

С.П.Баскаков

**Курс лекций по программе
"Специализированная подготовка персонала
газовозов"**

г.Санкт-Петербург
2000 год

Оглавление



1. Основы химии газов



2. Транспортные характеристики газов



3. Основные опасности сжиженных газов



4. Приборы контроля атмосферы танков



5. Конструктивные особенности газовозов



6. Основы термодинамики сжиженных газов



7. Установки повторного сжижения



8. Насосы грузовых систем



9. Меры безопасности на газовозах



10. Грузовые операции



11. Замеры и подсчёт груза



12. Подготовка грузовых танков



13. Аварийные мероприятия на газовозах



14. Словарь терминов и сокращений

15. Приложение

Предисловие

Необходимость появления данного пособия была продиктована, прежде всего, большим объёмом материала, который слушатели курса "Специализированная подготовка персонала газовозов" должны освоить в процессе тренажерной подготовки, и который практически полностью отсутствует в открытой учебно-технической литературе на русском языке.

Пособие представляет собой курс лекций по программе подготовки ключевого персонала газовозов в соответствии с требованиями Правила V/I Международной конвенции ПДМНВ.

Объём материала, представленного в пособии и форма изложения, позволяют использовать для при подготовке инструкторского состава газовозных курсов учебно – тренажерных центров..

"Курс лекций..." может быть использован как на судах в качестве настольной книги для комсостава, так и для специалистов береговых служб, занятых обработкой сжиженных газов.

Пособие предназначено в первую очередь для персонала, уже имеющего опыт работы на танкерах-газовозах и включает в себя как основные теоретические вопросы обработки сжиженного газа на борту судна, так и целый ряд практических рекомендаций по организации грузовых операций.

В пособие включены также основные требования международных и национальных нормативных документов относительно конструкции газовозов и особенностей эксплуатации систем и механизмов, организации и мер безопасности при выполнении различных технологических операций на борту судна.

Особый интерес представляет решение практических задач по определению эффективности работы установок повторного сжижения, расчётам стояночного времени, замерам и подсчёту груза, определению необходимого количества груза для продувки и захолаживания грузовых танков и систем, а также целый ряд практических рекомендаций по организации и проведению процедур по смене груза, подготовке грузовых танков и организации грузовых операций.

"Курс лекций..." подготовлен КДП Баскаковым С.П. при участии доцентов кафедры теплотехники к.т.н. Карандашова Б.С. и к.т.н. Ладина Н.В., при участии и под общей редакцией д.т.н. профессора кафедры «Теплотехника, Судовые Котлы и Вспомогательные Устройства» ГМА им. Адм. С.О. Макарова.



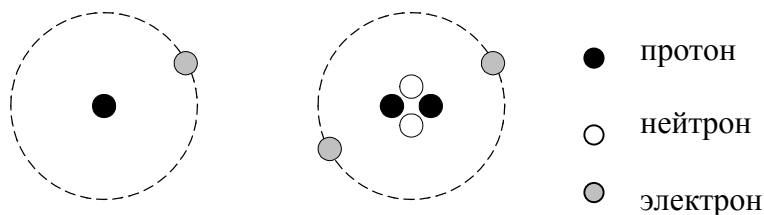
Общие сведения.

Согласно современным представлениям все вещества, находящиеся в жидком или парообразном состоянии, состоят из молекул. В твердом состоянии только органические вещества имеют молекулярную структуру, а также некоторые неметаллы, оксиды углерода и вода. Большинство же твердых неорганических веществ не имеют молекулярной структуры: их строение определяется решеткой, состоящей из атомов и ионов, образующих макротела – кристаллы. Молекулярной структуры не имеют соли, оксиды металлов, кремний, алмаз, металлы и т.д.

Химические связи между молекулами менее прочные, чем между атомами, и поэтому температуры плавления и кипения веществ с молекулярной структурой сравнительно низкие. Современная химия изучает свойства микрочастиц (молекул, атомов, ионов) и макротел.

Строение атома, периодическая таблица элементов.

Из школьного курса физики известно, что вокруг положительно заряженного ядра атома движутся **электроны**, имеющие единичный отрицательный заряд. Так как в целом атом электрически нейтрален, то, следовательно, число электронов, движущихся вокруг ядра атома, должно быть равно заряду ядра атома.



Атом водорода

Атом гелия

Ядро атома состоит из **протонов** (частицы с массой 1 и зарядом +1). Поскольку масса атомов, кроме атома водорода, всегда больше той массы, которая приходится на долю протонов, то было естественно предположить, что в состав ядра входят и электрически нейтральные частицы с массой 1, которые были названы **нейтронами**.

Было установлено, что свойства химических элементов и образуемых ими простых и сложных веществ находятся в периодической зависимости от величины заряда ядра атомов этих элементов.

В периодической таблице элементов порядковый номер элемента совпадает с зарядом ядра его атома.

Электроны в атомах обладают различным запасом энергии и в зависимости от величины этой энергии электроны располагаются на различных энергетических уровнях или орбитах относительно ядра атома.

**На первом энергетическом уровне может быть не более 2-х электронов,
На внешней орбите может быть расположено не более 8 электронов.
Заряд атомного ядра (порядковый номер) определяет химические свойства элемента.**



1. Основы химии газов

Количество электронов на внешнем энергетическом уровне определяет валентность элемента (его химическую активность), поэтому они называются валентными электронами.

Сущность явления периодичности объясняется тем, что с возрастанием заряда ядра атома элементов наблюдается периодическая повторяемость элементов с одинаковым числом валентных электронов, чем объясняется периодическая повторяемость свойств химических элементов и их соединений.

В периодической таблице (рис.1) все элементы сгруппированы по группам и периодам. Вертикальные колонки таблицы элементов называются группами, и элементы, расположенные в одних и тех же группах, имеют одинаковое количество электронов на внешней орбите (электронов определяющих валентность элемента). Всего в таблице 8 основных групп элементов.

Периодическая таблица имеет также 7 горизонтальных строк (периодов), поскольку каждый атом не может иметь более 7 электронных орбит. Можно сказать, что количество электронных орбит определяет энергетический уровень электронов.

Когда два или более атомов объединяются между собой, образуется молекула вещества.

Если два атома имеют одну или несколько пар электронов, являющихся общими для этих атомов, т.е. электроны перескакивают с орбиты одного атома на орбиту другого, возникает так называемая **ковалентная связь**. Основную часть неорганических элементов составляют металлы, они формируют **металлические связи** между атомами. При этом атомы располагаются очень близко друг к другу и образуют структурную (кристаллическую) решетку. В правой части периодической таблицы элементов расположены инертные газы и существуют они только в виде атомов.

Масса атома.

Одной из основных характеристик любого химического элемента является его относительная атомная масса.

Атомная единица массы – это 1/12 массы атома углерода, масса которого принимается равным 12 а.е.м., и составляет $1,66 \cdot 10^{-24}$ г.

Сравнивая массы атомов элементов с одной а.е.м., находят численные значения относительной атомной массы (Ar).

Относительная атомная масса элемента показывает во сколько раз масса его атома больше 1/12 массы атома углерода.

Например, для кислорода $A_r(O) = 15,9994$, а для водорода $A_r(H) = 1,0079$

1. Основы химии газов



PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

Table of Selected Radioactive Isotopes

GROUP	IA	IIA	IIIA	IVA	VIA	VIIA	VIIIA	IB	IIB	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIA	VIIIA	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	1.00794 H 1.008 0.00089	4 Be 9.01218 1.012 0.00054	9 Li 6.941 1.015 0.00053	11 Na 22.98977 22.990 0.00001	12 Mg 24.304 24.305 0.00001	13 Al 26.98154 26.982 0.00001	14 Si 28.0855 28.086 0.00001	15 P 30.97376 30.974 0.00001	16 S 32.06 32.061 0.00001	17 Cl 35.453 35.453 0.00001	18 Ar 39.948 39.948 0.00001	19 K 39.0983 39.098 0.00001	20 Ca 40.078 40.078 0.00001	21 Sc 44.9559 44.956 0.00001	22 Ti 47.88 47.88 0.00001	23 V 50.9415 50.942 0.00001	24 Cr 51.996 51.996 0.00001	25 Mn 54.9380 54.938 0.00001	26 Fe 55.847 55.847 0.00001	27 Co 58.9332 58.933 0.00001	28 Ni 58.6934 58.693 0.00001	29 Cu 63.546 63.546 0.00001	30 Zn 65.38 65.38 0.00001	31 Ga 69.723 69.723 0.00001	32 Ge 72.61 72.61 0.00001	33 As 74.9216 74.922 0.00001	34 Se 78.96 78.96 0.00001	35 Br 79.904 79.904 0.00001	36 Kr 83.80 83.80 0.00001	37 Rb 85.468 85.468 0.00001	38 Sr 87.62 87.62 0.00001	39 Y 88.9059 88.906 0.00001	40 Zr 91.224 91.224 0.00001	41 Nb 92.9064 92.906 0.00001	42 Mo 95.94 95.94 0.00001	43 Tc 98.9062 98.906 0.00001	44 Ru 101.07 101.07 0.00001	45 Rh 102.9055 102.905 0.00001	46 Pd 106.42 106.42 0.00001	47 Ag 107.8682 107.868 0.00001	48 Cd 112.41 112.41 0.00001	49 In 114.82 114.82 0.00001	50 Sn 118.710 118.710 0.00001	51 Sb 121.757 121.757 0.00001	52 Te 127.60 127.60 0.00001	53 I 126.905 126.905 0.00001	54 Xe 131.29 131.29 0.00001	55 Cs 132.9054 132.905 0.00001	56 Ba 137.33 137.33 0.00001	57 La 138.9055 138.906 0.00001	58 Ce 140.12 140.12 0.00001	59 Pr 140.9077 140.908 0.00001	60 Nd 144.24 144.24 0.00001	61 Pm 144.9128 144.913 0.00001	62 Sm 150.36 150.36 0.00001	63 Eu 151.965 151.965 0.00001	64 Gd 157.25 157.25 0.00001	65 Tb 158.925 158.925 0.00001	66 Dy 162.50 162.50 0.00001	67 Ho 164.9303 164.930 0.00001	68 Er 167.26 167.26 0.00001	69 Tm 168.934 168.934 0.00001	70 Yb 173.04 173.04 0.00001	71 Lu 174.967 174.967 0.00001	72 Hf 178.49 178.49 0.00001	73 Ta 180.9479 180.948 0.00001	74 W 183.85 183.85 0.00001	75 Re 186.207 186.207 0.00001	76 Os 190.23 190.23 0.00001	77 Ir 192.22 192.22 0.00001	78 Pt 195.08 195.08 0.00001	79 Au 196.9665 196.967 0.00001	80 Hg 200.59 200.59 0.00001	81 Tl 204.383 204.383 0.00001	82 Pb 207.2 207.2 0.00001	83 Bi 208.9804 208.980 0.00001	84 Po 209 209 0.00001	85 At 210 210 0.00001	86 Rn 222 222 0.00001	87 Fr 223 223 0.00001	88 Ra 226.0254 226.025 0.00001	89 Ac 227 227 0.00001	90 Th 232.0381 232.038 0.00001	91 Pa 231.0369 231.037 0.00001	92 U 238.0289 238.029 0.00001	93 Np 237.0482 237.048 0.00001	94 Pu 239.0522 239.052 0.00001	95 Am 243.0613 243.061 0.00001	96 Cm 247.0703 247.070 0.00001	97 Bk 247.0703 247.070 0.00001	98 Cf 251.0832 251.083 0.00001	99 Es 252.0832 252.083 0.00001	100 Fm 257.1037 257.104 0.00001	101 Md 258.1037 258.104 0.00001	102 No 259.1037 259.104 0.00001	103 Lr 262.1037 262.104 0.00001	104 Rf 261.1037 261.104 0.00001	105 Db 262.1037 262.104 0.00001	106 Sg 266.1037 266.104 0.00001	107 Bh 264.1037 264.104 0.00001	108 Hs 277.1037 277.104 0.00001	109 Mt 268.1037 268.104 0.00001	110 Ds 271.1037 271.104 0.00001	111 Rg 272.1037 272.104 0.00001	112 Cn 285.1037 285.104 0.00001	113 Nh 286.1037 286.104 0.00001	114 Fl 289.1037 289.104 0.00001	115 Mc 290.1037 290.104 0.00001	116 Lv 293.1037 293.104 0.00001	117 Ts 294.1037 294.104 0.00001	118 Og 294.1037 294.104 0.00001	119 Lr 262.1037 262.104 0.00001	120 Uu 288.1037 288.104 0.00001	121 Uub 289.1037 289.104 0.00001	122 Uut 291.1037 291.104 0.00001	123 Uuq 292.1037 292.104 0.00001	124 Uur 293.1037 293.104 0.00001	125 Uus 294.1037 294.104 0.00001	126 Uuh 295.1037 295.104 0.00001	127 Uuq 296.1037 296.104 0.00001	128 Uur 297.1037 297.104 0.00001	129 Uus 298.1037 298.104 0.00001	130 Uuh 299.1037 299.104 0.00001	131 Uuq 300.1037 300.104 0.00001	132 Uur 301.1037 301.104 0.00001	133 Uus 302.1037 302.104 0.00001	134 Uuh 303.1037 303.104 0.00001	135 Uuq 304.1037 304.104 0.00001	136 Uur 305.1037 305.104 0.00001	137 Uus 306.1037 306.104 0.00001	138 Uuh 307.1037 307.104 0.00001	139 Uuq 308.1037 308.104 0.00001	140 Uur 309.1037 309.104 0.00001	141 Uus 310.1037 310.104 0.00001	142 Uuh 311.1037 311.104 0.00001	143 Uuq 312.1037 312.104 0.00001	144 Uur 313.1037 313.104 0.00001	145 Uus 314.1037 314.104 0.00001	146 Uuh 315.1037 315.104 0.00001	147 Uuq 316.1037 316.104 0.00001	148 Uur 317.1037 317.104 0.00001	149 Uus 318.1037 318.104 0.00001	150 Uuh 319.1037 319.104 0.00001	151 Uuq 320.1037 320.104 0.00001	152 Uur 321.1037 321.104 0.00001	153 Uus 322.1037 322.104 0.00001	154 Uuh 323.1037 323.104 0.00001	155 Uuq 324.1037 324.104 0.00001	156 Uur 325.1037 325.104 0.00001	157 Uus 326.1037 326.104 0.00001	158 Uuh 327.1037 327.104 0.00001	159 Uuq 328.1037 328.104 0.00001	160 Uur 329.1037 329.104 0.00001	161 Uus 330.1037 330.104 0.00001	162 Uuh 331.1037 331.104 0.00001	163 Uuq 332.1037 332.104 0.00001	164 Uur 333.1037 333.104 0.00001	165 Uus 334.1037 334.104 0.00001	166 Uuh 335.1037 335.104 0.00001	167 Uuq 336.1037 336.104 0.00001	168 Uur 337.1037 337.104 0.00001	169 Uus 338.1037 338.104 0.00001	170 Uuh 339.1037 339.104 0.00001	171 Uuq 340.1037 340.104 0.00001	172 Uur 341.1037 341.104 0.00001	173 Uus 342.1037 342.104 0.00001	174 Uuh 343.1037 343.104 0.00001	175 Uuq 344.1037 344.104 0.00001	176 Uur 345.1037 345.104 0.00001	177 Uus 346.1037 346.104 0.00001	178 Uuh 347.1037 347.104 0.00001	179 Uuq 348.1037 348.104 0.00001	180 Uur 349.1037 349.104 0.00001	181 Uus 350.1037 350.104 0.00001	182 Uuh 351.1037 351.104 0.00001	183 Uuq 352.1037 352.104 0.00001	184 Uur 353.1037 353.104 0.00001	185 Uus 354.1037 354.104 0.00001	186 Uuh 355.1037 355.104 0.00001	187 Uuq 356.1037 356.104 0.00001	188 Uur 357.1037 357.104 0.00001	189 Uus 358.1037 358.104 0.00001	190 Uuh 359.1037 359.104 0.00001	191 Uuq 360.1037 360.104 0.00001	192 Uur 361.1037 361.104 0.00001	193 Uus 362.1037 362.104 0.00001	194 Uuh 363.1037 363.104 0.00001	195 Uuq 364.1037 364.104 0.00001	196 Uur 365.1037 365.104 0.00001	197 Uus 366.1037 366.104 0.00001	198 Uuh 367.1037 367.104 0.00001	199 Uuq 368.1037 368.104 0.00001	200 Uur 369.1037 369.104 0.00001	201 Uus 370.1037 370.104 0.00001	202 Uuh 371.1037 371.104 0.00001	203 Uuq 372.1037 372.104 0.00001	204 Uur 373.1037 373.104 0.00001	205 Uus 374.1037 374.104 0.00001	206 Uuh 375.1037 375.104 0.00001	207 Uuq 376.1037 376.104 0.00001	208 Uur 377.1037 377.104 0.00001	209 Uus 378.1037 378.104 0.00001	210 Uuh 379.1037 379.104 0.00001	211 Uuq 380.1037 380.104 0.00001	212 Uur 381.1037 381.104 0.00001	213 Uus 382.1037 382.104 0.00001	214 Uuh 383.1037 383.104 0.00001	215 Uuq 384.1037 384.104 0.00001	216 Uur 385.1037 385.104 0.00001	217 Uus 386.1037 386.104 0.00001	218 Uuh 387.1037 387.104 0.00001	219 Uuq 388.1037 388.104 0.00001	220 Uur 389.1037 389.104 0.00001	221 Uus 390.1037 390.104 0.00001	222 Uuh 391.1037 391.104 0.00001	223 Uuq 392.1037 392.104 0.00001	224 Uur 393.1037 393.104 0.00001	225 Uus 394.1037 394.104 0.00001	226 Uuh 395.1037 395.104 0.00001	227 Uuq 396.1037 396.104 0.00001	228 Uur 397.1037 397.104 0.00001	229 Uus 398.1037 398.104 0.00001	230 Uuh 399.1037 399.104 0.00001	231 Uuq 400.1037 400.104 0.00001	232 Uur 401.1037 401.104 0.00001	233 Uus 402.1037 402.104 0.00001	234 Uuh 403.1037 403.104 0.00001	235 Uuq 404.1037 404.104 0.00001	236 Uur 405.1037 405.104 0.00001	237 Uus 406.1037 406.104 0.00001	238 Uuh 407.1037 407.104 0.00001	239 Uuq 408.1037 408.104 0.00001	240 Uur 409.1037 409.104 0.00001	241 Uus 410.1037 410.104 0.00001	242 Uuh 411.1037 411.104 0.00001	243 Uuq 412.1037 412.104 0.00001	244 Uur 413.1037 413.104 0.00001	245 Uus 414.1037 414.104 0.00001	246 Uuh 415.1037 415.104 0.00001	247 Uuq 416.1037 416.104 0.00001	248 Uur 417.1037 417.104 0.00001	249 Uus 418.1037 418.104 0.00001	250 Uuh 419.1037 419.104 0.00001	251 Uuq 420.1037 420.104 0.00001	252 Uur 421.1037 421.104 0.00001	253 Uus 422.1037 422.104 0.00001	254 Uuh 423.1037 423.104 0.00001	255 Uuq 424.1037 424.104 0.00001	256 Uur 425.1037 425.104 0.00001	257 Uus 426.1037 426.104 0.00001	258 Uuh 427.1037 427.104 0.00001	259 Uuq 428.1037 428.104 0.00001	260 Uur 429.1037 429.104 0.00001	261 Uus 430.1037 430.104 0.00001	262 Uuh 431.1037 431.104 0.00001	263 Uuq 432.1037 432.104 0.00001	264 Uur 433.1037 433.104 0.00001	265 Uus 434.1037 434.104 0.00001	266 Uuh 435.1037 435.104 0.00001	267 Uuq 436.1037 436.104 0.00001	268 Uur 437.1037 437.104 0.00001	269 Uus 438.1037 438.104 0.00001	270 Uuh 439.1037 439.104 0.00001	271 Uuq 440.1037 440.104 0.00001	272 Uur 441.1037 441.104 0.00001	273 Uus 442.1037 442.104 0.00001	274 Uuh 443.1037 443.104 0.00001	275 Uuq 444.1037 444.104 0.00001	276 Uur 445.1037 445.104 0.00001	277 Uus 446.1037 446.104 0.00001	278 Uuh 447.1037 447.104 0.00001	279 Uuq 448.1037 448.104 0.00001	280 Uur 449.1037 449.104 0.00001	281 Uus 450.1037 450.104 0.00001	282 Uuh 451.1037 451.104 0.00001	283 Uuq 452.1037 452.104 0.00001	284 Uur 453.1037 453.104 0.00001	285 Uus 454.1037 454.104 0.00001	286 Uuh 455.1037 455.104 0.00001	287 Uuq 456.1037 456.104 0.00001	288 Uur 457.1037 457.104 0.00001	289 Uus 458.1037 458.104 0.00001	290 Uuh 459.1037 459.104 0.00001	291 Uuq 460.1037 460.104 0.00001	292 Uur 461.1037 461.104 0.00001	293 Uus 462.1037 462.104 0.00001	294 Uuh 463.1037 463.104 0.00001	295 Uuq 464.1037 464.104 0.00001	296 Uur 465.1037 465.104 0.00001	297 Uus 466.1037 466.104 0.00001	298 Uuh 467.1037 467.104 0.00001	299 Uuq 468.1037 468.104 0.00001	300 Uur 469.1037 469.104 0.00001	301 Uus 470.1037 470.104 0.00001	302 Uuh 471.1037 471.104 0.00001	303 Uuq 472.1037 472.104 0.00001	304 Uur 473.1037 473.104 0.00001	305 Uus 474.1037 474.104 0.00001	306 Uuh 475.1037 475.104 0.00001	307 Uuq 476.1037 476.104 0.00001	308 Uur 477.1037 477.104 0.00001	309 Uus 478.1037 478.104 0.00001	310 Uuh 479.1037 479.104 0.00001	311 Uuq 480.1037 480.104 0.00001	312 Uur 481.1037 481.104 0.00001	313 Uus 482.1037 482.104 0.00001	314 Uuh 483.1037 483.104 0.00001	315 Uuq 484.1037 484.104 0.00001	316 Uur 485.1037 485.104 0.0



1. Основы химии газов

Для молекул простых и сложных веществ определяют **относительную молекулярную массу**, которая численно равна сумме атомных масс всех атомов, входящих в состав молекулы. Например, молекулярная масса воды H_2O равна:

$$M_r(H_2O) = 2 \cdot 1,0079 + 1 \cdot 15,9994 = 18,0153.$$

Закон Авогадро.

В химии, наряду с единицами массы и объёма, пользуются единицей количества вещества, называемой молем.

МОЛЬ (v) – единица измерения количества вещества, содержащего столько структурных единиц (молекул, атомов, ионов) сколько атомов содержится в 0,012 кг (12 г) изотопа углерода ^{12}C .

Это означает, что 1 моль любого вещества содержит одно и тоже число структурных единиц, равное $6,02 \cdot 10^{23}$. Эта величина носит название **постоянной Авогадро** (обозначение N_A , размерность 1/моль).

Итальянский ученый Амадео Авогадро в 1811 году выдвинул гипотезу, которая в дальнейшем была подтверждена опытными данными и получила впоследствии название **ЗАКОН АВОГАДРО**. Он обратил внимание на то, что все газы одинаково сжимаются (закон Бойля-Мариотта) и обладают одинаковыми коэффициентами термального расширения (закон Гей-Люссака), и высказал мысль, что:

В равных объёмах различных газов, находящихся при одинаковых условиях, содержится одинаковое число молекул.

При одинаковых условиях (обычно говорят о нормальных условиях : абсолютное давление равно 1013 миллибар и температура $0^\circ C$) расстояние между молекулами у всех газов одинаково, а объём молекул ничтожно мал.

Учитывая все вышесказанное, можно сделать предположение, что:

Если в равных объёмах газов, при одинаковых условиях содержится одинаковое число молекул, то и массы, в которых содержится одинаковое число молекул, должны иметь одинаковые объёмы.

Другими словами:

1.

При одинаковых условиях 1 моль любого газа занимает одинаковый объём. При нормальных условиях 1 моль любого газа занимает объём, равный 22,4 литра. Этот объём называется молярным объёмом газа (размерность л/моль или m^3 /моль).

Точное значение молярного объёма газа при нормальных условиях (давление 1013 миллибар и температура $0^\circ C$) составляет $22,4135 \pm 0,0006$ л/моль. При стандартных условиях ($t=+15^\circ C$ давление = 1013 мбар) 1 моль газа занимает объём 23,6451 литра, а при $t=+20^\circ C$ и давлении 1013 мбар 1 моль занимает объём около 24,2 литра.

1. Основы химии газов



2.

В численном выражении молярная масса совпадает с массами атомов и молекул (в а.е.м.) и с относительными атомными и молекулярными массами.

Следовательно, 1 моль любого вещества имеет такую массу в граммах, которая численно равна молекулярной массе данного вещества, выраженной в атомных единицах массы.

Например, $M(\text{O}_2) = 16 \text{ а.е.м.} \cdot 2 = 32 \text{ а.е.м.}$, таким образом, 1 моль кислорода соответствует 32 граммам.

Плотности газов, измеренные при одинаковых условиях, относятся как их молярные массы.

Так как при перевозке сжиженных газов на газовозах, основным объектом практических задач являются молекулярные вещества (жидкости, пары, газы), то и основными искомыми величинами будут молярная масса M в г/моль, количество вещества ν в молях и масса (m) вещества в граммах или килограммах.

Зная химическую формулу того или иного газа, можно решить некоторые практические задачи, возникающие при транспортировке сжиженных газов.

Пример:

В дек-танке находится 22 тонн сжиженного этилена (C_2H_4). Необходимо определить, достаточно ли на борту груза для того, чтобы продуть три грузовых танка объёмом 5000 м^3 каждый, если после продувки температура танков будет составлять 0°C , а давление 1013 миллибар.

Решение:

1. Определяем молекулярную массу этилена

$$M = 2 \cdot 12,011 + 4 \cdot 1,0079 = 28,054 \text{ г/моль};$$

2. Рассчитываем плотность паров этилена при нормальных условиях:

$$\rho = M/V_m = 28,054 : 22,4 = 1,252 \text{ г/л};$$

3. Находим объём паров груза при нормальных условиях:

$$22 \cdot 10^6 : 1,252 = 27544 \text{ м}^3$$

Общий объём грузовых танков составляет 15000 м^3 . Следовательно, на борту достаточно груза на борту для того, чтобы продуть все грузовые танки парами этилена.

Пример 2.



1. Основы химии газов

Необходимо определить какое, количество пропана (C_3H_8) потребуется для продувки грузовых танков общей вместимостью 8000 м^3 , если температура танков составляет $+15^\circ\text{C}$, а давление паров пропана в танке после окончания продувки не будет превышать 1013 миллибар.

Решение

1. Определим молярную массу пропана C_3H_8

$$M_r = 3 \cdot 12,011 + 8 \cdot 1,0079 = 44,1 \text{ г/моль}$$

2. Определим плотность паров пропана после продувки танков:

$$\rho = M_r : V = 44,1 : 23,641 = 1,865 \text{ кг/м}^3$$

3. Зная плотность паров и объём определяем общее количество пропана, необходимое для продувки танка:

$$m = \rho \cdot V = 1,865 \cdot 8000 = 14920 \text{ кг} \approx 15 \text{ тонн}$$

Основы химии газов.

И природный газ, и нефтяные газы представляют собой сложные смеси органических и неорганических соединений. Промышленные же газы получают путем переработки вышеупомянутых газов. Однако в основе всех промышленных газов лежат углеводороды, которые в соединении с галогенами (фтор, хлор, бром, йод), кислородом, азотом и др. дают весь спектр промышленных газов.

Органическая химия – это наука, изучающая соединения углерода.

Углеводороды – простейшие по составу органические соединения, в которых содержатся атомы лишь двух элементов – углерода и водорода.

Сырая нефть, например, представляет собой смесь огромного числа углеводородов. Простейшая форма углеводородов – это метан, состоящий из одного атома углерода и 4-х атомов водорода:

Во всех органических соединениях атом углерода является четырехвалентным.

Общая формула углеводородов $C_m H_{2n}$ (где m и n – целые числа)

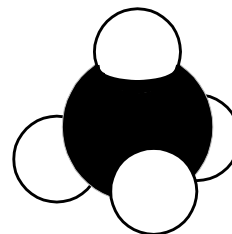


Рис. 2. Молекула метана

Классификация углеводородов.

1. Основы химии газов



В настоящее время насчитывается около 5 миллионов органических соединений и, тем не менее, ежегодно открывается или синтезируется примерно 200 тысяч новых органических соединений. И каждое соединение должно быть названо таким образом, чтобы в его названии отражалось строение вещества.

Поэтому, уже в 1892 году в Женеве на Международном Конгрессе были заложены основы номенклатуры органических соединений. Сейчас действуют Правила Международного Союза Чистой и Прикладной Химии (IUPAC). Существование Правил дает возможность составлять специализированные коды перевозимых газов, которыми пользуются в настоящее время все перевозчики.

Для классификации углеводородов по типам в молекуле органического соединения выделяют углеродный скелет, т.е. тип взаимодействия атомов углерода между собой и функциональные группы, т.е. группы элементов, определяющие основные физические и химические свойства веществ.

Ряд сходных по строению органических соединений, обладающих близкими химическими свойствами, в которых отдельные члены ряда отличаются друг от друга лишь количеством в них групп $-\text{CH}_2-$ называются **гомологическим рядом**. Свойства органического соединения в основном определяются составом его функциональной группы (наиболее легко изменяющейся и вступающей в реакции частью молекулы). Это и дает возможность классифицировать органические соединения по гомологическим рядам или же классам органических соединений. Для любого гомологического ряда может быть выведена формула, отображающая соотношение атомов углерода и водорода у членов этого ряда.

Для того чтобы легче разобраться с разновидностями углеводородов, рассмотрим классы углеводородов в зависимости от сложности их состава. Такими классами (гомологическими рядами) являются:

- Алканы (парафины) - ряд метана,
- Алкены (олефины) - ряд этилена,
- Алкадиены (диеновые углеводороды),
- Алкины - ряд ацетилена,
- Циклоалканы (циклопарафины),
- Ароматические углеводороды ряда бензола (арены).

Алканы.

Предельные углеводороды ряда метана. Все названия предельных углеводородов оканчиваются суффиксом – **ан**. Простейшими представителями таких органических соединений являются:

- Метан
- Этан
- Пропан
- Бутан
- Изо-бутан

С увеличением числа атомов углерода в молекуле, значительно меняется плотность вещества и его свойства. Если, например, молекулы, содержащие от 1 до 4 атомов углерода, являются газами, то вещества, молекулы которых



1. Основы химии газов

содержат от 5 до 17 атомов углерода – уже жидкости, а молекулы, в которых содержание углерода более 17 атомов, представляют собой твердые вещества.

Начиная с молекул углеводородов, в которых содержится 4 и более атомов углерода, начинает меняться пространственная структура молекул, т.е. взаимное расположение атомов углерода. При этом изменяются все свойства веществ.

Вещества, имеющие одинаковый состав (одинаковую молекулярную формулу), но разное пространственное строение молекул, называются ИЗОМЕРАМИ.

Если бутан, состоящий из 4-х атомов углерода и 10 атомов водорода, имеет 2 изомера, то октан, состоящий из 8 атомов углерода и 18 атомов водорода имеет уже 18 изомеров. Изомеры отличаются друг от друга температурой кипения, плавления, температурой воспламенения, вязкостью и пр., т.е. физическими свойствами

Отличительная особенность алканов – это то, что все четыре валентных связи углерода являются одинарными, что вызывает инертность таких углеводородов в обычных условиях..

Углеводороды, содержащие только одинарные связи между атомами углерода, называются насыщенными или предельными углеводородами.

Общую химическую формулу алканов можно выразить следующим образом:



где n – целое число.

Алканы не взаимодействуют между собой и не растворяются в воде. При высокой температуре и под действием ультрафиолетового излучения алканы вступают в реакцию с хлором и бромом с образованием галогенных углеводородов.

Хлоропроизводные метана широко используются в промышленности. Хлорметан – газ, который легко сжижается и, при последующем испарении, поглощает значительное количество теплоты. Этот газ получил широкое использование в холодильных установках.

Алкены.

Следующей важной группой углеводородов, которые не встречаются в природе в свободном состоянии, но могут быть получены из нефти в процессе крекинга, являются алкены. Все названия непредельных углеводородов ряда этилена оканчиваются суффиксом – *ен*.

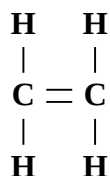
Алкенами называются непредельные углеводороды, которые содержат одну двойную связь между атомами углерода, то есть количество атомов водорода в составе непредельных углеводородов всегда меньше, чем в предельных.

1. Основы химии газов



Общая формула алкенов C_nH_{2n} , где n – целое число.

Простейшим из алкенов является этилен (этен):



Двойная связь между атомами углерода не является прочной, поэтому алкены химически более активны, чем алканы.

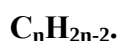
Как и алканы, алкены образуют целый ряд изомеров, причем такие изомеры отличаются как структурой молекулы, так и расположением двойной связи между атомами углерода, а также пространственным расположением атомов элементов. Из-за наличия двойных связей алкены могут присоединять еще один атом водорода и, поэтому они могут вступать в реакцию с алканами.

Углеводороды, содержащие одну или несколько двойных или тройных связей между атомами углерода, называются непредельными или ненасыщенными углеводородами.

Алкадиены.

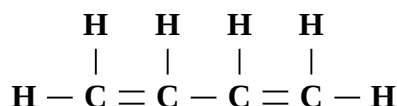
Алкадиены также являются ненасыщенными углеводородами и содержат в составе молекулы две двойные связи между атомами углерода.

Названия диеновых углеводородов образуются от соответствующих названий предельных углеводородов с суффиксом – *диен*. Общая формула диеновых углеводородов:



Также как и все остальные углеводороды алкадиены образуют изомеры, начиная с 5-го атома углерода. Изомеры, образующиеся при этом, также различаются по скелетному расположению атомов углерода, по расположению двойных связей и по ориентации элементов молекулы в пространстве.

Простейшим представителем диеновых углеводородов является **бутадиен**:



Большинство алкадиенов используется как сырье для получения синтетических пластмасс. В частности бутадиен используется для получения синтетического каучука.

Алкины.



1. Основы химии газов

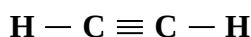
Алкины, или как их еще называют ацетиленовые углеводороды, также являются непредельными углеводородами и содержат в структурной формуле молекул одну тройную связь между атомами углерода.

Все названия непредельных углеводородов ряда ацетилена оканчиваются суффиксом – **ин**. Общая формула для алкинов:

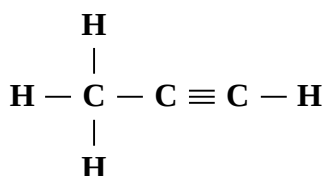


то есть точно такая же, как и для алкадиенов. Простейшими представителями этой группы являются:

Ацетилен (Этин) $CH\equiv CH$

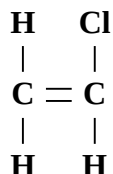


и пропин $CH_3 - C\equiv CH$



Характерными реакциями являются реакции присоединения, окисления и полимеризации. При взаимодействии ацетилена с соляной кислотой (HCl) образуется винил хлорид мономер (VCM), который может полимеризовываться в поливинил хлорид. Данный продукт широко используется для получения пластмасс.

Винил хлорид (хлорвинил, хлорэтилен)



Винил хлорид используется при изготовлении диэлектрических пластмасс, искусственной кожи и т.д.

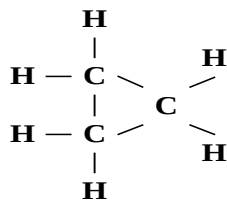
Циклоалканы.

Некоторые молекулы предельных углеводородов могут соединяться таким образом, что каждый из атомов углерода в молекуле будет иметь по две свободных валентных связи. В таком случае молекулы углеводородов будут иметь цикличную (замкнутую форму).

Названия циклопарафинов образуются от соответствующих названий предельных углеводородов с добавлением префикса **цикло-**. Простейшие представители циклопарафинов – циклопропан и циклобутан, однако наиболее часто встречаются циклопарафины более высокого порядка, например, циклопентан или циклогексан. Общая химическая формула циклоалканов выглядит следующим образом:



Структурное строение молекулы можно представить на примере циклопропана:



В подавляющем большинстве циклопарафины нашли применение как растворители в химической промышленности и в медицине. Наиболее часто используются галогенопроизводные циклопарафинов.

Ароматические углеводороды.

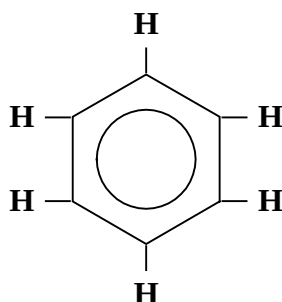
Когда молекула углеводорода содержит более 3 атомов углерода, они могут объединяться, образуя соединения в форме кольца – бензольное кольцо. Углеводороды, молекулы которых содержат бензольные кольца, называются циклическими или ароматическими углеводородами. Общая формула для этих углеводородов:



Простейшие представители этой группы:

C_6H_6 – бензол и

$C_6H_5-CH_3$ – толуол.



Бензол

Изомерия в ряду бензола обусловлена взаимным расположением органических радикалов в ядре (метильной группы CH_3). При этом образуются 3 изомера в зависимости от расположения заместителей, в которых указывается приставками **орто-**, **мета-**, и **пара-**.

Шесть атомов углерода образуют правильный шестиугольник. Бензольные кольца обычно очень устойчивы и являются составной частью больших молекул. Характерными реакциями для аренов является реакция замещения.

Ненасыщенные углеродные связи.

Связи между атомами углерода, содержащие более одной валентной связи, называются ненасыщенными.

Характерной особенностью таких связей является то, что атомы используют незадействованную связь для присоединения дополнительных атомов с высокой активностью, например, галогенов. При этом образуется абсолютно новое вещество. Галогенизированные углеводороды используются в



1. Основы химии газов

химической промышленности в качестве различного рода отвердителей или охлаждающих агентов.

Полимеризация.

Особое свойство ненасыщенных углеводородов – это реакция полимеризации, которая может протекать при определенных температуре и давлении.

Полимеризация – способность молекул соединяться друг с другом и образовывать макромолекулы, т.е. очень большие молекулы, которые в некоторых случаях могут состоять из нескольких тысяч простых молекул этого вещества.

Реакция полимеризации может протекать только при определенных условиях: наличии необходимой температуры и давления. Обычно для ускорения реакции используются катализаторы, которые увеличивают скорость протекания реакции, однако сами в ней химически не участвуют.

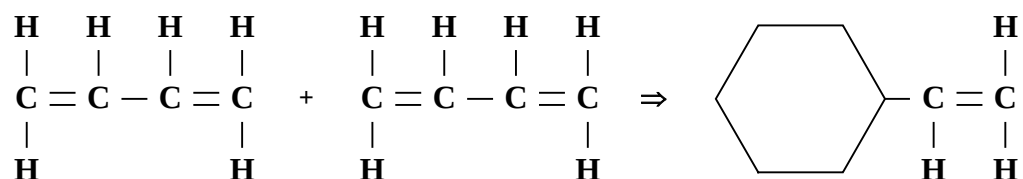
Пример:

	Мономер	Полимер
Винил хлорид	$(\text{CH}_2=\text{CHCl})$	- $(\text{CH}_2-\text{CHCl})_n$ -
Пропилен	$(\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2)$	- $(\text{CHCH}_3-\text{CH}_2)_n$ -
Стирол	$(\text{CH}_2=\text{C}_6\text{H})$	- $(\text{CHC}_6\text{H}_5-\text{CH}_2)_n$ -

Во время полимеризации протекает цепная реакция, вовлекающая в процесс все большее и большее количество молекул, до тех пор, пока вся жидкость не превратится в твердый полимер.

Димеризация.

Димеризация – это начальная стадия полимеризации, при которой ТОЛЬКО ДВЕ молекулы непредельных углеводородов соединяются между собой. Однако из-за внешних условий (давления и температуры) дальнейшее соединение молекул между собой не происходит. Однако, в большинстве случаев при соединении двух одинаковых молекул углеводородов, образуется новое вещество, которое делает груз непригодным для его дальнейшего использования. Наиболее часто реакция димеризации происходит при транспортировке 1,3-бутадиена (цифрами обозначаются атомы углерода, после которых располагается двойная связь). В результате реакции образуется новое вещество – винил циклогексан.

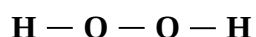




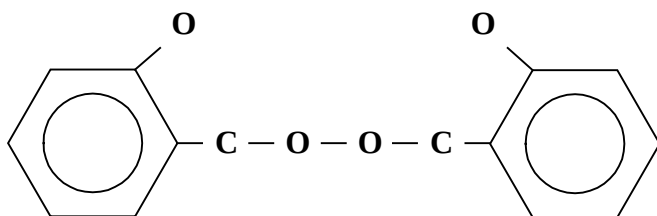
Наличие в грузе димеров строго лимитировано. Например, в бутадиене концентрация димеров не должна превышать 50 ppm (Part per million). Содержание димеров в бутадиене имеет линейную зависимость от температуры.

Перекиси.

Одним из простейших катализаторов, который используется в химической промышленности при производстве пластмасс, являются перекиси различных элементов. Отличительная особенность перекисей в том, что они содержат в молекуле два атома кислорода, соединенные между собой. Наличие такой связи обеспечивает их легкий переход в химические радикалы, что и вызывает реакцию полимеризации. Примерами перекисей может служить:



перекись водорода



перекись бензола

Все перекиси являются чрезвычайно взрывоопасными и требуют при обращении особой осторожности. Перекиси могут покрывать тонким слоем стенки трубопроводов, переборки танков и контейнеров. Эти вещества чрезвычайно нестабильны и любое внешнее воздействие (солнечный свет, удар и пр.) на них может привести к взрыву, особенно если они находятся в достаточном количестве и под действием высокой температуры. В таком случае, даже незначительное трение может привести к взрыву.

Некоторые ненасыщенные углеводороды, соединяясь с кислородом воздуха, могут также образовывать перекиси, что может вызвать спонтанную реакцию полимеризации. Для предотвращения объединения молекул перекисей с ненасыщенными углеводородами, необходимо, чтобы содержание кислорода в танке и трубопроводах было очень низким.

Вот почему при перевозке некоторых грузов, например бутадиена или винилхлорида, содержание кислорода в танках не должно превышать 0,2-0,3 %.

Ингибиторы.

Для того чтобы избавить атмосферу танка от последних следов кислорода, используют специальные вещества, которые, находясь в грузе даже в малых концентрациях, вступают в реакцию со свободным кислородом, снижая его содержание в атмосфере танка. Еще одно их свойство – они вступают в реакцию с химическими радикалами, замедляя реакцию полимеризации.

Вещества, замедляющие или приостанавливающие химическую реакцию, называются ингибиторами.



1. Основы химии газов

При транспортировке морем 1,3-бутадиена из портов США, Береговая Охрана США требует добавления в груз 100ppm ТВС (тетра бутил катекола). Это делается для того, чтобы избежать полимеризации груза (обычно реакция полимеризации протекает с выделением большого количества тепла). При перевозке винилхлорида в груз добавляют гидрохинон для предотвращения образования полимеров.

Большинство ингибиторов являются чрезвычайно ядовитыми веществами и поэтому обращаться с ними надо с величайшей осторожностью.

При перевозке ингибированных грузов обязательно наличие сертификата на ингибитор перед началом погрузки.

Пахучие вещества.

По-английски такие вещества называются **Stench agent** или **Odorizer** и служат для придания специфического запаха газам, не имеющим его.

Поскольку некоторые газы являются высоко опасными в пожарном отношении, даже их малая протечка должна быть установлено так скоро, как это только возможно. Однако многие газы, такие как нефтяные, вообще не имеют запаха. Поэтому для того, чтобы можно было почувствовать утечку газа, даже в незначительной концентрации в них добавляют небольшое количество веществ (буквально несколько граммов на тонну груза), имеющих очень сильный запах (таких как меркаптан).

Неорганические газы.

Из неорганических газообразных соединений на газовозах обычно перевозятся аммиак и хлор.

Аммиак NH_3 – бесцветный газ с сильным раздражающим запахом. Вступает в реакцию с углекислым газом CO_2 с образованием твердого карбоната аммиака, скопления которого в трубопроводах могут вывести из строя грузовое оборудование. Поэтому при инертизации танков для перевозки аммиака используется только азот. Аммиак хорошо растворим в воде.

Хлор – галоген с зеленоватым цветом и характерным удушливым запахом. Хлор легко сжижается, ядовит, в 2,5 раза тяжелее воздуха, химически активен. Вот почему перевозка хлора является предметом особого рассмотрения ИМО и требует особых условий и строгих мер предосторожности.

Реакция углеводородов с водой – образование гидратов (Slush).

Практически все углеводороды в паровой фазе содержат в своем составе молекулы воды. Более того, вода в небольшом количестве может присутствовать в жидкой фазе газов. Причем с понижением температуры, содержание воды в газах уменьшается. Существует лишь ограниченная информация и о том, что вода может присутствовать в сжиженных газах и при минусовых температурах.

Из-за того, что в молекуле воды атомы водорода смещены относительно оси молекулы и расположены примерно под углом 104° друг к другу, молекула воды имеет биполярную структуру. В жидком состоянии каждая

1. Основы химии газов



молекула воды связана с 4-мя соседними молекулами водородными связями, образующими тетраэдр, из которых построена трехмерная сетка, имеющая полости в виде многогранников.

Несколько молекул воды, связанных с углеводородами, при этом образуют твердые кристаллические вещества (гидраты) в виде мелкого снега или рыхлого льда. Гидраты могут формироваться в таких грузах как метан, этан, пропан, бутан и этилен. Для всех перечисленных углеводородов характерно одно необычное свойство – в газовой фазе в них растворяется гораздо больше воды, чем в жидкой. Например, пропан при температуре +6°C может содержать в жидкой фазе до 40 ppm растворенной воды, а в газовой фазе при той же температуре уже 580 ppm. Для того чтобы началось формирование гидратов, углеводороды должны содержать в своем составе свободную воду, т.е. количество воды должно превышать количество, необходимое для насыщения углеводородов водой. Формирование гидратов – процесс продолжительный и непрерывный, т.е. количество кристаллов гидратов будут расти, если условия их образования сохраняются. Гидраты могут формироваться и в жидкой и в газовой фазе. Так, например, при конденсации паров пропана в грузовом конденсаторе установки реконденсации, свободная вода, выделившаяся из паров груза в процессе конденсирования, может послужить причиной образования гидратов в процессе охлаждения конденсата после редукционного клапана или же на распыле грузового танка.

Для пропана и бутана, формирование гидратов может происходить при условиях, представленных в таблицах:

Таблица 1. Условия образования гидратов в пропане.

Давление в барах	Температура (°C)
0	-2
0,7	0
2,7	+3
4,1	+5
5,2	+6

Таблица 2. Критическое содержание воды в пропане, достаточное для образования гидратов при температурах ниже +6°C.

Содержание воды (ppm)		Температура груза (°C)
В жидкой фазе	В газовой фазе	
1	37	-45
1,4	50	-40
4	110	-30
6,5	150	-25
10	220	-20
16	284	-15
24	420	-10
30	500	-7,5
36	580	-5
52	780	0



1. Основы химии газов

Таблица 3. Критическое содержание воды в бутане, достаточное для образования гидратов при температурах ниже +3°C.

Содержание воды в бутане (ppm)		Температура груза °C
В жидкой фазе	В газовой фазе	
9	1.000	-10
13	1.300	-5
17	1.600	0

Таблица 4. Минимальные концентрации метанола, необходимые для нейтрализации свободной воды в пропане, в диапазоне насыщения.

Минимальная концентрация метанола в миллионных частях по массе			Температура груза (°C)
В жидкой фазе	В газовой фазе	Всего	
540	36	576	-45
658	43	701	-40
966	70	1.036	-30
1.122	81	1.203	-25
1.235	93	1.328	-20
1.373	98	1.471	-15
1.564	115	1.679	-10
1.587	119	1.706	-7,5
1.436	107	1.543	-5
1.134	83	1.217	0

Таблица 5. Минимальная концентрация метанола для нейтрализации свободной воды в бутане в диапазоне насыщения.

Концентрация метанола в миллионных частях по весу			Температура (°C)
Жидкая фаза	Газовая фаза	Всего	
488	218	705	-10
412	172	584	-5
229	87	316	0

Для того чтобы предотвратить образование гидратов, поскольку они могут заблокировать и регулировочный клапан, и сопла распыла, и грузовые насосы, на газозовозах используется этиловый или метиловый спирт, который связывает свободную воду и не позволяет ей соединяться с молекулами углеводородов.

Химическая совместимость газов.

В приведенных ниже таблицах даны обобщенные химические свойства некоторых газов и их химическая совместимость с различными материалами.

1. Основы химии газов



Таблица 6. Основные опасности и химическая совместимость некоторых газов.

	Метан	Этан	Пропан	Бутан	Этилен	Пропилен	Бутилен	Бутадиен	Изопрен	Аммиак	Винил хлорид	Этилен оксид	Пропилен оксид	Хлор	Водяной пар	Кислород воздуха	Углекислый газ
Пожароопасность	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Токсичность								X		X	X	X	X	X			X
Полимеризация								X	X		X	X					

СОВМЕСТИМОСТЬ

Магний								X	X			X	X				
Ртуть								X	X	X		X	X	X			
Цинк										X				X			
Медь								X	X	X		X	X				
Алюминий								X	X	X	X	X	X	X			
Углеродистая сталь	X				X ₁												
Нержавеющая сталь												X ₂					
Железо												X	X				
Политетрафторэтилен											X						
Полихлорвинил											X						
Полиэтилен	X ₃	X	X	X			X										
Этанол														X			
Метанол														X			
Метан														X			
Этан														X			
Пропан														X			
Бутан														X			
Этилен														X			
Пропилен														X			
Бутилен														X			
Бутадиен														X	X	X	
Изопрен														X	X	X	
Аммиак												X	X	X			X
Винил хлорид														X		X	
Этилен оксид										X						X	
Пропилен оксид										X							
Хлор	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X		
Водяной пар								X	X					X			
Кислород воздуха								X	X		X	X					
Углекислый газ										X							

X₁ - для перевозки этилена обычно используется сталь с содержанием никеля не менее 9 %

X₂ - следует проверить совместимость по "ИМО Кодексу"

X₃ - Не выдерживает воздействия низких температур.

Политетрафторэтилен (PTFE) - уплотнительный материал.

Поливинилхлорид - (PVC) - материал для изоляции электрокабелей.

2. Транспортные характеристики газов



Общие положения.

Говоря о сжиженных газах, мы обычно имеем в виду вещества, которые при нормальном атмосферном давлении и температуре окружающей среды находятся в газообразном состоянии.

Самой простой и наиболее важной характеристикой сжиженных газов, которая часто используется в процессе их переработки и транспортировки, является давление насыщенных паров, характеризующее равновесное состояние жидкостной и газовой фаз груза при заданной температуре.

ИМО с целью классификации грузов, перевозимых на танкерах, определяет понятие «сжиженный газ» следующим образом:

Сжиженным газом называется жидкость, которая при температуре +37,8°C имеет давление насыщенных паров не ниже 2,8 бара.

Дополнительной характеристикой сжиженных газов является температура насыщения паров при атмосферном давлении.

Эта температура - температура кипения при атмосферном давлении, и определяет возможные условия транспортировки груза .

Таблица1. Значения абсолютного давления паров и температуры кипения для некоторых газов.

Название газа	Давление насыщения паров при + 37,8°C (100 F)	Температура кипения при атмосферном давлении, ° C
Метан	Газ(t критическая -82° C)	-161
Пропан	12,9	-43
Бутан	3,6	-0,5
Аммиак	14,7	-33
Винилхлорид	5,7	-14
Бутадиен	4.0	-5
Этиленоксид	2,7	+10,7

Один, из перечисленных выше грузов, обработка которого наиболее строго определяется требованиями ИМО, а именно, этилен оксид, на самом деле не является сжиженным газом. Однако все международные правила не находят иного метода безопасной транспортировки этилена оксида, иначе чем на газовозах, из-за его низкой температуры кипения при атмосферном давлении. Многие подобные химические грузы, такие как пропилен оксид, диэтил эстер или же изопрен, также имеют высокое давление насыщенных паров и представляют значительную пожароопасность и опасность для здоровья человека, поэтому, несмотря на то, что в своей значительной части их перевозка осуществляется на танкерах-химовозах, все эти грузы включены и в IGC, и в BCH, и в IBC кодексы (см. словарь терминов и определений).

Основные группы газов, перевозимых морем.

2. Транспортные характеристики газов



Перевозимые морем сжиженные газы, можно разделить на 6 основных групп:

1. LPG – Liquefied Petroleum Gases (сжиженные нефтяные газы);
2. NGL – Natural Gas Liquids (природный газовый конденсат);
3. LEG – Liquefied Ethylene Gas (сжиженный этилен);
4. LNG – Liquefied Natural Gas (сжиженный натуральный газ);
5. NH₃ – Ammonia (аммиак);
6. CL₂ – Chlorine (хлор).

Причина для деления грузов на такие группы в том, что эти газы имеют различные характеристики. Важными факторами для такого деления грузов являются их температура кипения при атмосферном давлении, химическая совместимость с другими газами и материалами конструкций судна, токсичность, взрывоопасность, и другие свойства.

Рассмотрим несколько подробнее характеристики каждой из групп в отдельности.

Сжиженные нефтяные газы.

LPG – производят в результате крекинг – процесса из природного газа или же из сырой нефти путем дистилляции на нефтеперерабатывающих заводах. Примерно 1-3 % сырой нефти составляют нефтяные газы.

Термин «сжиженные нефтяные газы» используется в терминологии нефтяной индустрии для обозначения целой группы углеводородов или их смесей, большей частью состоящих из пропана и бутана. Однако такое определение не является достаточно точным, поскольку каждый из различных типов углеводородов может стать жидкостью при определенных условиях. По общепринятым меркам к числу сжиженных нефтяных газов относят обычно следующие газы:

- Пропан;
- Пропилен;
- Нормальный бутан;
- Изо-бутан;
- Бутилен.

Все эти газы имеют температуру кипения при атмосферном давлении от 0 до –50°C. Нефтяные газы используются в основном как сырьё для химической промышленности, а также в качестве топлива.

Природный газовый конденсат.

Природный газовый конденсат или, как его ещё называют, мокрый газ, обычно находится в растворённом состоянии в сырой нефти. При очистке нефти и её стабилизации происходит его отделение. Газовый конденсат представляет собой смесь этана, пропана, бутана и тяжелых углеводородов. Причем состав газа может меняться в зависимости от вида нефтяного месторождения. В основном природный конденсат используется для производства этилена.



Таблица 2. Характеристики коммерческих газов

Название	Молекулярный вес (г/моль)	Температура кипения при атмосферном давлении (°C)	Критическая температура (°C)	Критическое давление (кПа, Абс.)	Относит. плотность жидкости 15°C/15°C	Относит. Плотность паров (Воздух=1)
Methane	16,043	- 161,52	- 82,60	4604	(0,3)	0,5539
Ethane	30,070	- 88,58	32,28	4880	0,3581	1,0382
Propane	44,097	- 42,07	96,67	4249	0,5083	1,5225
n-Butane	58,124	- 0,49	152,01	3797	0,5847	2,0068
i-Butane	58,124	- 11,81	134,98	3648	0,5637	2,0068
Ethene	28,054	- 103,77	9,20	5041	выше ткр.	0,9686
Propene	42,081	- 47,72	91,70	4600	0,5231	1,4529
1-Butene	56,108	- 6,23	146,38	4023	0,6019	1,9372
cis-2-Butene	56,108	3,72	162,43	4220	0,6277	1,9372
trans-2-Butene	56,108	0,88	155,48	4047	0,6105	1,9372
1,3-Butadiene	54,092	- 4,41	152	4330	0,6280	1,8676
1,2-Butadiene	54,092	10,85	(171)	(4502)	0,6576	1,8676
Isoprene	68,119	34,07	(211)	(3850)	0,6866	2,3519
Vinylchloride	62,50	-13,4	156,6	5600	0,90	2,152
Ammonia	17,031	- 33,33	132,5	11280	0,6183	0,5880



Сжиженный этилен.

В природе в свободном состоянии этилен практически не встречается, однако, в химической и нефтяной промышленности, этилен получают как побочный продукт производства при переработке натурального газового конденсата, сырой нефти или нефтяных газов. Температура кипения этилена при атмосферном давлении -104°C , поэтому очень часто его называют ещё «холодный газ».

Основное применение этилен находит в химической промышленности при производстве великого множества продуктов, таких как пластик, полиэтилен, полиэтиленовая пена, стирол, пищевые красители, он используется также при сварке и резке металла.

Сжиженный природный газ.

Природный газ представляет собой смесь различных газов, которые находятся в земле в виде месторождений, также как и нефть. В основном природный газ состоит из метана (95-98%). Он также содержит и небольшие примеси неорганических газов: азот, углекислый газ, окислы серы, пары воды.. При атмосферном давлении температура кипения метана при атмосферном давлении около -164°C .

Промышленное применение метан нашел в качестве топлива взамен угля или нефти, а также при производстве минеральных удобрений и аммиака.

Аммиак.

Аммиак не встречается в природе в свободном виде, и его производят сжиганием нефти и газа, а также при каталитических процессах при обработке природного газа. Температура кипения аммиака при атмосферном давлении составляет -33°C .

Свое основное применение аммиак находит в производстве минеральных удобрений, пластмасс, красителей, взрывчатки и различных чистящих жидкостей.

Хлор.

В свободном виде в природе хлор не встречается. Однако он довольно легко может быть получен искусственным путем, например, при электролизе раствора обычной поваренной соли. Температура кипения хлора при атмосферном давлении -34°C .

Промышленное применение хлор нашел в химической индустрии и в целлюлозобумажной промышленности как отбеливатель.

Химические грузы

В дополнение к вышеперечисленным газам существует также множество различных химических веществ, которые в силу своих свойств также попадают

2. Транспортные характеристики газов



под определение газов и перевозятся на судах-газовозах. Такие вещества не попадают ни в одну из перечисленных выше категорий, например, винил-хлорид мономер, пропадиен и бутадиен. Как известно к газам относят вещества, которые при температуре $+37,8^{\circ}\text{C}$ имеют абсолютное давление насыщения не менее чем 2,8 бар.

Таблица 3. Коэффициенты объёмного расширения при испарении 1 литра сжиженного газа при 15°C и нормальном атмосферном давлении

Название	Коэффициент объёмного расширения при испарении (15°C , 1 бар)
Methane	630
Ethane	432
Propane	311
n-butane	239
i-butane	236
Ethene	482
Propene	388
1-butene	261
Cis-2-butene	264
Trans-2-butene	258
1,3-butadiene	279
VCM	365
Ammonia	947
Nitrogen	691



Переводные коэффициенты.

Таблица 4. Перевод единиц давления

	Atm.	psi	mm Hg	kg/cm ²	bar	Pascal	dynes/cm ²	mm H ₂ O
Atm.	1	14,696	760	1,0332	1,01325	101.325	1.013.935,23	10.332,71
Psi	,068046	1	51,715	,070307	,068948	6.894,8	69.013,11	703,087
mm Hg	,0013158	,019337	1	,00135951	,0013332	133,32	1334,15	13,59508
kg/cm ²	,9678	14,223	735,56	1	,980665	98.066,5	981.354,27	10.000
bar	,98692	14,504	750,075	1,01972	1	100.000	1.001.001	10197,162
Pascal	,000009869	,000145038	,00750075	,000010197	,00001	1	10,007	,10197162
Dynes/cm ²	,000000986	,00001449	,00074954	,000001019	,000000999	,09993	1	,01019
mm H ₂ O	,00009678	,0014223	,073556	,0001	,0000980665	9,80665	98,1354	1

Таблица 5. Перевод единиц объёма

	Cubic Inches	Cubic Feet	Cubic Yards	Cubic Centimeters	Cubic Meters
Cubic Inches	1	0,00057870	0,000021433	16,387	0,000016387
Cubic Feet	1.728	1	0,037037	28.316	0,028316
Cubic Yards	46.656	27	1	764.550	0,76455
Cubic Centimeters	0,061024	0,000035315	0,0000013080	1	0,000001
Cubic Meters	61.024	35,315	1,3080	1.000.000	1



Таблица 6. Перевод единиц объёма жидкости

	GALLONS (U.S.)	IMPERIAL GALLONS	BARRELS (OIL)	CU. INCHES	MILLILITERS	LITERS
Gallons (U.S.)	1	0,83270	0,023809	231	3785,3	3,7853
Imperial gallons	1,2009	1	0,028594	277,42	4.546,0	4,5460
Barrels (Oil)	42	34,973	1	9.702	158.980	158,98
Cu. Inches	0,0043290	0,0036047	0,00010307	1	16,387	0,016387
Milliliters	0,00026418	0,00021998	0,0000062900	0,061025	1	0,001
Liters	0,26418	0,21998	0,0062900	61,025	1.000	1

Таблица 7. Перевод единиц потока жидкости

	GAL(U.S.)/MIN	GAL(U.S.)/HR	CU FT./MIN	BBL(42)/HR	BBL(42)/DAY	CU M/HR
Gal(U.S.)/min	1	60	0,13368	1,4286	34,286	0,22713
Gal(U.S.)/hr	0,016667	1	0,0022280	0.023810	0,57143	0,0037854
Cu ft./min	7,4805	448,83	1	10,686	256,47	1,6990
bbl(42)/hr	0,70000	42,000	0,093576	1	24,000	0,15898
bbl(42)/day	0,029167	1,7500	0,0038990	0,041667	1	0,0066245
Cu m/hr	4,4028	264,17	0,58857	6,2898	150,95	1

2. Транспортные характеристики газов



Типовые спецификации на некоторые газы

Когда говорят о сжиженных газах как о грузах, то подразумевают, что они состоят из смесей целого ряда органических и неорганических соединений. Наличие различных примесей в грузе, определяет условия его транспортировки и требования к подготовке грузовых емкостей перед погрузкой. Чем чище продукт, тем более строгие требования предъявляются к подготовке грузовых танков при смене груза.

Ниже приведены спецификации на некоторые сжиженные химические газы (можно использовать только как справочные данные).

Таблица 8. *Ethylene*

Item	Unit	Limits
ETHYLENE	% volume	99,9 min
ETHANE	ppm volume	500 max
ETHANE +METHANE	ppm volume	1.000 max
C3 AND HEAVIER	ppm volume	10 max
ACETYLENE	ppm volume	5 max
OXYGEN	ppm volume	5 max
NITROGEN	ppm volume	100max
CARBONMONOXIDE	ppm volume	2 max
CARBONDIOXIDE	ppm volume	5 max
METHANOL + ETHANOL + ACETON	ppm volume	10 max
HYDROGEN	ppm volume	10 max
WATER CONTENT	ppm weight	10 max
TOTAL SULPHUR	ppm weight	2 max
AMMONIA	ppm volume	1 max

Таблица 9. *Propylene polymer grade*

Item	Unit	Limits
PROPYLENE	%weight	99,5 min
PROPANE	%weight	0,5 max
METHANE + ETHANE	%weight	0,2 max
ETHYLENE + ACETYLENE	ppm weight	30max
PROPADIENE	ppm weight	10 max
METHYLACETYLENE	ppm weight	5 max
TOTAL C4'S HYDROCARBONS	ppm weight	10 max
C5 + (GREEN OIL)	ppm weight	10 max
OXYGEN	ppm weight	5 max
NITROGEN	ppm weight	10 max
HYDROGEN	ppm weight	1 max
METHANOL	ppm volume	5 max
TOTAL SULPHUR	ppm weight	2 max
WATER CONTENT	ppm weight	10 max
TOTAL CHLORINE	ppm weight	1 max

2. Транспортные характеристики газов



Таблица 10. *Propylene Chemical Grade*

Item	Unit	Limit
PROPYLENE	%weight	94,0 min
METHANE	ppm weight	1.000 max
ETHANE	ppm weight	500 max
PROPANE	%weight	balance
ETHYLENE	ppm weight	50 max
PROPADIENE	ppm weight	15 max
BUTENES	ppm weight	200 max
ACETYLENE	ppm weight	5 max
METHYLACETYLENE	ppm weight	25 max
BUTADIENE-1,3	ppm weight	30 max
TOTAL C4's	ppm weight	300 max
OXYGEN	ppm weight	8 max
HYDROGEN	ppm weight	10 max
CARBONMONOXIDE	ppm weight	3 max
CARBONDIOXIDE	ppm weight	10 max
METHANOL	ppm weight	10 max
WATER CONTENT	no free water	

Таблица 11. *Propylene Refinery Grade*

Test Item	Unit	Limits
PROPYLENE	%weight	70 min
ETHANE	%weight	1 max
PROPANE	%weight	30 max
TOTAL C4's AND HEAVIER	%weight	2 max
TOTAL SULPHUR	ppm weight	3 max

Таблица 12. *1-butene*

Test Item	Unit	Limits
BUTENE-1	%weight	99,3 min
I-BUTYLENE	%weight	0,2 max
BUTENE-2	%weight	0,1 max
N-BUTANE + I-BUTANE	%weight	0,4 max
BUTADIENE-1,3	ppm weight	50 max
PROPADIENE	ppm weight	8 max
TOTAL ACETYLENES	ppm weight	10 max
CARBON DIOXIDE	ppm weight	2 max
CARBON MONOXIDE	ppm weight	2 max
TOTAL CARBONYLS (AS MEK)	ppm weight	5 max
OXYGEN	ppm weight	1 max
SULPHUR (AS S)	ppm weight	
CHLORIDES	ppm weight	
WATER		
METHANOL	ppm weight	

2. Транспортные характеристики газов



Таблица 13. *1,3-butadiene*

Test Item	Unit	Limits
BUTADIENE 1,3	%weight	99,6 min
BUTADIENE 1,2	ppm weight	40 max
PROPADIENE	ppm weight	10 max
TOTAL ACETYLENES AS VINYLACETYLENE	ppm weight	25 max
METHYLACETYLENE	ppm weight	15 max
ETHYLACETYLENE	ppm weight	50 max
VINYLACETYLENE	ppm weight	10 max
BUTADIENE DIMER	ppm weight	50 max
METHANOL	ppm weight	50 max
CARBONYL CONTENT, AS ACETALDEHYDE	ppm weight	10 max
TOTAL VOLATILE SULPHUR	ppm weight	2 max
PEROXIDE CONTENT	ppm weight	5 max
NON VOLATILE RESIDUE	ppm weight	10 max
INHIBITOR (TBC)	ppm weight	75-150 max
WATER	no free water	
OXYGEN	ppm weight	200 max

Таблица 14. *Isobutane*

Item	Unit	Limits
ISOBUTANE	%mol	95 min
N-BUTANE	%mol	5 max
C2 AND LIGHTER	%mol	1 max
PROPANE	%mol	balance
TOTAL OLEFINS	ppm weight	100 max
OXYGEN LIQUID	ppm vol	0,5 max
OXYGEN VAPOUR	ppm vol	0,3 max
TOTAL VOLATILE SULPHUR	ppm weight	2 max
CARBONYL CONTENT AS ACETON	ppm weight	2 max

Таблица 15. *Crude C4 raw material spec*

Item	Unit	Limits
BUTADIENE 1,3	%weight	40 min
PROPADIENE + METHYLACETYLENE	%weight	0,4 max
ISOBUTYLENE	%weight	20 min
BUTENE-1	%weight	20 max
BUTENE-2	%weight	10 max
SATURATED C4's	%weight	12 max
BUTADIENE 1,2	%weight	0,5 max
C3's AND LIGHTER	%weight	0,7 max
C4 ACETYLENES	%weight	2 max
C5's	%weight	0,5 max
SULPHUR	ppm weight	1 max
CARBONYLS AS ACETALDEHYDE	ppm weight	100 max
CHLORIDE (AS CL)	ppm weight	1max
WATER	no free water	

2. Транспортные характеристики газов



Таблица 16. *Vinyl chloride monomer (VCM)*

Item	Unit	Limits
VINYL CHLORIDE MONOMER	%weight	99,97 min
WATER	ppm weight	100 max
IRON	ppm weight	0,5 max
ACIDITY (AS HCL)	ppm weight	1 max
NON VOLATILES	ppm weight	50 max
ACETYLENE	ppm weight	2 max
PROPYLENE	ppm weight	8 max
OTHER HYDROCARBONS	ppm weight	3 max
COLOR (VISUAL)	colorless	
APPEARANCE (VISUAL)	clear	

Таблица 17. *Raffinate 1 (Isobutylene)*

Item	Unit	Limits
ISOBUTYLENE	%weight	30-65 min
C3 AND LIGHTER	%weight	0,5 max
BUTADIENE 1,3	%weight	0,6 max
TOTAL ACETYLENES AS VINYLACETYLENE	ppm weight	200 max
C5 DIOLEFINS	ppm weight	20 max
C5 AND HEAVIER	ppm weight	1.000 max
SULPHUR CONTENT	ppm weight	10 max
CARBONYL CONTENT AS ACETALDEHYDE	ppm weight	10 max
PERIOXIDE CONTENT AS H-O-O-H		
TOTAL CHLORIDE	ppm weight	5 max
NON VOLATILE RESIDUE		
AMMONIA	ppm weight	5 max

Таблица 18. *Raffinate 2 (n-butenes)*

Item	Unit	Limits
TOTAL N-BUTENES	%weight	66-82 min
N-BUTANE	%weight	14 min
ISO-BUTENE	%weight	2 max
BUTADIENE-1,3	%weight	0,7 max
C3 AND LIGHTER	%weight	2,0 max
C5 AND HEAVIER	%weight	2,0 max
ACETYLENES AS VINYLACETYLENS	ppm weight	800 max
TOTAL SULPHUR	ppm weight	120 max
TOTAL CHLORIDE	ppm weight	15 max
WATER	no free water	



Рассмотрим некоторые физические и химические свойства газов с точки зрения опасностей, которые возникают при их транспортировке.

Воздействие низких температур (Brittle Fracture).

Многие металлы и материалы под воздействием низких температур склонны изменять свои свойства. При температуре ниже 0 °С механические характеристики корабельной стали ухудшаются. У обычной корабельной стали при температурах ниже –10 °С меняется структура металла, ослабляются связи между атомами в кристаллической решетке, в результате чего металл теряет пластичность и прочность. Металл растрескивается даже без явного внешнего механического воздействия.

Добавка к стали никеля, или использование специальных алюминиевых сплавов в конструкциях грузовых танков и трубопроводов, позволяют обрабатывать грузы с очень низкими температурами кипения (–164°С для Метана)

Всплескивание груза (Sloshing).

Поскольку сжиженный газ обладает всеми свойствами жидкости, то при его транспортировке должное внимание необходимо уделять воздействию свободной поверхности жидкости на остойчивость судна. Более того, при неполном заполнении танка грузом, и значительной свободной поверхности жидкости в танке, гидродинамические удары, возникающие в танке, могут привести к разрушению, как устройств и механизмов внутри танка, так и самого танка. Именно для уменьшения гидродинамических ударов и для уменьшения воздействия свободной поверхности жидкости, грузовые танки больших газозовозов имеют продольную переборку или же сужающуюся верхнюю часть танка. Всплескивание груза приводит также к образованию внутри груза пузырьков с воздухом, которые увеличивают электростатический заряд в танке.

Переворачивание груза (Rollover).

Переворачивание груза – это процесс быстрого самопроизвольного перемешивания сжиженного газа в танке, который происходит в результате температурного расслоения груза и образовавшейся разницы плотности слоёв.

Практически все жидкие углеводороды подвержены переворачиванию в той или иной степени. Однако наиболее ярко оно проявляется у криогенных жидкостей. Самым опасным грузом в этом смысле является природный газ (LNG), и его способность к спонтанному перемешиванию зависит от фракционного состава, температуры и давления, при которых происходит его обработка и хранение.

Если, при хранении сжиженного газа в береговых емкостях или же в грузовых танках газозова происходит отбор пара компрессорными установками, то за счет испарения понижается температура поверхностного слоя жидкости, в результате чего слегка повышается его плотность. Таким образом, слой жидкости вблизи поверхности танка становится несколько



3. Основные опасности сжиженных газов

тяжелее, чем жидкость на нижних уровнях танка. Как только расслоение по плотности достигнет критической величины (обычно разность температур должна составить 5-7°C), поверхностный слой груза как бы моментально «проваливается» вглубь танка.

Такое спонтанное перемешивание представляет значительную опасность для больших судов с мембранными или полу-мембранными танками (рабочее давление 0,25 бара), поскольку, при перемешивании, теплый груз оказывается у поверхности, усиливается его парообразование, значительно и резко повышается давление в танке. В лучшем случае это приведет к срабатыванию предохранительных клапанов, а в худшем – к разрушению танка.

Для возникновения перемешивания, не требуется никаких внешних воздействий – вибрации или подачи дополнительного груза в танк. Достаточно лишь небольшого изменения температуры внутри груза, и сила тяжести произведет быстрое перемешивание содержимого танка.

Для того чтобы избежать переворачивания, необходимо производить регулярное перемешивание груза с помощью грузовых насосов. Спонтанное переворачивание груза может возникнуть и в том случае, если на судне производится охлаждение двух партий совместимых грузов или одного и того же груза, но с разными температурами в танках. В таком случае, если, например, конденсат, сбрасываемый в танк, имеет температуру выше чем груз в танке, существует опасность расслоения груза и образования в нижней части танка слоя груза с пониженной плотностью.

Статическое электричество.

Феномен статического электричества известен давно и каждый из нас сталкивается с проявлениями его почти ежедневно. При одевании или снятии одежды из синтетического материала, контакте с экраном телевизора или компьютера, зачастую возникает ощутимый электрический разряд. В современном мире эффект статического электричества получил широкое практическое применение (печатные и копировальные аппараты, окраска). Однако разряд статического электричества может привести и к трагическим последствиям.

Впервые, возможности статического электричества вызывать возникновение взрыва и пожара были обнаружены в 1893 году американцем Рихтером, который пытался улучшить процесс сухой химчистки одежды, и попробовал ввести порошок магнезии в бензол, используемый в процессе чистки, для увеличения его токопроводности.

В топливной и химической индустрии проблему возникновения зарядов статического электричества начали глубоко изучать в начале 30-х годов, после нескольких взрывов на заводах компании SHELL.

На морском же транспорте изучением этой проблемы занялись несколько позже – в середине 60-х годов, опять же, после серии взрывов на танкерах, перевозящих сырую нефть.

Были проведены фундаментальные исследования в области возникновения зарядов статического электричества на танкерах при различных технологических операциях и определены международные требования по предотвращению образования электростатических разрядов.

Рассмотрим природу образования электростатического заряда.



Причины возникновения зарядов статического электричества.

Существует три этапа, последовательно приводящие к возникновению опасности воспламенения горючих смесей при воздействии статического электричества, а именно:

- Разделение заряда;
- Накопление заряда;
- Разряд статического электричества.

Известно, что атомы состоят из положительно заряженного ядра, вокруг которого вращаются отрицательно заряженные частицы – электроны. Сумма всех отрицательных зарядов в теле по абсолютному значению равна сумме всех положительных зарядов в нем. Поэтому в целом тело электрически нейтрально и не имеет заряда.

Электроны, находящиеся на периферийных орбитах атома, могут сравнительно легко покидать своё место и переходить на орбиты атомов другого тела или вещества. Тот атом, который теряет электроны, будет испытывать недостаток электронов и получит положительный заряд. Атом же, на орбиты которого перейдет оторвавшийся электрон, будет иметь избыток электронов, а заряд его будет отрицательным. Иначе говоря, при перемещении электронов с орбиты одного атома на орбиту другого происходит перераспределение зарядов и при этом один атом получает положительный заряд, а другой отрицательный. Такие заряженные атомы называются **ионами**.

При электризации тел заряды не создаются, а только разделяются: часть отрицательных зарядов переходит с одного тела на другое. Например, при трении эбонитовой палочки о шерсть, эбонит получает отрицательный заряд, а шерсть заряжается положительно.

Перетекание электронов происходит только в случае взаимодействия атомов с различной плотностью электронов.

Всякий раз, когда в контакт входят два неоднородных материала, на поверхности, разделяющей эти материалы, происходит разделение заряда. Эта поверхность может разделять два твердых тела, твердое тело и жидкость или две несмешивающиеся жидкости. На поверхности раздела заряд одного знака, например положительного, перемещается от материала А к материалу В, таким образом, что материалы А и В становятся соответственно положительно и отрицательно заряженными. Пока эти материалы неподвижны и контактируют друг с другом, заряды находятся чрезвычайно близко друг от друга. В таком случае незначительная разность потенциалов между зарядами противоположного знака не представляет какой-либо угрозы.

Интенсивное разделение зарядов происходит в результате таких действий как:

- Прохождение потока жидкости через трубы или мелкоячеистые фильтры.
- Осаждение частиц твердого тела или несмешивающейся жидкости через другую жидкость.
- Выброс мелких капель или частиц из сопла
- Всплескивание или взбалтывание жидкости при её соприкосновении с твердой поверхностью.



3. Основные опасности сжиженных газов

- Сильное трение друг о друга некоторых материалов.

Когда заряды разъединяются, между ними образуется большая разность потенциалов. При этом в окружающем пространстве также происходит распределение разности потенциалов, иначе говоря, формируется электрическое поле (то есть во время мойки танка при распылении жидкости электростатическое поле возникает во всем объеме танка).

Если в электростатическое поле поместить незаряженный проводник, то он получит примерно такой же потенциал, как и поле, в котором он находится. Более того, поле приводит в движение заряды внутри проводника, заряд одного знака притягивается полем к одному концу проводника, на другом же конце проводника формируется равный по величине заряд противоположного знака. Заряды, разделенные таким образом, называются индуцированными зарядами, они накапливаются в электростатическом поле.

Заряд может возникать и там, где не происходит непосредственного контакта между заряженными телами. Электростатический заряд может возникать также при воздействии на материал другого заряженного тела, что вызывает формирование положительных и отрицательных ионов. Например, при прохождении грозового облака над высоким зданием или судном, в последних происходит формирование положительных и отрицательных ионов, хотя непосредственного контакта между материалами или зарядами нет. Это приводит к тому, что одно и то же вещество или тело может нести противоположные заряды.

Вокруг заряженного тела происходит формирование электрического поля, своего рода отображение пространства вокруг заряженного тела. В двух противоположных точках электрического поля, определяется разность потенциалов в вольтах. Напряженность электростатического поля определяется в вольтах на метр (В/м)

В однородном электрическом поле напряженность поля определяется как разность потенциала на метр. Величина напряженности поля определяет возможность возникновения разряда. В сухом воздухе искровой электрический разряд может произойти при величине напряженности электрического поля около 3.000.000 В/м. Однако если поместить в поле заземленный проводник, то даже при слабой напряженности поля можно получить значительный электрический разряд.

Накопление заряда.

Ранее разделенные заряды стремятся вновь соединиться между собой и нейтрализовать друг друга. Этот процесс известен как релаксация заряда. Если один из материалов или оба эти материала, несущие электростатический заряд, обладают низкой токопроводностью, то повторное соединение зарядов затруднено, и данный материал аккумулирует (накапливает) заряд на себе.

Период времени, в течение которого сохраняется заряд, характеризуется временем релаксации данного материала, которое соотносится с его токопроводностью. Чем меньше токопроводность материала, тем больше период релаксации заряда.



Если же проводимость материала высока, то заряды соединяются очень быстро, тем самым препятствуя процессу их разъединения, в результате чего происходит очень незначительное аккумуляирование заряда или же он не аккумуляируется совсем. Материал с такой проводимостью может сохранять или аккумуляировать заряд только в том случае, если он окружен диэлектриком. В таком случае скорость потери им заряда, будет зависеть от времени релаксации диэлектрика.

Можно сказать, что наиболее важным фактором, определяющим время релаксации материала, является электропроводность материалов.

Проводники и диэлектрики.

Все материалы по степени их токопроводности условно можно разделить на три основные группы.

Первая группа –проводники. К твердым проводникам относится большинство металлов, а к жидким – целый диапазон водных растворов солей, включая морскую воду. Человеческое тело, более чем на 60 % состоящее из воды, также является проводником электрического тока. К важным свойствам жидких проводников относится не только их неспособность удерживать электрических заряд, если они не изолированы, но также и то, что когда они изолированы и существует возможность электрического разряда, весь имеющийся в них заряд почти мгновенно разряжается. То есть, полученный заряд распространяется равномерно по всему материалу, а при соприкосновении с заземлением – мгновенно исчезает.

Очень часто разряды между двумя проводниками происходят в виде искры, и в таком случае они гораздо более опасны, чем разряды, возникающие между проводником и диэлектриком. В случае релаксации заряда между проводником и диэлектриком возникают не искровые, а коронные или кистевые разряды.

Вторая группа материалов –диэлектрики или изоляторы. Если заряд возникает только в месте соприкосновения или разъединения материалов, то такие материалы называются диэлектриками.

Заряженные диэлектрики доставляют заряд в место, где может произойти непосредственный контакт заряда с проводником. Сильно заряженные диэлектрики могут непосредственно инициировать воспламеняющие искры. Жидкости рассматриваются как диэлектрики, если их проводимость менее 50 Пико Сименсов на метр (пСм/м) с периодом релаксации не более 0,35 с. Такие жидкости зачастую называют **аккумуляирующими статическое электричество**. К ним относятся чистые нефти и чистые нефтепродукты (дистилляты), сжиженные газы.

Третья группа представляет собой ряд жидкостей и твердых материалов с промежуточной токопроводностью. Яркий пример – темные нефти, сырые нефти, спирты, ацетон и др.

Возникновение электростатического разряда.

Когда напряженность электрического поля достигает определенной величины, может произойти разряд поля, который имеет различные формы. Для возникновения пламени или взрыва, необходимо, чтобы произошел разряд такой величины, чтобы его энергии хватило для возникновения огня.



3. Основные опасности сжиженных газов

Было установлено, что для воспламенения паровоздушной смеси пропана достаточно, чтобы между электродами произошел разряд с выделением энергии в **0,2 мДж**. Для воспламенения паровоздушной смеси аммиака потребуется разряд в **600** раз мощнее.

Существуют следующие типы электростатических разрядов:

Корона – это ионное излучение голубоватого цвета. Его можно увидеть на острых углах или вантах при некоторых погодных условиях. Это сияние известно под названием «Огни Святого Эльма». Такое излучение не несет в себе достаточно энергии для возникновения пламени.

Северное или полярное сияние – это слабые лучи, сформированные из очень маленьких искр, испускаемых заряженными острыми углами или выступами конструкций в направлении заряженных облаков или тумана. Такое свечение может возникнуть в танках супер-танкеров и также не несет в себе достаточной энергии для возникновения пламени.

Искра – настоящая искра возникает только в том случае, если напряженность электрического поля достигает некоторой критической величины. Ионный луч увеличивается с увеличением напряженности поля, и конечный результат такого увеличения – возникновение искры. При большой величине напряженности поля такой разряд более известен как молния. Однако если мы поместим в электрическое поле заземленный проводник, возникает искровой разряд, достаточный для воспламенения смеси, даже при малых величинах напряженности поля.

Статическое электричество на танкерах.

На танкерах электростатические заряды могут возникать в повседневных технологических процессах, связанных с обработкой груза. В некоторых случаях заряд рассасывается сразу же после его образования, но иногда происходит его аккумуляция, и заряд сохраняется некоторое время, например в тумане жидкостей он может сохраняться до нескольких часов. Поэтому необходимо принимать все меры предосторожности для предотвращения взаимодействия электрических полей и образования электростатического разряда в виде искры.

Все переносное оборудование, которое используется при работе в танках должно быть надежно заземлено ПЕРЕД опусканием его в танк или использованием в опасных зонах.

Образование статических зарядов при перекачке жидкостей.

Рассмотрим возникновение электростатического заряда в трубопроводе и в танках при погрузке грузов, аккумулирующих статическое электричество, которые в большинстве своем являются очень слабыми проводниками электрического тока и могут рассматриваться как изоляторы.

При наполнении трубопровода жидкостью с низкой токопроводимостью происходит взаимодействие жидкости со стенками трубы, что приводит к образованию отрицательно заряженных ионов в слое жидкости, прилегающем к трубопроводу (металлы очень легко отдают свободные электроны). Равновеликий заряд противоположного знака, т.е. положительный одновременно формируется в центре трубы.

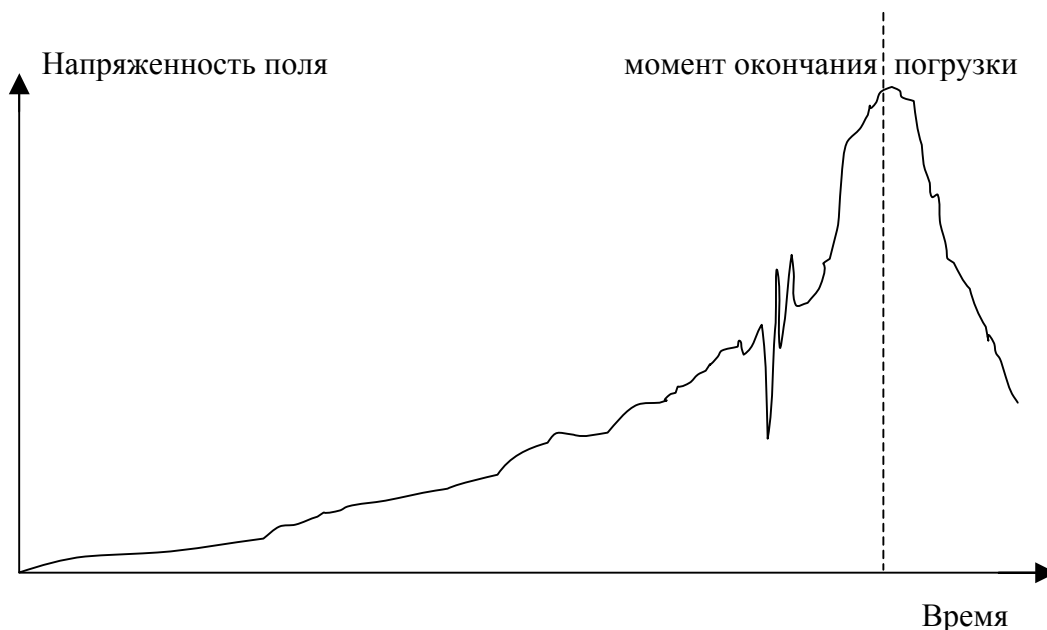


Рис. 1. Зависимость величины электростатического заряда в грузовом танке от времени погрузки.

При движении вязкой жидкости по трубопроводу, происходит послойное разделение потока на фрикционно- взаимодействующие слои с возникновением между ними электрического тока, что в свою очередь приведет к формированию значительного положительного заряда в центре танка, отрицательный же заряд будет истекать из танка по стенкам трубопровода. Такой заряд может оставаться в танке довольно длительное время и при соприкосновении с заземленным проводником, может возникнуть разряд достаточной мощности для воспламенения паров(рис.1).

Наличие свободного воздуха в жидкости.

Наличие в жидкости свободного воздуха (пузырьков) также может привести к образованию электростатического заряда. Рассмотрим механизм образования такого заряда.

Проходя через жидкость, пузырьки обычно несут отрицательный заряд и, лопаясь на поверхности жидкости, они образуют небольшое облачко отрицательного заряда. В случае плохой токопроводности жидкости пузырьки заряжаются положительно и, соответственно, лопаясь на поверхности жидкости, они увеличивают и без того достаточно большой положительный заряд в центре танка.

Распыление или разбрызгивание жидкости, пропарка танка, продувка углекислым газом.

Все эти процедуры приводят к образованию маленьких капелек жидкости в атмосфере танка или, в случае с CO_2 , к образованию микроскопических кристалликов льда. Двигаясь по трубопроводу, жидкость или газ получают заряд статического электричества, и вылетая из сопла при



3. Основные опасности сжиженных газов

распылении, они продолжают нести в себе заряд, который формирует внутри танка облако статического заряда и может сохраняться довольно долгое время. Струя жидкости и более крупные капли несут в себе отрицательный заряд, а мелкие и микроскопические капли, образующие туман, заряжены положительно.

Наличие воды в грузе.

Если во время погрузки происходит смешивание мелких капелек воды с непроводящим электрический ток продуктом, может произойти увеличение статического заряда в центре танка. Это происходит из-за эффекта возникновения двойного слоя заряда вокруг каждой капли воды.

Даже незначительное содержание воды в грузе приводит к 30- кратному увеличению заряда статического электричества в процессе погрузки.

По окончании погрузки вода обычно осаждается на дне танка, и происходит разряд капелек воды при соприкосновении с днищем танка.

Распыление или разбрызгивание жидкости.

Если происходит разбрызгивание или распыление продукта, то даже не несущие заряда микроскопические частицы жидкости, при соприкосновении с поверхностью танка, будут отдавать часть электронов и заряжаться положительно. Возникновение тумана при распылении жидкости приводит к созданию в нем значительного электростатического заряда, который может сохраняться в течение нескольких часов.

Атмосферные электростатические разряды.

При образовании грозовых облаков, происходит формирование значительного электрического поля вокруг них, что может привести к возникновению свечения атмосферы или же возникновению более мощных разрядов – молний. При этом может произойти попадание молнии непосредственно в судно, однако вероятность такого попадания довольно мала, если над судном или вокруг него не происходит образования ионной подушки, которая обычно возникает над судном при истекании газа из танков, т.е. при продувке танков, дегазации и пр.

Поэтому при получении грозового предупреждения не рекомендуется производить дегазацию или продувку танков.

Также следует помнить, что прохождение мощного грозового облака или заряда непосредственно над судном может привести к перераспределению и образованию электрических зарядов из-за воздействия электромагнитных полей.



Шланговка.

При проточке жидкости через грузовой шланг, на его концах – фланцах может происходить формирование весьма значительных электростатических зарядов. И в месте подсоединения грузового шланга к палубному трубопроводу может возникнуть искра достаточной мощности, для того, чтобы вызвать воспламенение груза.

Вот почему все отдельные участки трубопроводов и место соединения грузового шланга с грузовым трубопроводом должны быть соединены между собой специальным проводником, позволяющим избежать образования статических зарядов в концевых участках.

Использование токопроводящих соединений между участками трубопроводов и грузовыми шлангами, приводит к тому, что судно и терминал образуют в некотором роде гальванический элемент, поэтому, при шланговке или отшланговке, может возникнуть электростатический разряд большой мощности. Для предотвращения такой ситуации, необходим постоянный разряд потенциала судно/берег, что осуществляется заземлением корпуса судна и причала.

Соединительный кабель между судном и причалом даст эффект только если его сопротивление будет незначительным, т.е. учитывая зависимость сопротивления от диаметра проводника, можно сказать, что сечение заземляющего или соединительного кабеля должно быть достаточно большим, с тем, чтобы обеспечить нормальный ток зарядов, возникающих между судном и причалом, а также если его подсоединение было произведено до начала шланговки.

Природа электрического тока, проходящего с судна на берег по заземляющему кабелю, принципиально отличается от природы статического электричества. Большие токи могут проходить между судном и берегом по электропроводящим трубопроводам и гибким шлангам. Источниками таких токов являются:

- Катодная защита корпуса судна, обеспечиваемая либо системой постоянного тока, либо расходными анодами.
- Блуждающие токи, возникающие в результате образования гальванической пары между судном и берегом или в результате утечек тока через изоляцию.

Заряды статического электричества возникают при движении груза, аккумулирующего статический заряд по трубопроводам.

Погрузочный стендер, полностью изготовленный из металла, обеспечивает электрическое соединение судна с берегом с очень низким сопротивлением, что создает реальную угрозу возникновения электродугового разряда при разрывании цепи большого тока в районе подсоединения стендера к судовому манифолду. Альтернативным решением может служить включение в береговой или судовой трубопровод (но не в оба сразу) участка без внутреннего электрического соединения (см. рис. 2). В таком случае полностью блокируется прохождение тока через погрузочный стендер или шланг. В то же время вся система является заземленной либо через судно, либо через берег.

Раньше, было принято подключать судно к береговым системам заземления с помощью специального кабеля до подсоединения берегового трубопровода к судовому и отсоединять заземление только после отсоединения грузового шланга.



3. Основные опасности сжиженных газов

На самом деле подключение такого кабеля не имеет ничего общего с накоплением статического электричества.

Таким образом, прилагались усилия закоротить судовые и береговые катодные системы защиты, и снизить разность потенциалов между судном и берегом. Однако из-за большого сопротивления в соединительном кабеле такой метод не является эффективным. Более того, такое соединение может привести к увеличению разности потенциалов и возникновению мощного разряда.

Поэтому изолирование фланцевых соединений от берегового трубопровода было признано как лучшее решение этой проблемы.

Несмотря на то, что ИМО в своих «Рекомендациях по безопасности транспортировки, перегрузке и хранению опасных веществ на территории порта» настаивает на том, чтобы портовые власти отказались от применения соединительных кабелей и приняли во внимание рекомендацию по использованию изолирующих фланцев (см. рис. 3), многие портовые власти всё ещё требуют присоединения судна к береговому заземлению перед началом грузовых операций.

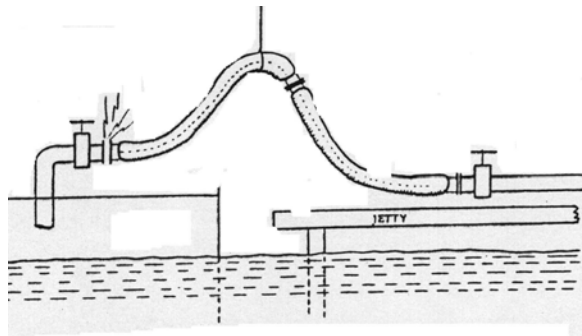


Рис. 2. Возникновение искровых разрядов в процессе шланговки и отшланговки.

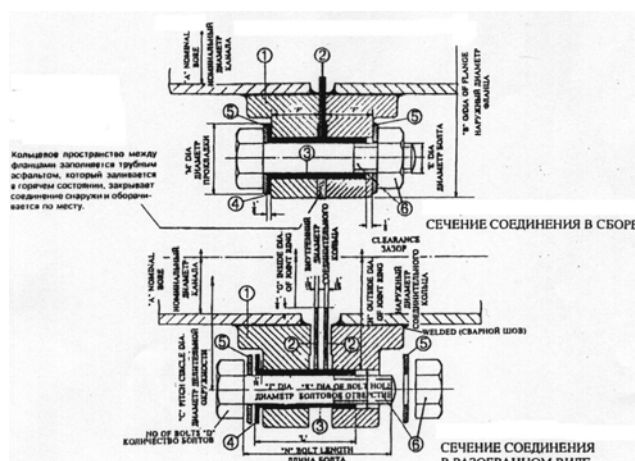


Рис 3. Изолирующий фланец.



Скорость погрузки.

Общепринятый метод уменьшения статического заряда в танке в процессе погрузки – это уменьшение образования такого заряда в начальный период налива, т.е. до тех пор, пока не прекратится образование пузырьков воздуха в грузе и его разбрызгивание.

Начало погрузки рекомендуется осуществлять с такой скоростью, чтобы скорость движения в жидкости в общем трубопроводе к каждому отдельному танку не превышала 1 м/сек.

Причина ограничения скорости налива очень проста. В начальный момент заполнения трубопровода, всегда существует возможность наличия в трубопроводе свободной воды. При смешивании с грузом и попадании в пустой танк такая смесь создает значительный статический заряд. Минимальная скорость налива в начальный период способствует также снижению разбрызгивания груза и его перемешиванию с водой. Когда днищевые конструкции покроются грузом, скорость налива можно увеличивать до максимально допустимой.

Следует помнить, что максимальная скорость налива для грузов, не проводящих электрический ток (аккумулирующих статическое электричество), должна быть не более 7 м/сек, хотя некоторые национальные правила допускают и большую скорость погрузки.

Арматура грузовых танков.

Во время визуального осмотра танков или при регулярных инспекциях всегда следует обращать особое внимание на крепление арматуры и трубопроводов внутри танка. Поскольку любой незаземленный или не имеющий достаточно прочного электрического контакта с корпусом судна предмет (мерительное устройство, трап, трубопровод) могут быть причиной возникновения электростатического разряда. Любой свободно плавающий в грузе токопроводящий предмет, при соприкосновении с переборками танка может вызвать образование искры достаточной мощности для возникновения взрыва или пожара.

Поэтому к статическому электричеству надо относиться весьма и весьма серьезно и принимать все меры предосторожности, чтобы избежать возникновения электростатического разряда. А случаи возникновения взрывов и пожаров от пренебрежения мерами по предотвращению образования статических зарядов довольно часты и по большей своей части трагичны (взрыв танкера «Людвиг Свобода» в п. Вентспилс в 1983 году).

Пожароопасность.

Пожароопасность груза определяется так называемыми «постоянными опасностями». К таким характеристикам относятся прежде всего:

- Давление насыщенных паров;
- Температура вспышки;



3. Основные опасности сжиженных газов

- Пределы воспламенения;
- Плотность.

Истинное давление паров (ИДП).

Нагляднее всего можно рассмотреть понятие истинного давления паров на примере сырой нефти, поскольку именно она является смесью самого широкого спектра углеводородов. Температура кипения этих углеводородов изменяется в диапазоне от -162°C (метан) до значений, намного превосходящих $+400^{\circ}\text{C}$, а летучесть, т.е. способность их к испарению, зависит прежде всего от содержания в грузе легко испаряющихся компонентов. Летучесть продукта характеризуется давлением насыщенных паров. Когда смесь углеводородов перекачивается в пустой дегазированный танк, она начинает испаряться, т. е. пары начинают заполнять свободное пространство танка.

Давление насыщенных паров беспримесного соединения зависит только от температуры, а давление паров смеси зависит от температуры её компонентов, объёма газового пространства, в котором происходит её испарение, или иными словами оно зависит от отношения объёмного содержания газа в жидкости и в образующемся паре (см. главы 6,7).

Истинное давление паров (ИДП) или давление насыщенных паров, соответствующее температуре кипения, является НАИБОЛЬШИМ давлением паров для данного груза при любой заданной температуре.

ИДП является надежным показателем летучести продукта. К сожалению, этот показатель очень трудно измерить, хотя и возможно, если известен точный фракционный состав жидкости.

Для нефтепродуктов существует надежный метод, позволяющий определить ИДП с помощью измерений температуры и давления паров по РЕЙДУ.

Давление паров по Рейду.

Определение давления паров по Рейду (ДПР) – простой и наиболее широко используемый метод определения степени относительной летучести жидких нефтепродуктов.

ДПР определяется специальным прибором. Жидкость помещается в специальный герметичный контейнер, нагревается на водяной бане до $37,8^{\circ}\text{C}$ и измеряется превышение давления в барах. Этот метод полезно использовать для сравнения летучести широкого спектра жидких нефтепродуктов.

Воспламеняемость.

В процессе горения пары углеводородов взаимодействуют с кислородом, содержащимся в воздухе, образуя двуокись углерода и воду с выделением тепла. В процессе данной реакции происходит выделение такого количества тепла, которого достаточно для образования видимого пламени. При этом происходит нагревание поверхности жидкости и выделение дополнительного

3. Основные опасности сжиженных газов



количества паров, достаточного для поддержания горения. В таком случае говорят, что жидкость горит, хотя на самом деле, горят выделяемые ей пары.

Температура воспламенения (вспышки).

Так как смеси углеводорода с воздухом являются воспламеняющимися только в пределах узкого диапазона, то в принципе, существует возможность определения воспламеняемости путем измерения давления паров. В нефтяной промышленности используют два основных метода определения воспламеняемости нефтепродуктов.

Один из них – это определение давления паров по Рейду, а другой – определение температуры вспышки, с помощью которой воспламеняемость определяется непосредственно (за исключением мазутов). При таком испытании проба жидкости постепенно нагревается в специальном тигле, а небольшое пламя через определенные интервалы времени однократно и кратковременно подносится к поверхности жидкости.

Температура воспламенения (вспышки) - это наименьшая температура, при которой над поверхностью жидкости образуется достаточное количество паров для воспламенения смеси паров с воздухом при наличии открытого источника пламени.

Существует множество приборов для определения температуры вспышки, но все они делятся на 2 типа.

При использовании приборов первого типа, поверхность жидкости постоянно контактирует с атмосферой, в результате чего получают, так называемую, «температуру вспышки в открытом тигле».

При использовании приборов второго типа, пространство над жидкостью держится закрытым. В результате чего определяют «температуру вспышки в закрытом тигле».

Из-за того, что при определении температуры вспышки в открытом тигле происходит некоторое рассеивание паров жидкости, эта температура будет на несколько градусов (около 6°C) выше, чем при определении её в закрытом тигле. Метод по определению температуры вспышки в закрытом тигле наиболее точен и поэтому его использование предпочтительнее.

Температура возгорания.

Температура возгорания – это температура, при которой скорость образования паров над поверхностью жидкости при атмосферном давлении является достаточной для того, чтобы обеспечить горение паров в течение как минимум 5 секунд после того, как источник воспламенения будет удален из зоны горения.

Обычно температура возгорания на 20-25°C выше, чем температура вспышки.



3. Основные опасности сжиженных газов

Температура самовоспламенения.

Температура самовоспламенения – это минимальная температура, при которой происходит воспламенение смеси паров с воздухом без воздействия источника воспламенения.

Взрывоопасные пределы.

Смесь паров углеводородов и воздуха не может воспламениться даже при наличии внешнего источника пламени, если не будут соблюдены некоторые условия.

- Во – первых, концентрация паров должна лежать во взрывоопасных пределах, т.е. смесь воздуха и паров углеводородов должна воспламениться при наличии внешнего источника пламени.

Минимальная концентрация паров углеводорода, при которой возникает смесь, способная воспламениться при наличии открытого источника огня, называется нижним пределом взрываемости или нижним пределом воспламенения (НПВ).

При концентрации паров ниже НПВ, газовая смесь называется «бедной», т.е. паров углеводородов недостаточно, для возникновения пламени. Если же концентрация паров превышает некоторый предел, при котором смесь не может воспламениться из-за недостатка кислорода, смесь называется «богатой».



Рис4. Взрывоопасные пределы.

Точка перехода взрывоопасной концентрации в богатую смесь – это и есть верхний предел взрываемости или верхний предел воспламенения ВПВ.

Максимальная концентрация паров в смеси с воздухом, при которой возможно воспламенение смеси при наличии источника воспламенения, называется Верхним Пределом Взрываемости или Верхним пределом Воспламенения (ВПВ).

Эти пределы определяются в нормальной атмосфере воздуха, т.е. при наличии в ней 21 % кислорода объёмной концентрации.

- Во вторых, содержание кислорода в атмосфере воздуха должно быть достаточным для поддержания процесса горения или взрыва.

Экспериментальным путем было установлено, что воспламенение паров углеводородов в смеси с воздухом невозможно, если объёмное содержание кислорода в смеси ниже, чем 10,8 %.

3. Основные опасности сжиженных газов



Пожарную опасность представляет одновременное наличие трех составляющих пожарного треугольника:

- Горючего вещества;
- Кислорода;
- Источника пламени.

Отсутствие одного из этих элементов позволяет предотвратить опасность возникновения пожара.

В нашем случае горючее вещество – это и есть взрывоопасная концентрация паров углеводородов. С точки зрения безопасности, не следует допускать возникновения ситуации, когда концентрация паров газа и содержание кислорода в атмосфере танка будут находиться во взрывоопасных пределах. То есть продувку атмосферы танка воздухом следует производить только в том случае, если концентрация паров находится слева от затененной части диаграммы.

Если же атмосфера танка находится в зоне богатой смеси и возникает необходимость продувки танка воздухом, то такую продувку сначала производят инертным газом или азотом до того момента, пока концентрация паров на диаграмме воспламеняемости не переместится в левую её часть и, только после этого в танк можно подавать воздух.

Для сырой нефти (которая является смесью огромного числа различных соединений углеводородов) диапазон воспламенения определяется от 1% до 10% процентов объёмного содержания паров углеводородов в атмосфере воздуха с концентрацией кислорода в нем не менее 21%.

Пределы воспламенения меняются для различных беспримесных углеводородов, а также для газовых смесей. Даже газовые смеси над поверхностью сырой нефти, моторных и авиационных бензинов и природных продуктов типа газolina, очень приближенно могут быть представлены наличием в них (газах) паров пропана, бутана и пентана. Ниже приведена таблица пределов взрываемости для этих газов, а также степень их разбавления воздухом до безопасных пределов.

Газ	Пределы воспламенения газа в воздухе в % по объёму		Во сколько раз следует разбавить воздухом смесь, содержащую 50% газа по объёму, для приведения её к НПВ
	нижний	верхний	
Пропан	2,2	9,5	23
Бутан	1,9	8,5	26
Пентан	1,5	7,8	33

Таблица 1. Пределы воспламенения некоторых грузов и степень их рассеивания в воздухе.

Влияние инертного газа на воспламенение.

Если инертный газ добавляется в смесь паров углеводородов с воздухом, то в результате изменения содержания кислорода в смеси, происходит повышение НПВ и снижение ВПВ. Для наглядности рассмотрим диаграмму пределов взрываемости. Каждое состояние смеси паров углеводородов, воздуха и инертного газа может быть представлена на диаграмме (рис. 5 - 6) точкой,



3. Основные опасности сжиженных газов

координаты которой, соответственно – содержание кислорода и содержание паров углеводородов.

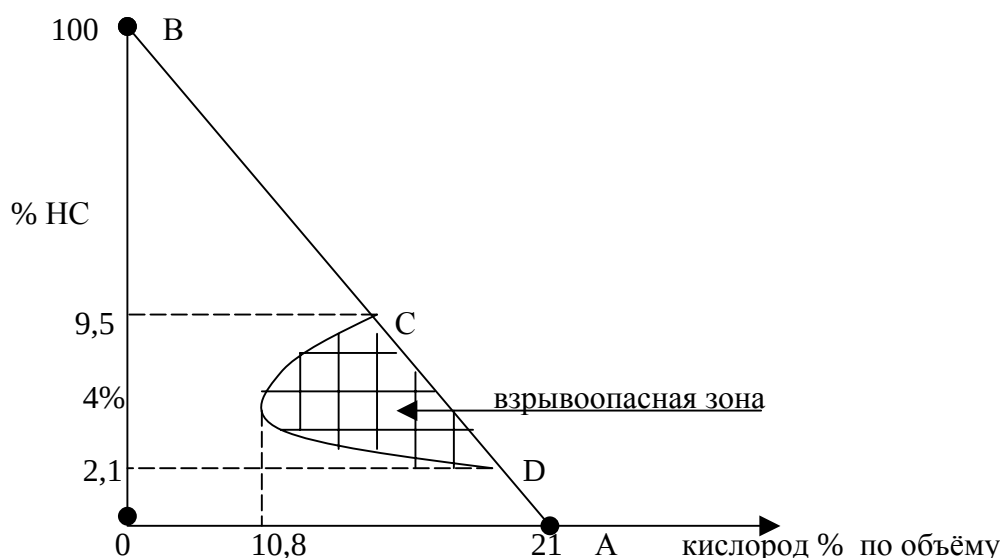


Рис. 5. Диаграмма пределов воспламенения

Смеси паров углеводородов с воздухом, не содержащим инертный газ, представлены на линии АВ, наклон которой указывает на снижение содержание кислорода по мере увеличения содержания паров углеводородов. Область диаграммы слева от АВ представляет собой смеси, содержание кислорода в которых, снижается за счет вытеснения воздуха инертным газом. Нижний и верхний пределы воспламенения представлены точками (D)НПВ и (C)ВПВ. По мере увеличения содержания ИГ предел воспламенения меняется.

Изменения газового состава представлены прямыми (рис.6), направленными к точке А (чистый воздух), или же к точке, расположенной на оси содержания кислорода, отражающей содержание кислорода в инертном газе. По мере того, как инертный газ добавляется в смесь паров углеводородов с воздухом, диапазон воспламенения постепенно уменьшается до тех пор, пока содержание кислорода не достигнет уровня, обычно принимаемого равным **10,8%** по объёму, при котором ни одна из смесей углеводородов с воздухом гореть не может.

Однако Международные правила устанавливают максимально разрешенную концентрацию кислорода в грузовых помещениях (при которой атмосфера внутри танка считается взрывобезопасной) НЕ БОЛЕЕ 8% ПО ОБЪЁМУ.

Когда инертная смесь разбавляется воздухом (рис.6), то её состав меняется по линии ЕА и таким образом смесь достигает взрывоопасных концентраций. Это происходит при всех разбавлениях смеси воздухом, если

3. Основные опасности сжиженных газов



концентрация углеводородов в смеси находится выше точки F. При достижении точки F разбавление воздухом смеси является безопасным.

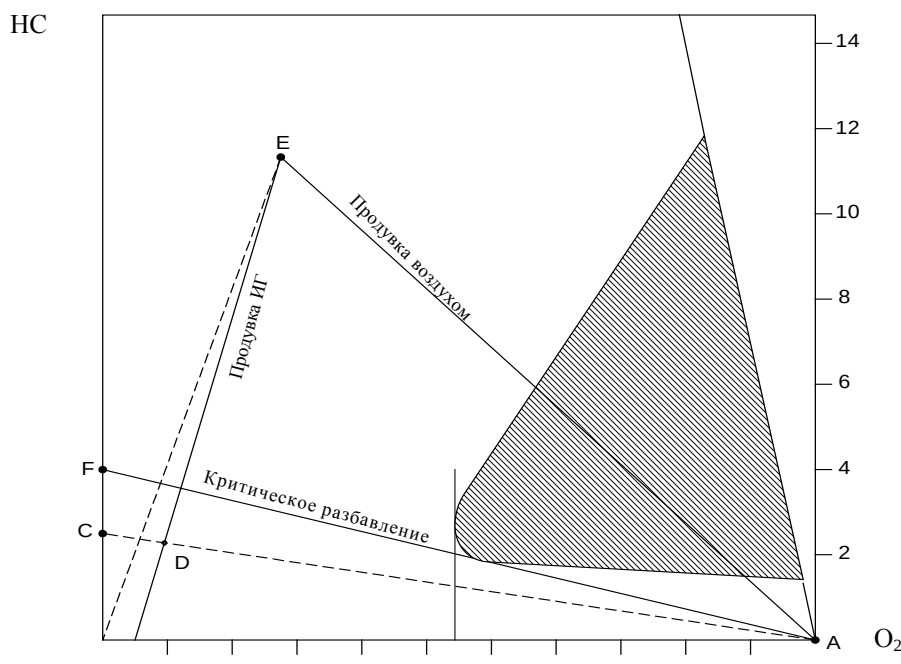


Рис. 6. Влияние ИГ на воспламеняемость.

Международная классификация опасных грузов.

Существует множество схем деления всего диапазона опасных грузов на различные классы воспламеняемости с учетом давления паров и температуры вспышки. Обычно рассматривается возможность образования равновесной воспламеняющейся смеси газа с воздухом над жидкостью в тот момент, когда температура жидкости равна температуре окружающей среды. Но в большинстве случаев достаточно деления всех нефтепродуктов на 2 основных класса: летучие и нелетучие нефтепродукты.

- **Нелетучие** нефтепродукты имеют температуру вспышки в закрытом тигле более 60°C. Такие жидкости при любой обычной температуре образуют равновесные концентрации газа НИЖЕ НПВ. К таким продуктам можно отнести дистиллятные виды нефтепродуктов, тяжелые газовые масла, дизельное топливо. Их давление паров по Рейду находится ниже 0,007 бар.
- **Летучие** нефтепродукты имеют температуру вспышки в закрытом тигле ниже 60°C. Некоторые из таких жидкостей могут образовывать равновесные концентрации газов в пределах взрываемости, однако большая часть летучих нефтепродуктов создает такие концентрации в диапазоне ВЫШЕ ВПВ. Примерами таких продуктов являются сжиженные газы, бензины, керосины и большинство сырых нефтей.

На практике все летучие нефтепродукты, кроме нефтяных газов перегружаются до того, как установится равновесное состояние газовой смеси, и тогда такие смеси могут находиться в диапазоне пределов взрываемости.



3. Основные опасности сжиженных газов

Выбор значения температуры вспышки 60°C в качестве критерия, является несколько произвольным. Так как для нелетучих нефтепродуктов требуется соблюдение менее строгих мер предосторожности, чем для летучих, очень важно, чтобы ни при каких обстоятельствах, жидкость образующая взрывоопасную концентрацию паров с воздухом, не включалась в категорию нелетучих нефтепродуктов.

Таким образом, линию, разграничивающую эти категории нефтепродуктов, необходимо выбирать с учетом всех возможных погрешностей в определении фракционного состава продукта и его температуры вспышки.

Значение температуры вспышки, определенное в закрытом тигле 60°C, в полной мере учитывает такие ошибки и согласовывается со многими международными и национальными требованиями в отношении классификации нефтепродуктов.

Классификация опасных грузов по USCG.

US Coast Guard дает более гибкую классификацию углеводородов в зависимости от давления паров и температуры вспышки:

- **Категория А** – взрывоопасные жидкости с давлением паров (по Рейду) 14 psi;(0,965 бара)
- **Категория В** – взрывоопасные жидкости с давлением паров более 8,5 psi,(0,586 бар) но менее 14 psi;
- **Категория С** – взрывоопасные жидкости с давлением паров менее 8,5 psi и температурой вспышки 80°F(+27°C) или ниже;
- **Категория D** – горючие жидкости с температурой вспышки выше 80°F, но ниже 150°F(+65°C);
- **Категория E** – горючие жидкости с температурой вспышки более 150°F;

Все грузы, которые перевозятся на газовозах, являются летучими и соответствуют категории А, поэтому их перевозка требует наивысших мер предосторожности. (psi – pounds per square inch- фунты на квадратный дюйм 1 psi = 0,68948 bar).

Классификация опасных грузов по национальным правилам.

Большинство европейских стран при классификации углеводородов по степени опасности также учитывают не только температуру вспышки груза, но и давление насыщенных паров. В соответствии с правилами GL (Germanischer Lloyd) все опасные грузы делятся на следующие классы:

К0 – Горючие жидкости, которые при температуре +37,8 ° C (100 F) имеют давление паров (по Рейду) более 1 бара. К этому же классу опасности относятся и сжиженные газы, которые перевозятся под давлением при температуре окружающей среды.

К1 - Горючие жидкости, которые при температуре +37,8 ° C имеют давление паров (по Рейду) в диапазоне от 0,35 бара до 1 бара, а температуру вспышки не выше + 21° C.

3. Основные опасности сжиженных газов



К2- Горючие жидкости, имеющие температуру вспышки в диапазоне от +21° С до +55° С.

К3 - Горючие жидкости с температурой вспышки свыше +55° С.

В таблице 2 приведены значения пределов воспламенения и критических температур некоторых сжиженных газов.

Плотность паров углеводородов.

Плотность большинства неразбавленных воздухом смесей газов, перевозимых морем, выше плотности воздуха (Таблица 3). Поэтому, при перегрузочных операциях, возникают ситуации, когда эффект слоистости смеси паров с воздухом может привести к возникновению опасных концентраций. Рассмотрим значения плотности 3-х основных углеводородных газов, которые в основном выделяются сырой нефтью и многими нефтепродуктами.

Таблица 2. Характеристики пожароопасности сжиженных газов.

Сжиженный газ	Температура вспышки (° С)	Пределы воспламенения (% по объёму)	Температура самовоспламенения (° С)
Метан	-175	5.3 – 14	595
Этан	-125	3.1-12.5	510
Пропан	-105	2.1-9.5	468
n-Бутан	-60	1.8-8.5	365
i-Бутан	-76	1.8-8.5	500
Этилен	-150	3.0-32	453
Пропилен	-180	2.0-11.1	453
Бутилен	-80	1.6-9.3	440
Бутадиен	-60	2.0-12.6	418
Изопрен	-50	1.0-9.7	220
VCM	-78	4.0-33.0	472
Этилен оксид	-18	3.0-100	429
Пропилен оксид	-37	2.8-37.0	465
Аммиак	-57	16.0-25.0	615
Хлор	Негорюч		

Таблица 3. Плотности насыщенных паров некоторых газов и плотности 50%-ной смеси паров и воздуха.

Газ	Плотность кг/м³ при +15 ° С	
	100%	50% (смесь с воздухом)
Пропан	1,55	1,25
Бутан	2,0	1,5
Пентан	2,5	1,8

Как можно видеть, плотность насыщенных паров газа, выделившегося из такого продукта, как бензин(характеризуется наличием бутана в паровой фазе), будет превышать плотность воздуха приблизительно в 2 раза, а плотность газа, выделившегося из обычной сырой нефти (характеризуется в основном



3. Основные опасности сжиженных газов

присутствием паров пропана) – приблизительно в 1,5 раза. Величины этих плотностей довольно высоки, но эффект слоистости возникает только тогда, когда газ остается в концентрированном состоянии. При разбавлении газа воздухом, плотность смеси приближается к плотности воздуха, а в диапазоне нижнего предела взрываемости плотность смеси паров и воздуха примерно равна плотности воздуха.

Токсичность сжиженных газов и сопутствующих веществ.

Все грузы, перевозимые на газовозах, оказывают различное воздействие на человеческий организм. В информационном листе о грузе обязательно указывается его степень его вредного воздействия на организм. Токсичные вещества могут присутствовать в атмосфере в форме пыли, паров, дыма, жидкости или газов.

Токсичность – это способность вещества оказывать вредное воздействие на биологические ткани организма.

В настоящее время существует целая отрасль в медицинской науке, занимающаяся изучением воздействия токсичных или ядовитых веществ на организм, которая называется ТОКСИКОЛОГИЕЙ.

Таблица 4. Значения ПДК (предельно допустимой концентрации) некоторых газов.

Название	100% Предел запаха (ppm)	ПДК
		(ppm)
METHANE	n.d.	1000
ETHANE	1.500	1000
PROPANE	11.000	1000
N-BUTANE	5.000	800
I-BUTANE	2	800
ETHENE	800	1000
PROPENE	80	1000
1-BUTENE	0,07	1000
CIS-2-BUTENE	0,6	1000.
TRANS-2-BUTENE	0,6	1000
1,3-BUTADIENE	(0,1 - 2)	2
VINYLCHLORIDE	(1.500 - 10.000)	5
AMMONIA	(0,001 - 90)	25

3. Основные опасности сжиженных газов



На основании исследований были разработаны правила и нормы по обращению с ядовитыми и вредными веществами, а также проведена классификация вредных веществ по степени их воздействия на организм. Такое воздействие может привести как к **ОСТРЫМ** так и к **ХРОНИЧЕСКИМ** отравлениям организма.

Острые отравления вызываются наличием в атмосфере такой концентрации токсинов или паров углеводородов, которая создает немедленный эффект отравления, т.е. воздействие на организм дает результат в течение ближайших 24 часов.

Хронические же отравления возникают при воздействии на организм незначительных концентраций токсичных веществ, которые не вызывают немедленной реакции организма, но могут аккумулироваться в организме человека и вызывать отрицательное воздействие через довольно продолжительный промежуток времени – до нескольких лет.

Если воздействие веществ, вызывающих хронические отравления не оказывает видимого воздействия на организм, то многие токсины вызывают ощутимое воздействие даже при незначительных концентрациях.

Предельно допустимая концентрация (ПДК).

Для количественного определения токсичности того или иного вещества используется понятие предельно допустимой концентрации . Термин ПДК используется в промышленности уже многие годы

ПДК определяется как максимальное содержание токсичного вещества в воздухе, при котором не происходит вредного воздействия этого вещества на организм в течение 8 часов в день и 40 часов в неделю.

В настоящее время всё чаще употребляют понятие «**предельно допустимая продолжительность воздействия**» под которым подразумевается максимальное по продолжительности воздействие токсичного вещества, допускаемого соответствующим регулирующим органом.

ПДПВ обычно выражается как среднее взвешенная продолжительность воздействия в течение любого выбранного периода времени продолжительностью 8 часов или допустимое краткосрочное воздействие (ДКВ), которое обычно выражается как максимальное усредненное воздействие токсичного вещества в воздухе в течение любого периода времени продолжительностью 15 минут.

Воздействие на организм ДКВ или же STEL (Short Time Exposure Limit) концентраций допускается не более, чем 4 раза в сутки, с интервалом не менее чем 1 час между каждым воздействием. Продолжительность 15 мин выбрана лишь по тому соображению, что за такой период времени в организме не наступает необратимых последствий вредного воздействия токсинов.



3. Основные опасности сжиженных газов

Обе эти величины выражаются в миллионных частях по объёму газа в воздухе. Например, для пропана ПДК = 1.000 ppm, а для VCM – всего лишь 1 ppm.

Однако воздействие вредных веществ на организм человека различно и зависит от различных факторов. Многие международные и национальные организации выработали нормативы предельно допустимой концентрации на рабочем месте (МАК – *Maksimmale Arbeitsplatz Konzentration*)

Помимо предельно допустимой концентрации есть еще и **предельно опасная концентрация**.

Предельно опасная концентрация – это такая концентрация вредных веществ в атмосфере, при которой возникает немедленная и необратимая опасность для жизни или здоровья человека.

Многие вещества имеют порог запаха или порог чувствительности. Обычно величина порога чувствительности несколько выше, чем ПДК, но многие вещества обладают своеобразным воздействием на органы обоняния и при достаточной концентрации выше ПДК, можно не ощутить запаха.

По степени воздействия вредных веществ на организм и путям их проникновения, все вредные вещества можно разделить на:

- Легкоиспаряющиеся жидкости, которые проникают в организм при вдыхании и, попадая в кровь, вызывают повреждения головного мозга.
- Вещества, попадание в организм которых, может произойти через рот и пищевод. Такое может случиться при вдыхании аэрозолей газа или жидкости.
- Вещества, которые проникают в организм через кожу, а затем, впитываясь в кровь, могут привести к поражению нервной системы.
- Вещества, вызывающие раздражения, повреждения и ожоги кожи и мягких тканей.

Токсины, которые воздействуют на головной мозг, обычно исключают из работы некоторые мозговые центры на короткий или длительный промежуток времени. Основное воздействие токсины оказывают на верхние мозговые центры и кору больших полушарий. Такое воздействие характерно для многих веществ, обладающих наркотическим эффектом, в частности, к таким веществам относятся все предельные углеводороды.

По окончании воздействия токсичные молекулы могут быть выведены из организма через печень и почки, соответственно прекращается и блокирование мозговых центров. Однако некоторые вещества не выводятся из организма и повторное их воздействие может привести к непоправимым повреждениям мозга.

Особо опасные вещества, проникая в кровь, способны вызвать паралич центральной нервной системы, что в принципе влечет за собой смерть. Для характеристики особо опасных веществ применяются КРИТЕРИИ ОПАСНОСТИ, которые учитывают также давление паров вещества, его растворимость и плотность.

Например, при оценке опасности для дыхательных паров величина **смертельной концентрации (СК₅₀)** будет давать относительное представление о токсичности паров, но для оценки реальной опасности необходимо также рассматривать данные о летучести и запахе вещества. Продукты, которые являются летучими и отличаются слабыми признаками, указывающими на



вредность их паров (хлороформ, бензол), представляют большую опасность, чем те, которые характеризуются низким давлением паров при температуре окружающей среды и отчетливым запахом (пропионовая кислота, этаноламин). Следует также учитывать продукты с более высоким показателем $СК_{50}$, если их плотность ниже плотности воды и если они отличаются пониженной растворимостью, так как в случае разлива из поврежденной емкости они держатся на поверхности воды долгое время и представляют собой значительно большую опасность, чем те, которые растворяются в воде или тонут.

Помимо объёмной концентрации вредных веществ в атмосфере, немаловажное значение имеют и пути проникновения токсинов в организм, а также возраст и пол пострадавшего.

Возраст.

В отличие от молодого организма, организм людей старшего возраста имеет различия и в системе кровообращения, и мускулатуре, и в системе обмена веществ. Эти отличия могут вызывать и отличия в воздействии вредных веществ в целом на организм. Например, дети имеют более частое и глубокое дыхание, чем старики, поэтому они менее чувствительны к возбуждающим средствам и более чувствительны к депрессантам. Особенно восприимчивы младенцы, механизм защиты легких у которых, еще не сформировался.

Пол.

Некоторые токсины могут быть более опасными для женщин, чем для мужчин, поскольку, в женском теле, например, содержится больше жировой клетчатки и, соответственно больше возможностей для накопления в организме веществ, растворимых в жирах.

Научно установлено, что многие вещества, вызывающие рак или другие заболевания, зависят напрямую от пола.

Классификация токсинов

Все вредные вещества, по степени их воздействия на организм, можно разделить на следующие группы:

- Яды (цианиды, синильная кислота...);
- Аллерогены (некоторые чистящие агенты);
- Коррозионные вещества (метил-бромид, метил-хлорид, кислоты);
- Ирританты, т.е. вызывающие раздражение дыхательных путей (аммиак, хлор);
- Канцерогены;
- Мутагены;
- Тератогены.

Типичные токсины, вызывающие острые отравления – это яды, аллерогены, коррозионные вещества и ирританты. Типичные токсины, вызывающие хронические отравления – это канцерогены, мутагены и тератогены.

Канцерогены.



3. Основные опасности сжиженных газов

К основным вредным веществам группы канцерогенов, относятся те, которые при длительном воздействии на организм в малых концентрациях, могут привести к возникновению раковых клеток в различных органах человека. Однако некоторые канцерогены особо опасны даже при единичных воздействиях в малых дозах.

К основным веществам этой группы можно отнести:

- Эфиры;
- Винил хлориды;
- Спирт (этиловый и метиловый);
- Фенол;
- Асбест.

Для некоторых элементов этой группы концентрация их в атмосфере должна быть довольно высока, чтобы даже при длительном воздействии, оказать влияние на организм, а для некоторых, такая концентрация может быть близкой к нулю.

Мутагены.

К таким веществам относятся, прежде всего, химические вещества, которые могут оказывать воздействие на биологическую структуру молекулы **ДНК**, что в свою очередь приводит к изменению генного кода и возможным мутациям, т.е. отклонениям от нормы. Основные элементы, воздействующие на строение человеческой ДНК, следующие:

- Этилен-оксид – вещество, которое часто используется в медицине для стерилизации;
- Ионизирующая радиация;
- Перекись водорода, используемая как отбеливающее или обесцвечивающее средство;
- Бензол, промежуточный химический продукт;
- Гидразин – присадка, используемая в ракетном топливе.

Изменения, в структуре ДНК, возникшие при отравлении мутагенами, передаются по наследству.

Тератогены.

К таким веществам относятся те, эффект от воздействия которых, может не проявиться никаким образом у взрослого человека, однако оказывает необратимые воздействия на зародышевые образования. Основные тератогены:

- Различные газы, используемые при общем наркозе, и анестезии;
- Органические соединения ртути;
- Ионизированное излучение;
- Вещества, вызывающие заболевание краснухой;
- Соединения таллия.

Пути проникновения токсинов в организм.

Пути, по которым отравляющие вещества могут проникнуть в организм человека, также различны, как и различны виды их воздействия на организм.

3. Основные опасности сжиженных газов



Например, концентрация веществ попавших в организм человека при дыхании, может вызвать отравление. Однако, попав на кожу, при такой же концентрации, вещество не оказывает никакого вредного воздействия.

Ингаляция (вдыхание).

При выбросе газа, существует, прежде всего, опасность задохнуться от недостатка кислорода. Минимальное содержание кислорода в воздухе, при котором человек начинает ощущать нехватку кислорода – 19,5 %. Если же содержание кислорода в воздухе падает ниже 16 % то происходят непоправимые изменения состава крови, что влечет за собой серьезные последствия для организма.

Вдыхание незначительных концентраций паров вещества, позволяет ему непосредственно воздействовать на слизистые оболочки носоглотки, трахею и легкие и попадать в кровь.

Воздействие вредных веществ на слизистые оболочки вызывает их раздражение, но в некоторых случаях (например, при воздействии хлора) происходит ожог слизистых и их отек.

При проникновении вредных веществ через легкие в кровь происходит распространение токсинов по всему организму и воздействие их на организм будет различным. Некоторые токсины оказывают непосредственное воздействие на дыхательные органы и могут вызвать затруднение дыхания или спазмы. Некоторые вещества, не являющиеся сами раздражителями, могут вызвать аллергическое воздействие с таким же эффектом.

Глотание.

Глотание вредных веществ, также позволяет токсинам непосредственно воздействовать на внутренние органы: рот, глотку, пищевод, желудок и кишечник. Однако такой вид проникновения токсинов в организм возможен только при особых обстоятельствах, например, при впрыскивании токсина под большим давлением непосредственно в рот пострадавшему (попадание в струю груза) или же при сознательном употреблении (метанол можно перепутать по запаху с этиловым спиртом).

В процессе обычной эксплуатации танкера, попадание значительного количества жидких нефтепродуктов в пищевод при глотании маловероятно. Нефтепродукты имеют низкую токсичность при попадании в рот. Но в результате их глотания появляются ярко выраженные ощущения дискомфорта и тошнота. И в таком случае существует вероятность попадания жидких нефтепродуктов в легкие во время рвоты, что может привести к серьезным последствиям, особенно если в пищевод попадут высоколетучие продукты, такие как бензин и керосин.

Адсорбция.

Адсорбция вредных веществ на кожные покровы человека, также может привести к отравлению организма. Некоторые вещества вызывают раздражение кожи, а некоторые впитываются в кровь через поры. Поэтому все, кто



3. Основные опасности сжиженных газов

занимается операциями с грузом, должны быть одеты в соответствующую защитную одежду.

При контакте с кожей, многие грузы, особенно те, которые обладают летучими свойствами, могут вызвать обезжиривание и раздражение кожи, что может привести к дерматитам. При продолжительном контакте некоторых видов тяжелых масел с кожным покровом, могут возникнуть его серьезные повреждения и нарушения его функций.

Всегда следует избегать непосредственного контакта с грузом путем использования защитной одежды, перчаток и очков. Ношение защитной одежды снижает степень воздействия вредных веществ на кожу, однако грязную одежду необходимо немедленно снять, чтобы минимизировать время воздействия. При попадании вредных веществ на кожу необходимо также немедленно смыть вредные вещества под душем, которые специально установлены на грузовой палубе.

Инъекция (Впрыскивание).

Впрыскивание имеет место при контакте вредных веществ с поврежденной кожей, т.е. когда возникает непосредственный контакт токсина с кровью человека, например, при разрыве кожных покровов струей газа под высоким давлением..

Термальное воздействие сжиженных газов.

В случае аварийного выброса грузов (протечки на манифолде, на компрессорах, насосах и т.д.) может произойти непосредственный контакт груза с кожей. При контакте со сжиженными газами в этом случае возникает «холодный ожог», симптомы которого точно такие же как и при обычном ожоге, а при контакте с коррозирующими жидкостями возникает химический ожог.

Легкий контакт с кожей обычно вызывает покраснение и раздражение кожи, тогда как более длительный контакт может вызвать ожоги различной степени тяжести или же полное разрушение кожного покрова.

Обморожение кожи также делится на категории по степени повреждений кожи и реакции кожи во время и после контакта. При воздействии низких температур кожа сначала становится белой, затем красной, потом сине-красной и только после этого возникает сморщивание кожи и появление волдырей. При термальном воздействии, происходит отключение болевых центров в районе пораженного участка из-за разрушения нервных окончаний. Поэтому холодные ожоги наиболее опасны.

Болевой шок может быть вызван даже без видимых повреждений организма и в некоторых случаях может привести к смерти. Наиболее серьезные последствия холодного ожога – разрушение подкожной жировой клетчатки. В этом случае кожа становится сухой и ломкой. При этом открывается путь бактериям и микробам для проникновения в организм и. увеличивается время заживления ран. Большие участки поврежденной кожи приводят к значительному обезвоживанию организма и смерти.

Воздействие токсинов на глаза.



Глаза являются, пожалуй, наиболее чувствительными органами человека к воздействию токсинов. Поэтому важно во время грузовых операций защищать глаза специальными защитными очками. Однако многие газы, даже не имея непосредственного контакта с глазами, вызывают слезоточивый эффект. Значительные серьезные повреждения может вызвать воздействие газов на роговицу глаз. Помимо рези и сильной боли, маленькие частицы газа могут проникать через мембрану, что в свою очередь приводит к потере зрения. Однако при неправильном оказании первой помощи, даже простое воспаление может вызвать в последствии потерю зрения или глаз.

Токсичное воздействие различных грузов.

Грузы, которые перевозятся на борту газовоза, при их утечке могут оказывать опасное воздействие на организм членов экипажа. Поскольку протечки груза могут происходить не только в виде паров или газов, но и в виде жидкости, всегда возникает опасность обморожения участков кожи, при контакте с жидкими газами или опасность отравления при вдыхании паров.

Небольшие утечки во время обработки груза могут также привести к значительным отравлениям. Поскольку многие газы являются токсичными, то наличие их утечек необходимо избегать. Типичным примером отравлений, которые возникают даже при очень незначительных утечках, являются отравления при перевозке VCM, которые происходят при регулярной и продолжительной работе с грузом.

Многие вещества, при смешивании с воздухом, образуют новые химические соединения, которые могут быть во сто крат опаснее самого вещества. Такие грузы должны содержать в своем составе ингибиторы, которые не позволяют веществу активно реагировать с кислородом воздуха. Грузы, которые не имеют запаха (пропан) при транспортировке должны содержать специальные добавки, присутствие которых даже в незначительном количестве позволяет определить протечки груза.

Некоторые нетоксичные газы при воздействии высоких температур могут также вступать в реакцию с кислородом с образованием новых химических соединений, которые в свою очередь представляют опасность для организма. Высокая температура также вызывает повышение давления газов, что в свою очередь может привести к повреждению трубопроводов или иных судовых устройств и механизмов.

Если в качестве изоляции танков используется полиуретан, то необходимо помнить, что при воздействии огня или высоких температур он способен выделять ядовитые газы.

Рассмотрим опасности, которые возникают при транспортировке наиболее часто перевозимых грузов.

Нефтяные газы.

Нефтяные газы оказывают в основном наркотическое воздействие, т.е. блокируют некоторые участки коры головного мозга. К симптомам такого отравления относятся:

- Головная боль;
- Головокружение;



3. Основные опасности сжиженных газов

- Раздражение слизистой оболочки глаз;
- Снижение чувства ответственности;
- Чувство опьянения.

При высоких же концентрациях газа, наступает паралич, потеря сознания и летальный исход.

Степень токсичности нефтяных газов может быть самой разной и зависит от основных компонентов газа. На степень токсичности нефтяных газов в большой мере оказывает наличие в газе примесей сероводорода и ароматических углеводородов (бензола). Так, например, для паров бензина установлена ПДК 300 ppm, что приблизительно соответствует 2% от НПВ.. Человеческий организм может выдержать концентрации, превышающие ПДК, но в пределах короткого периода времени. Запахи, которые имеют смеси нефтяных газов, очень разнообразны, а в некоторых случаях их вдыхание может притуплять обоняние, однако чистые нефтяные газы, такие как пропан, бутан, метан, этан и т.д. вообще не имеют запаха. Поэтому

**НЕ СТОИТ СУДИТЬ ОБ ОТСУТСТВИИ ГАЗА
ПО ОТСУТСТВИЮ ЗАПАХА.**

Так как значение ПДК значительно ниже НПВ, не следует использовать эксплозиметры для измерения концентрации газа, в расчете получить точное показание ПДК. Смешение запахов особенно опасно, если данная смесь содержит сероводород.

Токсичное действие метана.

Токсичное действие метана при обычных условиях, заключается в понижении содержания кислорода в атмосфере. Накопление метана в атмосфере помещения до 25-30% вызывает снижение содержания кислорода в атмосфере помещения до 15-16 %, что делает атмосферу непригодной для дыхания. Симптомы токсичного воздействия – головная боль, тошнота, ослабление внимания, общая слабость, увеличение объема дыхания, боли в области сердца. Метан – продукт жизнедеятельности организма. Образуется в кишечнике человека при микробном разложении клетчатки и составляет около 50% кишечных газов. При проникновении в организм, метан не подвергается биотрансформации в тканях организма и выводится из организма в неизменном виде с мочой и через легкие.

Токсичное действие этана.

Основное воздействие этана на человеческий организм – наркотический эффект. Этан также является продуктом жизнедеятельности животных и человека. Образуется в печени и входит в состав кишечного газа. Диффундирует из кишечника в кровь и выводится из организма с выдыхаемым воздухом.

Токсичное действие пропана.

3. Основные опасности сжиженных газов



Основное воздействие пропана на организм человека – наркотический эффект. Вызывает возбуждение, частичную потерю слуха, сужение зрачков, замедление пульса до 40-50 ударов в минуту, усиленное слюноотделение, рвоту. Пропан метаболизирует в организме, накапливаясь в мягких и костных тканях организма.

Токсичное действие бутана.

Бутан, также как и все нефтяные газы, оказывает наркотическое воздействие на человеческий организм. При отравлении бутаном, происходит нарушение функции мозга и сердечно-сосудистой деятельности (гипоксия миокарда). Бутан быстро накапливается в организме, но и быстро из него выводится через легкие. Ниже приведена таблица характерных симптомов, возникающих при воздействии на организм различных концентраций нефтяных газов выше ПДК.

Таблица 5. ПДК и степень воздействия нефтяных газов на организм человека.

Концентрация	В % от НПВ	Признаки воздействия
0,1 % по объёму (1000 ppm)	10%	Раздражение глаз при воздействии в течение часа
0,2 % по объёму (2000 ppm)	20%	Раздражение глаз, носа и горла, головокружение, нарушение координации при воздействии в течение получаса
0,7 % по объёму (7000 ppm)	70%	Симптомы, характерные для состояния опьянения при воздействии в течение 15 минут
1 % по объёму (10.000 ppm)	100%	Внезапное наступление симптомов, характерных для состояния опьянения, что может привести к потере сознания и летальному исходу, если воздействие продолжается
2% по объёму (20.000ppm)	200%	Паралич и смерть наступают через несколько минут

Этилен.

Длительное воздействие паров этилена приводит к нарушению терморегуляции организма, нервным расстройствам, нарушению кровообращения, головной боли, кратковременной потере зрения, снижению обоняния и слуха. Основные признаки отравления: побеление кончиков пальцев, головная боль, расстройства зрения, нарушение памяти.

Бутадиен.

Бутадиен – один из газов, в состав которого вводятся ингибиторы, чтобы предотвратить его реакцию с кислородом. Для того чтобы избежать



3. Основные опасности сжиженных газов

проникновения кислорода из вне, бутадиев находится в танке под азотной подушкой, причем во время транспортировки необходимо поддерживать позитивное давление азота в танке. При относительно низких концентрациях бутадиев вызывает чувство дискомфорта, слабость, чувство опьянения, чрезмерную бледность, учащение пульса, головную боль, рвоту, потерю сознания, а при его содержании в атмосфере в количестве 2.000-4.000 ppm вызывает сильное раздражение глаз и расстройство зрения. Для бутадиев установлена ПДК в 1 ppm.

Винил хлорид мономер (VCM).

Принадлежит к группе ненасыщенных галогеноуглеводородов. Проникает в организм через дыхательные пути и пищеварительный тракт. Уже через несколько минут после отравления, следы VCM можно обнаружить в печени, почках и головном мозге. VCM оказывает сильнейшее воздействие на центральную нервную систему организма, повреждает дыхательную систему, поражает печень и почки. Необходимо предпринимать строгие меры предосторожности во избежание протечек этого груза в процессе его транспортировки. ПДК для VCM очень низка, однако даже небольшие концентрации VCM при длительном воздействии могут привести возникновению рака легких. В США ПДК для VCM в рабочих зонах принята равной 5 ppm, а по международным требованиям ПДК для VCM равна 0. То есть, утечки груза должны быть полностью исключены. Пары VCM осаждаются в легких человека и вызывают их поражения при концентрациях 2.000-5.000 ppm, концентрация паров 16.000 ppm, вызывает потерю зрения и слуха, концентрация 120.000 – немедленную смерть. Однако длительное вдыхание паров VCM даже в очень незначительных концентрациях, приводит к накоплению его в организме. Типичный синдром поражения организма парами VCM – это «синдром белых пальцев», который обычно возникает при воздействии сильной и продолжительной вибрации на пальцы рук.

Ацетальдегид.

Пары этого газа, при вдыхании, даже в незначительных концентрациях, вызывают отек легких. Вот почему, при перевозке ацетат альдегида международными правилами требуются дополнительные дыхательные аппараты, к уже имеющимся на борту. Что самое неприятное при перевозке данного груза, так это то, что при попадании его внутрь организма, нет возможности для оказания первой медицинской помощи на борту судна, поскольку, отравление ацетат альдегидом вызывает мгновенный отек легких, а откачку жидкости из легких можно произвести только в больничных условиях. Единственное, что можно сделать для такого пострадавшего на судне – это держать его в сидячем положении таким образом, чтобы жидкость, скапливающаяся у него в легких, не привела к асфиксии. При кратковременном воздействии паров ацетат альдегида на органы обоняния (при нюхании) возникает сильнейший похмельный синдром. С красными глазами, головной болью и всеми вытекающими из этого последствиями

Аммиак.

3. Основные опасности сжиженных газов



Аммиак имеет сильный неприятный и резкий запах, который перехватывает дыхание. После отравления аммиаком, необходимо немедленно промыть рот и носоглотку большим количеством воды для уменьшения ожогов слизистых оболочек. Вдыхание паров аммиака, вызывает раздражение дыхательных путей, глаз, сильное слюноотделение, головную боль, потливость, болезненные ощущения в области легких. При вдыхании аммиака с концентрациями 0,3 – 0,7 г/литр, наступает немедленная смерть от сердечной недостаточности и отека легких.

Хлор.

Пары хлора грязно-желтого цвета с тяжелым запахом. Газ реагирует с водой с образованием соляной кислоты. В случае вдыхания паров хлора, он воздействует на слизистые оболочки носоглотки, рта и слизистую оболочку глаз, вызывая их сильнейшие ожоги, что в свою очередь приводит к спазму грудной клетки. Возникает сильный рефлекторный кашель. При серьезных отравлениях возникает спазм мышц горла, его опухоль, и удушье.

Опасности, не связанные с транспортировкой грузов

Даже внешне безобидные производственные процессы на судах, могут привести к сильнейшим отравлениям персонала. Свежеокрашенная поверхность в закрытом помещении, например, приводит к образованию в помещении высокой концентрации паров растворителей, длительное воздействие ультрафиолетового света (электросварка) является причиной образования озона в атмосфере. Воздействие любого из этих элементов может вызвать отек легких и потерю сознания.

Сероводород.

Сероводород – бесцветный газ с характерным запахом тухлых яиц, может возникать при разложении растительных и животных остатков в герметичном помещении в присутствии воды (например в балластных танках)

Таблица 6. ПДК и степень воздействия сероводорода.

Концентрация	Признаки воздействия
50-100 ppm	Раздражение глаз и дыхательных путей после часового воздействия
200-300 ppm	Ярко выраженное раздражение глаз и дыхательных путей после воздействия в течение часа
500-700 ppm	Головокружение, головная боль, тошнота при воздействии в течение 15 минут, потеря сознания и летальный исход после воздействия в течение 30-40 минут
700-900 ppm	Быстрая потеря сознания и летальный исход через несколько минут
1.000-2.000 ppm	Внезапный упадок жизнедеятельности и остановка дыхания.



3. Основные опасности сжиженных газов

При отравлениях сероводородом, пострадавшего необходимо как можно быстрее доставить на свежий воздух. В этом случае принятие экстренных мер может предотвратить неблагоприятное воздействие сероводорода на организм человека.

Окись серы.

Бесцветный газ с сильным запахом и кисловатым вкусом. Легко реагирует с водой или с жидкостью организма с образованием серной кислоты. Опасен при высоких концентрациях. Создает трудности в дыхании, спазм дыхательных мышц и удушье. При оказании первой помощи необходимо держать пострадавшего в спокойном состоянии. При попадании окиси серы в глаза, необходимо промыть их большим количеством воды.

Синильная кислота.

На борту газовоза её образование возможно при горении полиуретановой изоляции танков. Синильная кислота в форме паров осаждается на кожу и напрямую проникает в кровь, что приводит к понижению снабжения всех органов кислородом. Синильная кислота обладает легким запахом миндаля, её попадание на кожу вызывает её покраснение. Отравления синильной кислотой требуют очень быстрых и правильных действий при оказании первой помощи, поскольку смерть может наступить очень быстро. Во-первых необходимо вынести пострадавшего из опасного места, обеспечить его дыхательные и сердечные функции, одновременно смыть с тела пострадавшего остатки синильной кислоты и, после восстановления дыхания, разломать у него под носом (на расстоянии около 3-х см) капсулу Амилонитрита.

Окись углерода (угарный газ).

Содержится в инертном газе, вырабатываемом судовой установкой ИГ. Образуется также при взаимодействии углекислого газа с раскаленным углеродом при низком содержании кислорода в атмосфере. Горит голубым пламенем, бесцветный газ, без запаха, чрезвычайно ядовит, не растворяется в воде, плотность по воздуху составляет 0,97, температура самовоспламенения +640°C, пределы взрываемости 7,5–12,5 % по объёму. Угарный газ не поглощается активированным углем. ПДК в воздухе 0,02 мг/л. При высоких концентрациях смерть наступает через 10-15 минут вдыхания. Признаки отравления: головокружение, тошнота, потеря сознания.

Углекислый газ

Используется в качестве средств объёмного тушения, составляет около 14% инертного газа по объёму. Оказывает угнетающее воздействие на мозговые центры, контролирующие дыхательные функции организма, снижает содержание кислорода в крови, вызывает неприятное пощипывание в носоглотке, кожные покровы приобретают серый цвет. ПДК около 5%. При более высоких концентрациях дыхание становится частым и неглубоким,



замедляется реакция организма на внешние раздражители. При нахождении человека в атмосфере с содержанием 6-8% углекислого газа более 30 минут, наступают необратимые изменения в коре головного мозга. Содержание углекислого газа в атмосфере от 10 до 20% от объёма вызывает мгновенную потерю сознания. При содержании углекислого газа в атмосфере свыше 25% - наступает немедленная смерть.

Технические растворители

Многие технические растворители получают или при перегонке минеральных масел, или же из различных промежуточных продуктов её перегонки. Иными словами, растворители представляют из себя продукты переработки нефти и нефтепродуктов. Растворители используются при производстве красителей, лаков, пластиков и пр.

Практически все растворители представляют из себя легко испаряющиеся жидкости, состоящие из целого ряда различных типов углеводородов, которые могут растворять смазки, масла, резину и т.д. без изменения химического состава растворенного вещества.

Технические растворители (сольвенты) можно разделить на следующие группы:

- Углеводороды (насыщенные, циклические, ароматические)
- Хлоринированные углеводороды
- Спирты
- Эфиры, сложные эфиры, кетоны, ацетаты и пр.

Пары растворителей проникают в организм с вдыхаемым воздухом, циркулируют по крови и накапливаются в жировой клетчатке организма, в печени и затрагивают центральную нервную систему. Большинство сольвентов оказывает наркотический эффект. В зависимости от типа сольвента, времени воздействия его паров и их концентрации, они могут вызывать усталость, головную боль, головокружение и, при высоких концентрациях, - потерю сознания и смерть. Длительное воздействие паров сольвентов может оказывать воздействие на центральную нервную систему и вызывать стойкие расстройства функции мозга. Некоторые сольвенты способны оказывать раздражающее действие на оболочку глаз, слизистые оболочки и кожу, вызывая дерматиты и экзему.

Очищенные углеводороды, из которых в качестве растворителей очень широко используются уайтспирит, петрол, бензин сырец (нафта), скипидар (турпентин) и бензолы. Под бензолами подразумевается целый ряд ароматических углеводородов – толуол, ксилолы, стирол (как жидкий, так и в виде пластика), которые оказывают сильное воздействие на кожу, печень и почки, а также снижают зрение. Работать с такими растворителями следует в хорошо вентилируемом помещении. Если существует угроза присутствия высоких концентраций растворителей данного типа в помещении, то необходимо использовать фильтрующие противогазы или респираторы. Курение в помещениях, где хранятся растворители, категорически запрещено.

Пластики.

Разогретая или горящая пластмасса, пластики используемые для изоляции электропроводки, также способны выделять ядовитые пары (винил-хлорид,



3. Основные опасности сжиженных газов

стирол, полиэтилен и пр.). При отравлениями парами, выделяющимися из различного рода пластиков, появляется лихорадочная дрожь, начинают мерзнуть конечности, появляется вялость и повышается температура тела. Отравления такого рода называют «Полимерной лихорадкой».

Пары полимеров могут образовываться при термальном разложении некоторых галогенизированных углеводородов (хладоны), таких как тетрафтор этилен. Такое разложение может произойти при курении в помещении, содержащим пары различного рода хладонов.

Хлорсодержащие углеводороды.

Эти растворители появились сравнительно недавно, но уже получили широкое распространение в использовании, поскольку в своем большинстве, они не являются пожароопасными и обладают высокими растворяющими свойствами. Хлорсодержащие углеводороды используются при очистке металлических поверхностей, сухой чистки тканей и в качестве различного рода пятновыводителей. Обычно используются трихлорэтилен и перхлорэтилен, которые в обиходе называют просто «трихлор» и «перхлор», поскольку это наиболее эффективные и дешёвые растворители. Однако уже известно несколько случаев, когда использование растворителей такого рода в небольших плохо проветриваемых помещениях приводило к смертельным исходам. Большинство хлорсодержащих растворителей оказывают воздействие на работу сердечной мышцы, почки и печень. Хронические отравления приводят в постоянным головным болям, лихорадочным состояниям, бессоннице и пр.

Фенол

Фенол является производной бензола и используется довольно широко для производства пластиков, лакокрасочной продукции и технических растворителей.. Степень воздействия фенола на человеческий организм до сих пор мало изучена, однако помимо отравляющего действия фенол вызывает сильнейшие ожоги. Вдыхание больших концентраций паров фенола приводит к отеку легких и смерти.

Спирты.

Спирты также относятся к углеводородам. Название спирта образуется прибавлением суффикса –ол к названию предельных углеводородов (этанол, метанол, пропанол и пр.) спирты являются довольно важным сырьем в химической промышленности.

Для технических целей наиболее часто используются этанол и метанол. Отравление метанолом вызывает расстройства зрительных нервов, а в больших дозах вызывает смерть. Спирты большей частью используются для растворения различного рода смол.

Эфиры, эстеры (сложные эфиры) и кетоны.



Эфиры представляют из себя сильно испаряющиеся жидкости с характерным сладковатым запахом. Используются эфиры в медицине для местной и общей анестезии, однако в технике они также широко используются в качестве растворителей. В некоторых случаях, эфиры, вступая в реакцию с кислородом воздуха или же под воздействием солнечного света, образуют очень взрывоопасные перекиси, которые могут или выпадать в виде пыли, или же образовывать взрывоопасные газы. Поскольку пары многих органических перекисей гораздо тяжелее воздуха, они скапливаются в нижней части помещения и заполняют различные колодцы и ниши. Эфиры используются при изготовлении лаков и красок.

Сложные эфиры или эстеры представляют из себя соединения спиртов и жирных органических кислот, обладают сладковатым запахом, бесцветные жидкости. Из данного вида растворителей наиболее широкое применение нашли бутил ацетат и этил ацетат.

Кетоны по своему химическому составу близки к эстерам, однако из растворяющие способности гораздо выше. Наиболее популярны ацетон и МЕК (метил этил кетон).

Основное воздействие растворители такого типа оказывают на оболочку глаз и слизистые оболочки, вызывая их раздражение. Наркотически воздействуя на человеческий организм, не вызывают сильного отравляющего эффекта. Однако присутствие таких материалов, как сталь, сернистый углерод могут совместно с парами таких растворителей, вызывать сердечную недостаточность.

Риск отравлений растворителями напрямую зависит от степени их токсичности и их летучести. Некоторые растворители способны реагировать со спиртами, усиливая повреждения кожных покровов. Так что для удаления растворителей с кожи следует теплую пресную воду и различные мыльные растворы.

Для защиты персонала при работе с растворителями следует соблюдать следующие правила:

- Помещение должно тщательно вентилироваться
- Сосуды с растворителями должны быть плотно закупорены
- Необходимо избегать контакта растворителя с кожей
- Использование защитной одежды
- Запрещено использование открытого огня.

Отравления тяжелыми металлами.

Металлы, классифицированные как тяжелые, имеющие удельный вес более 5, представляют чрезвычайную угрозу здоровью человека. Насколько сложно происходит их проникновения в организм, настолько легко они накапливаются в различных тканях организма. В этом плане наиболее опасными для здоровья являются свинец, ртуть, кадмий, мышьяк, марганец цинк и никель. Металлы проникают в организм большей частью в виде пыли или дыма (при сварке), но могут попадать и в месте с пищей или же осаждаться через кожу.

Риск отравления металлами присутствует при обработке любых материалов, содержащих в своем составе тяжелые металлы. При пайке, сварке, обрезке металлов или их сплавов, формируется дым (взвесь твердых частиц в воздухе) или пыль, которая может попадать в легкие человека. При отравлении значительными концентрациями таких металлов, часто использует термин «металлическая лихорадка», в полной мере характеризующий состояние пострадавшего. Такого рода отравления очень тяжело переносятся и требуют



3. Основные опасности сжиженных газов

продолжительного лечения. Наиболее часто происходят отравления цинком при сварке оцинкованных материалов. Однако теоретически, некоторые сплавы, краски и пластики, содержащие кадмий, способны «пылить». Несколько десятилетий назад, очень частыми были отравления свинцом, поскольку он входил в состав многих сортов бензина, и широко использовался в печатной промышленности. Отравления свинцом приводят к ментальным расстройствам и изменению состава крови. Отравления ртутью случаются значительно реже, однако в настоящее время они случаются все чаще и чаще из-за широкого применения ртути в нефтедобывающей промышленности (ртуть используется для проверки нефтяных скважин). Наиболее часто возникает отравление парами ртути, однако и в состоянии мелко распыленной аэрозоли, ртуть может вызвать серьезные отравления, осаждаясь на кожу. Первые признаки отравления парами ртути – нервозность и раздражительность, изменения в температуре тела и внезапные приступы ярости. На поздних стадиях отравление проявляет себя в непрерывном подрагивании рук, век, губ, языка и ног («Пляска Святого Вита»). Хронические отравления ртутью вызывают серьезные расстройства нервной системы, частичный паралич, судороги, воспаления десен и слизистых оболочек полости рта, обильное слюноотделение, постоянный металлический привкус во рту, частичную потерю слуха и раздражительность. Многие медики утверждают, что подобные симптомы вызывает и хроническое отравление свинцом. Работники, связанные с обработкой тяжелых металлов, должны проходить регулярные медицинские осмотры. Обычный анализ мочи дает возможность определить присутствие тяжелых металлов в организме.

Коррозионные вещества.

Различного рода коррозионные вещества оказывают воздействие на кожные покровы человека и на слизистые оболочки. Причем, эффект воздействия таких веществ может быть самым различным – от легкого ожога до полного разрушения тканей, и зависит от свойств веществ, концентрации и количества. Повреждения можно получить при соприкосновении с веществом. При вдыхании его паров, при глотании паров, жидкостей или аэрозолей. Как правило, эффект воздействия таких веществ, проявляется немедленно. Однако в некоторых случаях, воздействие коррозионных веществ проявляется через длительный промежуток времени. Большинство веществ такого класса называют кислотами или щелочами – соляная кислота, серная кислота, уксусная кислота, лимонная кислота, муравьиная кислота, различного рода каустики, которые довольно часто используются на судах в бытовых и технических целях.

Соляная кислота – бесцветная маслянистая жидкость с резким запахом, над поверхностью которой постоянно находятся пары, бурно реагирующая с водой и металлами, цементом, кирпичной глиной. Вызывает быстрое разрушение материалов и тканей. Наличие в атмосфере паров соляной кислоты может быть легко обнаружено с помощью тряпки, смоченной в аммиачном растворе. Тряпка моментально покрывается белым налетом, если в атмосфере помещения присутствуют пары кислоты. К сильно действующим веществам относятся также сера, красный и желтый фосфор, хлор, аммиак, окись кальция и др. При работе с такими веществами следует придерживаться простых мер предосторожности:

3. Основные опасности сжиженных газов



- Помещение должно тщательно вентилироваться.
- Необходимо использовать перчатки, фартук и специальную кислотостойкую обувь
- Глаза должны быть защищены специальными плотно прилегающими очками или же щитком.
- Должен быть обеспечен легкий доступ к воде или специальному душу.

Вещества, вызывающие аллергию и дерматиты.

Целый ряд химических веществ может вызывать раздражение или повреждение кожного покрова, или же вызывать повышенную чувствительность кожи к внешним воздействиям. Когда кожный покров теряет свою природную защитную функцию, возникает целый ряд заболеваний кожи, которые требуют длительного лечения (дерматиты и экзема).

Моющие средства, содержащие щелок, едкий натр и др., высушивают кожу, удаляя с её поверхности защитную пленку жиров. В результате длительного воздействия щелочей на кожу, возникает так называемая «сухая» экзема. Кислоты могут вызывать и образование язв на коже и экзему. Контакт с тяжелыми маслами и парафинами оказывает также раздражающее воздействие на кожу, а длительный контакт с такими веществами может вызвать рак кожи. Некоторые виды детергентов и растворителей вызывают различные кожные заболевания через некоторый промежуток времени после контакта с ними, так называемую аллергическую реакцию.

Поэтому основными правилами при работе с аллергенами являются следующие:

- Предотвращение непосредственного контакта кожных покровов с веществом
- Предотвращение аллергенных жидкостей от расплескивания и испарения, а твердых аллергенов от пыления и россыпи.
- Строго соблюдать правила личной гигиены
- Использовать защитную одежду.

Оказание первой помощи.

Обычно отравление вредными веществами влечет за собой потерю сознания, остановку дыхания и сердца. Очень важно, чтобы каждый моряк четко знал, что необходимо делать в случае оказания первой помощи при отравлениях вредными веществами.

На судне возможность оказания медицинской помощи зависит от квалификации персонала и наличия медицинского оборудования. И оказание первой до врачебной помощи, в большинстве случаев, оказывается наиболее важным в спасении человека.

Оказание первой помощи при отравлении токсинами должно оказываться без промедления. Здесь на счету каждая секунда. И начинать оказание помощи необходимо прямо на месте, если позволяет обстановка.

При спасении важно помнить, что при нарушении правил безопасности **вы сами можете стать пострадавшим.**



3. Основные опасности сжиженных газов

Всегда следуйте трем основным правилам при оказании первой помощи:

1. Очистить дыхательные пути.
2. Восстановить дыхательные функции.
3. Восстановить сердечную деятельность.

Для очистки дыхательного тракта пострадавшего следует положить на твердую горизонтальную поверхность, приподнять одной рукой за шею, а другой слегка откинуть голову назад. После чего необходимо очистить рот и нос от посторонних предметов и слизи. Если язык заблокировал дыхательные пути, то его необходимо приподнять, чтобы обеспечить свободный проток воздуха к легким.

Забудьте об удобстве пострадавшего, если вы хотите спасти ему жизнь. Ничего не подкладываете ему под голову. Изменение положения головы пострадавшего может привести к блокированию его дыхательного тракта и удушью.

После восстановления дыхания пострадавшего надо поместить в такое положение, при котором исключается попадание слизи и рвоты в дыхательный тракт и облегчаются дыхательные функции. Такое положение называется «бессознательное».

1. Восстановление дыхательных функций производится после того как очищен дыхательный тракт. Обычно применяется способ рот-в-рот. Однако следует помнить, что голова пострадавшего должна быть хорошо запрокинута и частота искусственных вдохов должна быть не ниже чем 12-16 раз в минуту. Необходимо сделать 2-4 быстрых выдоха в рот пострадавшему и если вы заметите появление пульса, то продолжайте искусственное дыхание с частотой 12-16 выдохов в минуту.
2. Если же после 2-4 выдохов рот-в-рот деятельность сердечной мышцы не восстановилась, то необходимо произвести массаж сердца. Для этого необходимо резко и сильно ударить по грудной клетке пострадавшего. В некоторых случаях этого бывает достаточно, чтобы сердце вновь начало работать. Если же нет, то необходимо немедленно начинать массаж сердца. ЭТО ВОПРОС ЖИЗНИ И СМЕРТИ и нельзя терять ни секунды.

Частота массажа грудной клетки должна быть достаточно высокой, 80-100 нажимов в минуту. Если массаж не помогает, необходимо совместить искусственное дыхание и массаж сердца. На каждые 5 нажатий на грудную клетку должен приходиться один вдох или же на 15 нажатий 2 вдоха.

Это наиболее эффективный метод (рис. 13) для восстановления жизненных функций организма пострадавшего. Иногда такая операция может потребовать нескольких часов, однако пока воздух поступает в легкие и кровь продолжает циркулировать за счет сжатия сердечной мышцы – человек остается живым.

3. Основные опасности сжиженных газов



Подводя черту, можно сказать, что степень отравления человека и его состояние, определяют вид первой помощи, которую ему необходимо оказывать:

- Дыхание слабое и нерегулярное:
Необходимо стимулировать дыхание подачей дополнительного кислорода;
- Дыхание тяжелое, сердечная деятельность нерегулярная, пульс слабый:
Необходимо стимулировать дыхание подачей кислорода, возможно, потребуется ввод адреналина для повышения тонуса сердечной мышцы;
- Дыхание остановилось:
Необходимо провести сеанс искусственного дыхания с дополнительной подачей кислорода;
- Дыхание остановилось, сердце остановилось:
Провести сеанс искусственного дыхания с подачей кислорода и непрямой массаж сердца;

На всех судах, перевозящих опасные и токсичные грузы, имеется так называемый «POISON CHEST», в котором содержится набор различных антидотов. Однако следует помнить, что антидоты следует применять немедленно, только в случае отравления цианидами или нитрилами. В этом случае как антидот используется амило-нитрит. В остальных случаях необходимо восстановить дыхательные функции пострадавшего и поместить его в правильное положение, при котором не возникнет удушья при рвоте или внутреннем кровотечении.

Все суда должны быть обеспечены Кодексом по оказанию первой помощи (MFAG). В этом кодексе указаны основные способы оказания первой помощи при отравлении вредными и ядовитыми веществами.

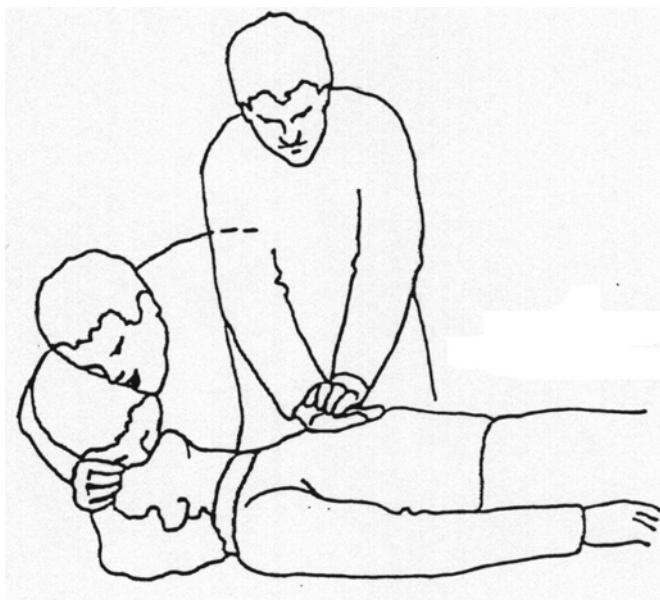


Рис. 8. Оказание доврачебной помощи комбинированным способом.

К сожалению, некоторые случаи отравления на борту судна приводят к смертельным исходам, однако большая часть пострадавших в результате



3. Основные опасности сжиженных газов

контакта со сжиженными газами или парами грузов приводит лишь к местным повреждениям кожи и глаз. И при умелом оказании первой помощи, можно избежать смертельных исходов.

Наиболее важным в организации грузовых операций, является обеспечение защиты персонала от попадания вредных веществ. Для этого существует защитная одежда, защитные маски, дыхательные аппараты и т.д. и т.п. Ответственность за соблюдение правил техники безопасности при работе с грузами, также как обеспечение персонала надлежащим защитным оборудованием и одеждой, возлагается на старшего помощника капитана. Члены экипажа, принимающие непосредственное участие в работе с грузом, должны быть проинструктированы о правилах обращения с грузом, его опасностях и мерах предосторожности.

Никогда не позволяйте отдельным членам экипажа нарушать эти правила или же меры предосторожности.

Многие несчастные случаи происходят именно потому, что некоторые члены экипажа пренебрегают мерами предосторожности или же не умеют использовать индивидуальные средства защиты.

Всегда следует помнить, что средства индивидуальной защиты, должны использоваться только по назначению.

Типы приборов контроля атмосферы.

В связи с такими процессами, как инертизация, продувка и вентиляция грузовых танков, зачастую возникает необходимость контроля атмосферы в грузовых помещениях и ограниченных (закрытых) пространствах или даже на грузовой палубе. При этом производимые замеры должны определить наличие:

- Опасности возникновения пожара.
- Опасности для здоровья персонала.

В настоящее время для производства замеров используются самые разнообразные приборы с различными принципами действия. Минимальный перечень приборов, которые используются для контроля за атмосферой на судах-газовозах, следующий:

- Кислородомер – прибор для измерения концентрации кислорода в атмосфере.
- Интерферометр – прибор для измерения % содержания паров углеводородов в атмосфере.
- Детектор взрывоопасных газов (Эксплозиметр) – прибор для измерения взрывоопасных концентраций в пределах НПВ (% LEL).
- Эксплозиметр – для определения % содержания паров углеводородов по объёму.
- Прибор для измерения содержания токсичных веществ в атмосфере.

Все эти приборы должны быть на судне в количестве не менее 2-х каждого типа. Однако при транспортировке некоторых газов требуется также наличие специальных приборов для контроля содержания паров этих газов в атмосфере помещений. Например, при перевозке Винил Хлорида требуется наличие на судне специального прибора, позволяющего производить постоянные замеры малых концентраций VCM в течение всего рабочего дня (Long term measuring).

Любая измерительная аппаратура дает информацию о концентрации кислорода, взрывоопасных газов или токсичных газов, только в определенном месте и в определенное время. Однако общее состояние атмосферы в танке может немного отличаться от места, где произведен замер, это состояние может также меняться со временем. Поэтому, для того, чтобы определить действительное состояние атмосферы в танке, замеры необходимо производить в нескольких точках и также производить повторные замеры в тех же точках через определенные интервалы.

Более того, все измерительные приборы откалиброваны на какой-то один газ, и при измерении содержания других газов, необходимо использовать корректировку. Иначе замеры будут произведены с большими ошибками, а в некоторых случаях и с негативными последствиями.

Приборы для измерения взрывоопасных концентраций газов.

Принцип действия таких приборов зависит от диапазона измеряемой концентрации. Для измерения небольших концентраций, находящихся ниже нижнего предела взрываемости, обычно используется метод каталитического сжигания или сгорания газа. Измерение же концентрации более высокого порядка производится на основе замера скорости потери тепла или на измерении показания преломления света (рефракции).



4. Приборы контроля атмосферы танков

Приборы с каталитической нитью накаливания.

Рассмотрим принцип действия наиболее популярного эксплозиметра, определяющего концентрацию газов в процентах от НПВ. Следует помнить, что такой прибор годен только для замеров концентрации газов в воздушной атмосфере, с содержанием кислорода не ниже 10,8% по объёму и таким содержанием паров углеводородов, когда смесь еще не представляет пожароопасности. Шкала прибора разбита на деления от 0 до 100% НПВ.

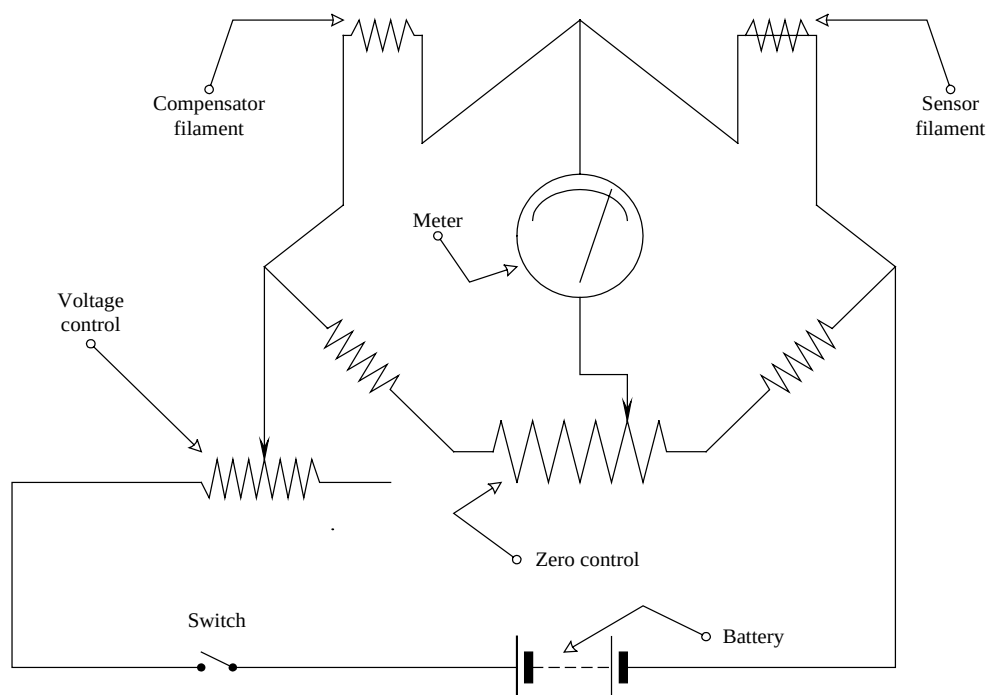


Рис. 1. Принцип работы эксплозиметра с каталитическим сенсором.

Работа прибора основана на каталитическом взаимодействии нагретой платиновой нити и газов. Платиновая нить нагревается электрическим током 200–320 мА до температуры 450°C. Смесь паров углеводородов и воздуха, попадая на раскаленную нить, сгорает в присутствии катализатора и тем самым увеличивает температуру нити.

Горение – это реакция окисления с образованием углекислого газа, воды и выделением теплоты. Например, для метана процесс горения можно записать так:



В некоторых приборах платиновая нить заменена керамическим шариком, но принцип действия прибора тот же самый. Увеличение температуры платиновой нити повлечет за собой увеличение сопротивления в цепи, что и будет индцировать прибор.

Схема прибора представляет собой мостик Уитстона с чувствительным элементом в виде каталитической нити накаливания, образующей одно из плеч мостика. Индикатор приводится в состояние готовности в процессе

балансировки мостика с каталитической нитью накаливания при температуре, соответствующей требованиям завода-изготовителя, путем контакта нити с пробой чистого воздуха, в результате балансировки определяется «0».

Увеличение сопротивления нити, вызываемое её окислением, нарушает равновесие мостика и вызывает отклонение показаний прибора на величину пропорциональную концентрации газа. Шкала прибора градуируется от 0 до 100% НПВ.

Некоторые приборы содержат дополнительную электрическую схему для снятия показаний в диапазоне 0-10% НПВ.

Для получения устойчивых показаний прибора, напряжение в мостике должно поддерживаться постоянным, при помощи предусмотренной в приборе регулировки.

Другое плечо мостика содержит вторую некаталитическую (вольфрамовую) нить накаливания (компенсирующую), идентичную чувствительной нити, причем обе они расположены в приборе очень близко друг к другу (размер сенсора в целом не превышает нескольких миллиметров). Вторая нить постоянно находится в контакте с чистым воздухом, такое устройство автоматически компенсирует влияние изменения температуры окружающей среды и влажности на показания прибора.

Регулировочные сопротивления в плечах мостика выполнены из материала, сопротивление которого не зависит от температуры.

Измерения атмосферы такими приборами следует производить в полном соответствии с требованиями завода-изготовителя.

Проба газа закачивается в прибор при помощи ручной или механической помпы. На входе смесь проходит через фильтр, задерживающий микрочастицы, и пламегаситель, предотвращающий попадание пламени, образующегося при сгорании углеводородов, в атмосферу. Такой же пламегаситель установлен и на выходном патрубке. После того как стрелка прибора перестает двигаться по шкале, снимаются показания прибора.

Несбалансированность напряжения на приборе пропорциональна концентрации углеводородов и в 2-3 раза превышающих НПВ, хотя показание прибора не может выходить за пределы 100% от НПВ.

Если измеряемая концентрация в 2 раза превышает НПВ, кислорода в смеси недостаточно для полного сгорания паров углеводорода. На такую концентрацию прибор реагирует следующим образом: стрелка прибора сначала отклоняется до максимальной отметки, а затем вновь падает до нуля. Поэтому при замерах атмосферы помещений с неустановленным содержанием углеводородов следует внимательно наблюдать за показанием прибора, с тем, чтобы не пропустить вышеупомянутое его реагирование.

Продолжительная эксплуатация прибора в атмосфере с повышенным содержанием углеводородов приводит к отложению углерода на нити накаливания и изменяет чувствительность прибора. По той же причине неполного сгорания смеси углеводородов и воздуха прибор не позволяет произвести замеры содержания паров углеводородов в инертной среде или в атмосфере с недостаточным содержанием кислорода (менее 11% по объёму).

На заводе-изготовителе такие приборы калибруются специальными газовыми смесями, содержание которых должно быть указано на бирке прибора. Чувствительность прибора следует контролировать перед каждым его использованием.



4. Приборы контроля атмосферы танков

Калибровка прибора производится, в зависимости от требований компании каждые два месяца, при помощи специального калибровочного набора. В это же время производят, обычно, и проверку линии отбора проб прибора на герметичность. Для чего сжимают грушу и закрывают газозаборное отверстие. Если протечек нет, то груша остается в сжатом состоянии. И, наконец, не реже чем один раз в год, прибор должен быть откалиброван в лабораторных условиях с выдачей соответствующего сертификата.

На точность измерения в значительной степени влияют резкие перепады температур и избыточное давление в контролируемой атмосфере, приводящее к высокоскоростному потоку пробы газа.

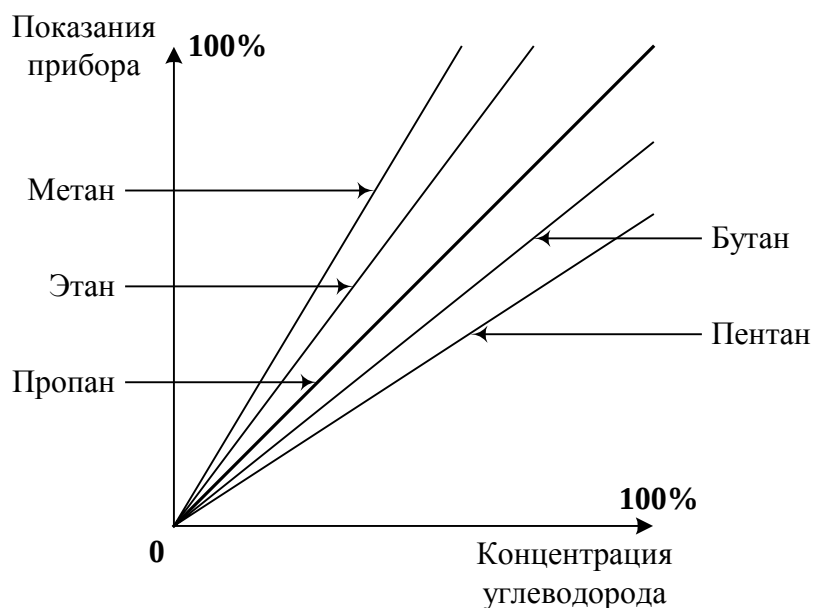


Рис. 2. Зависимость показаний прибора от вида калибровочного газа.

На точность показаний прибора в значительной степени влияет содержание в пробе различных примесей и газов, которые могут оказать пагубное воздействие на каталитический сенсор. Например, присутствие в пробе газов или веществ, содержащих соединения серы, фосфора, свинца и кремния вызывают коррозию сенсора. Присутствие же в пробе газа галогеноуглеводородов, вызывает возникновение на поверхности сенсора налета, который снижает его чувствительность. Такие газы, как VCM, бутadiен, стирол и др. вызывают формирование на поверхности сенсора слоя полимеров, чем значительно снижают время жизни сенсора.

Как правило, для тех продуктов, которые имеют температуру вспышки в пределах температуры окружающей среды ($\pm 5-10^{\circ}\text{C}$), приборы такого типа дают весьма точный результат. Но иногда они могут показывать содержание в атмосфере концентраций углеводородов, хотя на самом деле их в атмосфере нет.

Ниже приведена таблица газов, вызывающих отклонение показаний прибора от нулевой отметки.

4. Приборы контроля атмосферы танков



Таблица1. Газы, влияющие на показания эксплозиметра.

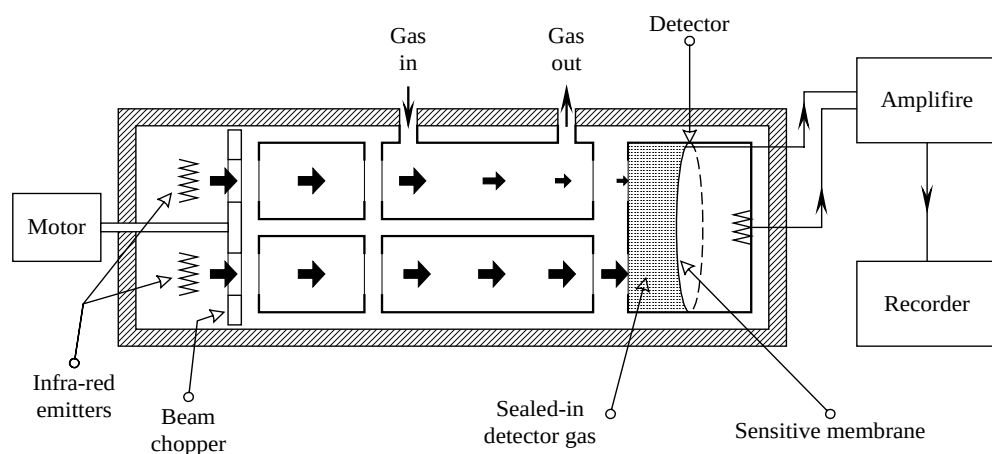
Наименование продукта	Показания прибора % НПВ (L.E.L)
Аргон	35 –60
Хлорэтан	20-30
Фреон 11	45
Фреон 22	0-30
Азот	5
Трихлорэтилен	10
Окись серы	30

Приборы с некаталитической нитью накаливания.

Для измерения концентраций углеводородов, находящихся в пределах выше НПВ, обычно используются приборы с нагреваемой некаталитической нитью накаливания (принцип действия прибора точно такой же, как описано выше).

Скорость потери тепла нитью накаливания, и, следовательно, её температура и сопротивление определяются в зависимости от состава газа. Чувствительная нить образует одно из плеч мостика Уитстона и уравнивается в нулевом положении в момент первоначальной установки прибора. Компенсирующая нить выполняет те же функции, что и в приборе с каталитической нитью накаливания.

При попадании углеводородов на раскаленную нить накаливания происходит потеря тепла нитью накаливания за счет поглощения части тепла молекулами углеводородов и, соответственно, изменение её сопротивления регистрируется прибором. Зависимость потери тепла нитью представляет собой нелинейную зависимость концентрации углеводородов в смеси. Эта зависимость отображается на шкале прибора. Прибор показывает непосредственное содержание углеводородов (НС) в процентах по объёму.





4. Приборы контроля атмосферы танков

Рис. 3. Эксплозиметр, основанный на принципе поглощения углеводородами инфракрасного излучения.

При попадании углеводородов на раскаленную нить накаливания происходит потеря тепла нитью накаливания за счет поглощения части тепла молекулами углеводородов и, соответственно, изменение её сопротивления регистрируется прибором.

Зависимость потери тепла нитью представляет собой нелинейную зависимость концентрации углеводородов в смеси. Эта зависимость отображается на шкале прибора. Прибор показывает непосредственное содержание углеводородов (НС) в процентах по объёму.

На некаталитическую нить не влияет концентрация газа, поэтому, при превышении концентрации газа рабочей шкалы прибора, прибор «зашкалит» и останется в таком положении, пока присутствуют пары углеводородов.

Измерения следует производить в строгом соответствии с указаниями завода-изготовителя. Прокачка пробы производится до тех пор, пока стрелка прибора не займет устойчивое положение (обычно 15-20 раз). Важно, чтобы в момент измерения, газ был неподвижен в приборе и имел атмосферное давление.

Прибор калибруется специальными углеводородосодержащими смесями на основе азота или углекислого газа. Точность измерений таким прибором во многом зависит от состава замеряемой газовой смеси (она не должна отличаться от смеси, которой откалиброван прибор), давления в помещении. Даже небольшое отклонение от атмосферного давления приводит к значительным отклонениям в показаниях прибора. Поэтому при замерах концентрации газов в помещении с избыточным давлением, после отбора проб необходимо отсоединить пробоотборную линию и дать возможность давлению пробы сравняться с атмосферным.

Общее название приборов с некаталитическим сенсором – Углеводородомеры (НС-meter), GASSCOPE, TANKSCOPE.

Измеритель показателя преломления.

Данный прибор представляет собой оптическое устройство, показания которого зависят от разности значений показателей преломления пробы газа и пробы воздуха.

В приборе такого типа луч делится на две составляющих, которые затем опять совмещаются в окуляре (см. рис. 4). Совмещенные лучи образуют интерференционную картинку, состоящую из большого числа темных и цветных линий.

Одна световая дорожка проходит через камеру, заполненную воздухом, а вторая через камеру, куда закачивается проба газа. Предварительно обе камеры заполняются воздухом, и прибор настраивается так, чтобы одна из темных линий (ТОЛЬКО ПРАВАЯ) совпадала с нулевой отметкой. Затем в измерительную камеру закачивается проба газа и за счет изменения показателя преломления воздуха и газа, происходит смещение темных линий на величину, пропорциональную показателю преломления. Это смещение измеряется путем отметки нового положения темной полосы относительно нулевой отметки.

Градуировка шкалы прибора может быть произведена как в процентных единицах концентрации, так и произвольно. Такой прибор будет давать точные

измерения только для измерений концентраций газа, на который отградуирована его шкала.

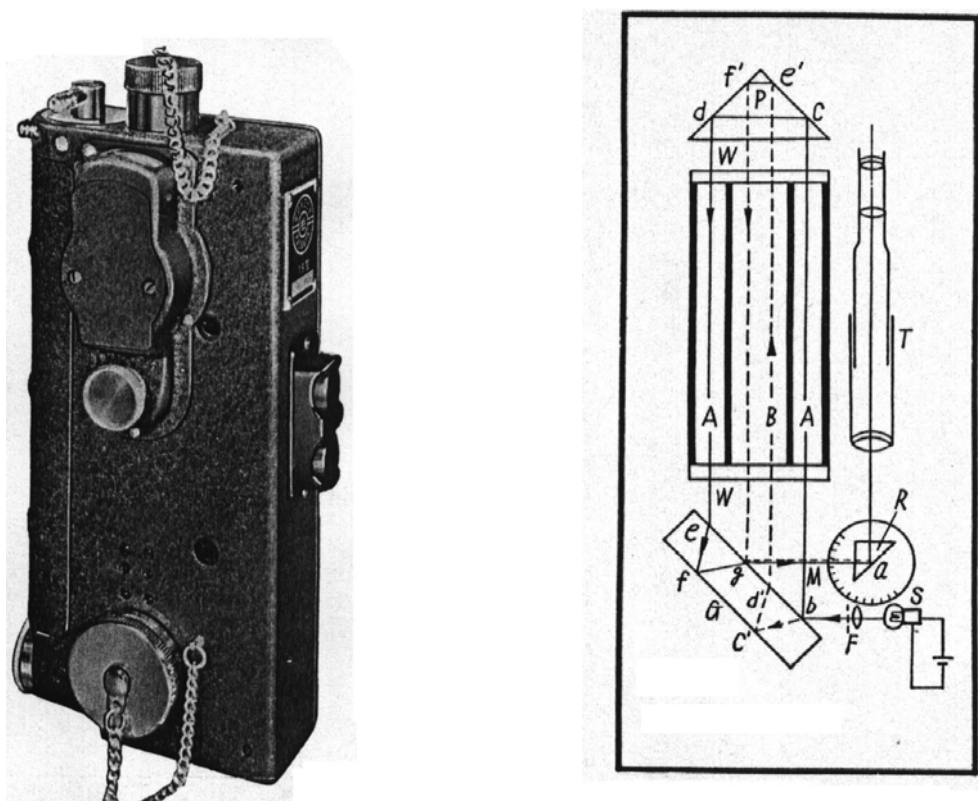


Рис. 4. Внешний вид и принцип действия интерферометра «Riken».

На показания прибора оказывает влияние, если в инертной атмосфере присутствует углекислый газ. При проведении измерений в такой атмосфере, рекомендуется использовать специальный фильтр с натровой известью в качестве поглотителя и производить корректировку показаний.

Перед использованием прибора в азотной атмосфере необходимо выставить «0» прибора на азот, поскольку разница в показаниях «0» по воздуху и по азоту составит около 0,5 %.

Измерение концентрации кислорода.

Анализаторы кислорода обычно используются для того, чтобы определить, является ли атмосфера в помещении (например в танке) в достаточной мере инертной и безопасной для входа.

Стационарные анализаторы используются для постоянного контроля содержания кислорода в вытяжном канале котла и в магистрали инертного газа. Наиболее часто для измерения содержания кислорода в атмосфере используются:

- Парамагнитные датчики;
- Электролитические датчики;
- Химические жидкости, избирательного поглощения;



4. Приборы контроля атмосферы танков

Кислород, в отличие от других газов, является сильным парамагнетиком. Благодаря этому свойству, его легко можно обнаружить в самых различных газовых смесях.

Наиболее часто используется прибор, в котором в камере для отбора проб помещена легкая чувствительная рамка, подвешенная свободно в магнитном поле на торсионной нити.

Парамагнитные датчики.

Когда пробу газа прокачивают через камеру (рис 5), вращающаяся рамка подвергается воздействию момента, пропорционального по величине магнитной восприимчивости данного газа. Равные по величине, но противоположные по направлению моменты, возникают в результате действия электрического тока, проходящего через обмотки катушки, окружающей корпус. Уравновешенный ток и является мерой магнитной силы, пропорциональной содержанию кислорода в пробе. Перед использованием прибор тарируется на ноль с использованием азота или углекислого газа, а максимальное значение устанавливается в воздухе, с содержанием кислорода 21%.

Следует помнить, что показания прибора, прямо пропорциональны давлению в измерительной камере. Поэтому прибор рекомендуется использовать при регламентированном атмосферном давлении.

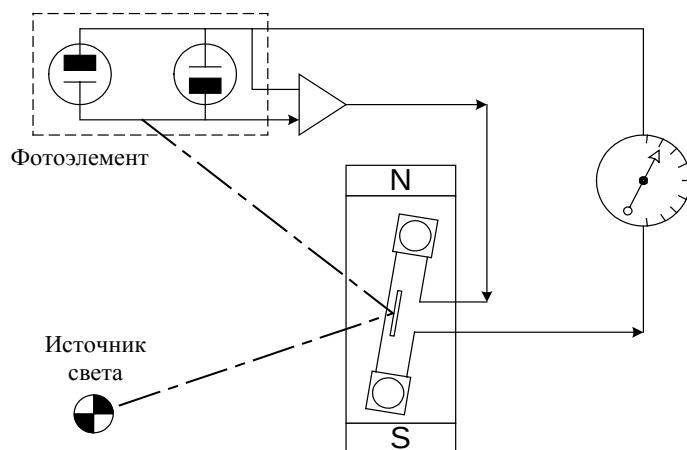


Рис. 5. Принцип работы кислородомера «SERVOMEX».

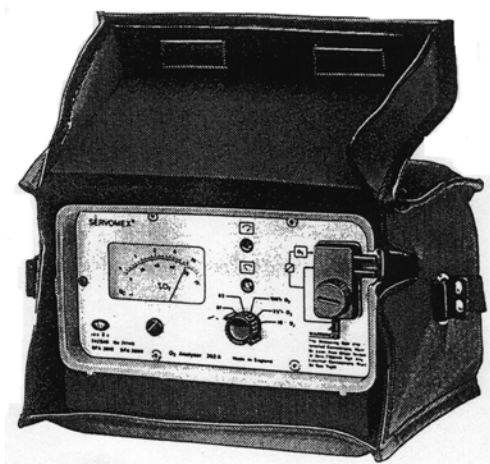


Рис. 6. Внешний вид кислородомера “SERVOMEX”.

На пробоотборнике устанавливается специальный фильтр, для предотвращения попадания в прибор механических примесей. Необходимо проверять чистоту и влажность такого фильтра, поскольку при снижении его пропускной способности, давление в приборе снижается и происходят ошибки в измерениях.

Электролитические датчики.

Определение содержания кислорода с помощью анализаторов такого типа производится путем снятия показаний на выходе газа из электролитической камеры (рис.7).

В большинстве приборов, где используются электролитические датчики, кислород диффундирует в камеру через специальную мембрану, вызывая при этом возникновение тока между специальными электродами, разделенными жидкостью или электролитом в виде геля. Сила тока зависит от концентрации кислорода в пробе, а шкала градуирована таким образом, что дает непосредственно процентное содержание кислорода в пробе. При этом датчик, или, как его называют, сенсор, может быть расположен в отдельном корпусе, независимо от прибора и соединяться с измерительным устройством посредством электрического кабеля.

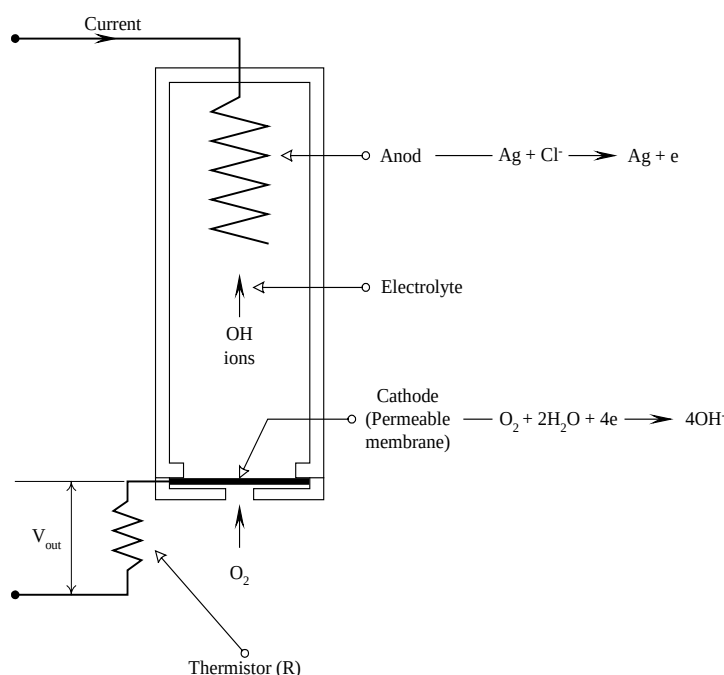


Рис. 7. Схема работы электролитического датчика.

Такой способ используется во множестве современных приборов (см. рис 8), используемых на судах в настоящее время:

- GASTECH – 86;
- GASTECH – 400;
- NEOTOX;



4. Приборы контроля атмосферы танков

- DRAGER MULTIWARN Недостаток такого сенсора в том, что многие газы могут влиять на его чувствительность и стать причиной искажения показаний. Наличие в атмосфере двуокиси серы и окислов азота вызывают ошибки в показаниях, если их концентрация выше, чем 0,25 % по объёму. Сероводород может вывести сенсор из строя, если его содержание в атмосфере более чем 1% по объёму. Причем такие повреждения проявляются не сразу, а постепенно, после чего тарировка датчика становится невозможной и необходимо произвести его замену. Стоимость датчиков в зависимости от типа прибора колеблется в пределах 200–400 долларов.

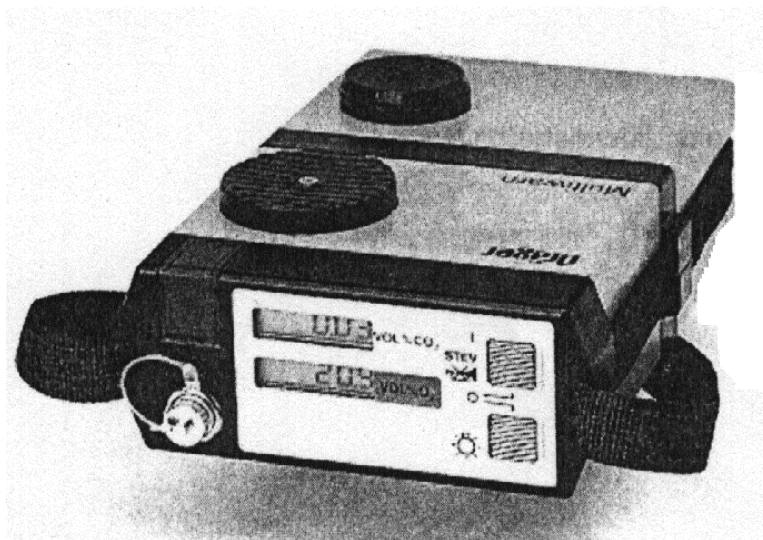


Рис. 8. Прибор «Drager Multiwarn» позволяющий производить замеры 4-х параметров одновременно.

Химические жидкости избирательного поглощения.

В анализаторах такого типа определенный объём образца газовой смеси вводят в контакт с жидкостью, которая поглощает кислород, что в свою очередь приводит к изменению объёма жидкости. Отношение изменения объёма жидкости к её первоначальному объёму служит мерой содержания кислорода в пробе. Использование такого вида приборов ограничено из-за сильного воздействия углеводов на реагенты.

Так как использование всех вышеупомянутых приборов имеет жизненно важное значение, то за ними следует установить тщательный технический уход и регулярно производить тестирование и калибровку.

Прибор ORSAT.

Этот классический инструмент основан на очень простом принципе действия – на способности некоторых газов полностью растворяться в той или иной жидкости. Каждый газ будет полностью растворяться только в строго определенной жидкости.

С помощью простейших подсчетов, зная температуру и давление газа в пробе, отобранной в сосуд с фиксированным объёмом (рис. 9), мы можем определить общий объём вещества, в котором газ будет растворяться.

4. Приборы контроля атмосферы танков



В настоящее время этот прибор используется для определения концентраций в атмосфере танка аммиака или же VCM. Принцип определения концентраций основан на том, что аммиак 100%-но растворяется в воде, а VCM – в циклогексане. Причем, объем воды или циклогексана, займет точно такой же объем, что и пары данных газов.

Принцип проверки атмосферы танка состоит в следующем. Производится отбор пробы газа из танка в пробоотборник ORSAT при открытых клапанах. Пробоотборник необходимо продуть азотом перед отбором проб и как следует просушить. После чего клапана на пробоотборнике закрываются, и нижний конец его помещается в сосуд, содержащий необходимую для определения концентрации газа, жидкость. Затем, при закрытом верхнем клапане, открывается нижний клапан и пробоотборник встряхивается, с тем, чтобы жидкость из сосуда попала в пробоотборник, и началось растворение газа в жидкости.

Поскольку газ будет растворяться, то в пробоотборнике возникнет вакуум, за счет которого жидкость начнет заполнять сосуд. Заполнение сосуда будет продолжаться до тех пор, пока весь газ полностью не растворится в жидкости. После чего, зная объем пробоотборника, определяем процентное содержание газа в пробе по процентному заполнению пробоотборника жидкостью.

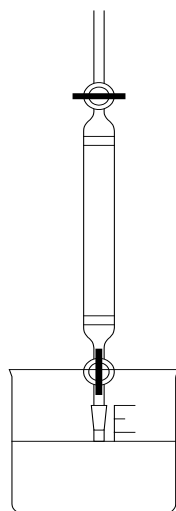


Рис. 9. Внешний вид и принцип работы прибора ORSAT.

Измерение концентрации токсичных газов.

Если известна только объёмная или процентная концентрация токсина в воздухе, трудно определить действительную степень опасности. Например, сигаретный дым содержит более 800 различных компонентов в своём составе и соотношение концентраций компонентов в дыме и физическое состояние курильщика совместно определяют токсичный эффект воздействия дыма на организм. Для измерения таких незначительных концентраций токсина в воздухе используются самые различные устройства и приборы:

Ионизирующие детекторы

Фотометрические ионизаторы

Хромографические анализаторы



4. Приборы контроля атмосферы танков

Инфракрасные спектрометры

Индикаторные трубки с химическими реагентами

Электрохимические сенсоры и пр.

Наиболее удобным и популярным оборудованием для замера очень низких концентраций токсичных газов на борту танкера, являются химические индикаторные трубки. Такой прибор (рис.10) состоит из небольшого ручного насоса с фиксированным объемом всасываемого газа, и набора запаянных

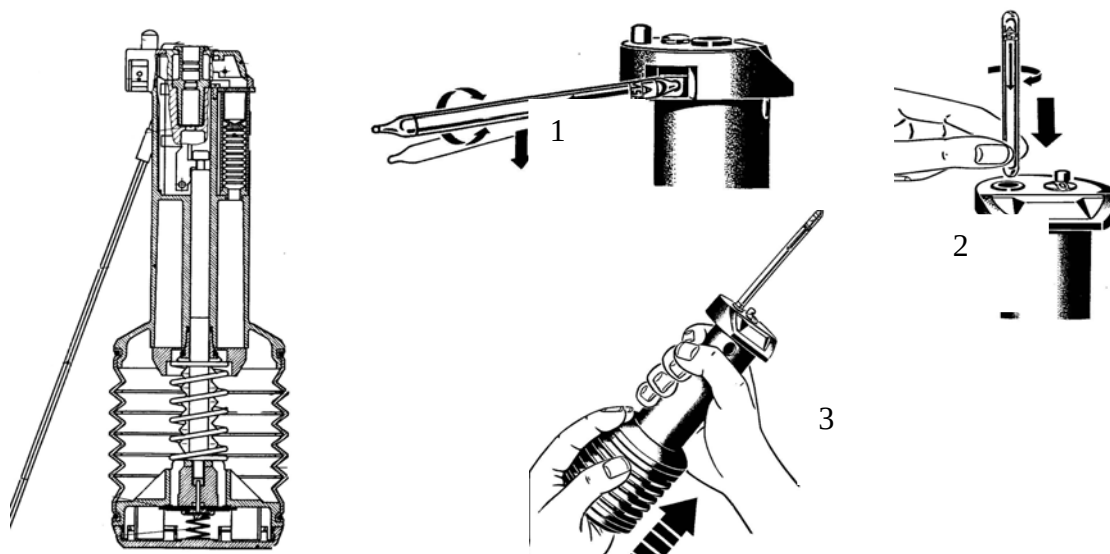


Рис. 10. Детектор токсичных газов. Правила работы с детектором стеклянных трубок (рис.11) со специальным наполнителем, который реагирует с изменением цвета при соприкосновении с тем или иным токсичным веществом.

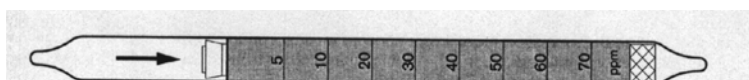


Рис.11. Внешний вид индикаторной трубки



Величина объема просасываемого газа через индикаторную трубку напрямую зависит от типа вещества, присутствие которого определяется. При этом происходит изменение цвета наполнителя в трубке, а протяженность участка с изменившимся цветом, показывает концентрацию данного вещества в пробе (обычно определяется в миллионных долях - ppm).

Рис.12. Внешний вид детектора токсичных газов с электрохимическим сенсором

4. Приборы контроля атмосферы танков



Соотношение между процентной концентрацией токсина и его концентрацией, выраженной в ppm, можно выразить следующим образом:

$$1\% \text{ объёма} = 10000 \text{ ppm.}$$

Иногда токсины присутствуют в атмосфере в виде пыли (дыма) или мельчайших капель (аэрозолей), поэтому объёмная концентрация токсина в атмосфере довольно не даёт полного представления о его реальном количестве. Для определения количественных значений концентрации таких веществ используются весовые характеристики – обычно г/л, мг/л, мг/м³ или же мл/л, мл/м³, л/м³. Значения концентрации токсина приводятся для стандартных условий атмосферы – давления 1013 мбар и температуры 20 ° С.

Перевод концентраций, выраженных в мг/м³, в ppm осуществляется следующим образом:

$$c \text{ (ppm)} = \frac{\text{Молярный объём (24,144 л)}}{\text{Молярная масса (г)}} \cdot c \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

Пример1:

Определим объёмную концентрацию бутана в воздухе, если известно, что его весовая концентрация составляет 876 мг/м³.

Решение :

$$C(\text{ppm}) = (24,1 : 58,1) \cdot 876 = 363 \text{ ppm (или мл/м}^3\text{)}$$

Перевод объёмных концентраций, выраженных в ppm, в весовые осуществляется следующим образом:

$$c \text{ (мг/м}^3\text{)} = \frac{\text{Молярная масса (г)}}{\text{Молярный объём (24,1 л)}} \cdot c \text{ (ppm)}$$

Пример 2 :

Решим обратную задачу. По известной объёмной концентрации 364 ppm токсина (Бутана) в воздухе, определим его весовое соотношение в атмосфере.

Решение:

$$C(\text{мг/м}^3) = (58,1 : 24,1) \cdot 363 = 876 \text{ мг/м}^3$$

Всегда следует использовать только трубки, предназначенные для данной ручной помпы, поскольку изготовителей таких приборов много, и каждый из них производит соответствующие индикаторные трубки **ТОЛЬКО ДЛЯ СВОИХ ПРИБОРОВ**. Следует также помнить, что индикаторные трубки предназначены для измерения содержания токсических веществ в **ВОЗДУХЕ**.



4. Приборы контроля атмосферы танков

При наличии в атмосфере танка целого ряда токсичных веществ, в показаниях прибора могут быть ошибки.

Для измерения общей дозы токсина, полученной работником в течение рабочего дня также используются приборы с индикаторными трубками химического реагирования. Приборы такого типа (см. рис 13) получили общее название LONG TERM TOXIC GAS DETECTOR.

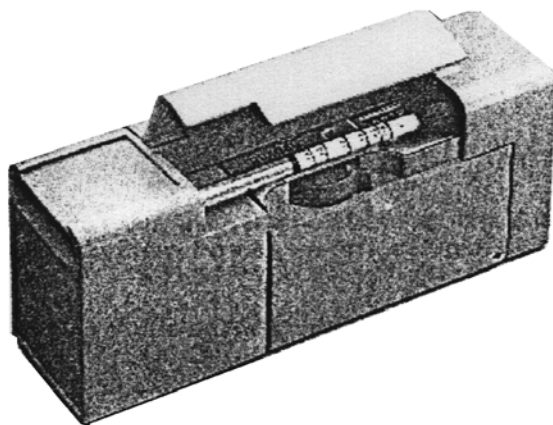


Рис.13. Прибор для продолжительного замера токсичных концентраций "Drager Polymer"

Измерение точки росы.

Понятие «воздух» мы используем для определения смеси газов, составляющих атмосферу земли. Состав этой смеси различных газов практически не изменяется с местоположением или высотой, исключая количество паров воды, содержащихся в воздухе, которое может меняться значительно. Состав сухого воздуха можно определить следующим образом:

Азот	78,09%
Кислород	20,93%
Аргон	0,93%
Углекислый газ	0,03 %
Другие газы	0,02 %
Всего:	100% объёма

Над поверхностью земли плотность воздуха составляет примерно 1,3 кг/м³, причем плотность воздуха уменьшается с увеличением расстояния от земли. На высоте 5.000 м плотность воздуха уже составит 0,7 кг/м³, а на высоте 10.000 м его плотность будет 0,4 кг/м³.

Наличие паров воды в воздухе.

В воздухе всегда присутствует некоторое количество воды в форме паров. Причем её наличие в воздухе может меняться от практически ничтожного количества до 40 г/м³, что составляет около 3% от всей массы воздуха. Содержание паров воды в атмосфере Земли постоянно поддерживается за счет испарения воды с поверхности рек, озер, морей и т.д.

Выделим условно один кубометр воздуха при фиксированной температуре, который нижней стороной контактирует с поверхностью воды. Испарение воды с её поверхности будет продолжаться до тех пор, пока содержание паров в воздухе не достигнет некоторой максимальной величины, при которой наступит равновесное состояние между водой и её парами. Причем с увеличением температуры, содержание паров воды в объёме воздуха будет увеличиваться (давление насыщенных паров).

При охлаждении воздуха, насыщенного парами воды, произойдет его перенасыщение с образованием маленьких капелек воды с диаметром около 0,01 мм, которые будут формировать туман, дымку или же снег.

Теория измерения.

Разница между фактической температурой атмосферы танка и температурой точки росы дает нам число градусов, на которое мы можем охладить атмосферу танка до того, как в ней начнет образовываться водный туман. Большая разница между этими температурами говорит о том, что воздух в танке сухой, а небольшая разница температур, что воздух слишком влажный. При насыщении и значение температуры точки росы, и фактическая температура атмосферы танка падают.

Поскольку низкая точка росы атмосферы танков требуется при перевозке многих сжиженных газов, важно понять методы определения температуры точки росы, также как и правильно использовать приборы для её измерения. Прежде всего, необходимо тщательно изучить инструкцию завода-изготовителя по правилам эксплуатации данного прибора. Принцип действия таких приборов допускает их использование также в атмосфере инертного газа и азота без каких либо поправок.

Точка росы.

Точка росы – это температура, при которой пары жидкости достигают насыщения и начинают конденсироваться.

На графике (рис.14) изображена кривая плотности насыщенных паров воды в зависимости от температуры воздуха.

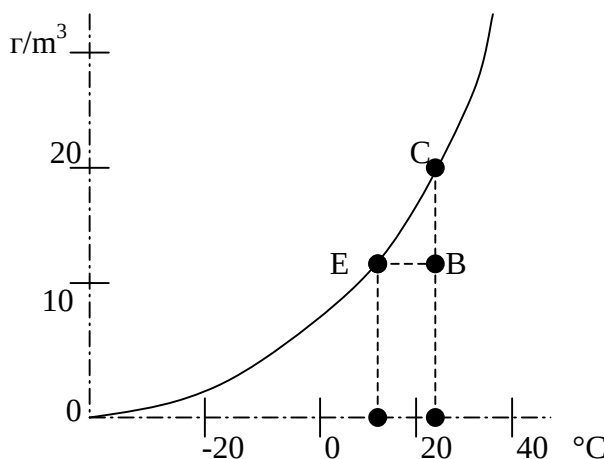


Рис. 14. Зависимость плотности насыщенного водяного пара от температуры.



4. Приборы контроля атмосферы танков

В точке В воздух достигнет насыщения после охлаждения до температуры Е.

Насыщенным называется такой пар, который находится в динамическом равновесии с жидкостью, то есть число молекул, покидающих поверхность жидкости в единицу времени, равно числу молекул, возвращающихся в жидкость.

Ненасыщенным или перегретым, называется такой пар, плотность и давление которого меньше, чем плотность и давление насыщенного пара при данной температуре.

Содержание водяного пара в воздухе характеризуется его влажностью. **Абсолютная влажность** воздуха измеряется массой водяного пара, находящегося в 1 м³ воздуха (его плотностью). Практически такое измерение осуществить довольно сложно, кроме того, зная абсолютную влажность воздуха, нельзя определить, насколько он сух или влажен, поскольку это зависит от температуры воздуха.

Для оценки влажности воздуха важно знать как водяной пар, находящийся в нем, близок или далек от состояния насыщения. С этой целью вводится понятие относительной влажности.

Относительная влажность воздуха – это величина характеризующая отношение фактического содержания водяных паров в 1 м³ к количеству пара, необходимого для насыщения 1 м³ воздуха при той же температуре.

$$\varphi = \frac{\rho_{\phi}}{\rho_n}$$

где ρ_{ϕ} и ρ_n , соответственно, фактическая плотность водяного пара и плотность насыщенного водяного пара при заданной температуре.

В метеорологии относительной влажностью называют отношение парциального давления водяного пара при данной температуре к давлению насыщенных водяных паров при той же температуре.

Пример:

Воздух имеет температуру +20°C, какое максимальное количество паров воды он может содержать?

Ответ:

Из таблицы 2 выбираем значение максимального содержания паров воды в воздухе при данной температуре = 17,7 г/м³.

Пример 2:

4. Приборы контроля атмосферы танков



Воздух при температуре $+30^{\circ}\text{C}$ содержит 13 г/м^3 паров воды. До какой температуры необходимо охладить воздух, чтобы началась конденсация паров и сколько свободной воды образуется при охлаждении воздуха до -10°C .

Ответ:

Из таблицы 2 выбираем значение температуры, соответствующее данному содержанию насыщенных паров в воздухе $=15^{\circ}\text{C}$. Далее находим максимальное содержание паров воды при температуре -10°C (из таблицы) $= 2,15 \text{ г/м}^3$.

Для определения количества воды, которое может образоваться при охлаждении воздуха с заданной влажностью, определяем разницу между значением влажности воздуха при заданной температуре и содержанием паров при температуре охлаждения:

$$13 \text{ г/м}^3 - 2,15 \text{ г/м}^3 = 10,85 \text{ г/м}^3$$

т.е. из каждого кубометра воздуха образуется 10,85 грамм воды.

Пример 3:

Масса воздуха при $+10^{\circ}\text{C}$ содержит 5 г/м^3 паров воды. Определить относительную влажность воздуха.

Решение:

Из таблицы 2 находим, что при температуре $+10^{\circ}\text{C}$ максимальное содержание паров воды в воздухе равно $9,3 \text{ г/м}^3$. Значит относительная влажность составит

$$(5 \text{ г/м}^3 \cdot 100\%) : 9,3 \text{ г/м}^3 = 53,8\%.$$

Пример 4:

Атмосфера танка объемом в 1.000 м^3 при $+25^{\circ}\text{C}$ имеет относительную влажность 75%. Какое количество свободной воды образуется в танке при его охлаждении до -40°C .

Решение:

При $+25^{\circ}\text{C}$ максимальное содержание паров в воздухе, выбранное из таблицы 2 составит $23,5 \text{ г/м}^3$, следовательно при относительной влажности 75% содержание паров воды будет:

$$(23,5 \text{ г/м}^3 \times 75\%) : 100\% = 17,625 \text{ г/м}^3$$

далее из таблицы находим максимальное количество паров воды при температуре $-40^{\circ}\text{C} = 0,120 \text{ г/м}^3$. Определяем содержание свободной воды при температуре -40°C :

$$17,625 \text{ г/м}^3 - 0,120 \text{ г/м}^3 = 17,505 \text{ г/м}^3$$

всего же в атмосфере танка образуется свободной воды:

$$17,505 \text{ г/м}^3 \times 1.000 \text{ м}^3 = 17.505 \text{ г} = 17,5 \text{ кг}$$

Пример 5:



4. Приборы контроля атмосферы танков

Температура точки росы в танке объемом 5.000 м³ определена как –20°C. В танк должен быть погружен пропан при температуре –41°C. Сколько льда образуется в танке после погрузки?

Решение

Содержание паров воды при –20°C	= 0,92 г/м ³
Содержание паров воды при –41°C	= 0,11 г/м ³
Свободной воды/льда в танке	= 0,81 г/м ³

Всего образуется льда 0,81 г/м³ x 5.000 м³ = 4.050 г = 4,0 кг.

Типы приборов для измерения точки росы.

Для измерения температуры насыщения воздуха, когда в нем начинают образовываться капельки воды (точки росы), используются различные методы. Самый простой из них (и значит самый дешевый) основан на использовании сосуда со смесью ацетона и сухого льда. Когда температура сосуда опустится до определенного значения, на наружных его стенках начнется выпадение влаги.

Используя термометр можно определить температуру сосуда. Эта температура и будет определять точку росы атмосферы, в которой находится сосуд.

В некоторых приборах для определения точки росы используется фреон (R22) для охлаждения сосуда. Когда начинается образование влаги на поверхности сосуда, определяется его температура. Приборы такого типа наиболее часто используются на газозах.

Существуют также и электронные приборы для определения (см. рис 15) температуры точки росы, однако их стоимость намного выше, чем их точность. Все приборы, определяющие точку росы, используются для определения температуры атмосферы танка, при которой в ней начнется образование свободной воды из насыщенных водных паров.

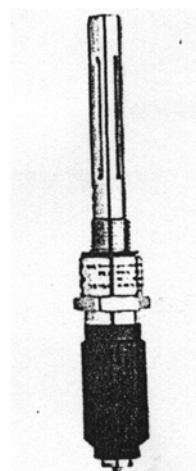
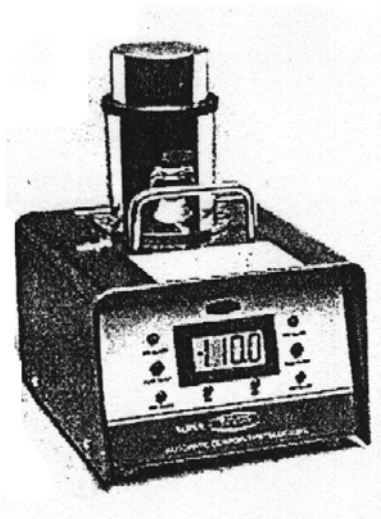


Рис.15. Современные приборы для определения температуры точки росы.

4. Приборы контроля атмосферы танков



Таблица. 2. Таблица зависимости плотности насыщенного водяного пара от температуры.

С	$\rho, 10^{-3} \text{ кг/м}^3$	t, °C	$\rho, 10^{-3} \text{ кг/м}^3$	t, °C	$\rho, 10^{-3} \text{ кг/м}^3$
-50	0,038	-19	1,01	+12	10,60
-49	0,43	-18	1,10	+13	11,34
-48	0,048	-17	1,20	+14	12,14
-47	0,055	-16	1,30	+15	13,00
-46	0,061	-15	1,40	+16	13,88
-45	0,068	-14	1,52	+17	14,79
-44	0,075	-13	1,66	+18	15,73
-43	0,084	-12	1,81	+19	16,70
-42	0,094	-11	1,97	+20	17,70
-41	0,106	-10	2,15	+21	18,80
-40	0,119	-9	2,34	+22	19,90
-39	0,132	-8	2,54	+23	21,00
-38	0,145	-7	2,75	+24	22,20
-37	0,162	-6	2,97	+25	23,50
-36	0,180	-5	3,20	+26	24,80
-35	0,200	-4	3,46	+27	26,30
-34	0,220	-3	3,74	+28	27,80
-33	0,245	-2	4,04	+29	29,30
-32	0,275	-1	4,38	+30	31,00
-31	0,305	0	4,70	+31	32,80
-30	0,340	+1	5,07	+32	34,80
-29	0,380	+2	5,46	+33	36,90
-28	0,420	+3	5,87	+34	39,10
-27	0,460	+4	6,30	+35	41,50
-26	0,510	+5	6,75	+36	43,70
-25	0,560	+6	7,22	+37	45,90
-24	0,610	+7	7,71	+38	48,10
-23	0,670	+8	8,22	+39	50,30
-22	0,750	+9	8,75	+40	52,50
-21	0,830	+10	9,30	+45	67,00
-20	0,920	+11	9,92	+50	83,00

Таблица 3. Зависимость температуры точки росы, давления насыщенных паров и плотности водяного пара.

Dewpoint (°C)	Vapour pressure (mmHg)	Relative Humidity (% H ₂ O)	ppmv	Dewpoint (°C)	Vapour Pressure (mmHg)	Relative Humidity (% H ₂ O)	ppmv	Dewpoint (°C)	Vapour pressure (mmHg)	Relative Humidity (% H ₂ O)	ppmv
-150	7*10 ⁽⁻¹⁵⁾	3.9*10 ⁽⁻¹⁴⁾	9.2*10 ⁽⁻¹²⁾	-74	,0010476	,00597	1,378	-22	,6422	3,66	845,00
-140	3*10 ⁽⁻¹⁰⁾	1.7*10 ⁽⁻⁹⁾	3.9*10 ⁽⁻⁷⁾	-72	,0014275	,00814	1,878	-20	,7790	4,44	1025,00
-130	7*10 ⁽⁻⁸⁾	4.0*10 ⁽⁻⁸⁾	9.2*10 ⁽⁻⁶⁾	-70	,001933	,0110	2,543	-18	,9421	5,37	1239,61
-120	9*10 ⁽⁻⁸⁾	5.4*10 ⁽⁻⁷⁾	1.2*10 ⁽⁻⁴⁾	-68	,002603	,0148	3,425	-16	1,136	6,48	1494,74
-118	,00000015	,0000009	,00020	-66	,003483	,0199	4,583	-14	1,365	7,78	1796,05
-116	,00000025	,0000014	,00033	-64	,004635	,0264	6,099	-12	1,636	9,33	2152,63
-114	,00000041	,0000023	,00054	-62	,006135	,0350	8,072	-10	1,956	11,15	2573,68
-112	,00000066	,0000038	,00087	-60	,008076	,0461	10,626	-8	2,331	13,29	3067,11
-110	,00000107	,0000061	,00141	-58	,010576	,0603	13,916	-6	2,771	15,80	3646,05
-108	,00000169	,0000096	,00222	-56	,013780	,0786	18,132	-4	3,285	18,73	4322,37
-106	,00000266	,000015	,00350	-54	,01787	,1019	23,513	-2	3,884	22,15	5110,53
-104	,00000413	,000024	,00543	-52	,02305	,131	30,329	0	4,581	26,12	6027,63
-102	,00000636	,000036	,00837	-50	,02961	,169	38,961	2	5,292	30,18	6963,16
-100	,00000968	,000055	,0127	-48	,03786	,216	49,816	4	6,099	34,78	8025,00
-98	,00001459	,000083	,0192	-46	,04819	,275	63,408	6	7,012	39,99	9226,32
-96	,00002178	,00012	,0287	-44	,06108	,348	80,368	8	8,045	45,88	10585,53
-94	,00003224	,00018	,0424	-42	,07709	,440	101,43	10	9,209	52,52	12447,10
-92	,00004729	,00027	,0622	-40	,09691	,553	127,51	12	10,518	59,98	13839,47
-90	,00006879	,00039	,0905	-38	,12133	,692	159,64	14	11,988	68,37	15773,68
-88	,00009924	,00057	,1305	-36	,15133	,863	199,12	16	13,635	77,76	17940,79
-86	,00014205	,00081	,1869	-34	,1880	1,07	247,37	18	15,478	88,27	20365,79
-84	,0002018	,00115	,2655	-32	,2328	1,33	306,32	20	17,535	100,00	23072,37
-82	,0002844	,00162	,3742	-30	,2871	1,64	377,76				
-80	,0003981	,00227	,5238	-28	,3529	2,01	464,34				
-78	,0005533	,00316	,7280	-26	,4323	2,47	568,82				
-76	,0007638	,00436	1,005	-24	,5277	3,01	694,34				

Ref. Shaw moisture meters, Westgate, Bradford, 1988 ; 1994 Annual Book of ASTM standards, volume 10.03, ASTM 2029.

5. Конструктивные особенности газовозов



Типы и группы газовозов.

Из экономических соображений, газы более выгодно перевозить в виде жидкостей, так как вес сжиженного газа, в таком случае, будет примерно в 650 раз больше, чем вес его в состоянии газовой фазы. Но, даже при перевозке газов в жидком состоянии, их относительная плотность будет довольно низка, например, для метана она составит 0,42, а для VCM – 0,97. Температура, при которой газ можно сконденсировать находится в зависимости от давления, под которым находится газ. Поэтому, комбинация давления и температуры транспортировки газа учитывается при проектировании и оборудовании судов для перевозки газа. Большинство коммерческих газов имеет плотность, которая составляет примерно половину плотности воды, и грузопместимость будет определяться полезным объёмом грузовых танков судна. С учетом температурных характеристик груза, давления, при котором он перевозится, низкой плотности перевозимых грузов, конструктивно танкера-газовозы представляют собой суда с высоким надводным бортом и сравнительно небольшой осадкой. Такие особенности конструкции газовозов, совместно с воздействием свободной поверхности жидкого груза, требуют повышенного внимания к остойчивости судов данного типа.

Классификация танкеров-газовозов.

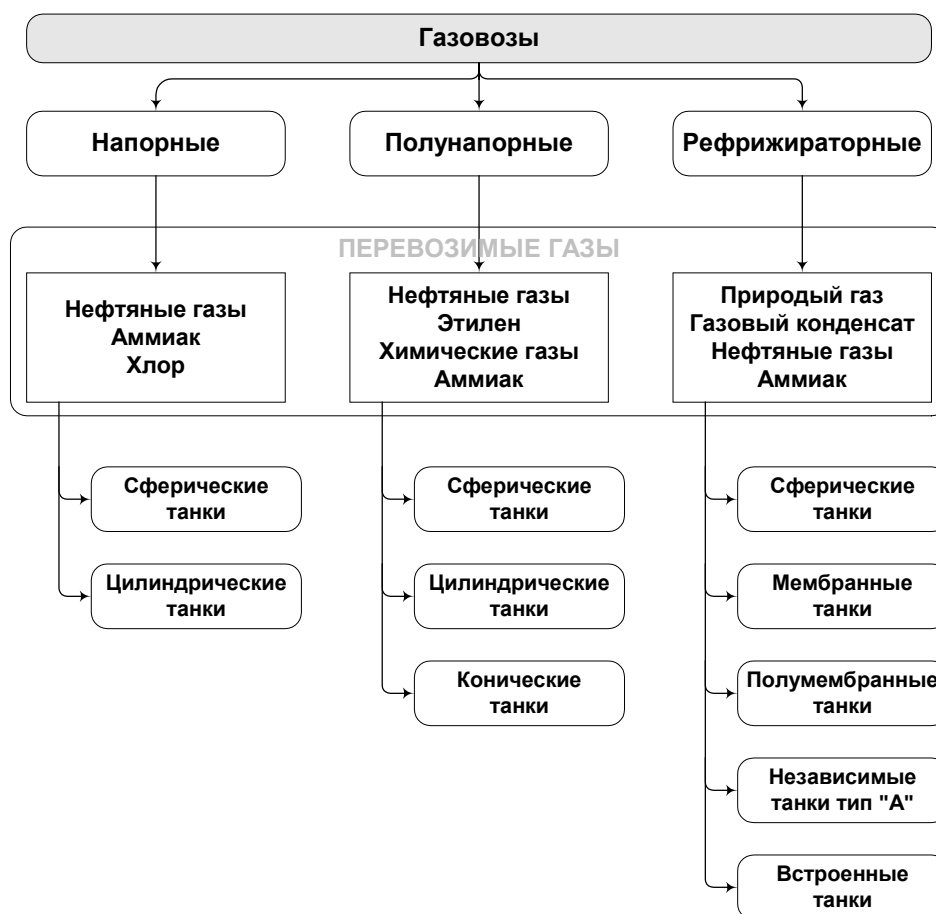


Рис. 1. Классификация газовозов.



5. Конструктивные особенности газовозов

Все суда-газовозы можно разделить на 3 основные группы в зависимости от давления и температуры грузов, которые судовые системы могут поддерживать в грузовых танках в процессе перевозки:

- Напорного типа (без охлаждения груза);
- Полу-напорного типа (с частичным охлаждением груза);
- Рефрижераторного типа (с полным охлаждением груза, когда давление насыщенных паров близко к атмосферному).

Кроме того, суда-газовозы можно дополнительно разделить на группы в зависимости от вида перевозимых грузов:

1. LPG (LPG/ NH₃)
Груз перевозится под атмосферным давлением/под частичным давлением паров паров/под полным давлением паров.
2. LEG (LEG/LPG/NH₃)
Под атмосферным давлением/под частичным давлением паров.
3. LNG (LNG/LEG/LPG)
Под давлением паров равном атмосферному
4. Хлоровозы (Cl₂)
Под полным давлением паров
5. Комбинированные суда газовозы/химовозы (LEG/LPG/NH₃/Chemicals)
Под частичным давлением паров.

Суда 1-й и 2-й группы обычно объединяют в одну группы, поскольку конструктивно они похожи и единственная разница между ними – в материале, используемом для изготовления танков, изоляции танков и в системе охлаждения груза. Только из-за таких различий суда этиленовозы выделены в отдельную группу. Суда 3-й группы обычно используются только для перевозки природного газа, однако такие же суда, но меньших размеров, используются для перевозки и нефтяных грузов и этилена, что позволяет более гибко использовать их на рынке. Суда для перевозки хлора существенно выделяются из числа всех вышеупомянутых типов газовозов в силу особых свойств хлора, который, не будучи взрывоопасным, в то же время является чрезвычайно опасным для здоровья людей, даже в незначительных концентрациях.

Таблица 1. Зависимость типа газовоза от температуры груза и давления паров.

Вид груза	Температура кипения при атмосферном давлении, °C	Давление насыщенных паров при температуре +45°C, бар	Практические условия транспортировки
n-butane	-0,5	4,3	Суда напорного, полунапорного и рефрижераторного типа
i-butane	-12	5,2	
Butadiene	-5	5,1	
Butene	-6	5,2	
VCM	-14	6,8	
Ammonia	-33	17,8	
Propane	-43	15,5	
Propylene	-48	18,4	
Ethane	-89	Выше критической	Суда полунапорного или рефрижераторного типа
Ethylene	-104	Выше критической	
Methane/LNG	-161	Выше критической	Суда рефрижераторного типа

5. Конструктивные особенности газовозов

Рассмотрим более подробно преимущества и недостатки основных типов газовозов.

Газовозы напорного типа (рис.2).

Перевозки сжиженных газов морем начались еще в конце 20-х годов, и первое судно, предназначенное для перевозки сжиженного пропана и бутана, было именно напорного типа. До начала 60-х годов суда, для перевозки газов под полным давлением паров, доминировали на рынке. Однако за последние годы было построено лишь несколько судов такого типа, но, тем не менее, такие суда все ещё продолжают пользоваться спросом, правда, в основном, в прибрежном плавании.

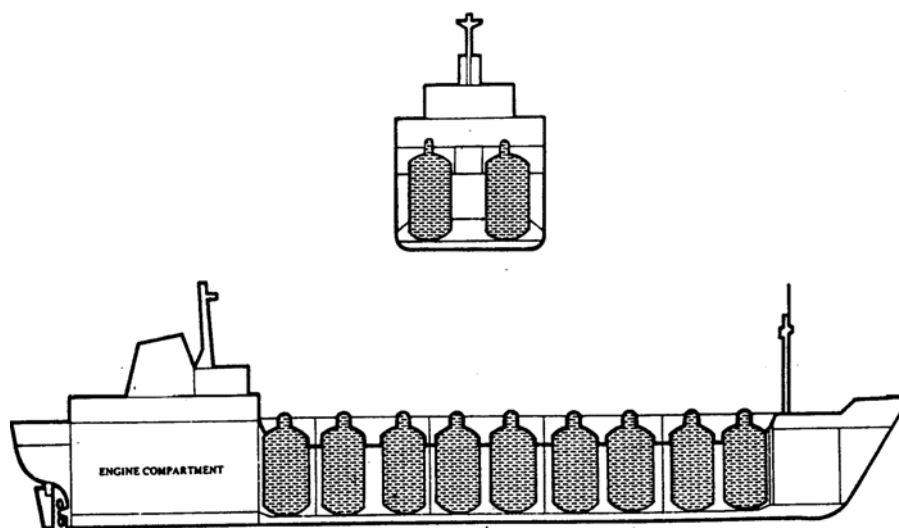


Рис. 2 Газовоз напорного типа.

Вместимость судов для перевозки газов под давлением обычно небольшая – до 2.000 кубометров. Так как газы перевозятся при температуре окружающей среды, то отпадает необходимость в установке на таких судах системы охлаждения груза, а также в изоляции танков. Суда, перевозящие газы при полном давлении паров, соответствующем температуре окружающей среды предназначены для перевозки нефтяных газов, аммиака, и некоторых других газов, за исключением этилена и природного газа, которые могут быть сжижены только при низких температурах.

Грузовые танки на таких судах обычно выдерживают давление 18,5 бар. Что соответствует давлению насыщенных паров пропана при температуре +55°C. Танки представляют собой вертикально или горизонтально расположенные цилиндрические баллоны, установленные в корпусе судна, как под главной палубой, так и выше неё и закрепленные одним или двумя рамными суппортами.

Суда для перевозки газов под давлением строятся также и со сферическими танками. Танки расположенные ниже грузовой палубы, оборудуются так называемыми «куполами», которые выступают над грузовой палубой. Все необходимые соединения для погрузки, выгрузки, замеров уровня, температуры и давления груза, отбора проб выведены через купол. Система трубопроводов на судах этого типа весьма простая и состоит обычно из одного погрузочно-разгрузочного трубопровода и газоотводной магистрали. Суда перевозящие газы под давлением не нуждаются в грузовых насосах.



5. Конструктивные особенности газовозов

Выгрузка жидкого груза производится за счет избыточного давления в танке, которое вытесняет груз в береговые емкости. По необходимости для дополнительного повышения давления используется судовой или же береговой компрессор. На палубе устанавливается, так называемый «бустерный насос», который служит для повышения давления в трубопроводе. Обычно этот насос используется при выгрузке в береговые танки, расположенные на большом расстоянии от судна или же на большой высоте.

Преимущества судов напорного типа:

- Поскольку грузы перевозятся при температуре окружающей среды, то при постройке танков используется обычная сталь.
- Нет необходимости устанавливать изоляцию грузовых танков.
- Нет необходимости в установке дорогостоящей системы охлаждения груза.
- Минимальные требования в дополнительном оборудовании для проведения грузовых операций, т.е. при достаточно высоком давлении в танках отпадает надобность в грузовых насосах.
- Не требуется установки вторичного барьера, поскольку грузовые танки изготовлены из достаточно толстой стали, предотвращающей значительную протечку груза в случае аварии.

Недостатки судов напорного типа:

- Ограниченное использование полезного объема корпуса судна, поскольку в качестве грузовых помещений используются цилиндры или же сферические танки.
- Ограниченный размер судов – экономически невыгодно использовать суда такого типа при объеме танков свыше 2.000 кубометров.
- Слишком тяжелые грузовые танки, поскольку материал и конструкция танка должны быть достаточно прочными, чтобы выдержать давление 17,5 бар, что приводит к увеличению водоизмещения судна при довольно низкой грузовместимости, т.е. увеличению «мертвого фрахта».
- Возможность использования таких судов только в районах прибрежного плавания.
- Необходимость установки грузовых танков над главной палубой для увеличения полезного объема.
- Довольно низкая грузовместимость по сравнению с судами такой же вместимости полу-напорного или рефрижераторного типа. Например, пропан имеет плотность на 16% выше при температуре -42°C , чем при $+20^{\circ}\text{C}$.

Вторичный барьер.

Вторичный барьер – это наружная герметичная обшивка грузовых танков, служащая временным барьером для предотвращения проникновения любых возможных утечек груза через оболочку грузовых танков в трюмные помещения и предотвращения снижения температуры корпуса ниже допустимых пределов (обычная судостроительная сталь рассчитана на температуры не ниже -10°C).

Вторичный барьер должен быть спроектирован и изготовлен таким образом, чтобы:

- Обеспечивать удержание любой вероятной утечки грузов в течение не менее 15 суток.
- Не допускать снижения температуры конструкции корпуса до опасного уровня в случае утечки груза через первичный барьер.

5. Конструктивные особенности газовозов

- Разрушение первичного барьера не должно вызывать разрушения вторичного барьера и наоборот.

Такие функции вторичный барьер должен обеспечивать при статическом угле крена до 30°C.

Если предусмотрен частичный вторичный барьер, то в любом случае его протяженность должна быть такой, чтобы полностью исключить попадание жидкого груза на двойное дно корпуса судна.

При отсутствии частичного барьера должны быть предусмотрены брызгоотражатели для отвода любого жидкого груза вниз в пространство между первичным и вторичным барьером и сохранения температуры корпуса на безопасном уровне.

Должна быть предусмотрена возможность периодической проверки вторичного барьера на его непроницаемость путем проведения испытания под давлением или вакуумом, визуального осмотра или любым другим способом.

Суда для перевозки хлора.

Ещё один тип судов, перевозящих грузы под полным давлением, используется в настоящее время довольно широко – это суда, перевозящие хлор. Поскольку хлор является очень ядовитым газом, требования по его перевозке чрезвычайно строгие.

Конструкция грузовых танков позволяет им выдерживать давление паров хлора при температуре +45°C, что составляет 13,5 бар. Минимальная температура транспортировки хлора –34°C. Поэтому суда-хлоровозы оборудованы **непрямой системой охлаждения** танков. Такая система означает, что груз не используется в качестве охлаждающего агента, а охлаждение осуществляется за счет отвода тепла из танка внешним носителем. Обычно такое охлаждение осуществляется за счет использования дополнительного змеевика, расположенного с внешней стороны грузового танка, по которому прокачивается охлаждающая жидкость (очень часто используется галогеноводороды или же этанол).

На судах-хлоровозах требуется установка теплоизоляции грузовых танков. Обычно в качестве изоляции используется полистирол или полиуретан. Так как танки изготовлены из достаточно толстой стали, то установка вторичного барьера на таких судах не требуется.

Из-за высокой токсичности хлора ЗАПРЕЩЕНО использовать грузовые насосы или же компрессоры на судах такого типа, во избежание протечек груза.

Выгрузка осуществляется при помощи избыточного давления в танках за счет подачи в танки сухого азота.

В отличие от всех других газов, перевозимых на судах-газовозах, хлор не является взрывоопасным.



5. Конструктивные особенности газовозов

Суда полунанпорного типа (рис.3).

Первое судно такого типа было построено в 1959 году. Это судно ещё не могло перевозить грузы в полностью охлажденном состоянии, т.е. при атмосферном давлении, однако позже, такие суда уже строились с расчетом того, чтобы перевозить грузы, как при избыточном давлении, так и при атмосферном. Суда такого типа наиболее эффективно можно использовать при их вместимости от 2.000 м³ до 25.000 м³, и в последние годы они нашли наиболее широкое применение. На судах полунанпорного типа конструкция грузовых танков предусматривает транспортировку сжиженных газов при давлении в танках от 4 до 8 бар и довольно широком спектре температур груза от 0°C до –104°C. Грузовые танки, также как и на судах напорного типа, являются самоподдерживающимися танками, т.е. закрепленными внутри корпуса судна с помощью специальных суппортов. Сталь, используемая для изготовления таких танков, может выдерживать довольно низкие температуры без разрушения структуры материала.

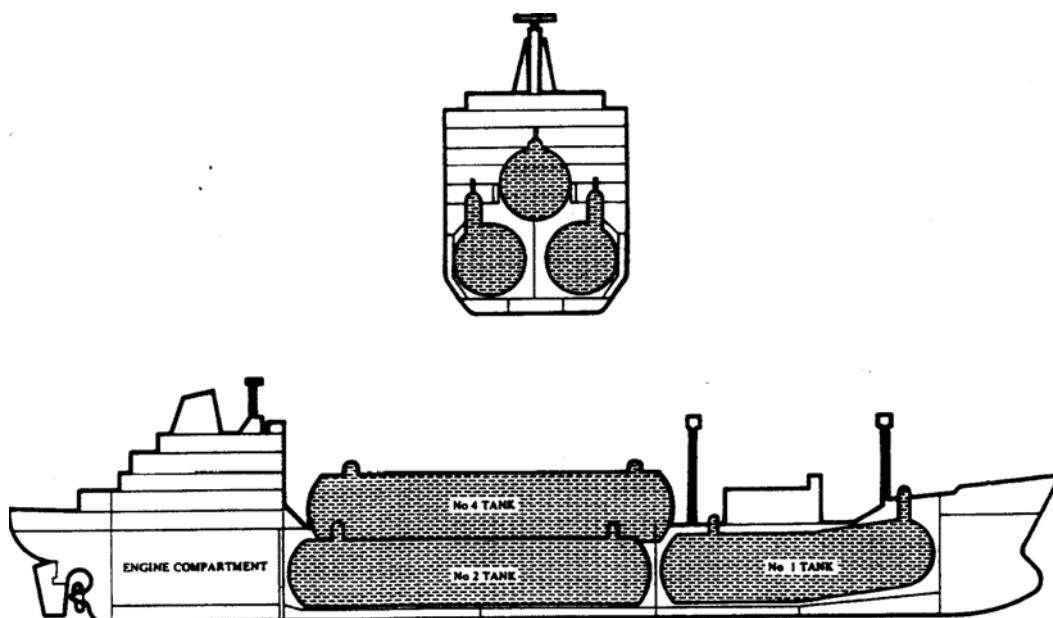


Рис. 3. Газовоз полунанпорного типа.

Поскольку все палубные конструкции и трубопроводы, сопряженные с грузовыми танками, также подвергаются воздействию низких температур, то они также должны быть изготовлены из специальной стали. Кроме того, все трубопроводы должны иметь специальные компенсаторы, уменьшающие термические напряжения в трубопроводах и их деформацию. Наиболее широкое применение получили танки, изготовленные в виде одинарного или двойного цилиндра, однако можно встретить суда такого типа и со сферическими танками. Грузовые танки также могут быть расположены как под главной палубой, так и над ней, но они значительно больше танков, используемых на судах, перевозящих газы под полным давлением. Танки располагаются как вдоль, так и поперек судна. Крепление танков осуществляется за счет рамных суппортов (рис 4.), которые обычно изготавливаются из материалов не



проводящих тепло. Обычно используются твердые породы дерева. Танки крепятся к корпусу судна только в одном месте, что позволяет танку сжиматься и расширяться при изменении температуры, независимо от корпуса судна. Для предотвращения и уменьшения притока тепла извне, устанавливается изоляция из полиуретана или полистирола толщиной около 200 миллиметров. Изоляция наносится на наружную поверхность танков или в форме листов, или же распыляется в виде пены.

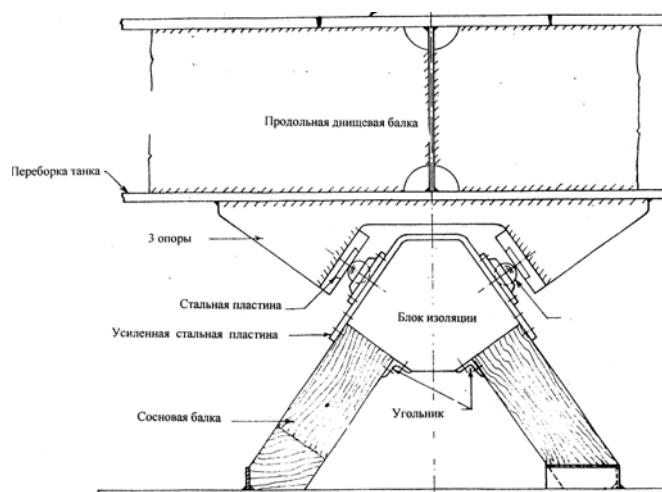


Рис.4 Нижний крепеж танка.

Защита грузовых емкостей от повреждений извне.

Согласно требованиям ИМО суда-газовозы должны иметь соответствующую защиту грузовых емкостей от повреждений в случае посадки на мель или столкновении. При этом степень защиты емкостей зависит от размеров судна и степени биологической опасности перевозимых грузов для окружающей среды и человека.

Газовоз типа 1G – предназначен для перевозки особо опасных для окружающей среды грузов (хлор, бром метил, этилен оксид и пр.), требует максимальной защиты грузовых помещений от повреждения в случае столкновения или посадки на мель (см. рис. 5-6).

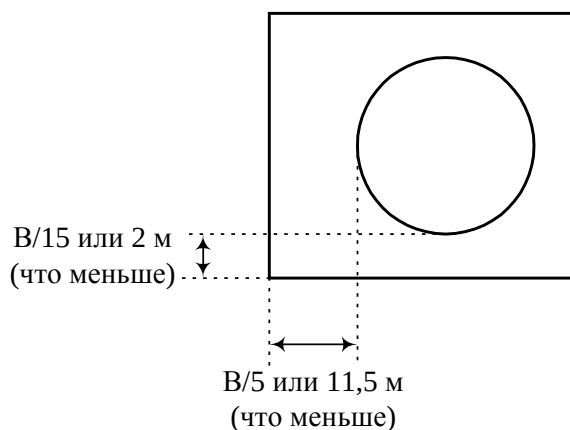


Рис. 5. Газовоз типа I G.



5. Конструктивные особенности газовозов

Для перевозки менее опасных грузов, ИМО предусматривает минимальное расстояние между танками и наружной обшивкой 760 мм.

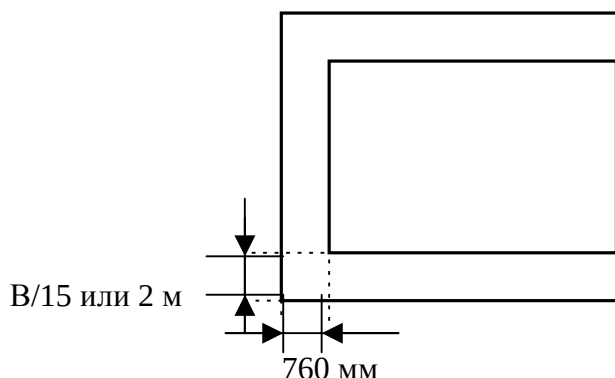


Рис. 6. Газовозы типа 2G, 2PG и 3G.

Судно, перевозящее сжиженные газы под частичным давлением паров, оборудуется установкой для сжижения газа. Эта установка позволяет в процессе транспортировки груза, держать его охлажденным и, соответственно, поддерживать относительно низкое давление в танках. Это в свою очередь позволяет уменьшить толщину стали используемой для изготовления танков. Установка по сжижению газа обычно располагается на главной палубе в специально оборудованном помещении.

Для выгрузки груза используются центробежные насосы, установленные в специальных колодцах грузовых танков. Такие насосы обычно состоят из многоступенчатого центробежного насоса, вала привода и трубопровода от насоса к куполу танка, где устанавливается обычно привод насоса. В качестве привода используется электромоторы. В каждом танке устанавливается один насос. Кроме того, на палубе устанавливаются 2 бустерных насоса, которые обеспечивают выгрузку судна при наличии большого противодавления в береговом трубопроводе или же позволяют производить выгрузку с подогревом груза. Каждый танк оборудуется системами контроля за температурой, уровнем груза, давлением в танке. Система трубопроводов на судне, перевозящем грузы под частичным давлением, намного сложнее, чем на судах, перевозящих газы при полном давлении. Помимо того, что судно имеет систему охлаждения груза, оно ещё должно обеспечивать, если это необходимо, ещё и нагрев груза во время выгрузки. Зачастую грузовые танки разделены на несколько групп, с тем, чтобы можно было обеспечить одновременную перевозку двух и более грузов. В дополнение ко всему, современные суда такого типа имеют возможность перевозить и некоторые жидкие химические грузы, поскольку в конструкции танков предусмотрена возможность перевозки грузов с высокой плотностью.

Преимущества судов полунанпорного типа:

- Конструкция танков гораздо легче, чем на судах напорного типа, следовательно, дешевле.
- Соотношение вместимости и грузоподъёмности также намного лучше.
- Грузоподъёмность увеличивается за счет повышения плотности перевозимых газов при низкой температуре.
- Увеличивается разнообразие перевозимых грузов.
- Намного больше используется полезный объём корпуса.
- Не требуется установка вторичного барьера.



Недостатки судов полунапорного типа:

- Требуется установка дополнительных механизмов и аппаратуры для поддержания относительно низкого давления в танках.
- Экономически невыгодно использовать суда такого типа при грузоподъемности более 15.000 кубометров.
- Материал, используемый для изготовления танков, должен содержать минимум 2% никеля, чтобы выдерживать низкие температуры, т.е. является довольно дорогим.
- Требуется установка дополнительной изоляции танков, для снижения тепла, поступающего в груз из окружающей среды.

Комбинированные суда газовозы- химовозы

В последние годы весьма значительно возрос интерес к судам, способным перевозить одновременно не только несколько видов сжиженных газов, но и химические вещества наливом. Такие суда строятся в соответствии с Международным кодексом постройки и оборудования судов, перевозящих сжиженные газы (IGC) и Кодексом постройки и оборудования судов, перевозящих опасные химические вещества наливом. (BCH).

Такие комбинированные суда имеют грузоподъемность от 5.000 м³ до 8.000 м³ и оборудуются цилиндрическими или призматическими танками. Конструкция танков предусматривает транспортировку грузов под давлением 3-4 бара. В тоже время танки должны быть изготовлены из кислотостойкого материала, что обеспечило бы перевозку химических веществ.

Как и все газовозы, перевозящие грузы под частичным давлением паров, комбинированные суда могут перевозить и этилен, и нефтяные газы, и аммиак. В дополнение к обычной (прямой) системе охлаждения грузов, используемой на газовозах, комбинированные суда оборудуются дополнительно системой непрямого охлаждения, т.е. устанавливаются дополнительно или змеевики по наружному контуру грузовых танков, или же специальные палубные теплообменники.

Чтобы достичь максимальной гибкости при использовании таких судов на рынке, каждый грузовой танк оборудуется своей собственной системой насосов и трубопроводов для погрузки и выгрузки. Системы вентиляции танков также устанавливаются на каждом танке отдельно, что позволяет перевозить до 6 видов различных грузов одновременно. Это могут быть как сжиженные газы, так и химические вещества. Система грузовых трубопроводов предусматривает также объединение грузовых танков в группы или же соединение их общий трубопровод с помощью специальных съёмных соединений.

Поскольку внутри грузовых танков отсутствуют змеевики обогрева груза, то такие танки легче готовить под смену груза, и также отсутствует вероятность проникновения нагревающего или охлаждающего агента непосредственно в груз.

Такие суда должны быть оборудованы дополнительно системой мойки танков, как обычные химовозы, что делает систему трубопроводов ещё сложнее, а стоимость судов – ещё выше. Однако, учитывая, гибкость при использовании таких судов, окупаемость их также довольно высока.



5. Конструктивные особенности газовозов

Суда рефрижераторного типа (рис.6.)

Раньше так называли суда, перевозящие полностью охлажденные сжиженные газы, которые появились в результате совершенствования газовозов полунапорного типа. Первое судно такого типа было построено в 1961 году. Обычно, такие суда имеют грузовместимость от 15.000 м³ до 100.000 м³. Обычно эти суда перевозят нефтяные газы и аммиак. Грузовые танки судов, перевозящих газы под атмосферным давлением, сконструированы таким образом, чтобы выдерживать давление максимум на 0,3 бара выше атмосферного, при этом температура груза обычно удерживается в

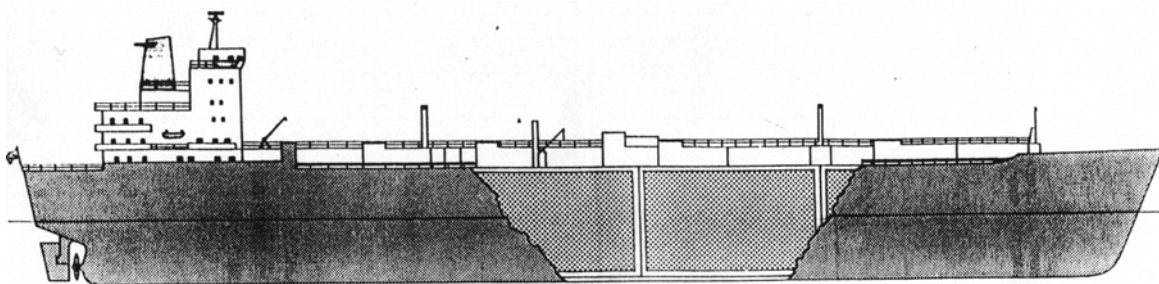


Рис. 6 Внешний вид газовоза рефрижераторного типа.

пределах -50°C . Из-за небольшого давления в грузовых танках, они строятся таким образом, чтобы наиболее полно использовать полезный объем корпуса судна. Предусмотрено также, что грузовые танки должны быть самонесущими и не имеющими жесткого крепления к корпусу судна, а это означает, что танки могут свободно сжиматься и расширяться, независимо от судовых конструкций. В качестве материала для изготовления танков используется углеродисто-марганцевая или же сталь с содержанием никеля не менее 2 %.

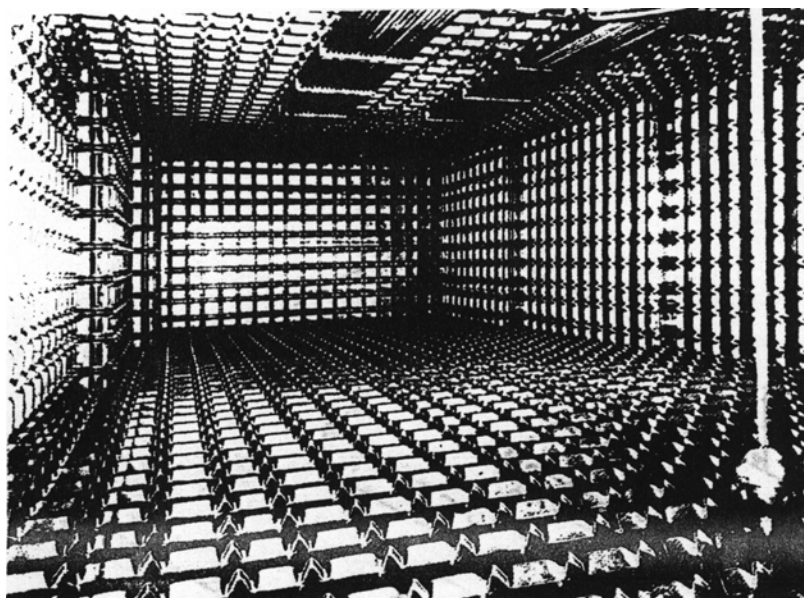


Рис.7. Внешний вид грузового танка на судах рефрижераторного типа



Танки (рис.7.) устанавливаются поверх танков двойного дна на специальные деревянные опоры и жестко крепятся только к центральной опоре, позволяя танку свободно расширяться и сжиматься.

Изоляция грузовых танков, которая обычно наносится на внешнюю поверхность танка в виде пены, значительно снижает приток тепла из окружающей среды. Международные правила требуют устанавливать на таких судах вторичный барьер для снижения риска утечек груза в случае аварии. Такое требование выполняется изготовлением танков двойного дна и бортовых балластных танков из низкотемпературной стали. Свободные пространства вокруг каждого танка снабжаются специальными эжекторами, позволяющими удалять жидкий газ, скапливающийся в этих пространствах в результате повреждения танка, в другой грузовой танк.

Каждый танк разделен продольной переборкой для уменьшения свободной поверхности и оборудован двумя грузовыми насосами.

Привод грузовых насосов электрический. На куполе каждого танка имеются устройства для контроля за состоянием груза и отбора проб.

Установка для сжижения газов, используемая на таких судах, практически не отличается от установки, которая используется на судах полунанпорного типа. Весь сконденсированный груз возвращается опять в танки, так что потери груза в процессе транспортировки исключены.

Суда, перевозящие грузы под атмосферным давлением не так гибки в использовании по ряду причин. Главная из которых – это то, что груз во время погрузки или выгрузки должен находиться при низкой температуре (температуре кипения при атмосферном давлении). Такие суда довольно часто используются при перевозке большого количества однородных грузов, таких как пропан, бутан и аммиак.

Преимущества:

- Наиболее полное использование полезного объема корпуса.
- Увеличение плотности перевозимого груза за счет низких температур, и, следовательно, увеличение полезной загрузки.
- Влияние свободной поверхности уменьшается за счет заполнения танков до уровня купола или установки продольных переборок в танках.
- Эффективность больших судов гораздо больше, чем малых, и поэтому суда такого типа строятся вместимостью свыше 100.000 кубических метров.

Недостатки:

- Высокая стоимость низкотемпературных сплавов, используемых для изготовления грузовых танков, магистралей и клапанов.
- Необходимость изоляции грузовых танков и трубопроводов для уменьшения проникновения тепла в груз.
- Необходимость установки вторичного барьера, т.е. двойного корпуса.
- Для поддержания низкого давления в танках и низкой температуры, установка повторного сжижения должна быть достаточно мощной, что влечет за собой дополнительные расходы.
- Необходимость поддержания инертной атмосферы с низкой влажностью вокруг грузовых танков.
- Использование этих судов только для больших партий однородного груза, снижает их эффективное использование на рынке.



5. Конструктивные особенности газовозов

Суда для перевозки природного газа (метановозы) (рис.8).

Природный газ всегда транспортируется в полностью охлажденном виде при температуре -161°C и атмосферном давлении. Хотя в США природный газ уже много лет перевозили на специально оборудованных баржах, первое судно для трансокеанской перевозки метана было построено в 1959 году. Это был “METHANE PIONEER”, который доставил 4.000 м³ метана из США в Великобританию. После чего произошли значительные изменения и в конструкции судов для перевозки метана и в их размерах.

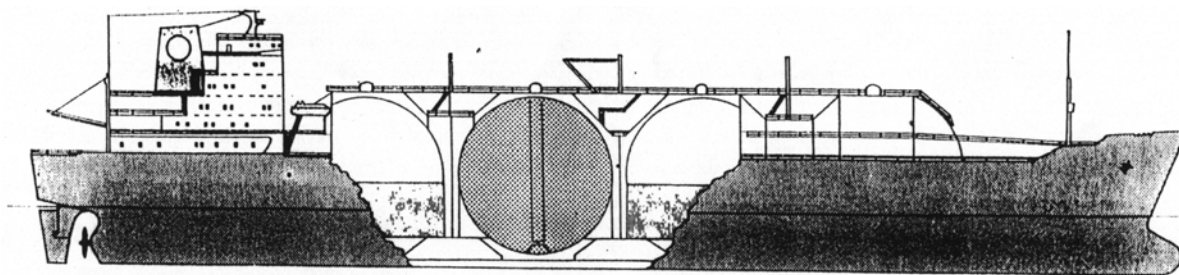


Рис.8. Газовоз - метановоз.

Грузовые танки на таких судах выдерживают давление до 2х бар и температуру -163°C . Вместимость танкеров-метановозов, которые используются в настоящее время превышает 125.000 кубических метров, а в недалеком будущем планируется построить метановоз вместимостью свыше 300.000 кубометров.

На танкерах-метановозах используются грузовые танки двух типов:

- Самоподдерживающиеся танки;
- Встроенные танки.

Из-за теплообмена груза с окружающей средой, часть груза испаряется. Удаление избыточного давления паров свыше допустимого можно осуществлять различными способами:

- Стравливать давление в атмосферу.
- Использовать газ как топливо.
- Сжижать газ и возвращать пары в танк.

Первое судно, перевозившее метан через океан использовало первый метод и стравливало избыточное давление в танках в атмосферу. Однако сейчас метан используется как топливо для главного двигателя совместно с обычным топливом. Обычно в качестве главного двигателя на таких судах используется паровая турбина, но существуют и танкера с дизельными силовыми установками, использующими и метан, и дизельное топливо (рис.9).

Количество испаряющегося газа должно быть не больше того, что можно использовать для силовой установки. Например, на метановозе вместимостью 125.000 м³ ежедневно испаряется от 0,18 % до 0,25% от общего количества груза. Это значит, что примерно 70-75% топлива, нужного для обеспечения полного хода, можно получить за счет использования метана.

Перед погрузкой природного газа, грузовые танки необходимо заохладить до температуры -135°C , чтобы избежать разрушения материала

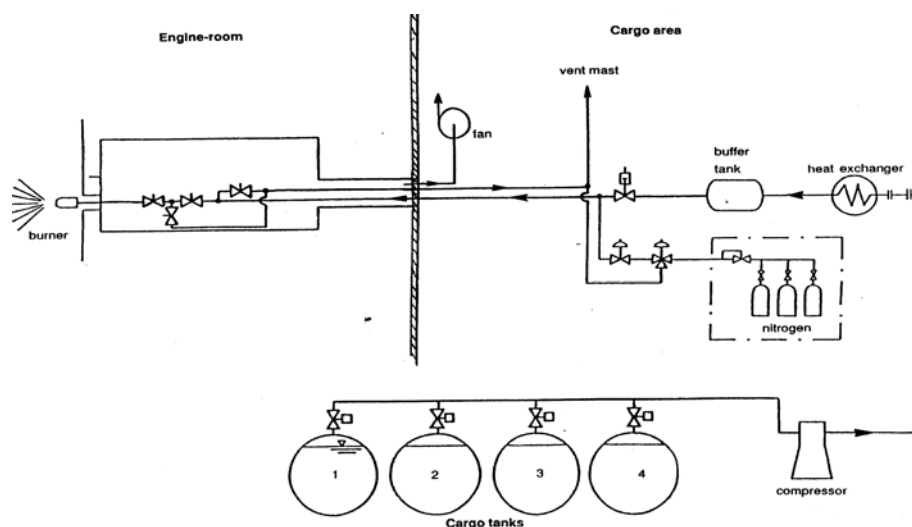


Рис.9 . Утилизация выпара на метановозах.

танков в результате перепада температур. Такое захлаживание производится при использовании системы распыления груза в пространстве танка в соответствии с температурно-временными характеристиками для данного судна. Обычно скорость захлаживания колеблется в пределах 5-7 градусов в час.

Выгрузка производится при помощи погружного насоса, который устанавливается внутри специальной колонны, расположенной в центре танка. Причем и электромотор, и насос представляют собой единую систему и расположены в нижней точке танка, груз используется для охлаждения электродвигателя и смазки насоса.

Следует иметь ввиду, что средние и небольшие метановозы часто оборудуются установкой для сжижения газа, что позволяет их использовать для перевозки этилена и нефтяных газов. Оборудование же больших метановозов установками для сжижения газа не является эффективным, поскольку мощность такой установки для судна вместимостью 125000 м³ должна быть свыше 8500 лошадиных сил.

Конструкции грузовых танков.

Для перевозки сжиженных газов используются самые разнообразные конструкции грузовых танков. При этом учитываются такие параметры как:

- Максимальное рабочее давление;
- Максимальная температура груза;
- Конфигурация танка;
- Материал, используемый в конструкции танка.

ИМО делит грузовые танки, используемые для перевозки сжиженных газов на 5 основных групп:

1. Встроенные танки.
2. Мембранные танки.
3. Полумембранные танки.
4. Независимые танки типов А, В и С.
5. Танки с внутренней изоляцией.



5. Конструктивные особенности газовозов

Встроенные танки.

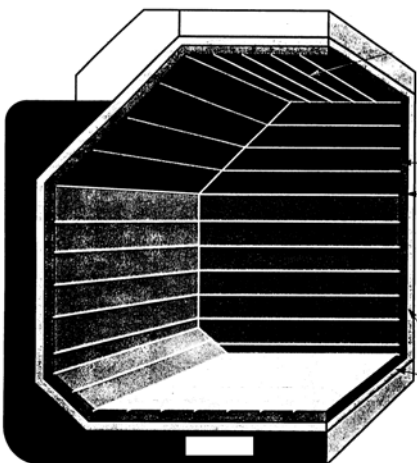
Встроенные танки объединены с корпусом судна, испытывают внешние нагрузки и участвуют в обеспечении целостности и прочности корпуса.

Рабочее давление таких танков, как правило, не должно превышать 0,25 бара, однако, оно может быть увеличено до 0,7 бара, если соответствующим образом увеличивается размер и количество внутренних связей танка.

Поскольку в судостроении используется сталь с температурным пределом не ниже -10°C , то практического применения в перевозке сжиженных газов, такие танки не находят.

Мембранные танки (рис. 10).

Мембранные танки не являются самонесущими (Self-supporting) и состоят из тонкой мембраны, уложенной на изоляцию. Изоляция, в свою очередь, располагается прямо на корпусе судна, так что давление в танке напрямую передается конструкциям корпуса. Корпус же является основным несущим элементом таких танков.



Мембрана же таких танков проектируется таким образом, чтобы термические и другие виды расширения или сжатия компенсировались без чрезмерного напряжения мембраны. Наиболее часто такая конструкция танков используется на судах Gas Transport французской постройки. Для повышения безопасности, танки такого типа должны быть окружены вторичным барьером. Это достигается за счет установки дополнительной мембраны внутри слоя изоляции.

Рис. 10. Общий вид мембранного танка

Если рассматривать тот слоеный пирог, который получается в результате такой конструкции танка (рис.11), в направлении к грузу, то мы получим следующее:

- Борт судна;
- Вторичная изоляция;
- Вторичный барьер;
- Первичная изоляция;
- Первичный барьер;
- Груз.

Толщина первичной мембраны только 0,5 мм и изготавливается она из ИНВАР стали (содержащей 36% никеля), коэффициент термального расширения которой практически равен нулю. Поэтому проблемы термального сжатия или расширения танка исключаются. Зачастую в виде изоляции

5. Конструктивные особенности газовозов



используется ПЕРЛИТ – сыпучий материал в виде крупы, состоящий из маленьких стеклянных шариков, наполненных воздухом. Рабочее давление таких танков, обычно, не превышает 0,25 бара.

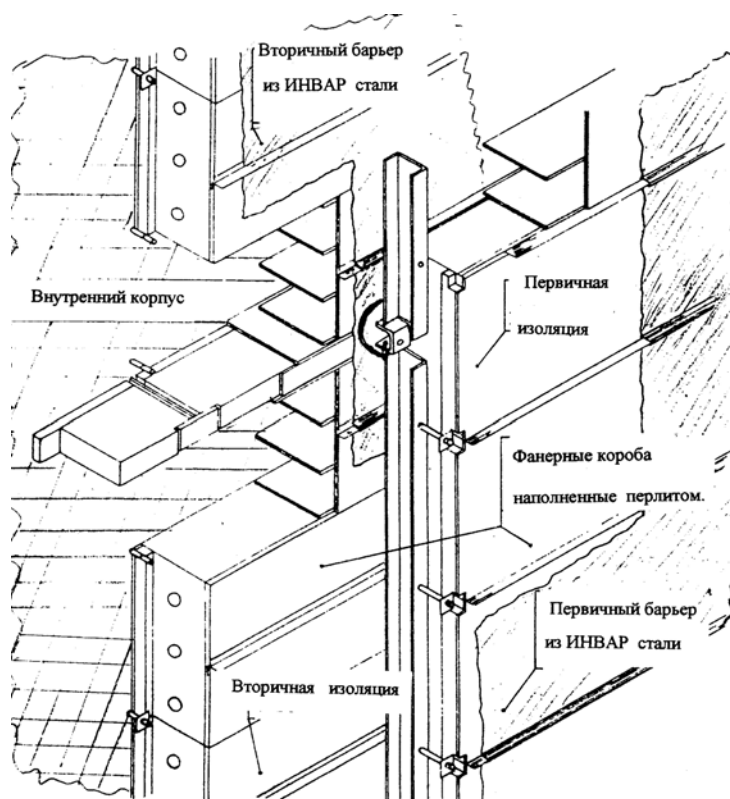


Рис.11. Строеение изоляции мембранного танка.

Полумембранные танки.

Полумембранные танки также не являются самонесущими в загруженном состоянии и состоят из оболочки, частично поддерживаемой через изоляцию смежными конструкциями корпуса судна.

Компенсация термического и других видов расширения или сжатия достигается за счет скругления угловых частей первичной оболочки танка, через который танк удерживается в корпусе судна.

Для такого типа танков также необходима установка вторичного барьера. Вторичный барьер, как и в предыдущем типе танков, создается за счет помещения внутри изоляции дополнительной мембраны, которая крепится к корпусу судна специальными стяжками. Сам танк изготавливается из алюминия или 9%-ной никелевой стали толщиной около 3-х мм. Рабочее давление в таких танков не превышает 0,25 бара.

Независимые танки (вкладные цистерны).

Независимые танки являются самонесущими танками, не являются составной частью корпуса судна и не участвуют в обеспечении общей прочности корпуса.



5. Конструктивные особенности газовозов

Такие танки крепятся к корпусу судна только через специальные суппорты, позволяющие танку сжиматься и расширяться независимо от корпуса судна.

Независимые танки можно разделить на 3 группы:

1. **Независимые танки типа А** (рис.11.)

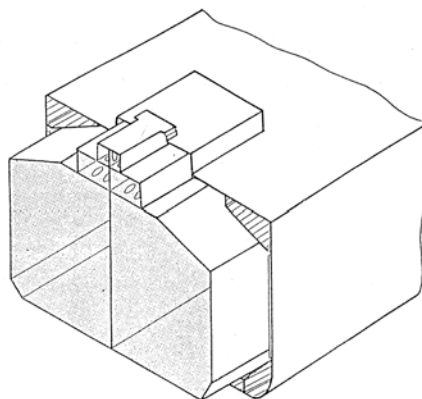


Рис. 11. Независимый танк типа "А".

Представляют из себя герметичную оболочку в виде призмы, изготовленную из стали или алюминия, наиболее полно использующую полезный объем корпуса. Для обеспечения необходимой остойчивости и уменьшения влияния свободной поверхности танк разделен продольной переборкой на 2 части, которые соединены между собой рядом отверстий в куполе танка, т.е. в газовой части. В нижней части переборки обычно устанавливается переборочный клинкет, позволяющий использовать насосы как для одной части танка, так и для обеих частей. Танк устанавливается над вторым дном на специальные кронштейны, изготовленные из твердых пород дерева, и удерживается этими кронштейнами в вертикальном и горизонтальном направлениях. Помимо этого танк жестко крепится к корпусу судна в своей верхней центральной части, таким образом, что он может свободно расширяться и сжиматься. Для таких танков требуется установка вторичного барьера. На судах LPG это решается использованием низкотемпературной стали в конструкциях корпуса, примыкающих к грузовому танку.

Суда, построенные по проекту English Conch, используют танки такой конструкции для перевозки природного газа при температуре -163°C .

В качестве материала для изготовления танков используется алюминий или 9%-ная никелиевая сталь. В качестве изоляции используется комбинация полиуретановой пены, стекловолокна и балласта. Вторичный барьер при этом размещается внутри слоя изоляции в виде стальной мембраны и предназначен для предотвращения прямого контакта холодного груза с корпусом судна в результате протечки. Рабочее давление таких танков не превышает 0,25 бара.

2. **Независимый танк типа В** (рис 12,13), может быть точно таким же как и типа А, но должен быть освидетельствован как более безопасный, чем танк типа А. При освидетельствовании используются более строгие критерии в оценке и анализе прочности материала, из которого изготовлен танк, его

5. Конструктивные особенности газовозов



износостойкости и ломкости в процессе старения металла. Танки такого типа обычно требуют установки частичного вторичного барьера.

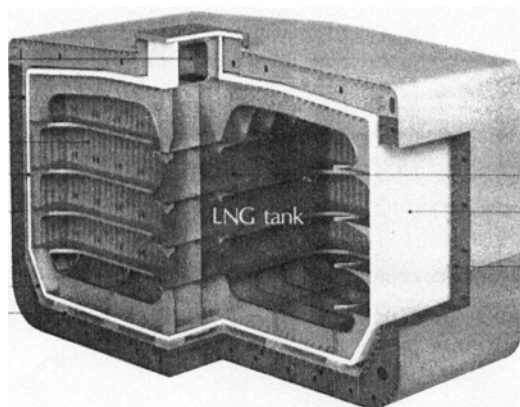


Рис.12. Самонесущий призматический танк типа "В"

Нормальное рабочее давление для таких танков должно быть 0,25 бар, однако оно может быть увеличено до 0,7 бар.

Сферические танки Moss-Rossenberg, предназначенные для перевозки природного газа, также являются танками типа В. Это самоподдерживающиеся сферические танки, которые закреплены в цилиндрических стаканах.

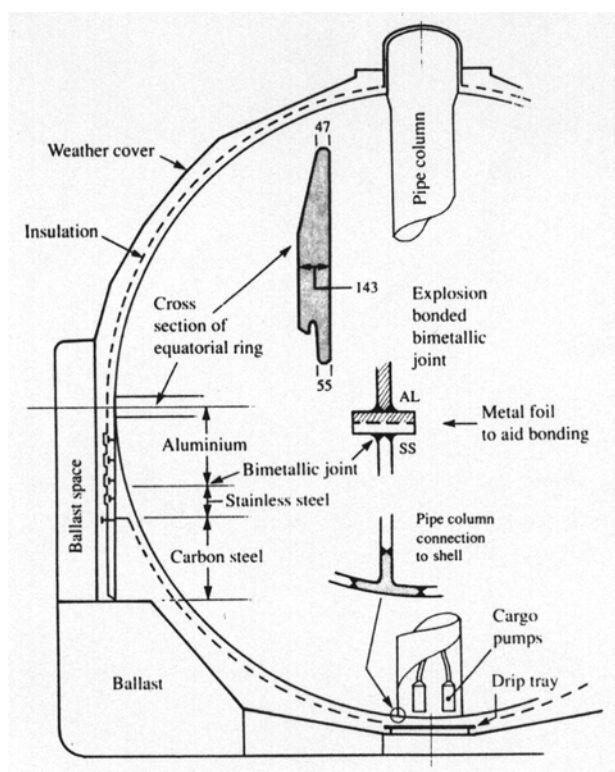


Рис.13. Сферический самонесущий танк типа "В"

Танки изготовлены из алюминия или стали, содержащей 9% никеля. Внутри танка находится цилиндрическая колонна, где помимо всего прочего располагаются все трубопроводы. Танк и часть крепежного стакана



5. Конструктивные особенности газовозов

изолированы полистиролом. Танки построены по принципу “Leak before failure”.

Время, которое требуется для того, чтобы незначительная протечка груза привела к разрушению танка и значительным протечкам, должно быть не менее одного года при условии, что судно будет постоянно находиться в Северном море в сезон штормов. Поскольку танки построены с такими высокими требованиями по безопасности, установка вторичного барьера не требуется. Но для обнаружения протечек и сбора их, под каждым танком устанавливается небольшой вторичный барьер.

3. **Независимый танк типа С** должен соответствовать требованиям, которые предъявляются к сосудам под давлением. Поскольку эти требования довольно высоки, в смысле безопасности, то установка вторичного барьера вокруг танков типа С не требуется. Танки такого типа изготавливаются в форме одинарного или двойного цилиндра и крепятся к корпусу судна с помощью специальных подушек, изготовленных из твердых пород дерева. На одной из подушек танк закреплен жестко, а остальные позволяют ему свободно сжиматься и расширяться независимо от корпуса судна. Танки такого типа используются как на судах перевозящих газы под частичным давлением, так и на судах, перевозящих газы под полным давлением паров.

Танки с внутренней изоляцией.

Емкости с внутренней изоляцией не являются самонесущими и состоят из теплоизоляционных материалов, обеспечивающих стабильность температуры груза и поддерживаемых конструкциями внутреннего корпуса или вкладной цистерны.

Цистерны такого типа могут быть 2-х категорий.

Тип 1 – емкости такого типа, в которых изоляция или сочетание изоляции и облицовки выполняют роль первичного барьера, а внутренний корпус или конструкция вкладной цистерны, выполняют функции вторичного барьера.

Тип 2 – емкости, в которых изоляция или сочетание изоляции и одного или более слоев облицовки, выполняют функции как первичного так и вторичного барьеров, и в которых эти барьеры хорошо различимы.

Облицовка – тонкий несамонесущий, металлический или композитный материал, который образует часть емкости с внутренней изоляцией для того, чтобы увеличить его сопротивляемость излому или улучшить его другие механические качества. Облицовка отличается от мембраны тем, что она не предназначена для выполнения функции барьера для жидкости.

Нормальное рабочее давление таких танков не превышает 0,25 бара

Материал, используемый для изготовления танков.

Для изготовления различных групп танков требуются специальные материалы. При этом наиболее важным фактором при выборе материала является его структурная устойчивость к воздействию низких температур.



Например:

- При изготовления грузовых танков для перевозки грузов с температурой -55°C обычно используется углеродисто марганцевая сталь.
- Для грузов с температурой -65°C используется сталь с содержанием никеля 2,25%.
- Для грузов с температурой -90°C – сталь с содержанием никеля 3,5%.
- Для грузов с температурой -165°C используется сталь с содержанием никеля не ниже 9%, или же сплавы алюминия не теряющие свою прочность при очень низких температурах.

Мембранные танки изготавливаются из волнистых пластин специальной нержавеющей стали (или из сплавов с нулевым коэффициентом термального расширения), что позволяет ей свободно сжиматься или расширяться.

При планировании постройки того или иного танка в расчет принимаются следующие условия и параметры:

- Давление внутри танка;
- Внешнее давление;
- Динамические усилия, возникающие при движении судна;
- Термальные воздействия;
- Возникновение гидравлических ударов внутри танка;
- Изгибающие моменты судна;
- Вес элементов конструкций танка и вес груза;
- Вес изоляции танка;
- Сила Архимеда, действующая на танк, если свободное пространство вокруг танка заполнено водой;
- Расстояние от корпуса судна до внешней оболочки танка.

Изоляция грузовых танков.

При транспортировке грузов с температурой ниже -10°C требуется производить изоляцию грузовых танков, с тем, чтобы избежать воздействия низких температур на корпус судна.

Основная функция изоляции грузовых танков – снижение количества тепла, проникающего внутрь груза с целью уменьшения количества испаряющегося газа и снижения давления внутри танка.

Наиболее часто в качестве изоляции используются следующие материалы:

- Полиуретан;
- Полистирол;
- Перлит;
- Бальса.

Передача тепла через изоляционный материал может происходить 3-мя путями:

- Радиацией тепла.
- За счет теплопроводности твердых материалов изоляции.
- За счет теплопроводности воздушных барьеров или газов, находящихся в изоляции.



5. Конструктивные особенности газовозов

Использование большинства изоляционных материалов основано на теплоизолирующей способности неподвижного воздуха. Теплопроводность неподвижного воздуха составляет около 0,024 Вт/(м·К).

В принципе все изоляционные материалы изготавливаются так, чтобы воздух заполнял все поры материала или находился между слоями различных материалов. Очень важно, чтобы воздух оставался неподвижным, поскольку его движение приведет к конвекции, т.е. передаче тепла. Поэтому основная задача при создании изоляционного материала заключается в том, чтобы воздух был заключен неподвижно в маленьких пространствах (порах) или же таким образом, чтобы тонкие волокна материала задерживали молекулы воздуха.

Теплопроводность ячеистых, пористых материалов или волокнистых материалов в значительной степени определяет общую теплопроводность изоляции. До тех пор, пока диаметр пор или ячеек материала будет больше, чем длина свободного пути, совершаемого молекулой газа, но меньше, чем требуется для возникновения конвекции, величина теплопроводности материала для данного газа, будет величиной постоянной.

Если же мы заменим воздух каким-либо газом, теплопроводность которого меньше теплопроводности воздуха, мы получим изоляционный материал с теплопроводностью ниже, чем теплопроводность неподвижного воздуха. Такие материалы получают при использовании различных пластмасс или полиуретана, где поры материала заполнены не воздухом, а парами фреона, у которого теплопроводность ниже чем у воздуха.

Виды изоляционных материалов.

Все материалы, которые используются в судостроении в качестве изоляции, можно разделить на 3 основных типа:

- Твердые материалы, которые могут выдерживать значительные нагрузки и использоваться в качестве поддержки танков в корпусе судна. Примером таких видов изоляции могут служить некоторые породы дерева, которые используются в качестве изоляционного материала (бальса, азоб) или же пластики с высокой плотностью. Все эти материалы должны выдерживать нагрузки, которые испытывает танк при термальных воздействиях.
- Эластичные материалы, такие как минеральная вата или пористые пластики низкой плотности. Эластичные материалы наносятся на поверхность танка с помощью клея и (или) различного крепежа, который обеспечивает надежное крепление изоляции к поверхности танка или же ко вторичному барьеру.
- Изоляционные материалы в виде порошка (такие как Перлит). При использовании порошковых материалов все пространство вокруг танка должно быть заполнено изоляционным материалом. При этом изоляционный материал изготовленный в виде порошка, легко (как жидкость) заполняет весь объем трюмного пространства или же вторичного барьера. Материалы такого типа очень часто используются для изоляции танков на судах, перевозящих грузы под атмосферным давлением.

Минеральная вата.

Название «минеральная вата» объединяет целый ряд различных органических и неорганических тонковолокнистых материалов, которые можно



также разделить на 2 вида: стекловата и горная вата. Минеральная вата поставляется и используется в виде листов или матов.

Стекловата производится из расплавленного стекла, которое при его вращении формирует очень тонкие (диаметром около 0,005 мм) волокна. После того, как в массу стеклянных волокон вводится водоотталкивающий скрепляющий материал (обычно некоторые виды пластмасс), масса затвердевает и разрезается на листы или маты различной формы и размеров. Плотность стекловаты составляет 18-20 кг/м³.

Горная вата изготавливается из некоторых минералов, которые плавятся при температуре около 1.600°C. Процедура производства волокон из такой массы та же самая, что и из стекла. В качестве скрепляющего материала также используется пластик. Плотность каменной или горной ваты составляет 40-50 кг/м³ и более.

Стекловата и горная вата могут использоваться также не в виде листов, а в виде наполнителя, в таком случае использование скрепляющего материала не требуется, однако плотность материала существенно увеличивается и составляет уже около 100 кг/м³.

Перлит.

Перлит изготавливается из губчатого вулканического камня. Основу материала составляет кремний (71%) и окислы алюминия (16%). Природный материал содержит в своем составе около 3,5% воды, поэтому при его нагревании свыше 1.200°C вода вскипает и «раздувает» материал, образуя при этом множество заполненных воздухом ячеек, которые увеличивают объем перлита в 10-20 раз. При испарении воды происходит также отделение заполненных воздухом шариков и материал «взрывается» с образованием мельчайших шариков, заполненных воздухом. Размер таких шариков не более чем 3 мм в диаметре и они способны выдерживать довольно большие механические нагрузки. Плотность перлита составляет около 50 кг/м³.

Пористые пластики.

В мире существует очень много пористых пластиков, однако, для изоляции грузовых танков на газовозах, производители сами себя ограничили использованием только полиуретана и полистирола.

Полиуретан.

Наиболее важными элементами, составляющими полиуретан, являются изоцианиды и полиол. Оба этих вещества производятся в жидкой форме, изоцианиды больше походят на жирное масло, а полиол более напоминает лак.

При их смешивании с добавлением воды, начинается реакция с выделением большого количества теплоты. Атомы углерода, находящиеся в составе изоцианида объединяются с атомами водорода, находящимися в составе полиола, с выделением углекислого газа. Из-за большого количества, выделяемого в процессе реакции тепла, происходит нагрев углекислого газа и расширение материала с образованием большого количества пены. Причем на 90% эта пена содержит в себе замкнутые ячейки, заполненные газом.

Теплопроводность материала довольно низкая и составляет



5. Конструктивные особенности газовозов

0,03-0,045 Вт/(м·К). Причем величина теплопроводности примерно такая же как и для многих пористых или мелковолоконистых природных материалов, поскольку пузырьки материала заполнены углекислым газом. Если же эти пузырьки заполнить фреоном (R11), то мы получим теплопроводность в 3 раза ниже.

Сразу же после застывания материала, происходит диффузия между углекислым газом и воздухом. Полная стабильность материала, после его отвердения, достигается через 100 дней. Однако при воздействии низких температур, может произойти конденсация газов в пузырьках материала, что приведет к падению давления в ячейках. Поэтому следует предполагать значительный приток в ячейки воздуха из атмосферы. Наилучший результат достигается при использовании изоляции из полиуретана в случае размещения её между водонепроницаемыми переборками по всей площади.

Полиуретановая пена наносится распылением жидкого полиуретана на поверхности танка. При этом пенообразование начинается в момент контакта жидкости с поверхностью танка и ведет к увеличению её объёма в 30-40 раз. Плотность полиуретановой пены составляет 40 кг/м³.

Полистирол.

Материал, который используется для производства полистирольной изоляции, при расширении образует пену с огромным количеством ячеек (пузырьков), заполненных газом. Для заполнения пузырьков используются различные газы, которыми осуществляется продувка полистирола.

Производство изоляции осуществляется в 2 этапа. На первом этапе происходит образование в жидкости пузырьков диаметром 1-6 мм, т.е. предварительное расширение материала. Затем через 2-4 дня материал заливается в формы, где его расширение продолжается. После отвердевания материала образуются блоки с зернистой структурой, где каждый пузырек газа заключен в свою собственную оболочку. Для того, чтобы завершить процесс затвердевания, необходимо подогреть пластик до необходимой температуры (произвести вулканизацию). Для этого используется перегретый пар или электрические нагревательные элементы.

Влажность изоляции.

Атмосферный воздух содержит в своем составе некоторое количество водяных паров. Пары воды осаждаются на поверхностях с низкими температурами, поэтому поверхность изоляции грузовых танков должна быть покрыта материалом с очень низким коэффициентом диффузии, предотвращающим проникновение паров воды внутрь изоляции. Однако даже если таким материалом покрыть наружную поверхность изоляции, это не обеспечит 100% задержки паров воды.

Практически, такое требование выполняется покрытием мест крепления танков, трубопроводов, куполов танков материалом с низким коэффициентом диффузии. Главной характеристикой таких материалов является их способность противостоять диффузии газов и способности к осаждению паров воды. Перлит, стекловата и горная вата имеют очень низкий коэффициент защиты от диффузии газов, тогда как пористые пластики хорошо защищают танки от

5. Конструктивные особенности газовозов



влаги. Если коэффициент диффузии для воздуха составляет 1,0, то для перлита он будет равен 1,2 для минеральной ваты 1,4, а для пористых пластиков 50-170.

Известны следующие способы предотвращения попадания влаги в изоляцию танков:

- Покрытие изоляции полиэстерами, усиленными стекловолокном. Однако такое покрытие легко разрушается и должно быть довольно толстым, с тем, чтобы выдерживать значительные нагрузки.
- Покрытие изоляции битумами или асфальтом с использованием слоёв стеклоткани в качестве усиления.
- Нанесение алюминиевой фольги непосредственно на пористый пластик.

Основные системы газовозов.

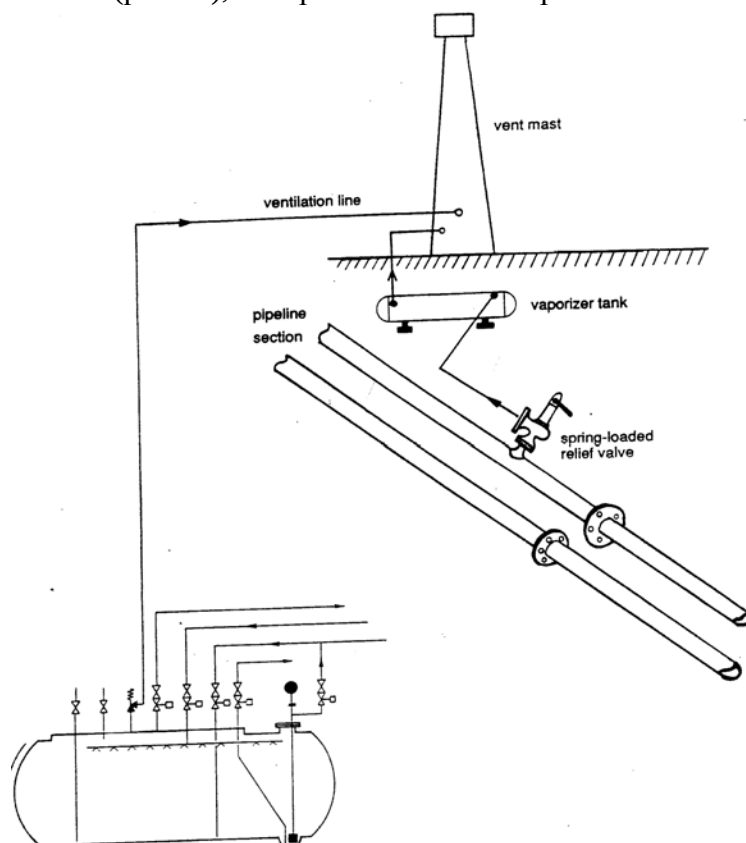
Конструктивно все грузовые системы предназначены минимизировать протечки груза из танков и трубопроводов. Это обеспечивается следующим:

- Выбором необходимых материалов для их изготовления и контролем.
- Всесторонней проверкой танков и главных составляющих оборудования.
- Соответствующим расположением систем и оборудования.

Системы трубопроводов.

Сжиженные газы грузятся на борт и выгружаются на берег при помощи судовых грузовых трубопроводов. Системы трубопроводов позволяют также обеспечить вентиляцию и инертизацию грузовых танков, нагрев и охлаждение груза. Системы полностью закрыты и не допускают протечек газа из трубопроводов или же попадания воздуха внутрь трубопроводов. Системы трубопроводов могут быть сообщены с атмосферой только при помощи специальных фланцевых соединений или клапанов (соединения с вентиляционной мачтой).

Все трубопроводы, предназначенные для транспортировки газов под давлением, оборудованы специальными предохранительными клапанами пружинного типа (рис.14), которые позволяют стравливать избыточное





5. Конструктивные особенности газовозов

давление в трубопроводах на вентиляционную мачту (рис.14).

Рис. 14. Система газоотвода .

Все трубопроводы и фланцевые соединения изготавливаются из легированной стали, содержащей никель, что позволяет им выдерживать низкие температуры при транспортировке грузов, предусмотренных конструкцией судов.

Грузовые трубопроводы имеют температурные компенсаторы, что позволяет избежать чрезмерных нагрузок при термальном сжатии или расширении грузовых танков и самих трубопроводов. Системы трубопроводов, которые предназначены для грузовых операций, можно объединить в следующие группы:

- Трубопроводы для жидкой фазы груза;
- Трубопроводы для газовой фазы груза;
- Трубопроводы охлаждающей системы (заборной воды);
- Трубопроводы для инертного газа и вентиляции танков;
- Трубопроводы различных вспомогательных систем.

Системы грузовых трубопроводов могут быть также разделены на судне на 2 или более групп. Это означает, что судно может перевозить два и более грузов одновременно. Такая система (если необходимо) может быть разделена на несколько групп с помощью специальных съёмных проставок с фланцами, «катушек». Такое разъединение системы необходимо в том случае, если судно готовится к перевозке нескольких партий груза одновременно. Этот вид разобщения грузовых магистралей исключает смешение грузов в процессе их погрузки-выгрузки и транспортировки.

Основные грузовые магистрали (манифолды или кроссоверы) располагаются в средней части грузовой палубы судна, отдельно для паров и для жидкости.

Жидкостная грузовая магистраль соединена с погрузочной магистралью каждого танка, а также с грузовыми и бустерными насосами.

Газовая магистраль соединена с системой газоотвода грузовых танков и с системой охлаждения груза.

На судах, перевозящих грузы при полном давлении, грузовая система очень проста и обычно состоит из погрузочно-разгрузочного трубопровода и трубопровода газоотвода. На судах такого типа не устанавливаются системы охлаждения груза или грузовые насосы, поскольку груз перевозится при температуре окружающей среды, а выгрузка осуществляется выдавливанием груза за счет создания избыточного давления в танке.

Создание необходимого давления производится либо судовым, либо береговым компрессором.

Грузовая система на судах, перевозящих грузы частично под давлением, грузовая система более сложная. Помимо системы охлаждения груза, такие суда оборудуются еще и грузовыми насосами и системой подогрева груза в море или же во время выгрузки и т.д. и т.п.

Суда, перевозящие полностью охлажденные грузы, имеют почти такую же грузовую систему, как и суда, перевозящие газы под частичным давлением. Однако некоторые системы, кроме системы охлаждения груза, на таких судах не используются.



Система охлаждения груза

Большая разница температур между грузовыми танками и окружающим их пространством обуславливает приток теплоты от окружающей среды в грузовые танки. В результате этого груз закипает и начинает испаряться. Если парам груза нет выхода из танка, то давление над поверхностью жидкости будет повышаться, также как и температура груза. Дополнительная теплота, поступающая в танк, будет использована на нагрев жидкости.

Если танк сконструирован таким образом, что может выдерживать высокое давление, процесс нагрева груза будет продолжаться до тех пор, пока его температура не сравняется с температурой окружающей среды. Например, если пропан в танке нагреть до $+30^{\circ}\text{C}$, то давление в танке поднимется до 11 бар.

Однако многие танки не предназначены для того, чтобы выдерживать такое высокое давление. Чтобы удержать давление и температуру в танке в пределах нормы, возникает необходимость убрать из танка пары газа, образовавшиеся при его кипении, сконденсировать их и вернуть обратно в танк. Такой процесс осуществляется, установкой на судне системы по повторному сжижению газа.

Система повторного сжижения газов.

Сущность работы установки по повторному сжижению газа (охлаждению и конденсации выпара) сводится к отводу излишнего тепла из грузового танка и передаче его охлаждающему агенту при помощи теплообменника, такая операция позволяет избежать потерь груза при его транспортировке.

При этом охлаждение груза осуществляется не за счет сброса конденсата (конденсат после дросселирования имеет ту же самую температуру, что и груз в танке), а за счет понижения давления в танке и, следовательно, понижения температуры кипения груза.

Состав и принцип работы установки по повторному сжижению газа зависит от размеров судна и типа грузов, для перевозки которых судно предназначено. В основном используются 3 вида систем повторного сжижения:

- Прямое сжижения;
- Непрямого охлаждения;
- Каскадные системы сжижения.

Непрямое охлаждение.

Основное отличие системы непрямого охлаждения в том, что груз сам по себе не используется как охлаждающий агент. Такие системы обычно закрытого типа, где в качестве охлаждающего агента в системе сжижения используется R22 или Этанол.



5. Конструктивные особенности газовозов

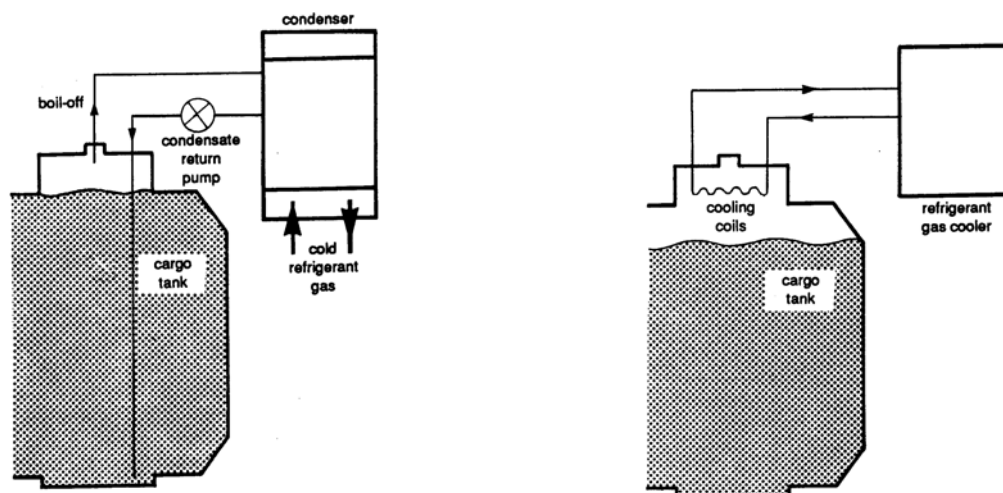


Рис. 15. Насосная и без насосная установки непрямого охлаждения груза

На газовозах обычно используются следующие виды непрямого охлаждения груза:

- Охлаждение внешней поверхности грузового танка с помощью специальной системы охлаждения.
- Охлаждение жидкого груза при помощи палубных теплообменников.

Установки повторного сжижения, действующие по схеме непрямого охлаждения более безопасны, чем установки с прямым сжижением. В настоящее время используются насосный и безнасосный варианты (рис. 15). В насосном варианте груз с помощью насоса прогоняется через теплообменник и возвращается в танк. Безнасосный метод предусматривает расположение охлаждающих змеевиков в верхней части танка, или же их расположение снаружи танка. Принцип действия УПСГ (Установка Повторного Сжижения Газов) дан в разделе «Установки повторного сжижения».

Система инертного газа.

Понятие «инертный газ» определяет смесь газов или газ, которые не вступают в химическую реакцию с взрывоопасными парами и не поддерживает процесс горения.

Инертный газ на борту судна может быть получен при помощи эффективного сжигания дизельного топлива в так называемом «генераторе инертного газа» (рис.16.) с образованием как можно более низкого содержания серы в выхлопных газах.

При таком сжигании содержание кислорода в выхлопных газах очень мало – около 0,5%, и основные составляющие инертного газа – это азот (84-85%) и углекислый газ (14-15%).

Инертный газ также содержит небольшие количества сажи, паров воды, и окислов азота и серы. Для очистки его от сажи и окислов серы инертный газ должен пройти через специальные фильтры и систему охлаждения (промывочную башню или скруббер).

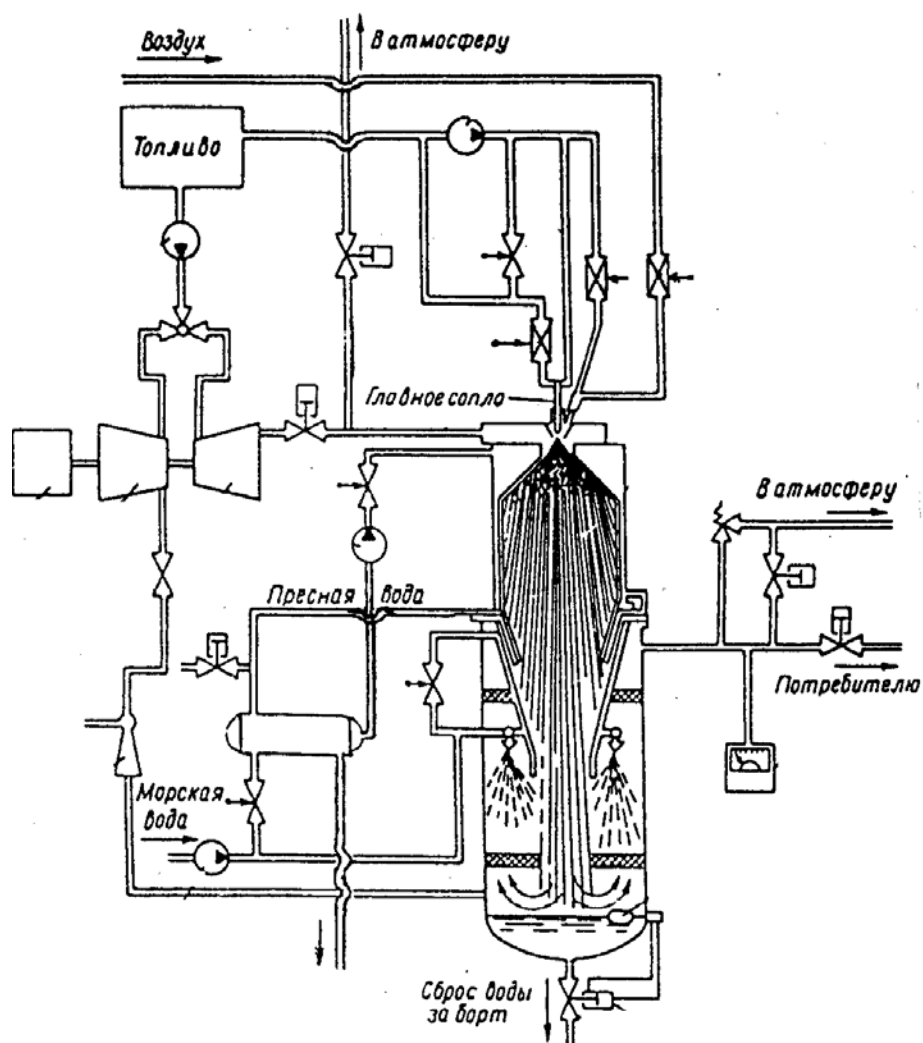


Рис. 16. Установка инертного газа.

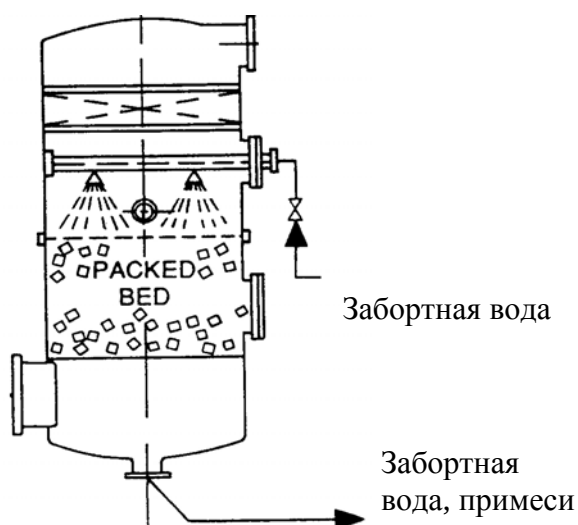


Рис. 17. Скруббер



5. Конструктивные особенности газовозов

Прямой контакт выхлопных газов с забортной водой в скруббере (рис.17) приводит к его значительному охлаждению, если на выходе из горелки газ имеет температуру около $+800^{\circ}\text{C}$, то на выходе из скруббера его температура всего лишь на 5 градусов выше, чем температура забортной воды.

Взаимодействуя с водой, окислы серы образуют серную кислоту, которая вымывается из газа вместе с конденсатом. Однако содержание кислорода в инертном газе после прохождения промывочной башни несколько увеличивается из-за наличия в воде свободных молекул кислорода.

После очистки газа в скруббере его относительная влажность составляет 100% при данной температуре. А минимальные, требования, предъявляемые к влажности инертного газа определяют его точку росы не выше $+5^{\circ}\text{C}$, поэтому газ необходимо охладить. При температуре точки росы $+5^{\circ}\text{C}$ содержание воды в атмосфере составляет 7 г/м^3 .

После прохождения инертным газом фреонового холодильника и силикагелиевых осушительных колонн, его точка росы может быть снижена до -20°C . Такая осушка газа необходима, чтобы избежать образования льда в системах и грузовых танках при погрузке грузов с низкой температурой транспортировки.

После очистки и осушки инертный газ будет иметь следующий состав:

Компонент	Содержание
Кислород	не более 0,5%
Угарный газ	не более 0,1%
Водород	не более 0,1%
Окислы серы	не более 10 ppm
Окислы азота	не более 100 ppm
Углекислый газ	около 14%
Азот	около 85%

После очистки и охлаждения инертный газ подается в систему грузовых трубопроводов и грузовые танки.

Международные требования, предъявляемые к системе инертных газов.

Правила установки и использования системы инертных газов определены в Кодексе ИМО для газовозов. Если судно перевозит взрывоопасные газы, система инертных газов должна быть использована для того, чтобы минимизировать возможность образования взрывоопасных концентраций горючих газов в танках или трубопроводах в процессе дегазации. Более того, система трубопроводов инертного газа должна обеспечивать такой процесс инертизации, при котором не происходит образования «мертвых зон» и «карманов», содержащих взрывоопасные смеси газов.

Кодекс ИМО предъявляет также требования к инертизации или заполнению трюмных пространств и промежуточных барьеров сухим воздухом, в зависимости от того, что необходимо при транспортировке данного груза.

Система инертных газов должна быть оборудована невозвратными клапанами, предотвращающими попадание горючих паров в установку



инертного газа, а также обеспечивающими избыточное давление в магистрали инертного газа.

В отличие от систем ИГ, устанавливаемых на нефтяных танкерах, системы ИГ газовозов не имеют палубных водяных затворов. Причина этого очевидна – низкие температуры перевозимых грузов.

Система инертных газов должна быть оборудована устройством, обеспечивающим постоянный контроль за содержанием кислорода в инертном газе, которое никогда не должно превышать 5% по объёму. При превышении этой концентрации кислорода, должна срабатывать система оповещения и сигнализации.

Более того, при снижении давления в трубопроводах инертного газа и повышении содержания кислорода в его составе, должно быть обеспечено автоматическое отключение системы инертного газа от потребителя.

Принцип работы системы инертного газа.

На рисунке 16 схематично изображена система инертного газа. В камере сгорания происходит сжигание дизельного топлива при возможно низком содержании кислорода, что обеспечивает полное сгорание топлива и минимальное содержание кислорода в инертном газе. Охлаждение камеры сгорания осуществляется с помощью пресной воды. Из камеры сгорания газы поступают в промывочную башню, где происходит его очистка и охлаждение с помощью распыленной заборной воды. Очень важно поддерживать определенный уровень заборной воды в скруббере. После очистки инертный газ должен пройти через фреоновый охладитель, где его температура понижается до $+5^{\circ}\text{C}$ и происходит отделение водного конденсата.

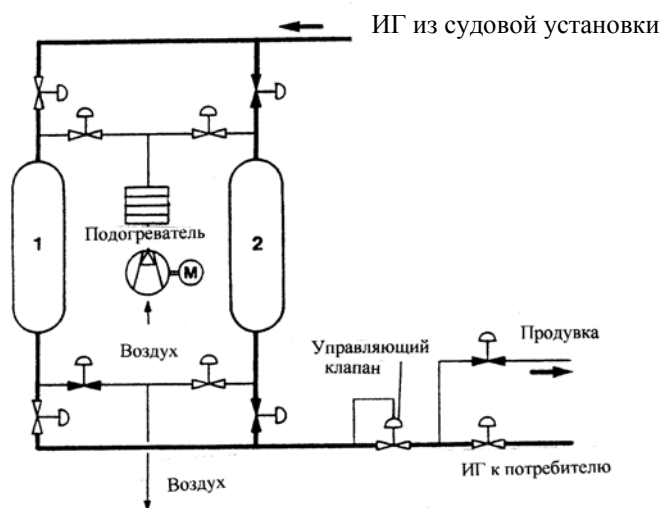


Рис.18. Установка химической осушки инертного газа

И, наконец, заключительный этап – это окончательная просушка инертного газа с помощью селикагеля (рис.18). В осушительных колоннах происходит окончательное удаление влаги из инертного газа, что позволяет снизить точку росы с $+5^{\circ}\text{C}$ до -60°C . Обычно используется две осушительные колонны, которые используются попеременно. Когда одна колонна находится в работе, в другой в это время происходит регенерация селикагеля.



5. Конструктивные особенности газовозов

Система инертного газа может также использоваться для получения «сухого воздуха». При этом нагнетательные вентиляторы системы инертного газа используются в обход генератора инертных газов.

Подсоединение системы инертного газа к грузовым трубопроводам должно быть обеспечено с помощью шланга или специального съёмного соединения, что обеспечивает полное изолирование установки инертного газа от проникновения в нее опасных паров, если система не используется.

По окончании процесса инертизации съёмное соединение ДОЛЖНО БЫТЬ УДАЛЕНО и используемые трубопроводы заглушены.

Из-за опасности проникновения горючих паров в установку инертного газа, перед каждым её использованием необходимо проверять состояние и работу системы невозвратных клапанов.

Использование инертного газа.

Главное использование инертного газа – предотвращение образования внутри грузовых танков и трубопроводов возникновения взрывоопасной концентрации горючих газов. Это осуществляется постоянным поддержанием содержания кислорода и горючих газов в атмосфере танка вне пределов взрываемости в соответствии с Картой взрывоопасных концентраций для данного продукта. (Смотри «Использование приборов по контролю атмосферы в танках»).

Использование инертного газа при перевозке Аммиака ЗАПРЕЩЕНО из-за того, что он вступает в химическую реакцию с углекислым газом, с образованием солей, таких как аминокарбонаты и аминокарбоматы. Наличие таких солей может привести к блокированию клапанов, трубопроводов и т.д.

Использование азота на газовозах.

Перед погрузкой продуктов, которые требуют очень низкого содержания кислорода в атмосфере танка (бутадиен, VCM и т.д.) танки должны быть продуты азотом с берега.

Некоторые суда, перевозящие пропилен оксид оборудуются системой автоматической подачи азота в грузовые танки. Поскольку азот имеет свойство частично растворяться в грузе, то в процессе перевозки пропилена оксида, давление азотной подушки в танке падает и возникает необходимость подачи дополнительного азота в танк. Система автоматической подачи азота состоит из 28 азотных баллонов (50 литровые с давлением 160 бар), трубопроводов и регулировочных клапанов, которые срабатывают при понижении давления в системе ниже 0,35 бар.

При выгрузке пропилена оксида азот подается с берега для поддержания позитивного давления в танке. По окончании выгрузки, выпаривание остатков груза также производится горячим азотом.

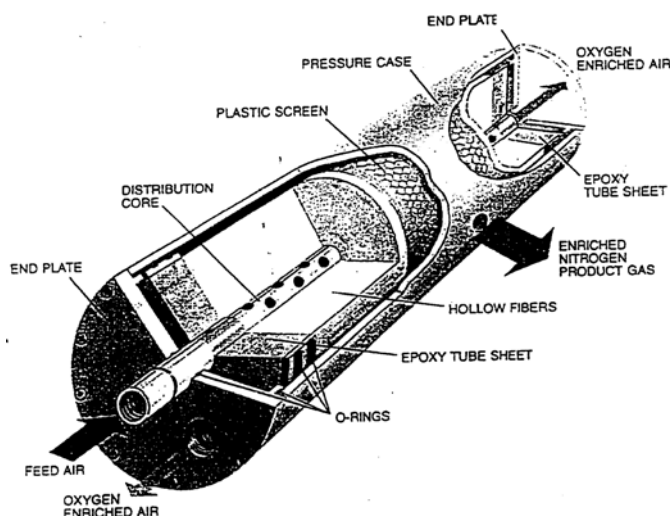


Рис.19. Установка для получения азота с микро волокнистыми фильтрами

Небольшое количество газовозов оборудовано установками по производству азота на борту судна из атмосферного воздуха. Используется две разновидности таких систем:

- Система PSA (Pressure Swing Absorption) основанная на поглощении кислорода воздуха специальными молекулярными фильтрами с активным углеродом. Причем чистота получаемого азота довольно высока, содержание в нем кислорода не превышает 4 ppm.
- Система, основанная на разнице скоростей молекул при прохождении мелковолокнутого фильтра (рис.19). Молекулы кислорода, воды и углекислого газа проходят такие фильтры беспрепятственно, а вот молекулы азота задерживаются внутри фильтра и отводятся в специальное хранилище.

Система подогрева груза.

Иногда возникает необходимость в подогреве груза до температуры несколько выше той, чем при его транспортировке. Такая необходимость возникает, если береговые приемные сооружения предназначены для хранения газов под полным давлением, и системы трубопроводов изготовлены из материалов не предназначенных для столь низких температур. Для того чтобы произвести нагрев груза суда оборудуются палубным теплообменником (рис.20), где подогрев груза происходит за счет его теплообмена с забортной водой.

На переходе морем груз может быть частично нагрет (не выше чем соответствующее установочное давление предохранительных клапанов) при прокачке груза через подогреватель и сбросе его обратно в танк.



5. Конструктивные особенности газовозов

В теплообменнике газ проходит через внутренние трубки малого диаметра, а забортная вода свободно омывает эти трубки. Для того, чтобы вода в теплообменнике не замерзала, устанавливается температурный датчик и система сигнализации, которая срабатывает при достижении забортной водой

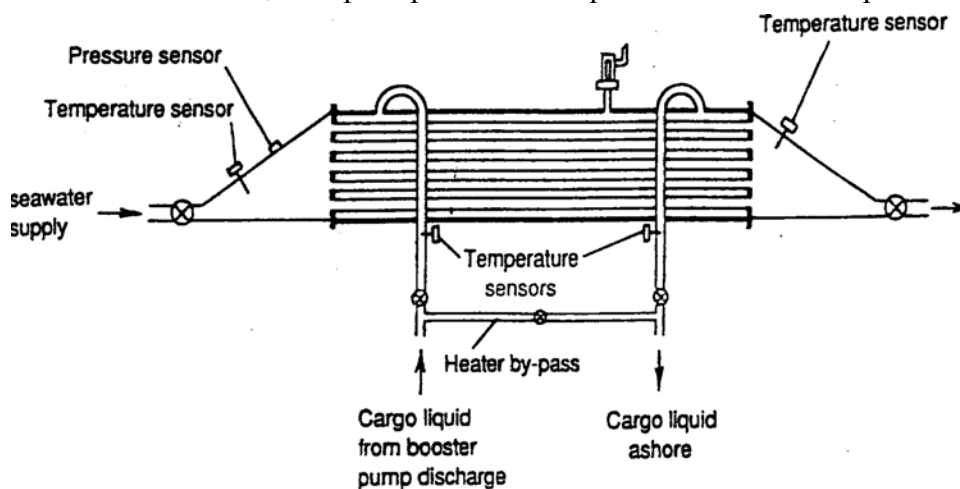


Рис.20. Палубный подогреватель груза

определенной температуры ($+5^{\circ}\text{C}$). При этом происходит автоматическое отключение бустерного насоса и прекращается поступление груза в теплообменник.

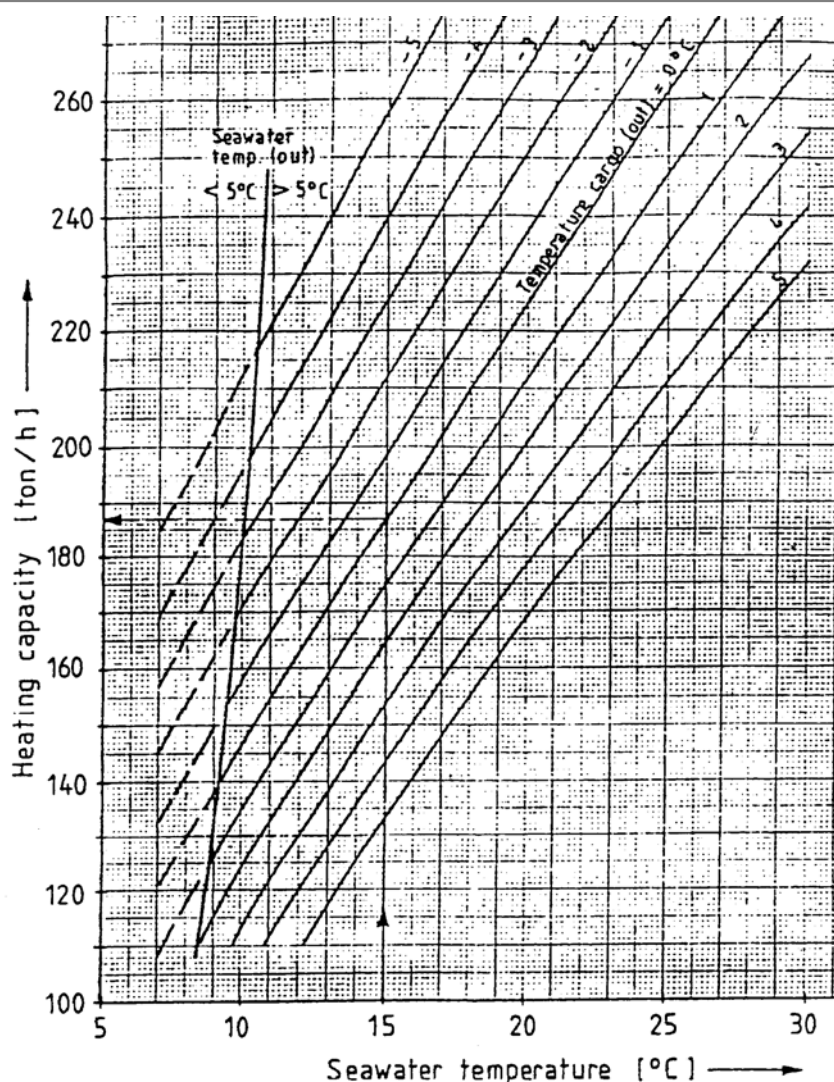
Каждый теплообменник (подогреватель) имеет характеристики своей производительности, которые могут быть даны в графической или табличной форме (рис. 21). Некоторые суда, предназначенные для перевозки нефтяных газов, оборудуются дополнительно еще и паровым подогревателем. В таком подогревателе груз проходит через ряд трубок небольшого диаметра, а пар подается во внешний контур обогревателя. Правда из-за низкой теплоотдачи пара подогрев груза не может быть произведен с интенсивностью, обеспечивающей полноценную скорость выгрузки, однако, паровой подогреватель может быть успешно использован для нагрева паров груза во время выгрузки для предотвращения образования вакуума в танке или же при выпаривании остатков груза из грузовых танков.

Дек-танк.

На некоторых газовозах устанавливаются дополнительно палубные танки (один или более) для хранения в них груза (в основном пропана или аммиака).

Идея установки таких танков заключается в том, чтобы сэкономить время при смене одного груза другим.

Грузовые танки могут быть продуты после инертизации парами груза из дек-танка. Обычно объём этих танков около 30-40 м³ и они выдерживают давление от 15 до 18 бар. Хранение газа в них осуществляется при температуре окружающей среды, поэтому необходимо очень строго придерживаться требований ИМО по пределам заполнения таких танков.



Assumed: Seawater consumption = 540 m³/h

Example:

The cargo to be heated from -30 °C to 0 °C at discharging.

Seawater temperature : 15 °C.

Found: Heating capacity: 187 ton/h

Note:

Seawater temperature out of heater must not be less than +5°C.

Cargo:

PROPANE

temperature:

- 30°C

Рис.21. Кривые производительности палубного подогревателя.

Система сжатого воздуха.

Система сжатого воздуха на газовозах используется для обеспечения работы:

- Системы аварийной остановки (ESD – Emergency Shut Down);
- Контрольных систем;
- Сервисных систем;



5. Конструктивные особенности газовозов

- Индивидуальных систем открытия и закрытия клапанов;
- Аварийного закрытия клапанов;
- Системы охлаждения;
- Системы орошения;

Сжатый воздух подается из машинного отделения в палубный трубопровод через специальный осушитель, который обеспечивает температуру точки росы в воздухе около -40°C . В осушителе, который для этого используется, обычно применяется метод химического удаления влаги. На палубе воздух по сервисному трубопроводу поступает на клапанные распределители приводов системы аварийной остановки и системы водяного орошения. Сервисный воздух используется также для подачи на управляющие клапана системы охлаждения груза.

Система аварийной остановки.

Международные правила требуют, чтобы газовые и жидкостные судовые и береговые трубопроводы могли быть закрыты дистанционно. Такая необходимость может возникнуть в случае обрыва или протечек грузового шланга, стендера, трубопровода, пожара и т.д.

Дистанционное закрытие обеспечивается использованием грузовых клапанов с пневматическим приводом.

Система должна обеспечивать открытие клапанов при наличии давления в пневматике, а при падении давления в системе пневматики ВСЕ КЛАПАНА ДОЛЖНЫ ЗАКРЫВАТЬСЯ ОДНОВРЕМЕННО (ESD).

Пульты активирования системы аварийной остановки должны быть расположены таким образом, чтобы аварийную остановку можно было произвести из различных стратегически важных мест судна:

- Лобовая переборка надстройки;
- Машинное отделение;
- Ходовой мостик;
- Компрессорное отделение;
- Район манифолдов;
- Купола танков;
- Полубак;

Система управления аварийной установкой также должна оборудоваться плавкими предохранителями, которые плавятся при достижении температуры 100°C обеспечивают падение давления в сервисном трубопроводе и активируют систему аварийной остановки.

Более того, обычно устанавливаются два прессостата, которые также приводятся в действие системой управляющего воздуха. Срабатывание прессостатов обеспечивает остановку всех компрессоров, грузовых и бустерных насосов во время падения давления управляющего воздуха, то есть при срабатывании системы ESD.

Сервисный или управляющий воздух подается также ко всем пневматическим приводам. Все приводы управляются при помощи тройных клапанов, которые обеспечивают открытие при наличии давления в воздушном



трубопроводе и срабатывание давления в сервисном трубопроводе, когда управляющее давление падает.

При нормальной работе система обеспечивает возможность ручного открытия и закрытия любого клапана, что также осуществляется с помощью тройных клапанов, установленных на пневматических приводах.

При срабатывании системы аварийной установки, все открытые клапан закрываются, а компрессора и насосы останавливаются.

Система водяного орошения.

Все поверхности газовоза, которые находятся в контакте с взрывоопасными грузами, в процессе эксплуатации, должны находиться при температуре, которая исключает самовоспламенение газов. Для того, чтобы предотвратить чрезмерный нагрев таких поверхностей все газовозы оборудуются системами водяного орошения, которая должна перекрывать:

- Купола танков;
- Манифолды;
- Лобовую переборку надстройки;
- Помещение компрессоров;
- Палубные помещения, расположенные в опасной зоне.

Запуск системы орошения должен осуществляться из нескольких стратегически важных мест судна, как в районе грузовой палубы, так и за её пределами.

Как и система аварийной установки, система орошения имеет плавкие предохранительные вставки, которые расположены в наиболее важных и опасных местах грузовой палубы, что обеспечивает автоматическое срабатывание системы орошения при нагреве этих предохранителей свыше 100° С.

Оборудование.

Оборудование, и инструменты, которые используются на борту газовоза, предназначены для обеспечения безопасной эксплуатации всех систем газовоза.

Количество такого оборудования и приборов контроля очень значительное, поэтому многие большие суда имеют пост управления грузовыми операциями (ПУГО) за пределами жилой надстройки. Однако ПУГО располагается таким образом, чтобы он составлял единое целое с надстройкой и считался пожаробезопасным помещением.

Из ПУГО обеспечивается контроль наиболее важными грузовыми клапанами и системами. Также там расположены системы дистанционного контроля за параметрами грузовых насосов, давлением и температурой груза в танках, уровнем груза в танках и т.д.

ПУГО должен быть оборудован механической вентиляцией, обеспечивающей избыточное давление внутри помещения, также как и в электромоторном отделении компрессоров, обязательным условием является также наличие воздушного шлюза между грузовой палубой и входом в ПУГО. Воздухозаборники должны быть расположены таким образом, чтобы избежать засасывания опасных газов внутрь системы вентиляции.



5. Конструктивные особенности газовозов

Индикаторы уровня груза в танках.

Устройства, которые используются для замеров груза в грузовых танках, имеют большое значение в обеспечении безопасности операций с грузом, защите окружающей среды и в коммерческом плане, поскольку точность работы таких устройств определяет правильность подсчета количества груза на борту.

На современных судах используются самые различные системы по определению уровня груза в танках и его температуры – наиболее важных параметров при определении количества груза на борту. Но несмотря на множество довольно точных и надежных способов замера параметров груза многие сюрвейерские компании предпочитают, когда это возможно производить ручные замеры груза (применительно к танкерам и химовозам). Рассмотрим более подробно основные способы замеров груза, которые применяются на современных танкерах.

Механическое поплавковое устройство.

В устройствах данного типа измеряющим элементом является поплавок, закрепленный на мерительной ленте. Сила тяжести, воздействующая на поплавок, частично компенсируется за счет плавучести поплавка и частично за счет специального балансирующего устройства, которое располагается в верхней части мерительной машинки (см. рис 22).

Поплавок может быть подсоединен к мерительной ленте механически, или же с помощью магнитов. Мерительная лента через систему направляющих и блоков позволяет считывать в специальном окне показания замеров. Барабан, на который наматывается лента, закреплен в корпусе мерительной машинки с

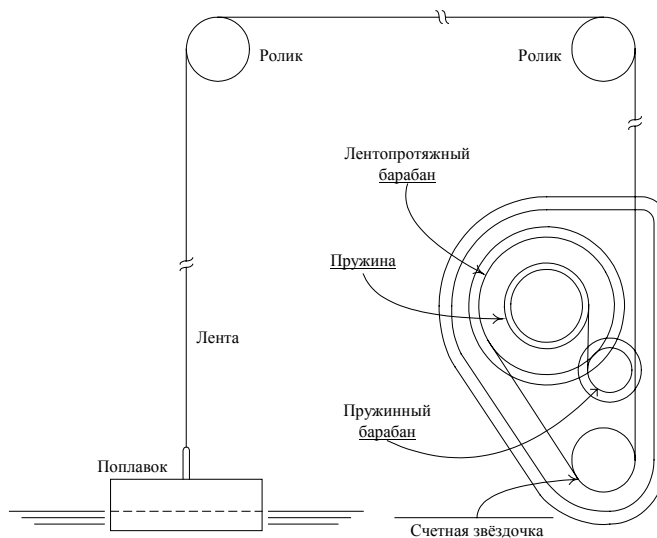


Рис. 22. Поплавковое механическое мерительное устройство.

помощью компенсаторной пружины, которая и уменьшает силу тяжести, воздействующую на поплавок. За счет этой пружины происходит синхронный



подъем поплавка и уровня жидкости в танке без образования «слабины» мерительной ленты. В некоторых системах компенсаторная пружина уменьшает и воздействие веса мерительной ленты на поплавков в зависимости от её длины. Недостаток такой системы в том, что необходимо учитывать величину удерживающей силы поплавка, т.е. его плавучесть, в зависимости от плотности жидкости, поскольку поплавков и лента мерительной машинки калибруются на определенную плотность груза и температуру. Устройство для считывания замеров может быть как механического, так и электронного типа, что позволяет в любом случае передавать полученные сигналы на дистанционный дисплей в ПУГО.

Поплавковое устройство с электромеханическим приводом.

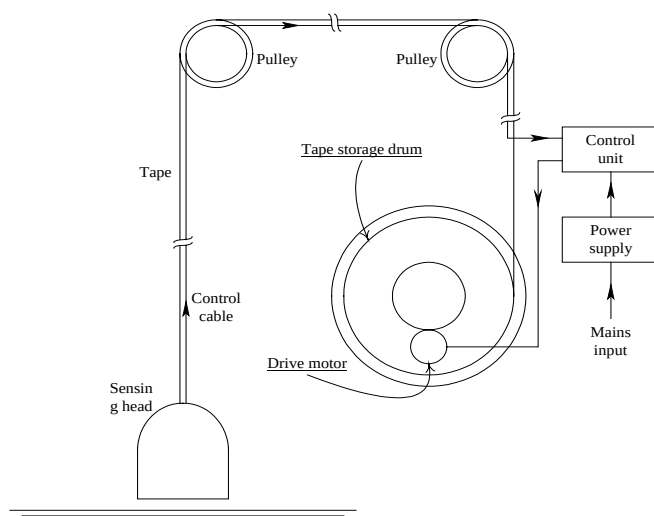


Рис. 23. Мерительное устройство с сервомотором.

В системах такого типа (рис. 23) в качестве чувствительного элемента (ЧЭ) используется специальный прибор, который подает сигнал об изменении уровня груза в танке на специальный сервомотор, который в свою очередь поднимает или опускает чувствительный элемент соответственно изменению уровня груза. Обычно чувствительный элемент находится на некотором расстоянии над поверхностью груза. Контрольное устройство, получая сигнал от ЧЭ, удерживает его на заданном расстоянии от уровня груза с помощью специальной ленты, которая в свою очередь откалибрована таким образом, что позволяет определить уровень груза в танке.

Электронные мерительные устройства сравнительного типа.

Устройства такого типа основаны на сравнении электрической емкости погруженной части чувствительного элемента с его полной емкостью. На рис. 24 показана принципиальная схема такого устройства. При сравнении электрических сигналов, полученных от погруженных или частично погруженных сенсоров с полной емкостью элемента, получают уровень груза в танке. Внутри такого чувствительного элемента могут быть установлены также и температурные датчики.



5. Конструктивные особенности газовозов

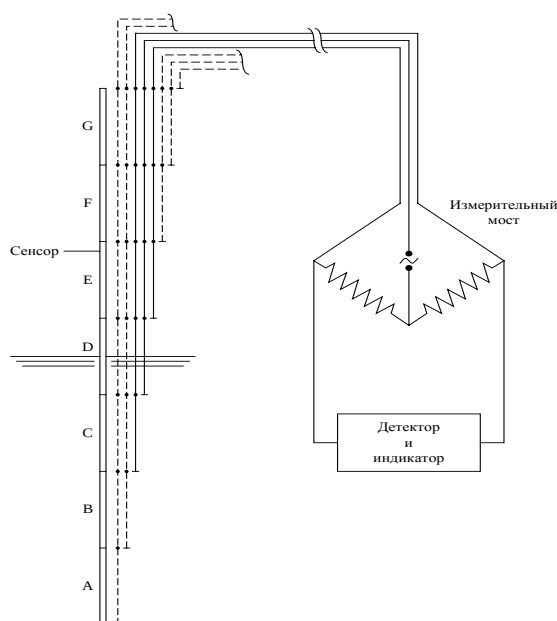


Рис. 24. Электронный датчик уровня.

Ультразвуковые мерительные устройства

Устройства такого типа (рис.25) охватывают целый ряд систем, работающих по принципу эхолокации. Приемник и передатчик сигналов располагаются в верхней или в нижней частях танка. Принцип действия таких систем основан на измерении времени возвращения отраженного сигнала. Приборы такого типа достаточно надежны, однако при перевозке грузов, пары которых имеют тенденцию образовывать кристаллы при низких температурах (параксиллол, диметил бензин и пр.), данные мерительные устройства дают сбой, поскольку на поверхности приема-передатчика образуется налет кристаллов груза, который искажает сигнал.

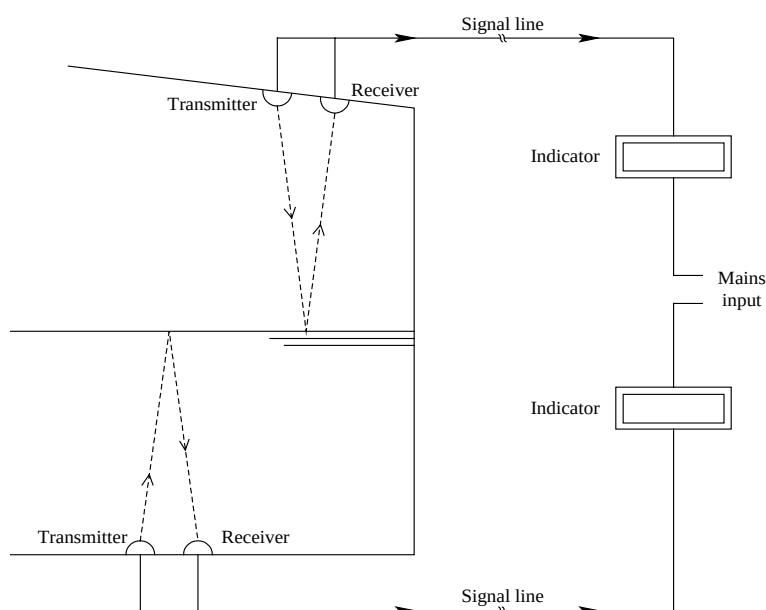


Рис. 25. Ультразвуковое мерительное устройство.



Пневматические или гидравлические мерительные устройства.

Принцип действия таких устройств (рис.26) основан на измерении или разности давлений в танке или же полного давления груза в танке с помощью различных датчиков. Может быть установлен один датчик давления, расположенный на днище танка, который передает сигнал на считывающее

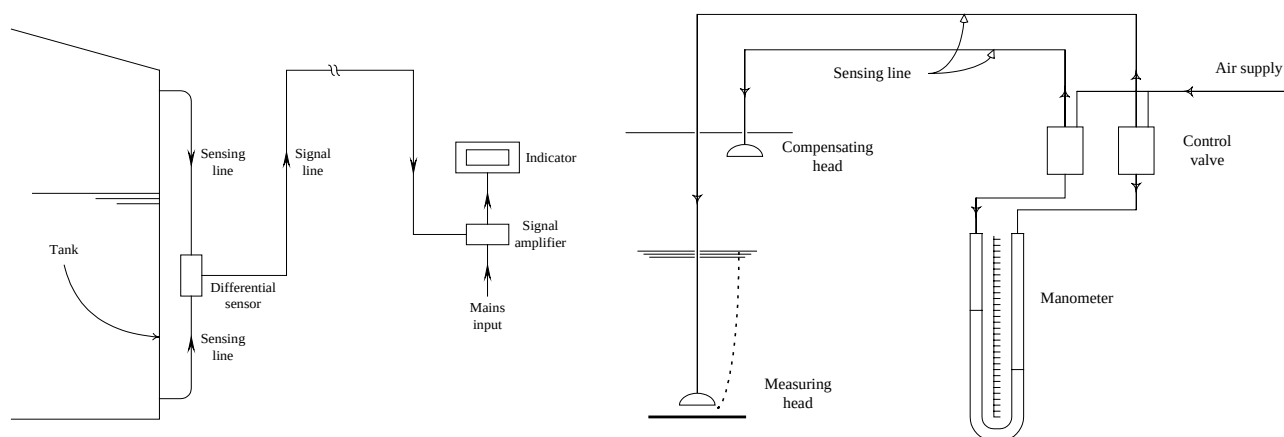


Рис.26. Гидростатическое (слева) и пневмокаторное (пузырьковое) мерительное устройство.

устройство, где он обрабатывается в информацию, указывающую уровень груза в танке. Устройство пузырькового типа зачастую используется на газовозах в качестве аварийного мерительного устройства. В качестве газа используется азот, и устройство имеет жидкокристаллический дисплей, который показывает уровень груза в танке в метрах.

Все вышеперечисленные устройства для измерения уровня груза в танках имеют как положительные стороны, так и недостатки. При использовании любого замерного устройства, необходимо учитывать не столько точность и правильность показаний приборов, указанных изготовителем, сколько точность и аккуратность их калибровки и правильное использование.

Мерительные устройства должны обеспечивать надежность при многократном использовании. Это выражается в постоянстве поправок устройства при различных условиях замеров. Иными словами, мерительное устройство с невысокой точностью может работать довольно длительное время, обеспечивая надежность замеров уровня груза, пусть и с невысокой точностью.

И наоборот, высокоточное устройство может обеспечить вам правильные замеры груза всего лишь несколько раз, а затем появляется переменная ошибка и вы должны будете определять эту ошибку перед каждым замером. Однако больше всего на работу мерительных устройств, влияет их техническое состояние. Закрашенные или заржавевшие поверхности датчиков, разбитые смотровые стекла, отсутствие смазки в подъёмных механизмах, поврежденные поплавки – вот лишь небольшой перечень неисправностей, которые могут вывести из строя мерительное устройство.

В завершении надо отметить, что наибольшее распространение на судах газовозах получили мерительные устройства поплавкового типа (рис.27), правда, несколько модернизированного типа.



5. Конструктивные особенности газовозов

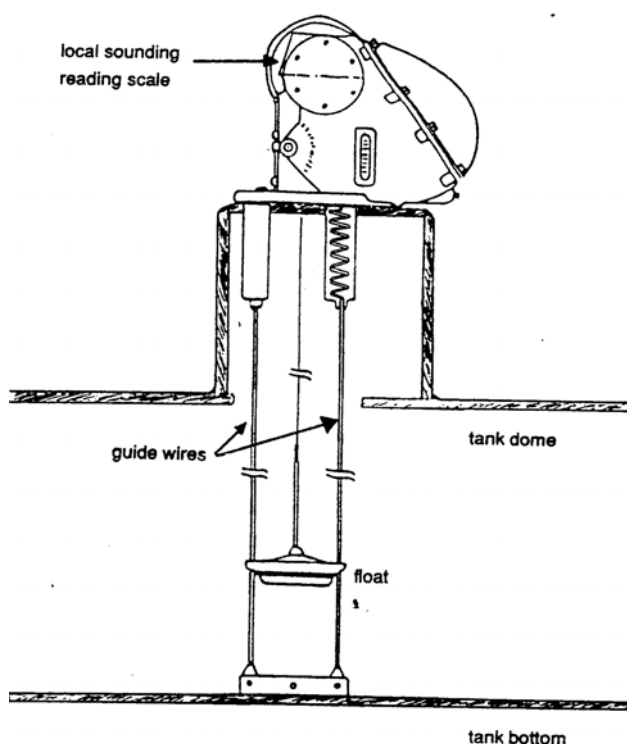


Рис. 27. Поплачковое мерительное устройство

Такой индикатор состоит из поплавка, который расположен или в специальной направляющей трубе или же на двух направляющих. Считывание замеров может осуществляться или же механическим способом со стальной отмаркированной замерной ленты через специальное отверстие («глазок»), или же электронным способом.

Для того чтобы показания мерительной машинки соответствовали действительному уровню груза в танке, их необходимо калибровать. Наименьшее (пустой танк) и наибольшее (верхнее положение машинки) показания машинки должны быть выбиты на самом мерительном устройстве, так, чтобы всегда была возможность проверить показания мерительной машинки.

Дальнейшая корректировка показаний мерительного устройства осуществляется с помощью специальных таблиц или графиков зависимости показаний мерительного устройства от плотности груза и его температуры.

Датчики температуры.

Температурные датчики, которые устанавливаются в танках обычно так называемого «резисторного» типа обеспечивающие хорошую точность показаний температуры. Их действие основано на изменении сопротивления платиновой нити, при изменении окружающей температуры.

Обычно температурные датчики устанавливаются в танке на 3-х уровнях (2 в жидкой фазе груза и один в газовой) с тем, чтобы обеспечить более точное измерение температуры груза в танке. Более того, на судах постройки после 1986 требуется устанавливать ещё один термометр непосредственно в колодце



грузового танка, что позволяет контролировать процесс выпаривания остатков груза и процесс захлаживания танка.

Датчики давления.

Датчики давления – обычные манометры с высокой точностью. На судах, перевозящих грузы под частичным давлением, устанавливаются 2 манометра. Один для измерения высокого давления, а другой – для измерения вакуума.

Все оборудование, которое используется для контроля параметров груза, должно быть соответствующим образом откалибровано и сертифицировано. Калибровка должна производиться в соответствии с требованиями завода-изготовителя, но не реже, чем один раз в год.

Система гликоля.

Для охлаждения или нагрева компрессоров существует специальная дополнительная система, в которой происходит рециркуляция гликоля (или его водного раствора). Необходимая температура в системе поддерживается с помощью автоматического регулятора температуры. Нагрев гликоля осуществляется при помощи электрического теплообменника, расположенного в электромоторном отделении или же с использованием пара. Для охлаждения системы гликоля служит теплообменник, где охлаждение осуществляется за счет заборной воды.

Эта система может также использоваться для нагрева груза в испарителе или для его охлаждения в конденсаторе.

Система инъекции алкоголя.

Очень часто, при перевозке нефтяных газов, в танках образуются кристаллы гидратов, которые могут привести к блокировке трубопроводов и грузовых насосов.

Кристаллы гидратов образуются (см. «Химия газов») при присоединении молекул воды к молекулам углеводородов, но связи между молекулами довольно слабые и могут существовать только при минусовых температурах. Следовательно, необходимо ввести в груз вещество, которое более активно, чем углеводороды, взаимодействует с молекулами воды. Для того чтобы предотвратить образование твердых кристаллов гидратов в танках в наиболее опасные точки грузовой системы (в плане образования гидратов) вводится небольшое количество этанола или метанола, которые связывают молекулы воды и разжижают твердые образования в танке. Система инъекции алкоголя состоит из танка, в котором находится метанол или этанол (обычно около 150 литров) системы трубопроводов и небольшого пневматического насоса, обеспечивающего подачу алкоголя в систему.

Всегда следует помнить, что сжиженные газы имеют строгие требования по предельному содержанию в них алкоголей. Поэтому прежде чем вводить в танк метанол или этанол, следует убедиться в том, что вы не испортите груз.



5. Конструктивные особенности газовозов

Система контроля атмосферы.

Для того чтобы вовремя обнаружить утечки газа, все газовозы оборудуются системами газового контроля (Gas Detection System). Система представляет собой сеть пробоотборников, указатель содержания взрывоопасных концентраций газов (обычно используется прибор, основанный на поглощении молекулами углеводорода инфракрасного излучения, но может быть использован и обычный эксплозиметр), систему оповещения и сигнализации.

Пробы газа должны отбираться из всех узловых точек судна, представляющих опасность в пожарном отношении:

- Помещения полубака, компрессорное отделение;
- Купола танков;
- Район манифолдов;
- Вход в помещения надстройки;
- Машинное отделение;
- Камбуз и т. д.

Периодичность отбора проб из каждой точки не должна превышать 30 мин. Каждый пробоотборник должен быть оборудован своим, отдельным воздухопроводом к измерительному прибору. Если уровень содержания углеводородов превысит 30% от НПВ, должна сработать сигнализация. Пульт контроля и панель управления системой обычно располагается на ходовом мостике.

Идеальный газ.

Количественные зависимости между двумя параметрами газа при фиксированном значении третьего параметра называются газовыми законами.

Процессы же, протекающие при постоянстве одного из параметров, называются **изопроцессами**.

Идеальный газ – это газ, который имеет следующие свойства:

- Размеры молекул малы по сравнению с расстояниями между ними.
- Молекулы взаимодействуют друг с другом и со стенками сосуда только в момент соударения.
- Все соударения абсолютно упруги.
- Рассматриваются любые газы, в которых число молекул очень велико.
- Молекулы распределены по всему объёму равномерно.
- Молекулы движется хаотично, то есть все направления движения молекул равноправны.
- Скорость молекул может принимать любые значения.
- К движению отдельной молекулы применимы законы классической механики.

Критические температура и давление.

Теоретически, все газы можно сжижать при охлаждении их до определенной температуры или же путем их сжатия. Некоторые газы необходимо предварительно охладить перед их сжатием. Рассматривая этот вопрос подробнее, можно установить, что все газы имеют строго определенную температуру и давление, при которых их можно обратить в жидкость. Такие параметры называются критическими.

- **Критическая температура газа** – это температура, выше которой газ не может быть сжат до состояния жидкости, каким бы высоким ни было давление.
- **Критическое давление газа** – это минимальное давление, при котором газ, находящийся при критической температуре, может быть сжат до состояния жидкости.

Таблица 1. Значения критических давлений и температур для некоторых газов.

Название Газа	Химическая формула	Критическая температура (°C)	Критическое давление (бар)
Аммиак	NH ₃	132,4	112,0
Гелий	He	-268,0	2,3
Водород	H ₂	-240,0	12,8
Углекислый газ	CO ₂	31,0	73,0
Метан	CH ₄	-82,1	45,8
Азот	N ₂	-147,1	33,9
Кислород	O ₂	-118,8	51,4
Пропан	C ₃ H ₈	96,8	42,1
Вода	H ₂ O	374,0	218,0
Винил хлорид	C ₂ H ₃ Cl	156,5	56,9

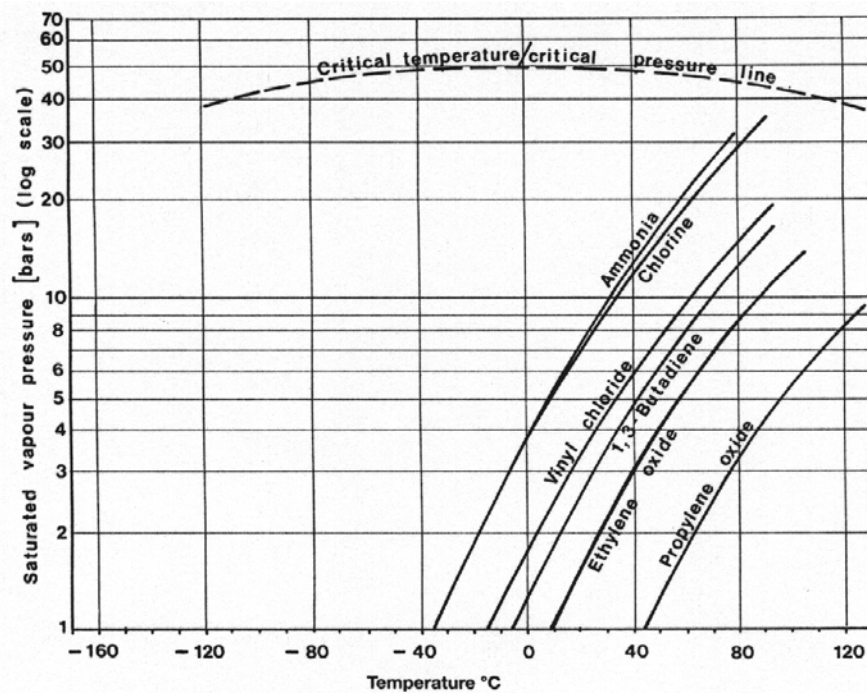


Рис.1. Зависимость давления насыщения и температуры для химических газов

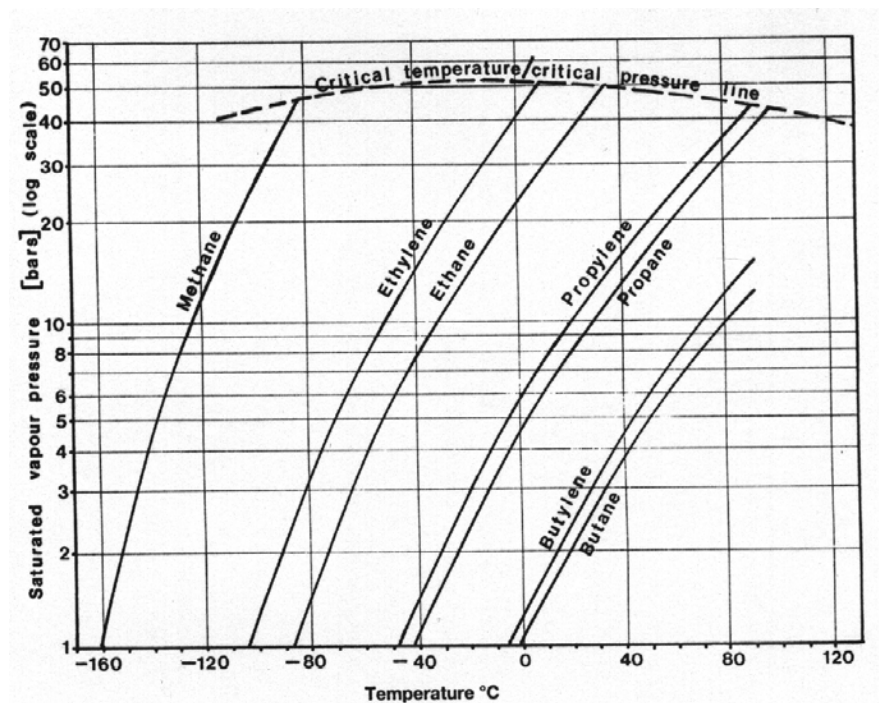


Рис.2. Зависимость давления насыщения и температуры для нефтяных газов

Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева-Клапейрона).

Состояние идеального газа характеризуют три инструментально измеряемых параметра

P – давление, (Па)

v – Удельный объём ($\text{м}^3/\text{кг}$) или плотность (ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$).

T – температура, (К)

Существует общая зависимость, связывающая между собой эти параметры, которая называется уравнением состояния. Параметры состояния, изменяющиеся в процессе, не зависят от пути процесса и определяются только начальным и конечным состояниями.

Для идеального газа уравнение состояния имеет самый простой вид и называется уравнением Клапейрона-Менделеева:

$$pV = m RT \text{ или } pv = RT$$

в котором $R = \frac{8314}{\mu}$ $\frac{\text{Дж}}{(\text{кг К})}$ есть массовая газовая постоянная

число 8314 Дж/(кмоль К), определенное Д.И. Менделеевым, универсальная газовая постоянная для мольного количества газа, а μ – мольное число газа, равное его молярной массе.

Уравнение, устанавливающее связь между давлением, температурой и объёмом газов было получено французским физиком Бенуа Клапейроном. А в форме уравнения состояния идеального газа его впервые использовал Д.И. Менделеев. Как видно, два параметра определяют третий в любом термодинамическом процессе с неизменным количеством идеального газа.

Многие процессы, происходящие в природе и осуществляемые в технике, можно приближенно рассматривать как процессы, в которых меняются лишь давление и температура.

Тщательная экспериментальная проверка газовых законов современными методами показала, что эти законы достаточно точно описывают поведение реальных газов при небольших давлениях и высоких температурах, в противном случае наблюдаются значительные отступления от уравнения состояния.

Это объясняется двумя причинами:

1. При сильном сжатии газов объём незанятого молекулами пространства становится сравним с объёмом, занимаемым самими молекулами.
2. При низких температурах становится заметным взаимодействие между молекулами.

Пример:

Какой объём займут 96 г кислорода при 3-х (300.000 Па) барах давления и температуре $+77^\circ\text{C}$.

Решение

1. Прежде всего, определим, сколько молей составляют 96 г кислорода.

В периодической таблице элементов мы видим, что атомная масса кислорода составляет 15,9994. Это значит, что один моль кислорода ($6,02 \cdot 10^{23}$ атомов) будет иметь массу ~16 г. Соответственно молекула кислорода, состоящая из 2-х атомов, будет иметь массу 32 г/моль.

2. Далее нам надо определить, сколько молей кислорода составляет 96 г.

$$96 \text{ г} : 32 \text{ г/моль} = 3 \text{ моль},$$

3. теперь, используя Уравнение Менделеева-Клайперона, мы можем определить объём:

$$pV = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \quad V = \frac{n \cdot R \cdot T}{p}$$

заметим, что Дж = Н · м, а Па = Н/м²

Пример № 2:

Определим, какое количество паров (масса) содержится в танке объёмом 5.000 м³ после выгрузки бутана (C_4H_{10}), если манометрическое давление в танке составляет 0,1 бара, а температура +5°C?

Решение:

Из уравнения состояния идеального газа $pV = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$

Определим искомую величину $m = \frac{p \cdot V \cdot Mr}{R \cdot T} \quad (1)$

Для нашего примера давление p будет равно сумме манометрического и атмосферного давлений $p = 1013 \text{ мбар} + 100 \text{ мбар} = 1,11 \text{ бар}$ или же $1,11 \cdot 10^5 \text{ Па}$, а температура $T = 273 + 5^\circ \text{ C}$.

Подставляя известные величины в выражение (1) получим массу паров бутана, оставшихся в грузовом танке после выгрузки сжиженного газа.

$$m = \frac{1,11 \cdot 10^5 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 58,1}{8,31434 \cdot 278} = 0,0138 \cdot 10^8 \text{ кг} = 13,8 \text{ тонн}.$$

Основы термодинамики

Термодинамика возникла как наука о взаимном превращении двух форм энергии – теплоты и механической работы. В настоящее время термодинамика занимается исследованием практически всех явлений, связанных с получением или потреблением энергии, совершением работы, переносом вещества и т.д.

Техническая термодинамика исследует соотношения между параметрами термодинамических систем и совершаемой работой. Материальные тела, входящие в состав термодинамических систем делятся на:

6. Основы термодинамики сжиженных газов



- Горячие источники теплоты и холодные теплоприемники;
- Рабочие тела.

Рабочее тело, изменяя своё состояние под воздействием источников тепла и теплоприемников (посредством технических устройств) превращает один вид энергии в другой.

Состоянием системы называют определенное сочетание её свойств в данный момент времени.

Параметром состояния системы называют такой её показатель, изменение которого обязательно связано с изменением состояния системы.

Всякое изменение состояния тела или системы, связанное с теплообменом или механическим воздействием, называют **термодинамическим процессом**.

Замкнутую совокупность последовательных термодинамических процессов называют термодинамическим циклом (чаще просто циклом).

Параметры состояния, изменяющиеся в процессе, не зависят от пути процесса и определяются только начальным и конечным состояниями. Повторим, что, основными параметрами системы, представляющей собой не перемещающийся объём газа как рабочего тела, являются:

- Температура (T , К);
- Давление (p , Па);
- Удельный объём (v , м³/кг) или плотность (ρ , кг/м³).

Напомним также, что все три основных параметра находятся в определенном математическом соотношении, называемом уравнением состояния. Для идеального газа оно имеет вид уравнения Клапейрона-Менделеева:

$$pV = m RT \text{ или } pv = RT$$

в котором $R = \frac{8314}{\mu}$ Дж / (кг К) μ есть массовая газовая постоянная

число 8314 Дж/(кмоль К), определенное Д.И. Менделеевым, универсальная газовая постоянная для мольного количества газа, а μ – мольное число газа, равное его молярной массе.

Основу термодинамики составляют два её закона, или начала:

- Первый закон термодинамики – это всеобщий закон сохранения и превращения энергии.
- Второй закон термодинамики определяет направление самопроизвольного процесса в изолированной термодинамической системе.

Внутренняя энергия и энтальпия.

Тело, как система составляющих его частиц обладает внутренней энергией. Внутренняя энергия не зависит ни от механического движения тела, ни от его местоположения относительно других тел и является исключительно функцией состояния тела.

С позиции молекулярно-кинетической теории внутренняя энергия – это сумма потенциальной энергии взаимодействия частиц, составляющих тело, и кинетической энергии их беспорядочного теплового движения.

Кинетическая энергия движения частиц зависит от температуры, а потенциальная энергия взаимодействия зависит от расстояния между частицами, т.е. от объёма тела.

Если потенциальная энергия взаимодействия молекул равна нулю, газ называется идеальным, а его внутренняя энергия равна сумме кинетической энергии движения молекул и пропорциональна его абсолютной температуре. Изменение внутренней энергии определяется формулой:

$$\Delta U = m c_v \Delta T$$

где

ΔT – изменение температуры, К

m – масса газа, кг

c_v – удельная массовая теплоёмкость газа в изохорном процессе ($v=\text{const}$), Дж/(кг К).

Удельную внутреннюю энергию относят к 1 кг массы газа:

$$u = \frac{U}{m} \quad (\text{Дж/кг}),$$

которая является функцией состояния неподвижного вещества.

Сумма внутренней энергии и энергии введения газа в объём V под давлением p – есть полная энергия, называемая энтальпией:

$$H = U + pV, \text{ Дж}$$

$$h = u + p \cdot v, \text{ Дж/кг}$$

В термодинамических процессах интерес представляет не само по себе значение внутренней энергии или энтальпии, а их изменение при переходе тела из состояния 1 в состояние 2, поскольку изменение параметров состояния в термодинамической системе не зависит от вида процесса.

$$\Delta u = u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1)$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = c_p (T_2 - T_1)$$

где $c_p = c_v + R$ – удельная массовая теплоёмкость в изобарном процессе ($p=\text{const}$), R – Дж/(кг К) – массовая газовая постоянная.

Первый закон термодинамики: при любых процессах приращение внутренней энергии тела ΔU равно сумме количества теплоты Q , переданного телу из окружающей среды, и работы A , совершенной над телом внешними силами.

$$\Delta U = Q - A.$$

Для практических расчетов, связанных с определением результата энергообмена в том или ином процессе, используется формула:

$$\Delta E = m \cdot \Delta h, \quad 1 \rightarrow 2 \quad 1 \rightarrow 2$$

где m – масса вещества,

Δh – разность удельных энтальпий вещества в конце и начале процесса $1 \rightarrow 2$ ($h_2 - h_1$).

Информация о термодинамических параметрах сжиженных газов, перевозимых на судах, даётся или в графической форме, или в табличной форме (см. Приложение 1). Основными параметрами для входа в график являются инструментально измеряемые параметры, такие как температура и давление газа.

Теплота.

Количество теплоты в физике обозначается символом Q и связано с изменением внутренней энергии частиц, из которого состоит тело.

Количество теплоты – это количественная мера энергообмена рабочего тела при теплообмене. Единица измерения – джоуль (Дж).

Теплоту, полученную телом, считают положительной, а теплоту, отданную телом, считают отрицательной.

В изолированной системе справедливо уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0,$$

где n – количество тел, участвующих в теплообмене.

Физическая величина, показывающая, какое количество теплоты, требуется для изменения температуры вещества массой 1 кг на 1°C (К), называется удельной теплоемкостью (c), Дж/(кг К).

В общем случае количество теплоты, переданной при охлаждении или полученной при нагреве тела, определяется по формуле:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T,$$

где c – удельная теплоемкость,

m – масса тела,

$\Delta T = T_2 - T_1$, при нагревании $T_2 > T_1$, а при охлаждении $T_2 < T_1$.

6. Основы термодинамики сжиженных газов



В таблице 2 приведены значения изобарной теплоёмкости для некоторых газов. Значения теплоёмкости изменяются от нуля до бесконечности в зависимости от термодинамического процесса, в котором протекает теплообмен.

Таблица 2. Удельная изобарная теплоёмкость и удельная скрытая теплота парообразования (Latent Heat of Vaporization) для некоторых газов.

Название газа	Удельная изобарная теплоемкость Дж/кг·К		Скрытая теплота парообразования при p=101,3250 кПа (кДж/кг·К)
	Перегретый пар	Жидкость	
Ethane	1.706	3.807	489,36
Propane	1.625	2.476	425,73
n-Butane	1.652	2.366	385,26
i-Butane	1.616	2.366	366,40
Etylene	1.514	----	482,77
Propylene	1.480	2.443	437,88
Butylene	1.483	2.237	390,60
Ammonia	2.079	4.693	1.366
1,2- Butadiene	1.446	2.262	449,60
1,3-Butadiene	1.426	2.124	418,70

Расчет температуры смеси жидкой фазы груза.

Теплота всегда передается от более тёплого тела к менее теплому, иными словами, от тела с высокой температурой – к телу с низкой температурой.

Предположим, что два вещества смешаны без образования химической реакции, т.е. не возникает выделения или поглощения тепла. В этом случае можно сказать, что тепло переданное, равно теплу полученному. При этом, мы предполагаем, что не происходит передачи тепла окружающей среде.

Теплота, которую одно вещество передало другому в процессе их смешивания, равно теплоте, полученной другим веществом. То есть, передача теплоты будет происходить до тех пор, пока температуры веществ не сравняются.

Такое определение используется на практике при перевозке газовой смеси сжиженных пропана и бутана, с разной теплоемкостью и разными температурами при их смешивании на борту судна.

В этом случае мы заранее можем сосчитать температуру смеси сжиженных газов, зная первоначальные параметры каждого газа до их смешения. А, имея в наличии температуру смеси, мы можем определить и давление в танке, и плотность груза.

Прежде всего, выразим в виде формул уже известное равенство – теплота, полученная равна теплоте отданной:

$$m_1 \cdot c_1 \cdot \Delta T_1 = m_2 \cdot c_2 \cdot \Delta T_2, \quad (1)$$

где левая половина равенства определяет теплоту одной жидкости, а правая – теплоту другой. Наиболее просто это можно рассмотреть на примере.

Пример:

Смешиваются 5 кг пропана при температуре $t_p = -40^\circ\text{C}$ и 8 кг бутана при температуре $t_b = +2^\circ\text{C}$. Удельная теплоёмкость пропана $c_p = 2476 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$, а для бутана $c_b = 2366 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$.

Определим температуру смеси газов (T_m)

Решение:

Ясно, что $T_b > T_m > T_p$ и можно записать

$$\Delta T_p = (T_m - T_p), \quad \text{а для бутана } \Delta T_b = (T_b - T_m)$$

для нашего случая

$$\Delta T_p = (T_m - 233) \quad \Delta T_b = (275 - T_m)$$

рассчитаем температуру смеси по формуле (1):

$$\begin{aligned} m_p \cdot c_p \cdot \Delta T_p &= m_b \cdot c_b \cdot \Delta T_b \\ 5 \cdot 2476 \cdot (T_m - 233) &= 8 \cdot 2366 \cdot (275 - T_m) \\ 12380 \cdot T_m - 2884540 &= 5205200 - 18928 \cdot T_m \\ 31308 \cdot T_m &= 8089740 \\ T_m &= \frac{8089740}{31308} \\ T_m &= 258,39 \\ T_m &= 258,4 - 273 = -14,6^\circ\text{C} \end{aligned}$$

В общем случае расчет температуры смеси можно выразить формулой:

$$T_m = \frac{m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2}$$

Закон Дальтона.

6. Основы термодинамики сжиженных газов



Давление смеси газов равно сумме парциальных давлений каждого из газов, составляющих смесь.

Парциальное давление – это давление, которое имел бы газ, если бы он находился в данном объеме ОДИН при заданной температуре.

Используя буквенные обозначения, закон Дальтона можно выразить следующим образом:

$$p_T = p_A + p_B = \frac{(n_A + n_B) \cdot R \cdot T}{V},$$

где p_T - общее давление смеси газов,
 $p_A + p_B$ - парциальное давление каждого газа,
 n_A - количество молей газа А в объеме,
 n_B - количество молей газа В в объеме,
 R – универсальная газовая постоянная, равная 8,314 Дж/(К·моль),
 T – абсолютная температура смеси газов,
 V - объем смеси газов в куб. метрах,

Для вычисления давления смеси используются понятия

g_i - массовая концентрация газа и

r_i - молярная концентрация газа.

$$g_i = G_i / G_{см}$$

$$r_i = n_i / n_{см}$$

G_i и $G_{см}$ - масса газа и масса смеси газов,

n_i и $n_{см}$ - количества вещества газа и смеси газов (моль).

При перевозке смеси сжиженных газов, важно знать, какое давление будет в танке при данной температуре. Это требуется для установки параметров компрессорной установки.

Рассмотрим несколько простых методов расчета давления паров, если известны молярный или весовой состав смеси, погруженной на борт,

Пример:

Судно должно погрузить смесь 100 тонн пропана и 400 тонн бутана, температура смеси составляет – 8°C (смотри расчет температуры смеси газов). Давление насыщенных паров для пропана при этой температуре, определенное по графику или взятое из таблицы, составляет 3,69 бара. А давление насыщенных паров бутана, составит при этой температуре 0,78 бара. Необходимо определить давление насыщенных паров смеси (то есть общее давление в танке) и процентный состав газовой фазы над поверхностью жидкости.

Решение:

6. Основы термодинамики сжиженных газов



Рассчитаем молярное соотношение пропана и бутана в составе смеси. Для этого определим молярную массу пропана (C_3H_8) и бутана (C_4H_{10}). С помощью периодической таблицы элементов находим, что один атом углерода имеет массу 12,01115 г/моль, а атом водорода – 1,00797 г/моль.

$$\begin{aligned} \text{Молярная масса пропана: } & 12,01115 \text{ г/моль} \cdot 3 = 36,03345 \text{ г/моль} \\ & + 1,00797 \text{ г/моль} \cdot 8 = 8,06376 \text{ г/моль} \\ & \underline{\hspace{1.5cm}} \\ & 44,09721 \text{ г/моль} \\ & \approx 44,1 \text{ г/моль,} \\ \text{молярная масса бутана: } & 12,01115 \text{ г/моль} \cdot 4 = 48,0446 \text{ г/моль} \\ & + 1,00797 \text{ г/моль} \cdot 10 = 10,0797 \text{ г/моль} \\ & \underline{\hspace{1.5cm}} \\ & 58,1243 \text{ г/моль} \\ & \approx 58,1 \text{ г/моль} \end{aligned}$$

Теперь определим количество молей каждого вещества в смеси. Соотношение масс пропана и бутана 100 тонн : 400 тонн, но если использовать не тонны, а граммы, то соотношение останется тем же самым 100г : 400г. Расчет количества вещества (молей) будем производить по соотношению:

$$n = m/Mr,$$

где n – число молей
 Mr – молярная масса
 m – масса вещества.

$$\begin{aligned} \text{число молей пропана: } & 100 \text{ г} : 44,1 \text{ г/моль} = 2,27 \text{ моль} \\ \text{число молей бутана: } & 400 \text{ г} : 58,1 \text{ г/моль} = 6,88 \text{ моль} \\ \text{общее число молей смеси} & 9,15 \text{ моль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Рассчитаем парциальное давление пропана и бутана: } & \frac{2,27 \text{ моль}}{9,15 \text{ моль}} = 0,248 \text{ моль} \\ \text{Рауля: } & \frac{6,88 \text{ моль}}{9,15 \text{ моль}} = 0,752 \text{ моль} \\ \text{молярный состав пропана в жидкой фазе: } & \frac{6,88 \text{ моль}}{9,15 \text{ моль}} = 0,752 \rightarrow 75,2\% \end{aligned}$$

молярный состав бутана в жидкой фазе:

$$\begin{aligned} \text{парциальное давление пропана составит: } & 0,248 \cdot 3,69 \text{ бар} = 0,915 \text{ бар} \\ \text{парциальное давление бутана составит: } & 0,752 \cdot 0,78 \text{ бар} = 0,587 \text{ бар} \\ \text{давление насыщенных паров смеси} & 1,502 \text{ бар} \\ \text{давление в танке (манометрическое)} & \approx 0,5 \text{ бар} \end{aligned}$$

Состав смеси в газовой фазе (над поверхностью жидкости) можно рассчитать следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{Содержание пропана в газовой фазе: } & 0,915 \text{ бар} : 1,502 \text{ бар} = 0,609 \rightarrow 60,9 \% \\ \text{Содержание бутана в газовой фазе: } & 0,587 \text{ бар} : 1,502 \text{ бар} = 0,391 \rightarrow 39,1 \% \end{aligned}$$

Как можно видеть, газ, всасываемый компрессором в систему повторно-сжижения, состоит на 60,9% из паров пропана и на 39,1% из паров бутана, несмотря на то, что в жидкой фазе пропана содержится всего 24,8%.

Важно, производить такие расчеты заранее, с тем, чтобы определить установочное давление для предохранительных клапанов на танках (**MARVS – Maximum Allowed Relief Valve Setting**) и максимально допустимое давление

конденсации смеси в системе повторного сжижения, поскольку пропан имеет более высокое давление конденсации, нежели бутан.

Следует иметь в виду, что все газы, перевозимые на судах, фактически представляют из себя смесь целого ряда различных газов. Например, промышленный пропан содержит в своем составе от 95 до 98 % пропана, 1-3% этана и около 1 % бутана.

Взаимные превращения жидкостей и газов.

В природе и в технике мы часто встречаемся с изменением агрегатного состояния вещества (рис.6), в частности с превращением жидких и твердых тел в газообразное состояние. Для жидкостей существуют два способа перехода в газообразное состояние:

- Испарение;
- Кипение.

Испарение.

Испарение происходит с открытой, свободной поверхности, отделяющей жидкость от газа, например, с поверхности жидкости в открытом сосуде, с поверхности водоёма и т.д.

Испарение происходит при ЛЮБОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ, но для каждой жидкости скорость испарения увеличивается с повышением температуры.

- Если испарение происходит в замкнутом сосуде, температура во всех точках сосуда одинакова, но её величина ниже, чем температура кипения. В таком случае внутри сосуда достигается состояние равновесия между жидкостью и паром, и процесс испарения прекращается с достижением в этом паре парциального давления насыщения, соответствующего температуре в сосуде.
- Если же испарение происходит в открытом сосуде, равновесие не достигается практически никогда, а скорость испарения зависит от многих факторов. Обычно скорость испарения пропорциональна разности между давлением насыщенного пара при температуре испарения и действительным давлением пара над поверхностью жидкости.
- Если же давление насыщенных паров жидкости и фактическое давление паров равны, испарение сопровождается обратным процессом, который называется конденсацией.

Конденсация – переход вещества из газообразного или парообразного состояния в жидкое состояние.

При испарении, молекулы, вылетевшие с поверхности жидкости, должны преодолеть силу притяжения соседних молекул, следовательно, совершить некоторую работу. Поэтому, чтобы произошло испарение, испаряющемуся

6. Основы термодинамики сжиженных газов



веществу необходимо сообщить некоторое количество теплоты, черпая её из запаса внутренней энергии самой жидкости.

Количество теплоты, которое надо сообщить жидкости, находящейся при данной температуре и фиксированном давлении, чтобы преобразовать её в пар, при тех же условиях, называется СКРЫТОЙ ТЕПЛОТОЙ ИСПАРЕНИЯ (парообразования), r (Дж/кг)

Если к испаряющейся жидкости не подводить теплоту извне, то жидкость охлаждается.

Кипение.

Второй способ преобразования жидкости в пар – кипение, которое отличается от испарения тем, что образование паров происходит ПО ВСЕМУ ОБЪЁМУ жидкости.

Кипение становится возможным только в том случае, если давление насыщенных паров жидкости равно внешнему давлению.

Поэтому данная жидкость, находясь под определенным давлением, кипит при вполне определённой температуре.

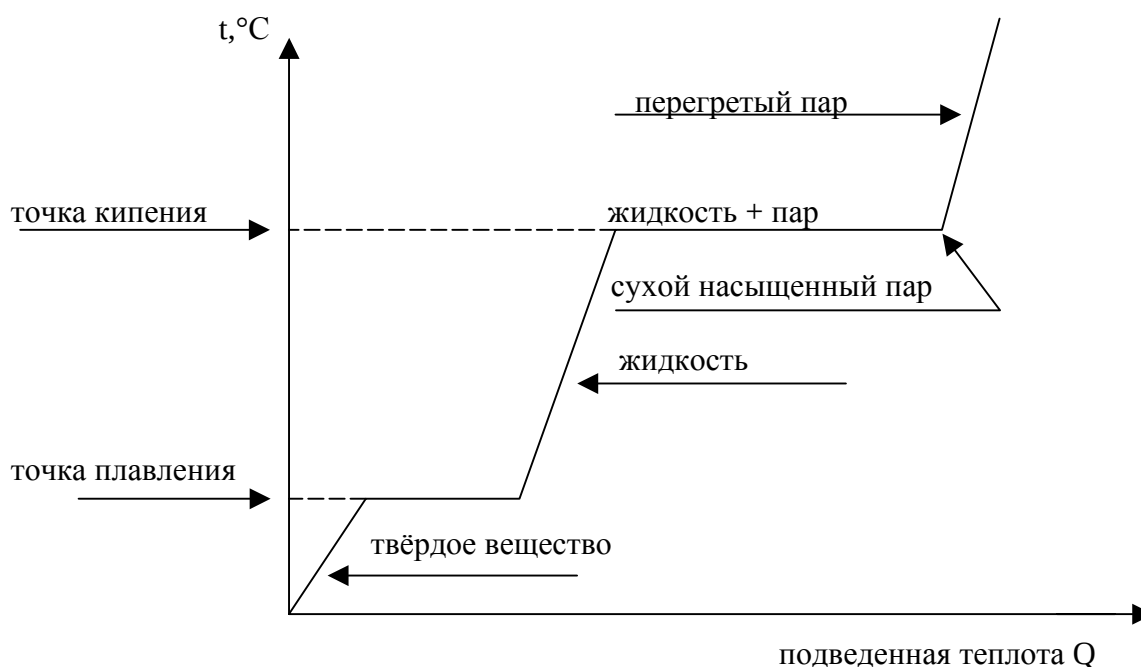
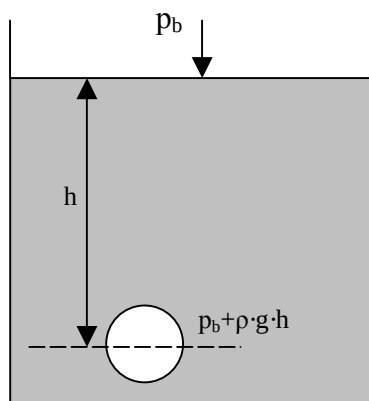


Рис. 6. Иллюстрация смены агрегатных состояний вещества.

Обычно температуру кипения той или иной жидкости, в том числе и для сжиженных газов, приводят для атмосферного давления.



p_b – барометрическое давление;
 h – высота столба жидкости;
 ρ – плотность жидкости;
 g – ускорение свободного падения.

Рис. 7. Процесс кипения в жидкости.

Пузырьки газа, возникающие в процессе кипения, насыщены парами груза.

$$p = p_b + (\rho \cdot g \cdot h),$$

Когда давление насыщенного пара внутри пузырьков превышает давление на поверхности жидкости, пузырьки всплывают и лопаются. Жидкость начинает кипеть. Если увеличить давление над жидкостью, то температура кипения увеличится, если давление понизить, то и температура кипения уменьшится. В практике это факт используется очень часто. Например, в паровых установках вода кипит при температуре 281°C при давлении в 65 бар, а в установках по производству дистиллированной воды, наоборот, вода кипит при температуре 40°C и давлении насыщенных паров 0,0738 бар. На высоте около 5.000 метров атмосферное давление составляет 513 мбар, что соответствует температуре кипения воды 82°C. Простейший же способ охладить до наинизшей температуры сжиженный газ – сделать так, чтобы его давление насыщенных паров было равно атмосферному давлению, то есть, сообщить атмосферу грузового танка с окружающей атмосферой, что и достигается при срабатывании предохранительного клапана на грузовом танке.

Для того чтобы подсчитать количество теплоты, необходимое для превращения в пар жидкости любой массы, нужно удельную теплоту парообразования (r) умножить на массу.

$$Q = r \cdot m, \text{ (Дж)}.$$

Эта формула часто используется при определении необходимого количества жидкого груза для захолаживания грузовых танков без использования судовой установки повторного сжижения (см. раздел «Подготовка грузовых танков»).

Работа при изменении объёма газа.

Одним из основных термодинамических процессов, совершающихся в большинстве тепловых машин, является процесс расширения газа с совершением работы. При изобарном расширении газа от объёма V_1 до объёма V_2 , происходит перемещение поршня в цилиндре на расстояние L (рис. 8). При этом работа “ A ”, совершаемая газом, будет равна (рис. 9):

$$A = F \cdot L = p \cdot S \cdot L = p \cdot \Delta V, \quad (\text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж})$$

где F – сила, действующая на поршень, (Н)
 L – расстояние пройденное поршнем, (м)
 S – площадь поршня, (м^2)
 p – давление газа, (Па)
 ΔV – объём цилиндра на ходе поршня (м^3)

При изохорном процессе изменения объёма газа не происходит, следовательно работа в данном случае будет равна «0».

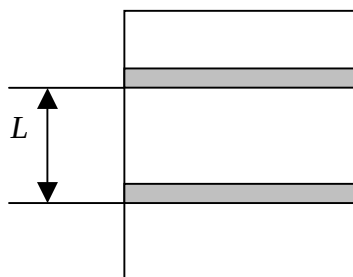


Рис. 8. Работа поршня.

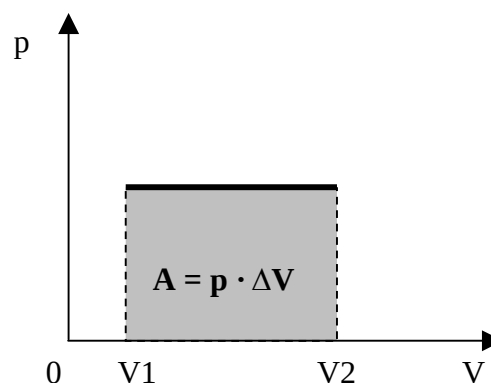


Рис. 9. Изобарное расширение газа.

При изотермическом расширении газа (т.е. при неизменной температуре), работа выразится площадью фигуры под гиперболой (рис.10)

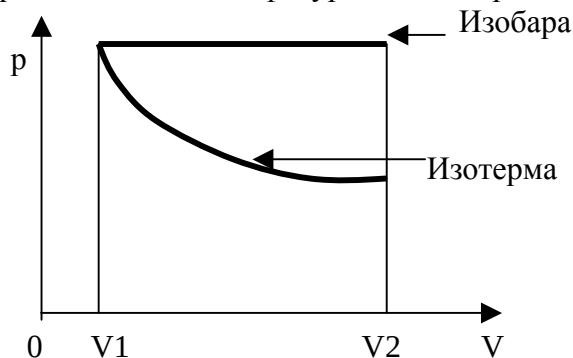


Рис. 10. Сравнение изотермического и изобарного процессов расширения газа.

При расширении газа направление вектора силы давления газа совпадает с направлением вектора перемещения поршня, поэтому работа, совершаемая газом в этом случае, будет положительной, а работа внешних сил – отрицательной. При сжатии газа направление вектора внешней силы совпадает с направлением перемещения поршня, поэтому работа внешних сил будет положительной ($A > 0$), а работа газа – отрицательной ($A < 0$).

Энтропия.

Энтропия является также одним из параметров состояния системы и характеризует её энергоспособность. Увеличение энтропии системы указывает на снижение её энергоспособности.

В технической термодинамике элементарное изменение энтропии тела или системы определяется элементарным теплообменом тела или системы с внешней средой и уровнем температуры, на котором этот теплообмен происходит, S , Дж/(кгК).

$$ds = \frac{dq}{T}$$

где dq – элементарный удельный теплообмен,
 ds – удельная энтропия.

Выразив удельный теплообмен через внутреннюю энергию тела и работу изменения объёма, для процесса 1-2 можно записать:

$$\Delta S = c_v \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + R \cdot \ln \frac{v_2}{v_1} \quad .$$

Таким образом, изменение энтропии определяется изменением измеряемых параметров системы (p, V, T). В теплотехнике для графического представления состояний газа и отображения термодинамических процессов в тепловых двигателях широко используется так называемая энтропийная диаграмма ($T-s$).

Теплопроводность.

Теплопроводность – это процесс передачи теплоты (энергии) вследствие хаотичного теплового движения молекул или атомов.

Иными словами, применительно к телам, можно сказать, что теплопроводность – это перенос энергии от более нагретых участков тела к менее нагретым его участкам вследствие теплового движения и взаимодействия частиц. Помимо теплопроводности теплота может передаваться конвекцией и излучением.

**Конвекция – это процесс теплопередачи, при котором энергия переносится самими струями жидкости или газа.
Конвекция может происходить ТОЛЬКО в жидкостях или газах.**

Конвекция, происходящая без вмешательства извне, называется естественной, если же неоднородно нагретую массу газа или жидкости перемешивать с помощью насоса или вентилятора, то происходит вынужденная конвекция.

Излучение – особый вид передачи энергии за счет электромагнитных колебаний. Тепловое излучение происходит в диапазоне инфракрасного спектра.

В практике перевозки сжиженных газов теплопроводность материалов используется при расчете изоляции грузовых танков.

Расчет изоляции грузовых танков.

Для расчетов притока теплоты через изоляцию грузовых танков, мы воспользуемся следующей формулой:

$$Q = \frac{\lambda}{\zeta} A (T_1 - T_2)$$

где ζ (м) – толщина изоляции;
 λ (Вт/(м·К)) – удельная теплопроводность материала ;
 Q (Вт) – тепловой поток;
 A (м²) – площадь изоляции;
 T_1 (°К) – температура теплой поверхности изоляции;
 T_2 (°К) – температура холодной поверхности изоляции.

Для наглядности рассмотрим использование этой формулы на конкретном примере.

Пример:

Определить количество теплоты, которое проникает через изоляцию одного грузового танка судна вместимостью 75000 м³. Танк изолирован полиуретановой пеной, наполненной фреоном, толщиной 100 мм, тепловоспринимающая поверхность танка 690 м². Температура окружающей среды составляет +30°С, а температура груза –40°С.

1. Из таблицы 2 выбираем значение удельной теплопроводности полиуретановой пены, -- 0,023 Вт/м·К.
2. Подставим известные нам значения в формулу:

$$Q = (0,023 \cdot 690 \cdot 70) : 0,1 = 11109 \text{ Вт} = 11,11 \text{ кВт}$$

3. Если произойдет отделение изоляции танка от его переборок (например при образовании льда между переборкой танка и изоляцией), то приток тепла будет значительно больше, поскольку в том месте, где отстала изоляция сталь будет единственным изоляционным материалом между грузом и окружающей средой. Как можно найти из таблицы, удельная теплопроводность стали составляет 50,2 Вт/м·К.
4. При толщине стали 20 мм, приток тепла в танк составит:

$$Q = (50,2 \cdot 690 \cdot 70) : 0,02 = 121233000 \text{ Вт} = 121233 \text{ кВт}.$$

Как видим, приток тепла через переборку танка будет на несколько порядков выше, чем приток тепла через 10 см слой изоляции. Правда этот

расчет не является реалистичным, поскольку на практике мы не сталкиваемся с тем, чтобы вся изоляция танка отвалилась. Даже в таком, гипотетическом случае, на внешней поверхности танка будет образовываться слой льда, который будет выполнять роль своего рода изолирующего материала. В этом случае приток тепла в танк будет значительно ниже.

Таблица 3. Теплофизические характеристики некоторых материалов.

Тип изоляции	Теплопроводность, Вт/м·К	Плотность, Кг/м³	Теплоёмкость, кДж/кг·К
Неподвижный воздух	0,024	1,29	1,0
Полистирол (пена)	0,038	25	1,34
Эбонит (разрыхленный)	0,029	65	1,38
Полиуретан (пена)	0,023	40	1,26
PVC (пена)	0,033	40	1,34
Бакелит	0,041	32	1,34
Стекловата (в матах)	0,035	20	0,84
Стекловата насыпью	0,041	60	0,84
Минеральная вата в матах	0,035	45	0,84
Минеральная вата насыпью	0,041	100	0,84
Перлит	0,035	50	0,84
Сталь	50,2	7800	0,46

Диаграмма Молье.

Наиболее важным в практическом плане является понимание того, как можно рассчитать время охлаждения груза в зависимости от имеющегося оборудования на борту судна. Поскольку возможности судовой установки по сжижению газов во многом определяют время стоянки судна в порту, то знание этих возможностей и правильное их использование позволят нам заранее планировать стояночное время, поможет избежать ненужных простоев и претензий к судну.

Диаграмма, которая приводится ниже (см. рис. 11), рассчитана только для пропана, но метод её использования для всех газов одинаков.

6. Основы термодинамики сжиженных газов



Таблица 4. Множители для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименование

Число	Порядок измерения	Название	Сокращенное обозначение
1.000.000.000.000	10^{12}	Тера	Т
1.000.000.000	10^9	Гига	Г
1.000.000	10^6	Мега	М
1.000	10^3	Кило	к
100	10^2	Гекто	г
10	10	Дека	да
0,1	10^{-1}	Деци	д
0,01	10^{-2}	Санتي	с
0,001	10^{-3}	Мили	м
0,000001	10^{-6}	Микро	мк
0,000000001	10^{-9}	Нано	н
0,000000000001	10^{-12}	Пико	п

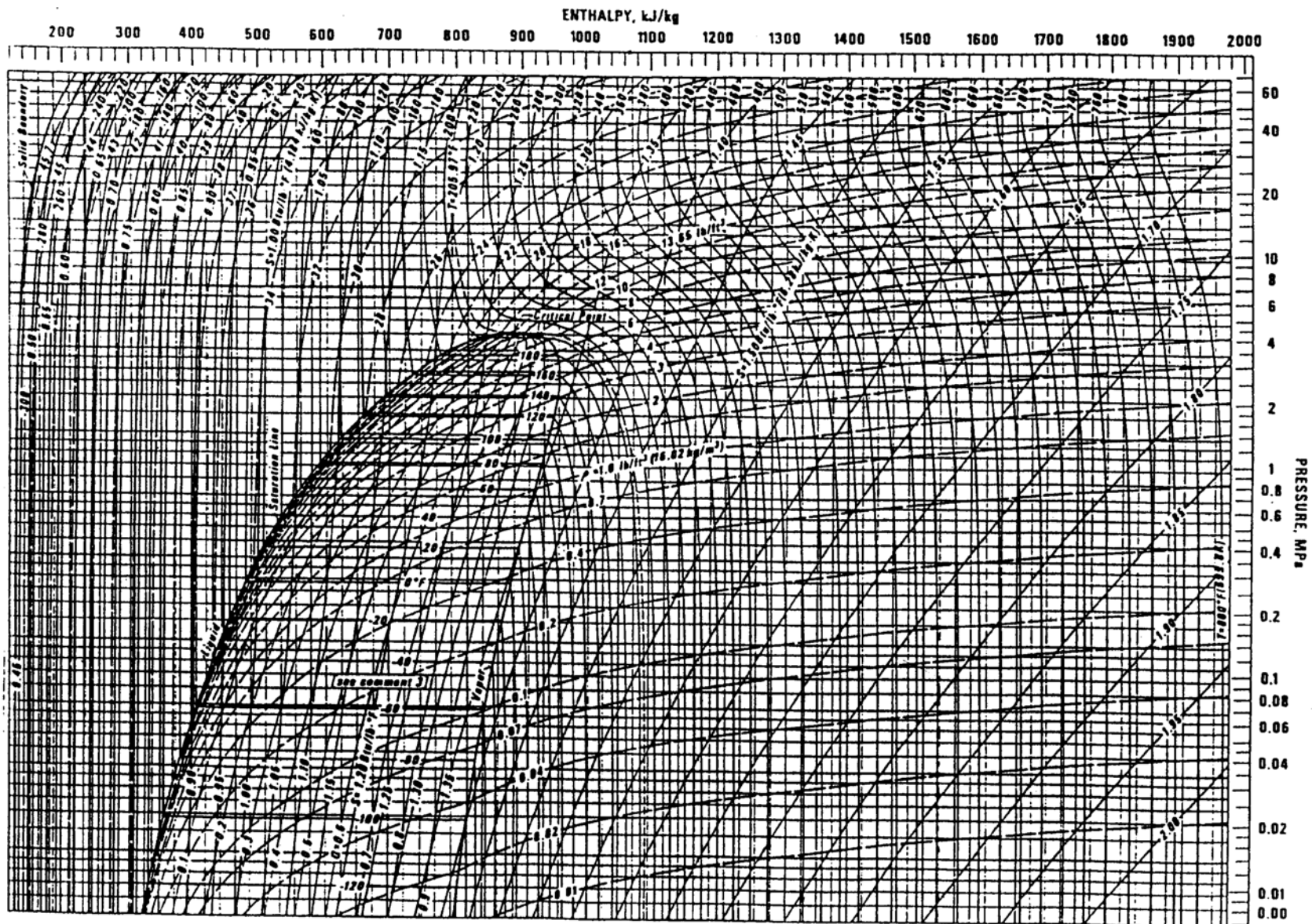


Рис. 11. Диаграмма «Молье» для пропана.

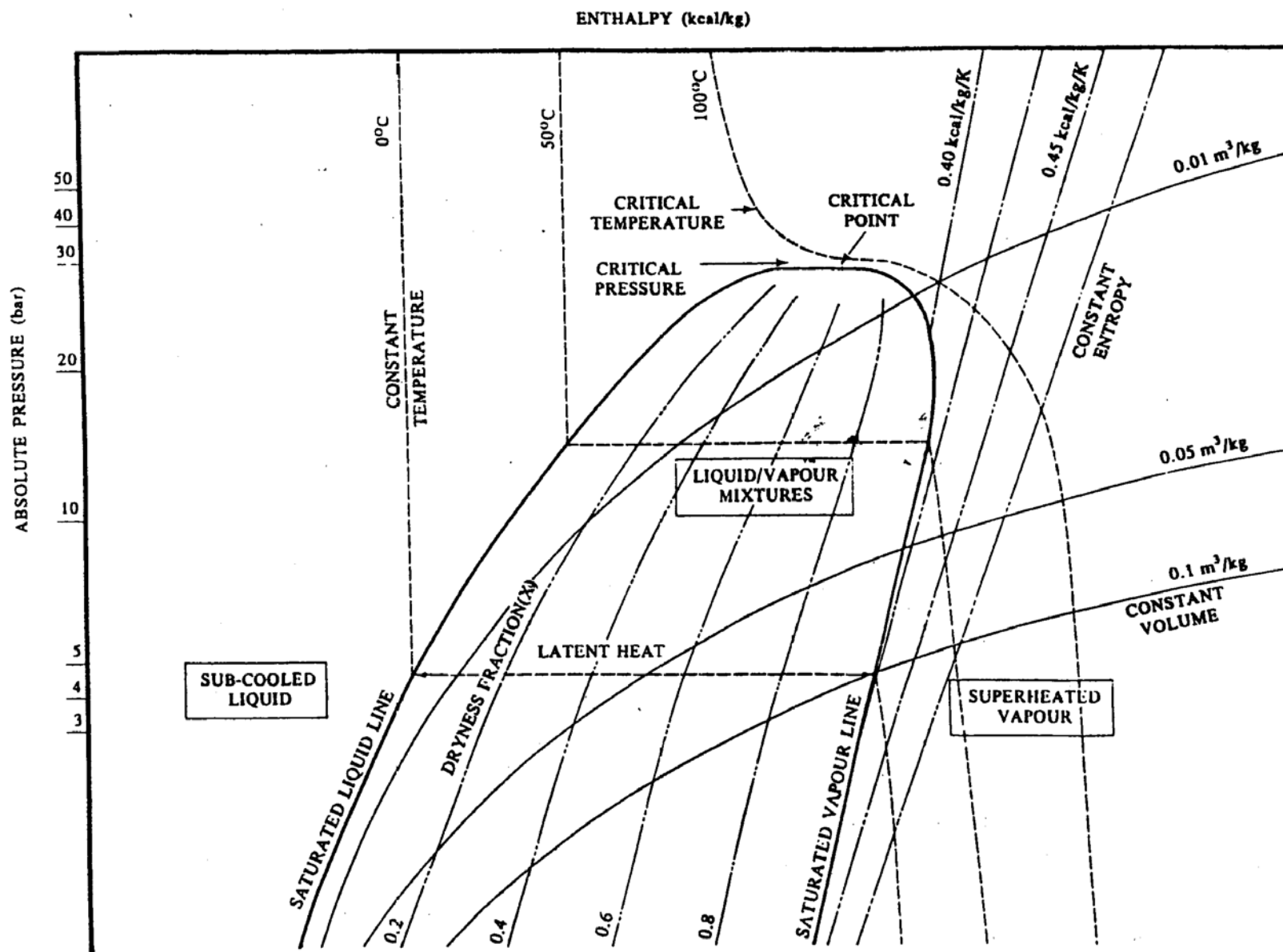


Рис12. Основные кривые диаграммы «Молье».

Диаграмма с осями давление – энтальпия иногда называется диаграммой Молье. В ней используется логарифмическая шкала абсолютного давления ($p \log$) – на вертикальной оси, на горизонтальной оси (h) – натуральная шкала удельной энтальпии (рис 11, 12). Давление – в МПа (мега Паскалях), $0,1 \text{ МПа} = 1 \text{ бар}$, поэтому в дальнейшем будем использовать бары. Удельная энтальпия измеряется в кДж/кг. В дальнейшем при решении практических задач мы будем постоянно использовать диаграмму Молье (но только её схематичное изображение, с тем, чтобы отчетливее понимать физику тепловых процессов, происходящих с грузом). На диаграмме мы можем заметить своего рода «сачок», образованный кривыми. Границы этого «сачка» представляют собой пограничные кривые смены агрегатных состояний сжиженного газа, а именно переход жидкости в насыщенный пар. Все что находится слева от «сачка» представляет собой переохлажденную жидкость, а все то, что справа от «сачка» относится к перегретому пару (см. рис 12).

Пространство между этими кривыми представляет собой различные состояния смеси насыщенных паров пропана и жидкости отражает процесс фазового перехода. На ряде примеров, рассмотрим практическое использование диаграммы Молье.

Пример 1:

Проведите линию, соответствующую давлению в 2 бара ($0,2 \text{ Мпа}$) через участок диаграммы, отражающий смену фаз (рис. 13). Найдем энтальпию для 1 кг кипящего пропана при абсолютном давлении 2 бара.

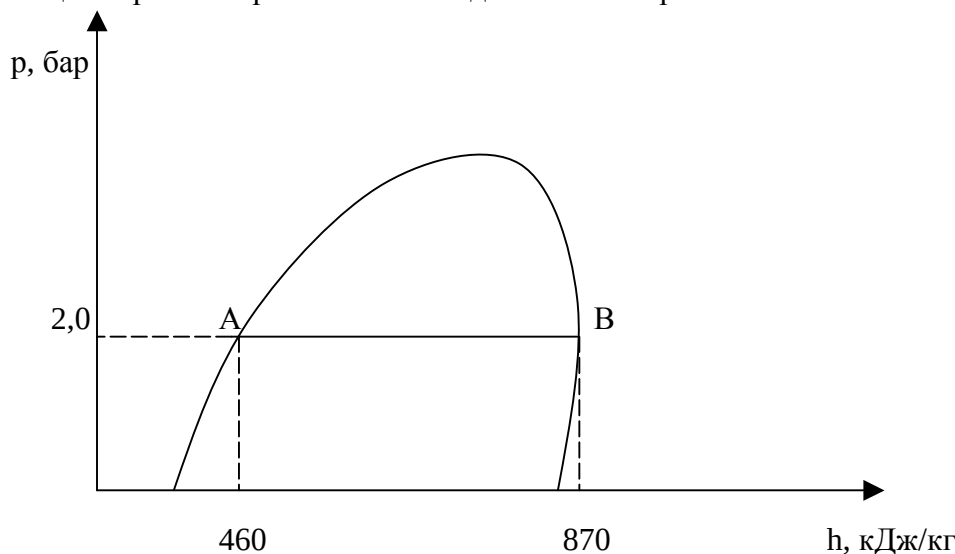


Рис. 13. Пример 1.

Как уже отмечалось выше, кипящий жидкий пропан характеризуется левой кривой диаграммы. В нашем случае это будет точка «А». Проведя из точки А вертикальную линию к шкале h , мы определим значение энтальпии, которое составит 460 кДж/кг. Это означает, что каждый килограмм пропана в данном состоянии (в точке кипения при давлении 2 бара) обладает энергией в 460 кДж. Следовательно, 10 кг пропана обладают энтальпией 4.600 кДж. Далее определим величину энтальпии для сухого насыщенного пара пропана при том же давлении в 2 бара. Для этого проведем вертикальную линию из точки «В» до

пересечения со шкалой энтальпии. В результате найдем, что максимальное значение энтальпии для 1 кг пропана в фазе насыщенных паров составит 870 кДж. Внутри диаграммы линии, направленные из точки критического состояния газа вниз, отображают количество частей газа и жидкости в фазе перехода. То есть 0,1 означает, что смесь содержит 1 часть паров газа и 9 частей жидкости. В точке пересечения давления насыщенных паров и этих кривых мы определим состав смеси (её сухость или влажность). Температура перехода постоянна в течение всего процесса конденсации или парообразования. Если пропан находится в замкнутой системе (в грузовом танке), в ней присутствуют и жидкая и газообразная фазы груза. Можно определить температуру жидкости, зная давление паров, давление паров по температуре жидкости. Давление и температура связаны между собой, если жидкость и пар находятся в равновесном состоянии в замкнутой системе. Заметим, что кривые температуры, расположенные в левой части диаграммы, следуют почти вертикально вниз, пересекают фазу парообразования в горизонтальном направлении, и в правой части диаграммы опять опускаются вниз почти вертикально.

Пример 2:

Предположим, что мы имеем 1 кг пропана в стадии смены фаз (часть пропана жидкость, а часть – пар). Давление насыщенных паров составляет 7,5 бар, а энтальпия смеси (пар-жидкость) равна 635 кДж/кг. Необходимо определить, какая часть пропана находится в жидкой фазе, а какая в газообразной? Отложим на диаграмме, прежде всего известные величины, давление паров 7,5 бар и энтальпию 635 кДж/кг. Далее мы можем определить, что точка пересечения давления и энтальпии лежит на кривой, которая обозначена 0,2. А это, в свою очередь означает, что мы имеем пропан в стадии кипения и 2 (20%) части пропана находятся в газообразном состоянии, а 8 частей (80%) находятся в жидком состоянии.

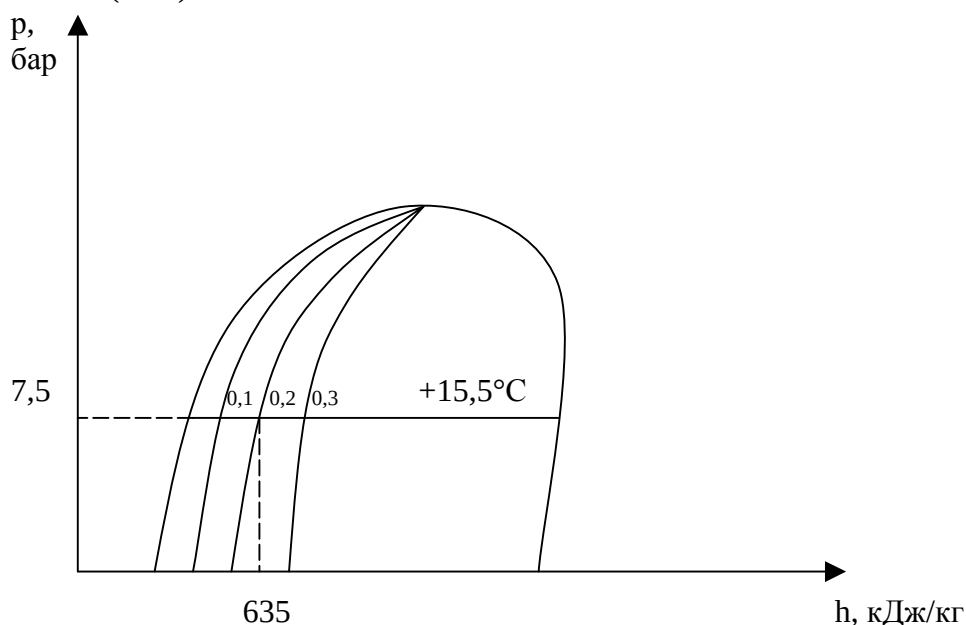


Рис. 14. Пример 2.

Также можно определить температуру жидкости, которая составляет 60°F или же +15,5°C (для перевода температуры мы будем использовать таблицу термодинамических характеристик пропана из «Приложения 1»).

Чтобы найти давление в танке (манометрическое давление) необходимо помнить, что оно меньше давления насыщенных паров (абсолютного давления) на величину атмосферного давления, равного 1.013 мбар. В дальнейшем для упрощения расчетов мы будем использовать значение атмосферного давления равное 1 бару. То есть в нашем случае давление насыщенных паров или абсолютное давление равно 7,5 бар, то манометрическое давление в танке составит 6,5 бар.

Ранее уже упоминалось, что жидкость и пары в равновесном состоянии находятся в замкнутой системе при одной и той же температуре. Это верно, однако на практике можно заметить, что пары, находящиеся в верхней части танка (в куполе) имеют температуру значительно выше, чем температура жидкости. Это обусловлено нагревом танка. Однако, такой нагрев не влияет на давление в танке, которое соответствует температуре жидкости (точнее сказать температуре на поверхности жидкости). Пары непосредственно над поверхностью жидкости имеют ту же самую температуру, что и поверхность жидкости, и, как раз на поверхности жидкости, и происходит смена фаз вещества.

Как видно (рис. 11-14), на диаграмме Молье кривые плотности направлены из из левого нижнего угла диаграммы «сачка» в правый верхний угол. Значение плотности в диаграмме может быть дано в lb/ft³ Для пересчета в СИ используется переводной коэффициент 16,02 (1,0 lb/ft³ = 16,02 кг/м³).

Пример 3:

В этом примере будем использовать кривые плотности. Требуется определить плотность перегретого пара пропана при абсолютном давлении 0,95 бара и температуре +49°C (120°F). Также определим удельную энтальпию этих паров.

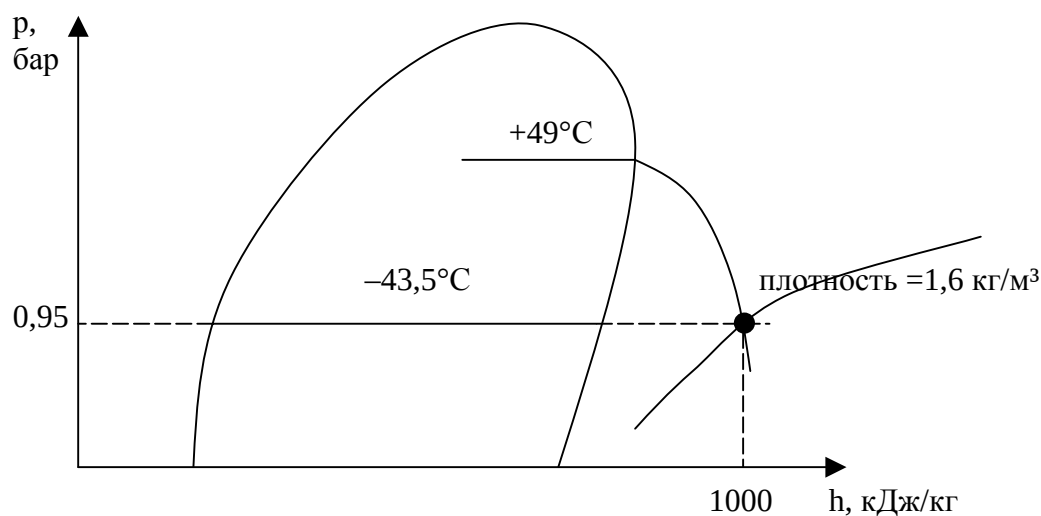


Рис. 15. Пример 3.

Процесс определения искомых параметров виден из рис 15.

В наших примерах используются термодинамические характеристики для одного газа – пропана. В подобных расчетах для любого газа меняться будут только абсолютные величины термодинамических параметров, принцип же остается тот же самый для всех газов.

В дальнейшем для упрощения, большей точности расчетов и сокращения времени будем использовать таблицы термодинамических свойств газов. Практически вся информация, заложенная в диаграмму Моляе, приведена в табличной форме.

С помощью таблиц можно определить численное значение параметров груза, но трудно представить себе как идет процесс охлаждения, если не использовать хотя бы схематичное отображение диаграммы. « $p - h$ ».

Пример 4:

В грузовом танке при температуре -20°C находится пропан. Необходимо определить как можно точнее давление газа в танке при данной температуре. Далее необходимо определить плотность и энтальпию паров и жидкости, а также определить разность энтальпии между жидкостью и парами. Пары над поверхностью жидкости находятся в состоянии насыщения при той же температуре, что и сама жидкость. Атмосферное давление в нашем случае составляет 980 миллибар. Необходимо нарисовать упрощенную диаграмму Моляе и отобразить все параметры на ней.

Используя таблицу, определяем давление насыщенных паров пропана. Абсолютное давление паров пропана при температуре -20°C - 2,44526 бар. Давление в танке будет равно:

$$\begin{array}{rclcl} \text{Абсолютное} & - & \text{атмосферное} & = & \text{Давлению в танке (избыточное} \\ \text{давление} & & \text{давление} & & \text{или манометрическое давление)} \\ 2,44526 \text{ бар} & - & 0,980 \text{ бар} & = & 1,46526 \text{ бар} \end{array}$$

В колонке, соответствующей плотности жидкости находим, что плотность жидкого пропана при -20°C составит $554,48 \text{ кг/м}^3$. Далее находим в соответствующей колонке плотность насыщенных паров, которая равна $5,60 \text{ кг/м}^3$. Энтальпия же для жидкости составит $476,2 \text{ кДж/кг}$, а для паров $876,8 \text{ кДж/кг}$. Соответственно разность энтальпии составит $(876,8 - 476,2) = 400,6 \text{ кДж/кг}$.

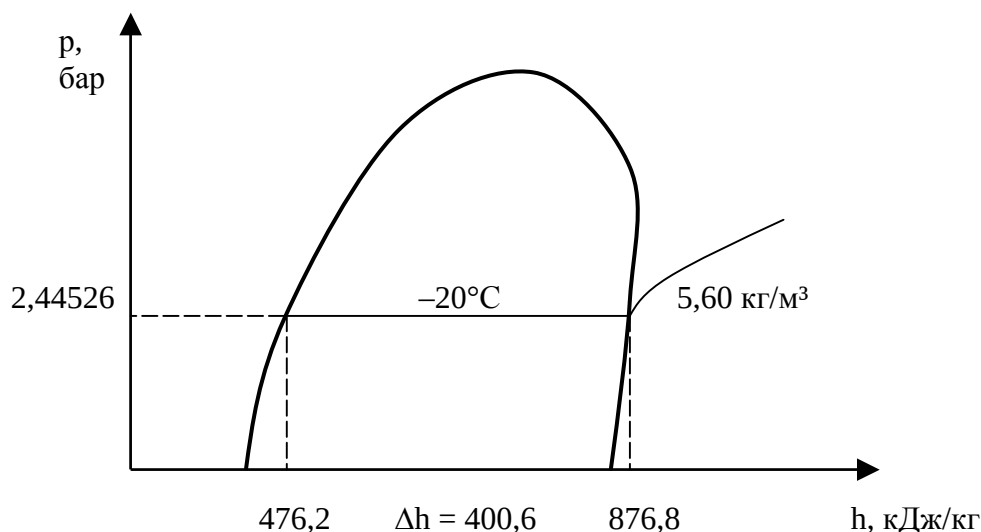


Рис. 16. Пример 4.

Несколько позже мы рассмотрим использование диаграммы Молье в практических расчетах работы установок повторного сжижения.



Физические принципы искусственного охлаждения.

Самопроизвольная передача теплоты от нагретого тела к телу более холодному – процесс естественный и необратимый. В изолированной системе естественный теплообмен продолжается до установления равновесной температуры.

Искусственное охлаждение – процесс отвода или поглощения теплоты, сопровождаемый понижением температуры рабочего тела до более низкой температуры, чем температура окружающей среды. Такой процесс требует затрат энергии и осуществляется в холодильных установках.

Обратный цикл Карно.

Реализацию так называемого идеального обратного цикла Карно (рис.2) холодильной установки можно осуществить в системе технических устройств (рис. 1) компрессор (КМ), конденсатор (КД) расширительный цилиндр (РЦ), испаритель (И), при условии отсутствия в них тепловых потерь, что практически нереально.

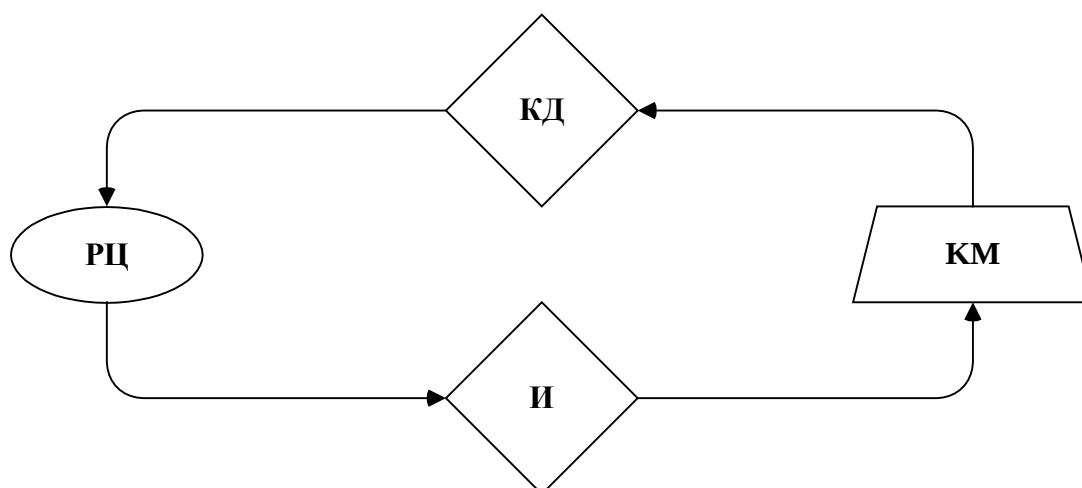


Рис. 1. Принцип работы холодильной установки.

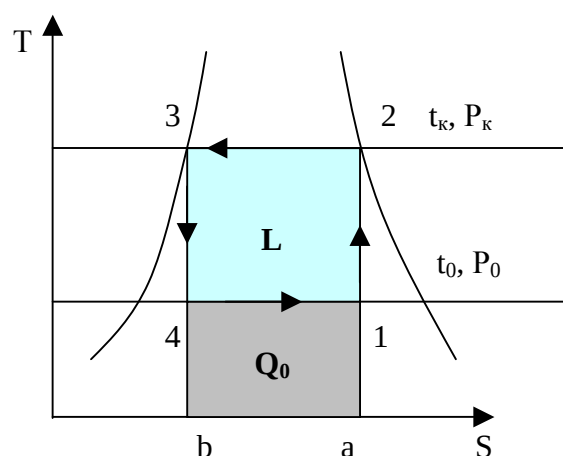


Рис. 2. Обратный цикл Карно.



7. Установки повторного сжижения

В реальных циклах компрессорных холодильных установок расширительный цилиндр заменен регулирующим клапаном (дросселирующим устройством, в котором происходит понижение давления и температуры хладагента). К этому следует добавить, что, так как цикл Карно может быть осуществлен только в области влажного пара, то обеспечить нормальную работу компрессора из-за наличия т.н. «влажного» хода – невозможно. Поэтому в реальных установках пар хладагента в испарителе подсушивается до насыщения и даже перегревается. Естественно, при этом, возрастают затраты энергии на привод компрессора, которые можно компенсировать выигрышем в теплоотводе от охлаждаемого тела за счет переохлаждения конденсата в конденсаторе.

Как видно из рис. 2 цикл Карно в диаграмме T-S изображается 4-мя прямыми линиями, а площади между осью абсцисс и изотермами эквивалентны теплоте Q_0 и работе цикла l . Эта наглядность предопределила широкое использование диаграммы T-S в холодильной технике. Но для практического использования на газозаводах используется диаграмма p-h (Диаграмма Молье). Установки, предназначенные для обеспечения температурных режимов перевозки сжиженных газов, называются **установками повторного сжижения газа (УПСГ)** или же **RELIQUEFACTION PLANT**.

Реальные циклы УПСГ.

Стремление повысить эффективность реальных компрессорных установок привело к созданию различных схем (одно-, двух-, трехступенчатых и каскадных) УПСГ с различными комбинациями дополнительных технических устройств.

Схема и принцип работы одноступенчатой УПСГ.

Одноступенчатая УПСГ (рис. 3) включает в себя грузовой танк Т, из которого пары груза через отделитель жидкости ОЖ всасываются одноступенчатым компрессором К. Далее, сжатые в компрессоре пары направляются в конденсатор, где они охлаждаются и конденсируются в результате теплообмена с заборной водой. Образовавшийся жидкий конденсат груза, скапливается в сборнике жидкости СЖ или ресивере, после чего через регулирующий вентиль РВ, дросселируясь до давления груза в танке, сбрасывается обратно в грузовой танк.

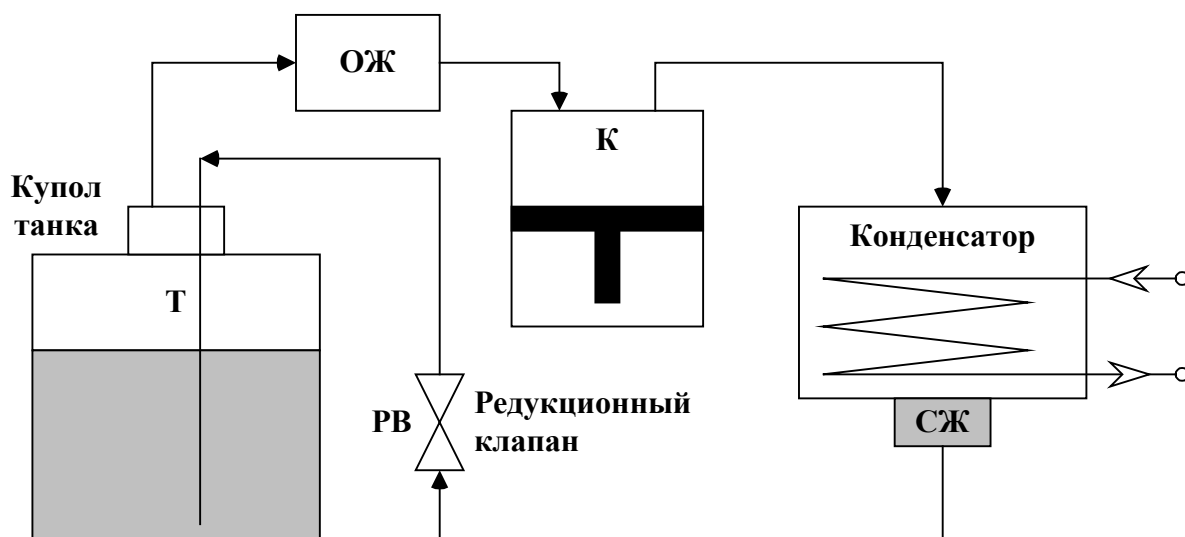


Рис. 3. Одноступенчатая установка повторного сжижения.

На диаграмме Моэе цикл одноступенчатой УПСГ выглядит следующим образом (рис. 4):

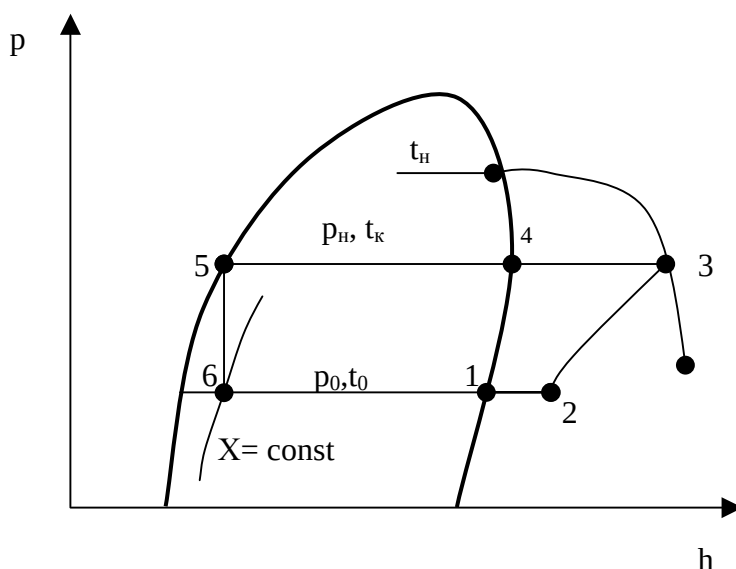


Рис. 4. Цикл работы одноступенчатой УПСГ.

Пусть точка (1) характеризует состояние насыщенных паров над поверхностью груза в танке. Тогда линия (1-2) будет отображать перегрев паров груза в куполе танка и во всасывающей магистрали компрессора, включая отделитель жидкости. Сопротивлением во всасывающем трубопроводе в этом и последующих примерах для облегчения расчетов можно пренебречь. Линия (2-3) иллюстрирует сжатие паров груза в компрессоре до конечного давления нагнетания p_n и температуры нагнетания t_n .

В конденсаторе происходит снятие перегрева паров груза, т.е. их охлаждение до температуры конденсации (линия 3-4) и сама конденсация охлажденных паров (4-5), которая происходит при давлении конденсации p_k и непосредственно с ним связанной температуре конденсации t_k .

Линия (5-6) отображает процесс дросселирования в дросселе регулирующего клапана.



7. Установки повторного сжижения

Таким образом, в грузовой танк возвращается парожидкостная смесь, процентное соотношение пара и жидкости в которой, можно оценить по кривой постоянного паросодержания (кривая «сухости» пара) $X=\text{const}$, проходящей через точку 6. Возвращенная в танк часть жидкого груза под воздействием теплоты из окружающей среды вновь закипает (процесс 6-1) и цикл повторяется.

Рассмотрим работу такой установки на конкретном примере.

Пример 1. Расчет времени работы УПСГ для понижения температуры груза до заданной величины.

Груз: пропан, 1.000 тонн

Температура груза в танке: -5°C

Температура всасывания компрессора: $+6^{\circ}\text{C}$

Давление нагнетания компрессора: 6,95 бара

Температура нагнетания компрессора: $t_n = +55^{\circ}\text{C}$

Подача компрессора (производительность): 350 м³/час

Заданная температура груза: -10°C

Атмосферное давление: 1 бар.

Для упрощения решения задачи, разделим расчет времени работы УПСГ на 2 этапа:

А – построение цикла установки по исходным данным.

Б – расчет времени работы установки.

А – Построение цикла (рис. 5).

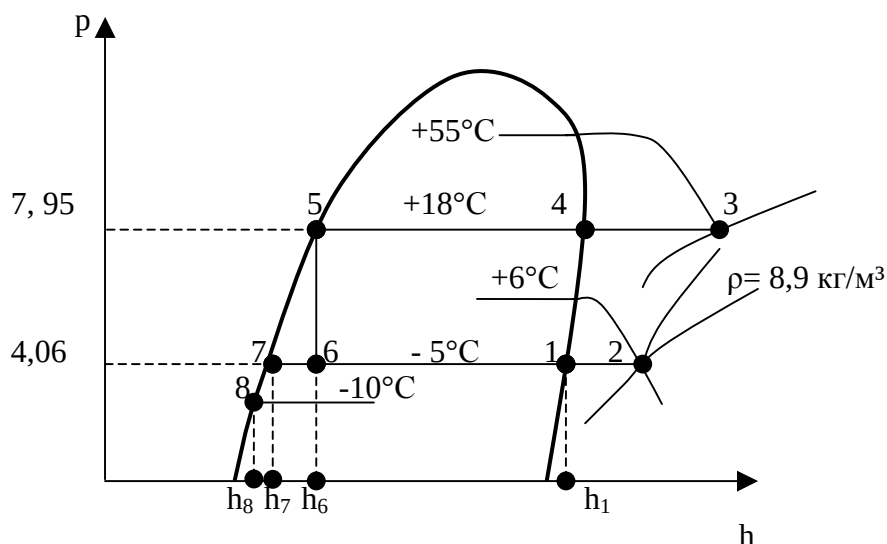


Рис. 5. Построение цикла для примера № 1.

- 1) По температуре груза в танке -5°C определяем абсолютное давление всасывания $p_0 = 4,06$ бар (абс) и наносим на диаграмму Мольте нижнюю барометрическую границу цикла.
- 2) По давлению нагнетания компрессора $p_n = 6,95$ бара (манометрическое) наносим верхнюю барометрическую границу цикла $p_k = 7,95$ бара (абс)



- 3) На пересечении изобары $p_o = 4,06$ бара и изотермы $t_{вс} = +6^\circ\text{C}$ определяем точку 2, характеризующую состояние паров на всасывании компрессора. Поскольку использование диаграммы Молье, имеющейся в судовой документации, представляет некоторые трудности из-за мелкого масштаба, то для решения задач проще использовать таблицы или графики термодинамических характеристик грузов. В нашем случае плотность перегретых паров определяется по соответствующему графику (Приложение 1), вход в который производится по нижней шкале (температура паров). На левой шкале (плотность пара) выбирается значение в кг/м^3 , соответствующее точке пересечения значения температуры и кривой абсолютного давления паров.
- 4) Пересечение изобары $p_k = 7,95$ бара и изотермы нагнетания $t_n = +55^\circ\text{C}$, дает точку 3, оценивающую состояние паров груза после их сжатия в компрессоре.
- 5) Точки 4 и 5 лежат на пересечении верхней барометрической границы цикла с правой и левой пограничными кривыми, соответственно.
- 6) Наконец, точка 6, характеризующая состояние парожидкостной смеси, сбрасываемой в грузовой танк, лежит на пересечении перпендикуляра, опущенного из точки 5 на нижнюю барометрическую границу цикла. Через эту точку проходит линия постоянного паросодержания $X = 0,18$, по которой можно оценить эффективность работы рассматриваемой УПСГ. Даже при весьма благоприятных внешних температурных факторах $t_k = +18^\circ\text{C}$ (определяется по давлению конденсации) и $t_0 = -5^\circ\text{C}$, всего лишь 82% от общего количества всасываемого пара, возвращается в танк в виде жидкости, остальная же часть – в виде пара. Состояние жидкости в грузовом танке оценивается точкой 7, лежащей на пересечении $t_0 = -5^\circ\text{C}$ с левой пограничной кривой.

Б – Расчет времени.

Время T , необходимое для понижения температуры груза до заданной, определяется как частное от деления общего количества теплоты, которую необходимо отвести из груза $Q_{отв}$ на холодопроизводительность УПСГ Q_o (в терминологии холодильной техники)

$$\tau = Q_{отв}/Q_o$$

Удельная энтальпия жидкого пропана при температуре $t_0 = -5^\circ\text{C}$ $h_7 = 511,6$ кДж/кг (из таблиц), а удельная энтальпия жидкого пропана при $t_{зад} = -10^\circ\text{C}$ $h_8 = 499,5$ кДж/кг. Точка 8 находится на пересечении изотермы $t_{зад} = -10^\circ\text{C}$ с левой пограничной кривой. Количество теплоты, которое необходимо отвести из груза, чтобы понизить его температуру до заданной величины, составит:

$$Q_{отв} = (h_7 - h_8) \cdot m_1 = (511,6 - 499,5) \cdot 1000 \cdot 10^3 \text{ кг} = 12.100 \cdot 10^3 \text{ кДж}$$

Количество же теплоты, необходимое для преобразования 1 кг парожидкостной смеси в точке 6 в насыщенный пар в точке 1, определяется как разность энтальпий $(h_1 - h_6)$. Поэтому холодопроизводительность установки будет равна:



7. Установки повторного сжижения

$$Q_0 = (h_1 - h_6) \cdot V_s \cdot \rho_s,$$

где V_s – подача компрессора,

ρ_s – плотность пара на всасывании компрессора (точка 2).

Плотность пара можно определить или по диаграмме Молье, что достаточно неточно, используя уравнение состояния идеального газа, или же из таблиц и графиков (приложение 1).

$$Q_0 = (893,2 - 570,2) \cdot 350 \cdot 8,3 = 938.315 \text{ кДж/час}$$

Итак, время, необходимое для понижения температуры пропана от -5°C до -10°C составит:

$$\tau = Q_{\text{отв}}/Q_0 = (12.100 \cdot 10^3) : 938.315 = 12,9 \text{ ч} \approx 13 \text{ часов.}$$

Пример 2. Расчет работы одноступенчатой УПСГ с регенеративным теплообменником (РТО) для понижения температуры груза до заданных параметров (рис. 6).

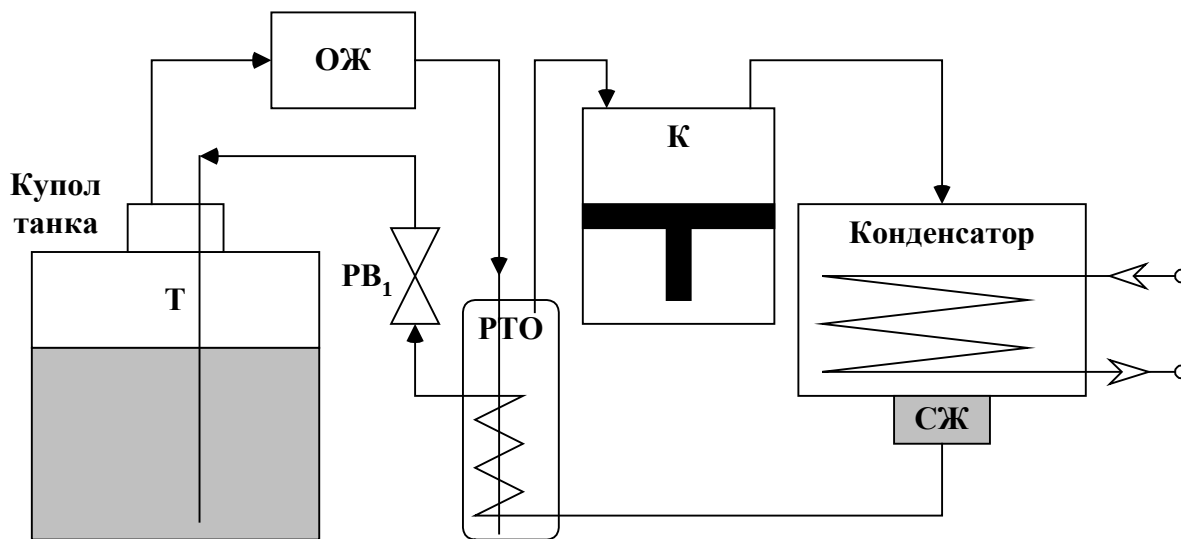


Рис. 6. Одноступенчатая УПСГ с регенеративным теплообменником.

В расчетах будем использовать данные предыдущего примера.

Как уже упоминалось, эффективность работы любой УПСГ определяется тем, какая часть всасываемого пара возвращается в танк в виде жидкого груза. Для увеличения возврата массовой доли сжиженного газа в грузовой танк используется переохлаждение конденсата, когда фактическое давление в конденсаторе превышает давление насыщенного пара для данной температуры перед его дросселированием в регулирующем клапане.

Наиболее простое конструктивное решение идея переохлаждения конденсата нашла в установке в систему сжижения регенеративного теплообменника (РТО). Конденсат направляется из ресивера в РТО по змеевику, который охлаждается холодными парами груза (с температурой,

7. Установки повторного сжижения



соответствующей температуре груза в танке). Пусть переохлаждение конденсата в РТО достигает 10°C . Тогда для наших значений (см. пример 1) температура жидкого пропана на выходе из РТО составит $+8^{\circ}\text{C}$ и, соответственно энтальпия $h_9 = h_{6'} = 544,2$ кДж/кг (рис. 7).

Изменение цикла работы одноступенчатой УПСГ показано на диаграмме Молье линиями (5-5') – переохлаждение конденсата в РТО, (5'-6') – дросселирование в РВ, (2-2') – дополнительный перегрев пропана в РТО, (2'-3') – сжатие в компрессоре.

Как видно из рисунка 7 переохлаждение конденсата смещает точку (6), характеризующую состояние возвращаемой в танк парожидкостной смеси, влево, увеличивая тем самым в ней относительную массу возвращаемой жидкости до 90 %.

Изменение цикла УПСГ вызывает рост её холодопроизводительности, что сокращает время, необходимое для понижения температуры груза до заданных параметров.

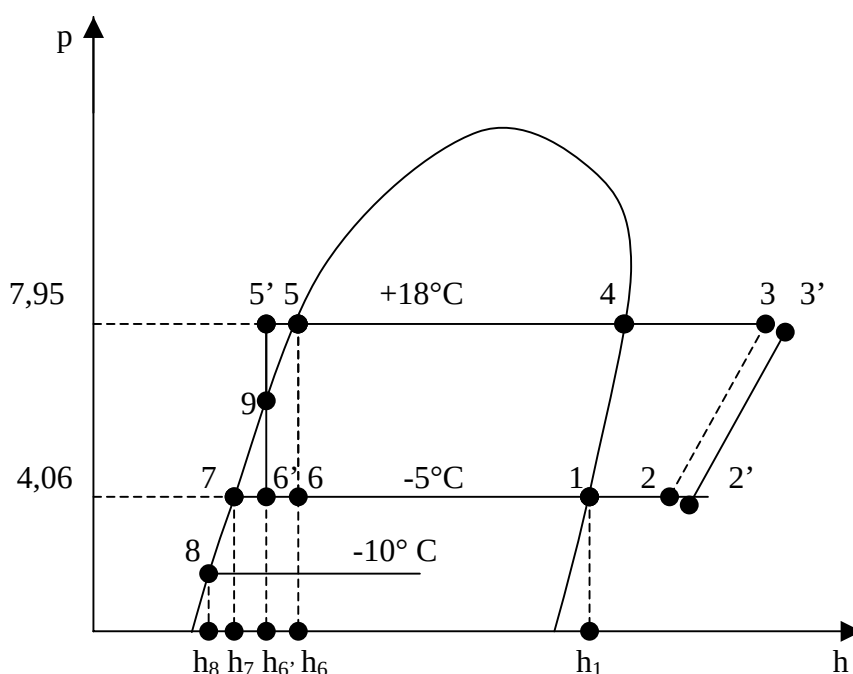


Рис. 7. Цикл одноступенчатой УПСГ с РТО.

Подставив новые численные значения энтальпии $h_{6'}$ в формулу для определения холодопроизводительности установки, мы получим:

$$Q_0 = (h_1 - h_{6'}) \cdot V_s \cdot p_s = (893,2 - 544,2) \cdot 350 \cdot 8,3 = 1.013.845 \text{ кДж/час}$$

время, необходимое для понижения температуры груза с -5°C до -10°C составит:

$$T = Q_{\text{отв}} / Q_0 = (12.100 \cdot 10^3) : 1.013.845 = 11,9 \text{ часа.}$$



7. Установки повторного сжижения

То есть, 1 час мы сэкономили на понижении температуры в танке при использовании РТО.

Согласно правилам технической эксплуатации судовых УПСГ, при нормальной работе грузового конденсатора температура конденсации груза t_k

$$t_k = t_{3.в. \text{ ср.}} + (6-7)^\circ\text{C}.$$

а температура заборной воды $t_{3.в. \text{ ср.}}$:

$$t_{3.в. \text{ ср.}} = \frac{t_{\text{ex}} - t_{\text{вых}}}{2}$$

Переход с одноступенчатого сжатия на двухступенчатое.

Режим работы УПСГ в значительной степени зависит от температуры заборной воды, охлаждающей конденсатор, температуры транспортировки груза, а также от рода самого груза. Так, например, повышение температуры заборной воды вызывает рост температуры конденсации груза, а с ней – повышение давления конденсации и давления нагнетания компрессора. И наоборот, понижение температуры транспортировки груза, уменьшает давление на всасывании компрессора. Во всех случаях рост перепада давлений на поршень компрессора отрицательно сказывается как на его работе, так и на работе компрессорной установки в целом. При нахождении поршня компрессора в верхней мертвой точке, в объеме, образованном доньшком поршня и нижней поверхностью крышки цилиндра (мертвом пространстве), остаются сжатые пары, которые расширяются при обратном ходе поршня и занимают часть полезного объема цилиндра. Чем выше давление в конце сжатия, тем большее количество паров остается в мертвом пространстве, и тем больший полезный объем цилиндра они занимают при расширении, уменьшая тем самым действительную подачу компрессора. Понижение давления всасывания, также уменьшает полезный объем цилиндра компрессора, поскольку для всасывания паров требуется большее расширение пара и, следовательно, большая часть полезного объема цилиндра.

Все фирмы, производители компрессоров, дают предельные значения разницы давления нагнетания и всасывания для каждого компрессора. Так, фирма Зульцер, для своих поршневых компрессоров, которые используются в установках повторного сжижения, даёт предельное значение разницы давлений всасывания и нагнетания в 6,5 бар, превышение этого параметра приводит к значительному возрастанию объёмных потерь и резкому снижению подачи компрессора.

В дальнейшем, при решении практических задач, мы будем использовать ограничения, установленные для компрессоров «Зульцер».

Пример 3. Анализ барометрических границ различных режимов работы одноступенчатой УПСГ.

- 1) Температура перевозки пропана $t_0 = -5^\circ\text{C}$, а температура заборной воды в конденсаторе $t_{3.в.} = +8^\circ\text{C}$, для такой температуры воды температура конденсации пропана составит $t_k = t_{3.в.} + 10^\circ\text{C} = 17^\circ\text{C}$.

Из таблиц термодинамических характеристик пропана, находим:

7. Установки повторного сжижения



$$t_k = +18^\circ\text{C} \Rightarrow p_k = 7,95 \text{ бар}$$

$$t_o = -5^\circ\text{C} \Rightarrow p_o = 4,06 \text{ бар}$$

$$\text{Отсюда } \Delta p = p_k - p_o = 3,89 \text{ бар} < \Delta p_{\text{доп.}} = 6,5 \text{ бар.}$$

Как видно из примера, работа одноступенчатой УПСГ на пропане протекает для установленного температурного режима в нормальном режиме.

- 2) Температура перевозки пропана $t_o = -40^\circ\text{C}$, а температура заборной воды составляет $t_{3.в.} = +27^\circ\text{C}$, для которой температура конденсации пропана в грузовом конденсаторе составит $t_k = t_{3.в.} + 10^\circ\text{C} = 27^\circ\text{C} + 10^\circ\text{C} = +37^\circ\text{C}$. По аналогии с предыдущим примером, определяем давление всасывания и давление нагнетания:

$$t_k = +37^\circ\text{C} \Rightarrow p_k = 12,8 \text{ бар}$$

$$t_o = -40^\circ\text{C} \Rightarrow p_o = 1,11 \text{ бар}$$

$$\Delta p = p_k - p_o = 11,69 \text{ бар} > \Delta p_{\text{доп.}} = 6,5 \text{ бар.}$$

Как видно из примера, перевозка пропана для рассматриваемого температурного режима, при использовании одноступенчатой УПСГ, намного превышает допустимые пределы завода-изготовителя.

- 3) Для приведенной выше температур заборной воды $t_{3.в.} = +27^\circ\text{C}$ и конденсации $t_k = +37^\circ\text{C}$, определим нижнюю барометрическую границу, при которой допускается транспортировка пропана:

Итак, для

$$t_k = +37^\circ\text{C} \Rightarrow p_k = 12,8 \text{ бар}$$

$$p_o = p_k - \Delta p_{\text{доп.}} = 12,8 - 6,5 = 6,3 \text{ бара,}$$

Для пропана абсолютное давление 6,3 бара соответствует температуре груза $+11^\circ\text{C}$, что вызывает не выполнение условий транспортировки груза (-40°C).

Рассмотренные примеры, дают представление об одной из основных причин, которая послужила толчком к конструированию более сложных УПСГ.

Режим двухступенчатого сжатия.

В двухступенчатой УПСГ пары груза перегреваясь в верхней части танка, проходят через отделитель жидкости ОЖ на всасывание 1-й ступени компрессора (рис. 8). На диаграмме Мольте этот процесс отобразится линией (1-2) (рис. 9).

В первой ступени пары сжимаются до некоторого промежуточного давления p_n (2-3) и направляются для охлаждения в промежуточный охладитель (ПО). Проходя через слой кипящей жидкости, горячие пары полностью охлаждаются до состояния насыщения (3-4), после чего всасываются 2-й ступенью компрессора. Во второй ступени компрессора происходит окончательное сжатие паров до конечного значения давления конденсации p_k (4-5). Сжатые горячие пары груза охлаждаются заборной водой в конденсаторе КД до температуры конденсации и затем конденсируются при постоянном давлении (5-6). Теплый жидкий груз у промежуточного охладителя ПО делится на 2 потока: небольшая часть общего потока, дросселируясь в регулировочном клапане РВ₁ (6-А), до промежуточного давления p_n , направляется в



7. Установки повторного сжижения

промежуточный охладитель для поддержания в нем необходимого уровня жидкости.

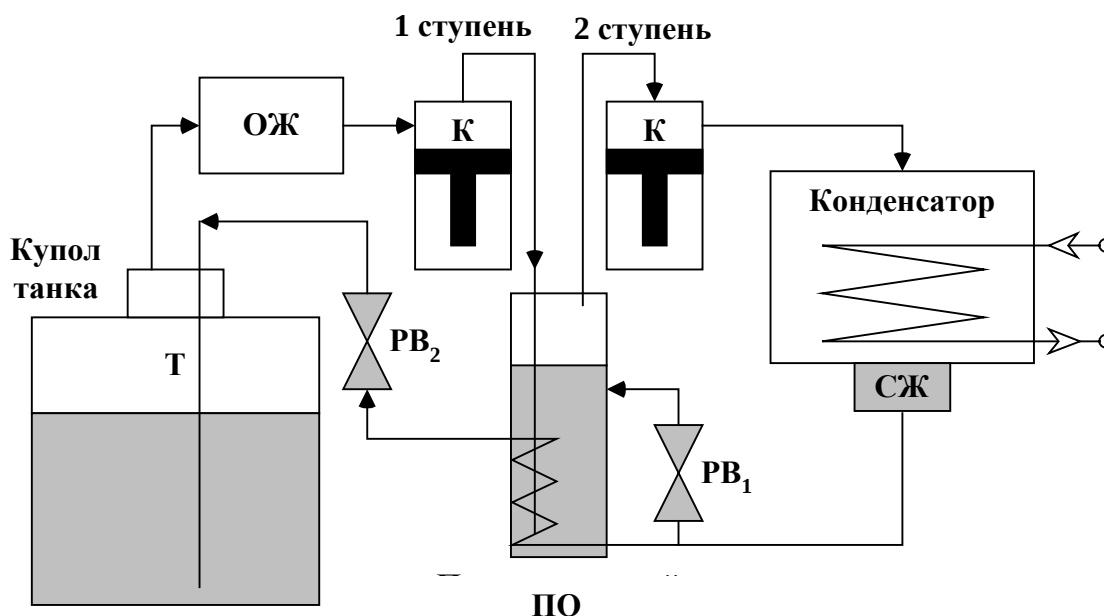


Рис. 8. Двухступенчатая УПСГ с промежуточным охладителем (ПО).

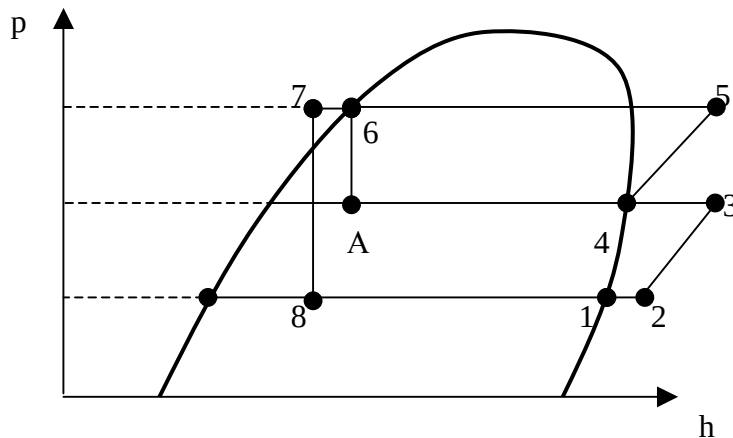


Рис. 9. Цикл двухступенчатой УПСГ с ПО.

Основной же поток конденсата проходит внутри змеевика промежуточного охладителя, сильно при этом переохлаждаясь (6-7). И наконец, дросселируясь в регулирующем клапане PB_2 , образовавшаяся парожидкостная смесь сбрасывается в танк. Рассмотрим работу установки такого типа на конкретном примере.

Пример 4. Упрощённый вариант расчета времени параллельной работы 3-х двухступенчатых установок при погрузке (рис.10).

Груз – пропан при температуре: -30°C на манифолде
Температура транспортировки: -40°C

7. Установки повторного сжижения



Температура всасывания 1-й ступени: $t_0 = -25^\circ\text{C}$
Давление нагнетания 1-й ступени: $p_n = 4,5$ бара.
Температура нагнетания 1-й ступени: $t_{n1} = +50^\circ\text{C}$
Давление нагнетания 2-й ступени: $p_n = 10,9$ бара
Температура нагнетания 2-й ступени: $t_{n2} = +78^\circ\text{C}$
Температура конденсата на выходе ПО: $+11^\circ\text{C}$

А – Построение цикла работы установки.

- 1) По заданным температурам груза на манифолде t_0 , давлению нагнетания 1-й ступени p_n , наносим барометрические границы каждой ступени цикла:

$p_0 = 1,68$ бар ($t = -30^\circ\text{C}$),
 $p_n = 5,5$ бар ($t = +4^\circ\text{C}$),
 $p_k = 11,9$ бар ($t_k = +34^\circ\text{C}$).

- 2) Пересечение изобары $p_0 = 1,68$ бар и изотермы $t_{\text{вс}} = -25^\circ\text{C}$ характеризует состояние пара на всасывании 1-й ступени компрессора (точка 2). Плотность паров определяем из диаграммы «Плотность перегретых паров пропана».

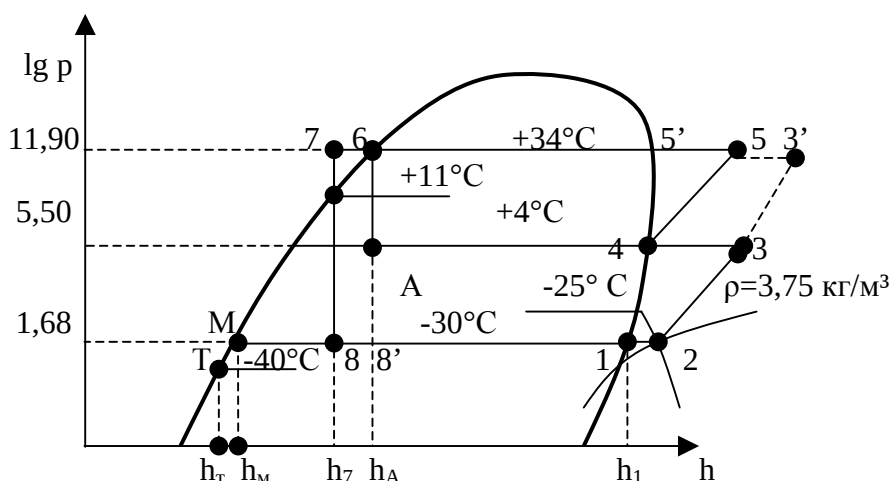


Рис. 10. К примеру 4.

- 3) Точка 3 и точка 5 характеризующие состояние пара на выходе из первой и второй ступеней компрессора, соответственно, лежат на пересечении изобар $p_n = 5,5$ бара и $p_k = 11,9$ бара с соответствующими изотермами $t_{n1} = +50^\circ\text{C}$ и $t_{n2} = +78^\circ\text{C}$.
- 4) Точка 4, оценивающая состояние пара на выходе из ПО, лежит на пересечении изобары промежуточного давления с правой пограничной кривой, а точки 5' и 6 на пересечении изобары конденсации с левой и правой пограничными кривыми.
- 5) Эффективность работы УПСГ во многом определяется положением точки 7, характеризующей степень переохлаждения конденсата в ПО. Она находится на пересечении изотермы, соответствующей температуре конденсата на выходе из змеевика ПО $t_{\text{пл}} = +11^\circ\text{C}$ и изобары конденсации.



7. Установки повторного сжижения

- б) И, наконец, точка 8, иллюстрирующая состояние возвращаемой в грузовой танк жидкости, определяется точкой пересечения перпендикуляра, опущенного из точки 7 на изобару $p_0 = 1,68$ бар (дросселирование).

Б – Упрощенный расчет времени работы установки.

Допустим, что установка оборудована 3-мя двухступенчатыми компрессорами с подачей каждого 500 м³/час. Требуется определить время, необходимое для погрузки 1000 тонн пропана, имеющего температуру в береговой емкости –30°C, если температура груза в танке должна быть –40°C в течение всего времени погрузки.

Нанесем на диаграмму точку (М), соответствующую состоянию груза на манифолде (для определения значений всех параметров используем термодинамические таблицы), и точку Т, которая будет соответствовать состоянию груза в танке во время погрузки.

Воспользуемся методикой расчета, использованной в примере №1.

$$T = Q_{\text{отв}}/Q_0,$$

$Q_{\text{отв}}$ – количество теплоты, которое необходимо отвести от поступающего в танк груза;

Q_0 – суммарная холодопроизводительность 3-х компрессорных установок подачи 500 м³/час каждая.

$$Q_{\text{отв}} = (h_m - h_T) \cdot m_T = (453,1 - 430,1) \cdot 10^6 = 23 \cdot 10^6 \text{ кДж}$$

$$Q_0 = 3 \cdot V_s \cdot \rho_s \cdot (h_1 - h_8) = 3 \cdot 500 \cdot (864,1 - 551,8) \cdot 3,75 = 1,76 \cdot 10^6 \text{ кДж/час}$$

$$T = 13,06 \text{ часов}$$

Пример 5. По данным предыдущего примера произведем расчет времени захлаживания груза при отсутствии в УПСГ промежуточного охладителя.

- 1) Теплота, которую нам необходимо отвести из груза, останется той же самой:

$$Q_{\text{отв}} = 23 \cdot 10^6 \text{ кДж}$$

- 2) При отсутствии ПО цикл будет состоять из процессов (1-2-3-3'-6-8'), поэтому Q_0 будет равно:

$$Q_0 = 3 \cdot V_s \cdot \rho_s \cdot (h_1 - h_A) = 3 \cdot 500 \cdot 3,75 \cdot (864,1 - 614,4) = 1,40 \cdot 10^6 \text{ кДж/час}$$

Соответственно:

$$T = 16,4 \text{ часа.}$$

Сравнение полученных результатов наглядно демонстрирует роль промежуточного охладителя в повышении эффективности работы УПСГ.

7. Установки повторного сжижения



Пример 6. Анализ барометрических границ различных режимов работы двухступенчатой УПСГ.

- 1) Проведем анализ работы УПСГ на базе данных примера 3, а именно, груз-пропан, температура перевозки $t_0 = -40^\circ\text{C}$, температура конденсации $t_k = +37^\circ\text{C}$, температура конденсата на выходе из ПО $t_n = +11^\circ\text{C}$.

Тогда:

$$t_k = +37^\circ\text{C} \quad p_k = 12,8 \text{ бар}$$

$$t_0 = -40^\circ\text{C} \quad p_0 = 1,11 \text{ бар}$$

$$t_n = +11^\circ\text{C} \quad p_n = 6,65 \text{ бар}$$

$$\Delta p_1 = p_k - p_n = 6,24 \text{ бар} < \Delta p_{\text{доп}} = 6,5 \text{ бар}$$

$$\Delta p_2 = p_n - p_0 = 5,45 \text{ бар} < \Delta p_{\text{доп}} = 6,5 \text{ бар}$$

Как видно из приведенного примера, перевозка пропана обеспечивается работой двухступенчатой УПСГ при любых температурных режимах.

- 2) Рассмотрим барометрические границы для этилена в тех же температурных режимах:

температура транспортировки $t_0 = -40^\circ\text{C}$,

температура конденсации $t_k = +7^\circ\text{C}$,

температура конденсата на выходе из ПО $t_n = -12^\circ\text{C}$.

тогда:

$$t_k = +7^\circ\text{C} \quad p_k = 47,9 \text{ бар}$$

$$t_0 = -40^\circ\text{C} \quad p_0 = 14,5 \text{ бар}$$

$$t_n = -12^\circ\text{C} \quad p_n = 30,8 \text{ бар}$$

$$\Delta p_1 = p_k - p_n = 17,1 \text{ бар} > \Delta p_{\text{доп}} = 6,5 \text{ бар}$$

$$\Delta p_2 = p_n - p_0 = 16,3 \text{ бар} > \Delta p_{\text{доп}} = 6,5 \text{ бар}$$

Как можно видеть из этого примера, перевозка этилена, даже при весьма благоприятных температурных условиях, не может быть обеспечена использованием двухступенчатой УПСГ с промежуточным охладителем.

Каскадная УПСГ (рис.11).

Пары этилена, находящегося в танке Т при температуре -102°C , проходят через газовый теплообменник ГТО, в котором подогреваются горячимо парами 2-й ступени компрессора до температуры -50°C . Подобный предварительный нагрев всасываемых паров снижает температурные напряжения, действующие на компрессор. Сжатые в первой ступени компрессора пары, с давлением 6,5 бар и температурой нагнетания $+70^\circ\text{C}$ направляются в промежуточный охладитель ПО, где, проходя через слой кипящего этилена при промежуточном давлении 6,5 бар, охлаждаются до температуры $+30^\circ\text{C}$. Охлажденные пары подаются на вторую ступень компрессора и сжимаются до давления конденсации 13 бар при температуре нагнетания $+140^\circ\text{C}$. после чего пары направляются в газовый теплообменник ГТО, в котором опять охлаждаются до температуры $+90^\circ\text{C}$. Дальнейшее снижение температуры паров осуществляется заборной водой в водяном теплообменнике ВТО.



7. Установки повторного сжижения

В испарителе-конденсаторе ИКД, охлаждаемом кипящим хладагентом R22 при температуре -49°C , происходит окончательное снижение температуры паров этилена до температуры конденсации -43°C и непосредственно сама конденсация паров.

Поток жидкого этилена перед промежуточным охладителем делится на 2 части: меньшая часть, дросселируясь в РВ₁ до промежуточного давления 6,5 бар, поддерживает уровень жидкого этилена в ПО при температуре -64°C . Основной поток жидкого конденсата этилена, проходя внутри змеевика ПО, переохлаждается до температуры -55°C и дросселируется в регулирующем вентиле РВ₂ до давления 1,12 бар. Образовавшаяся парожидкостная смесь возвращается в грузовой танк при температуре -102°C .

Ветвь R22 каскадной установки обеспечивает передачу теплоты, взятой в конденсаторе-испарителе И-КД непосредственно заборной воде. Образовавшиеся на выходе И-КД холодные пары хладагента с температурой -30°C и давлением 0,7 бара, сжимаются на первой ступени компрессора до промежуточного давления 4 бара. С температурой $+70^{\circ}\text{C}$ горячие пары барботируются сквозь слой кипящего хладона и охлаждаются до температуры $+3^{\circ}\text{C}$. Охлажденные пары хладона сжимаются во второй ступени компрессора до давления конденсации 10 бар с температурой нагнетания $+75^{\circ}\text{C}$ и направляются в конденсатор КД, прокачиваемый заборной водой. Образовавшийся конденсат с температурой $+22^{\circ}\text{C}$ получает сильное переохлаждение (до $+10^{\circ}\text{C}$) в промежуточном охладителе ПО, после чего, дросселируясь через регулирующий вентиль РВ₄ до давления 0,7 бара, поступает в испаритель-конденсатор. При таком давлении R22 кипит при температуре -49°C , отводя теплоту от паров этилена. Через регулирующий вентиль РВ₃ происходит подпитка хладоном промежуточного охладителя ПО до заданного уровня.

15

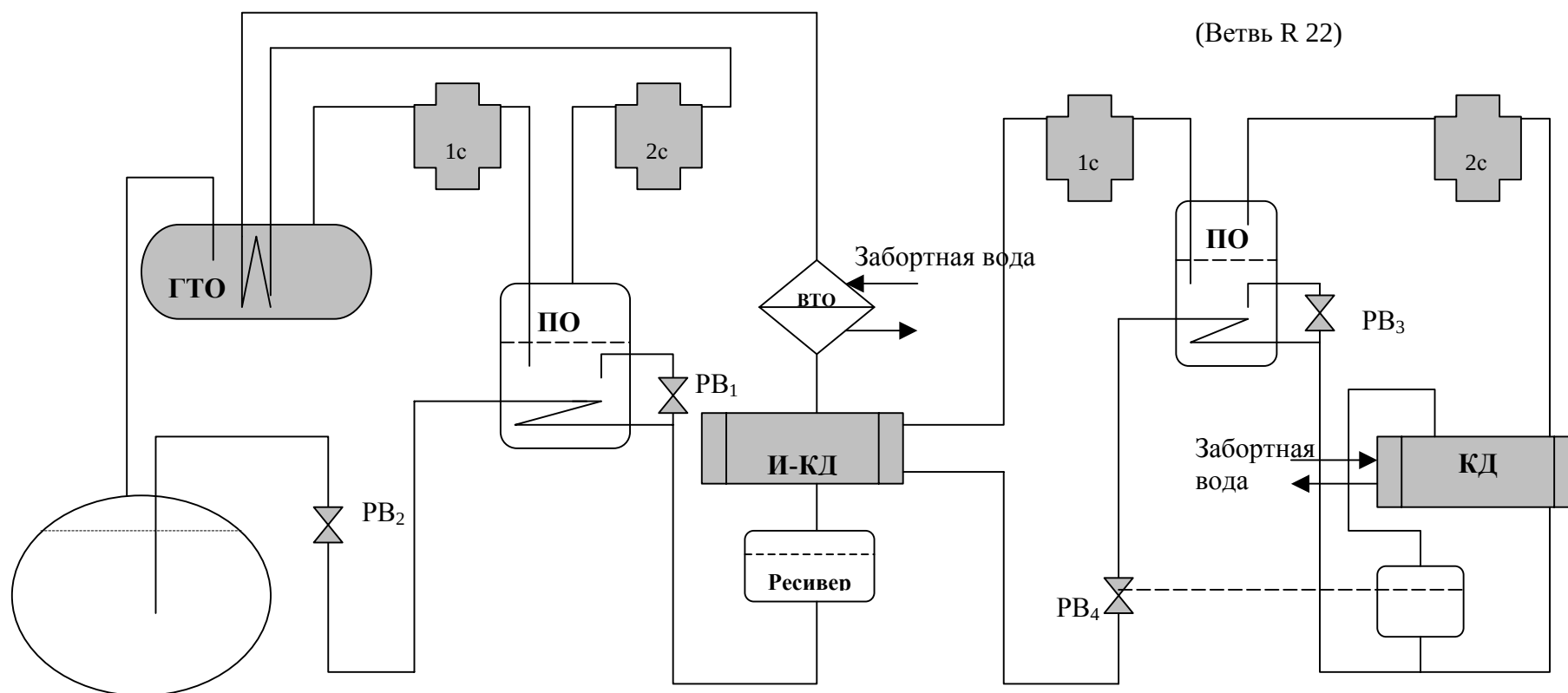


Рис. 11. Принципиальная схема каскадной УСПГ.



7. Установки повторного сжижения

Пример 7. По данным, приведенным в предыдущем разделе, построить цикл каскадной УПСГ.

На диаграмме Молье для этилена (рис.12) нанесем барометрические границы для нижней ветви каскада (ветвь этилена):

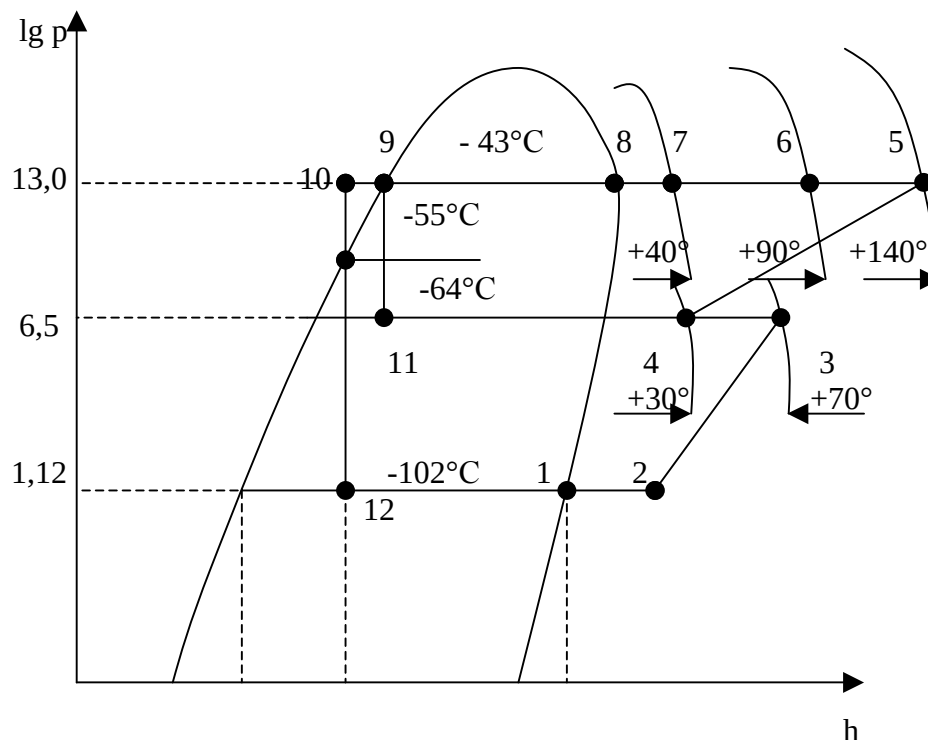


Рис. 12. Цикл каскадной УПСГ.

$$\begin{aligned} p_0 = 1,12 \text{ бар} &\Rightarrow t_0 = -102^\circ\text{C} \\ p_k = 13,0 \text{ бар} &\Rightarrow t_k = -50^\circ\text{C} \\ p_n = 6,50 \text{ бар} &\Rightarrow t_n = -64^\circ\text{C} \end{aligned}$$

(Данные из таблиц термодинамических таблиц для этилена «Приложение 1») точка 2, характеризующая состояние паров на всасывании 1-й ступени компрессора, находится на пересечении изобары p_0 и изотермы, соответствующей температуре всасывания $t_{вс1} = -50^\circ\text{C}$. Точки 3 и 4 пересечение промежуточного давления $p_n = 6,5$ бар и изотерм $t_{н1} = +70^\circ\text{C}$ – нагнетания 1-й ступени компрессора и $t_{вс2} = +30^\circ\text{C}$ температуры всасывания 2-й ступени компрессора. Пересечение изобары конденсации $p_k = 13$ бар с изотермой $t_{н2} = +140^\circ\text{C}$ (температура нагнетания 2-й ступени) дает точку 5 состояния паров на выходе из второй ступени компрессора. Точка 6 характеризует состояние паров на выходе из газового теплообменника ГТО (пересечение $p_k = 13$ бар и $t_{ГТО} = +90^\circ\text{C}$). Точка 7 характеризует состояние паров после прохождения водяного теплообменника ВТО (пересечение $p_k = 13$ бар и $t_{ВТО} = +40^\circ\text{C}$). И, наконец, точка 10 характеризует состояние паров этилена на выходе из промежуточного охладителя (при давлении $p_k = 13$ бар и температуре $t_{по} = -55^\circ\text{C}$).

Вертикаль (9-11) отображает процесс дросселирования на регулировочном вентиле $PВ_1$, а вертикаль (10-12) – дросселирование конденсата

7. Установки повторного сжижения



в РВ₂ перед сбросом в танк, когда температура парожидкостной смеси достигает температуры –102°C. Точно также на диаграмме Молье строится цикл для верхней ветви установки (R22). Температурный напор в 6°C, создаваемый в И-КД, позволяет передавать теплоту от этиленовой ветви установки к хладоновой ветви. Перепады давления на всех ступенях компрессоров находятся в пределах допустимой нормы. Таким образом, рассмотренная нами каскадная УПСГ может обеспечить транспортировку этилена при любых температурных режимах.

Расчет общего времени погрузки судна в порту.

Небольшие терминалы обычно не имеют возможности получать пары груза с судна во время погрузки. Если погрузка производится при температуре груза в береговой емкости выше, чем температура соответствующая максимальному установочному давлению предохранительных клапанов на грузовых танках, то груз необходимо охлаждать до необходимой температуры во время погрузки. Кроме типа груза, подлежащего к погрузке, необходимо учитывать следующие параметры при определении скорости погрузки.

- Температура груза на судовых манифолдах;
- Температура танка перед погрузкой;
- Давление в танке во время погрузки;
- Производительность компрессорной установки;
- Температура окружающей среды (воздуха, воды).

Тепловой баланс грузового танка во время погрузки распределится следующим образом:

- Охлаждение материала танка;
- Охлаждение изоляции танка;
- Охлаждение груза и атмосферы танка;
- Приток тепла от окружающей атмосферы и забортной воды.

Все это в сумме не должно превышать суммарную холодопроизводительность установки по повторному сжижению газа.

Время, которое потребуется на погрузку (T_n), можно рассчитать следующим образом:

$$\tau = \frac{Q_T + Q_i + Q_L + Q_A}{Q_{net} - Q_{TR}}$$

где

Q_T – количество теплоты, которое необходимо удалить из материала танка;

Q_i – количество теплоты, которое необходимо удалить из изоляции танка;

Q_L – количество теплоты, которое необходимо удалить из груза;

Q_A – количество теплоты, которое необходимо удалить из атмосферы танка;

Q'_{TR} – количество теплоты, проникающей в танк из-вне в единицу времени

Q'_{net} – суммарная холодопроизводительность компрессорной установки.

« ' » – означает величину в единицу времени (скорость).



7. Установки повторного сжижения

Далее:

$$Q_T = m_T \cdot c_T \cdot (t_1 - t_2),$$

$$Q_I = m_I \cdot c_I \cdot (t_1 - t_2),$$

$$Q_A = V_T \cdot \rho_A \cdot \Delta h_A,$$

где m_T – масса танка;

m_L – количество груза к погрузке

c_T – удельная теплоёмкость материала танка;

m_I – вес изоляции танка;

c_I – удельная теплоёмкость изоляции танка;

V_T – объём танка;

Δh_A – разность энтальпии груза, поступающего на судовой манифолд и груза в танке после погрузки;

ρ_A – плотность паров груза в начале погрузки;

Δh_L – разность энтальпии между атмосферой танка перед началом погрузки и жидким грузом в конце погрузки;

t_1 – температура поверхности танка перед погрузкой;

t_2 – температура поверхности танка после окончания погрузки.

Количество теплоты, которое нужно удалить из материала танка (Q_T) находим умножением массы танка на удельную теплоемкость материала, из которого он изготовлен, и на разность температур поверхности танка до и после погрузки.

Количество теплоты, которое необходимо удалить из изоляции танка (Q_I), определяется произведением массы изоляции танка на её удельную теплоёмкость и на разность температур изоляции до и после погрузки. Окончательный результат нужно умножить на 0,5, поскольку часть изоляции в конце погрузки будет иметь температуру груза (внутренняя часть), а часть – температуру окружающей среды (внешняя часть изоляции).

Количество теплоты, которое необходимо удалить из груза, поступающего в танк (Q_L) определим как произведение массы груза в танке на разность энтальпии до и после погрузки:

$$Q_L = m_L \cdot \Delta h_L$$

Количество теплоты, которое нужно удалить из атмосферы танка в процессе погрузки можно определить, если нанести все известные параметры на упрощенную диаграмму Молье. Полагаем, что атмосфера танка перед началом погрузки содержит пары пропана при температуре +15°C и давлении 0,1 бара.

После погрузки и охлаждения груза до –23°C давление паров в танке будет соответствовать 1,19 бара.

Определим разность энтальпии между точкой «А», соответствующей температуре танка перед погрузкой, и точкой «Т», соответствующей температуре танка после окончания погрузки.

$$\Delta h = (940 - 469,2) = 470,8 \text{ кДж/кг.}$$

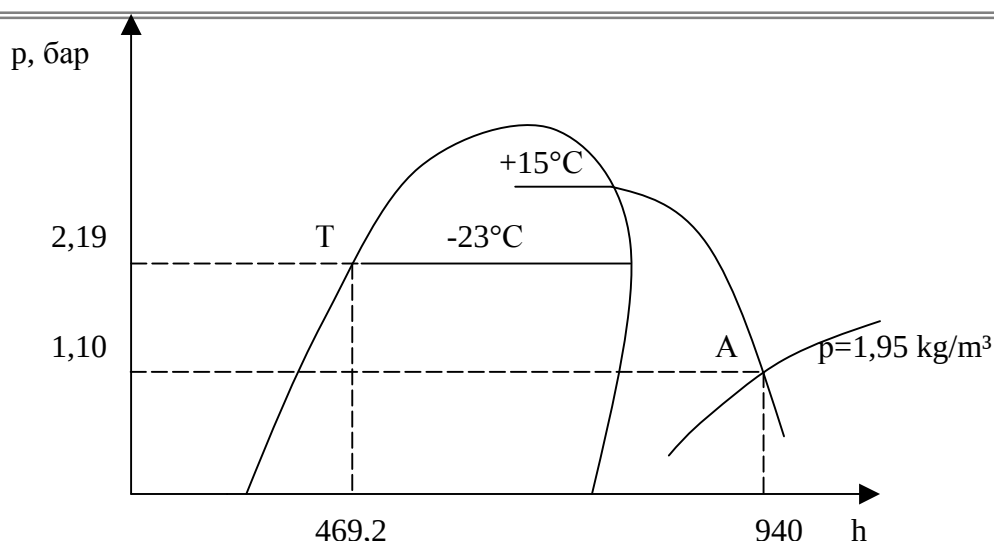


Рис. 13. Определение Q_A .

Плотность паров пропана можно определить по таблице «Зависимость плотности перегретого пара пропана от давления и температуры». Она составит $1,95 \text{ кг/м}^3$. Объём танка известен (1000 м^3), так, что можно определить количество теплоты, которую необходимо удалить из атмосферы танка в процессе погрузки. Количество теплоты поступающей в танк (Q'_{TR}) можно определить по специальным кривым (данная информация включается в построечные чертежи судна заводом-изготовителем), а затем результат умножить на 0,5, что нам даст среднее количество теплоты, поступающее в танк в зависимости от температуры окружающей среды.

Величины на графике (см. Приложение 1) выражены в кВт (напомним, что $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$). Как рассчитать суммарную охлаждающую способность судовой компрессорной установки, мы рассматривали ранее:

$$Q'_{\text{net}} = V_s \cdot \rho_s \cdot \Delta h,$$

где V_s – объём всасывания компрессора;
 ρ_s – плотность паров груза;
 Δh – разность энтальпии.

Пример 8.

Атмосфера в танке перед началом погрузки	100% пары пропана
Груз	пропан
Наличие берегового газоотвода	отсутствует
Объём грузовых танков (6 танков)	5.200 м^3
Количество груза к погрузке	2.707 МТ
Температура забортной воды	$+11^\circ\text{C}$
Давление в танке перед погрузкой	$0,1 \text{ бара}$
Температура танков перед погрузкой	$+18^\circ\text{C}$
Температура груза на манифолде	$+10^\circ\text{C}$
Температура танка во время погрузки	-4°C
Вес материала грузовых танков	740 МТ
Удельная теплоёмкость стали	$0,419 \text{ кДж/кг}\cdot\text{K}$
Суммарный вес изоляции танков	$14,4 \text{ МТ}$



7. Установки повторного сжижения

Удельная теплоёмкость изоляции	0,84 кДж/кг·К
Компрессорная установка: 3 одинаковых одноступенчатых компрессора	
Давление всасывания на компрессорах	3,15 бара
Давление нагнетания компрессоров	7,6 бара
Температура всасывания	+2°C
Температура нагнетания	+58°C
Объём всасывания каждого компрессора	410 м³/час
Атмосферное давление	1.000 миллибар

1. Рассчитать количество теплоты, которое необходимо удалить из материала танка.
2. Рассчитать количество теплоты, которое необходимо удалить из изоляции танков.
3. Рассчитать количество теплоты, которое необходимо удалить из атмосферы танка.
4. Найти с помощью кривых «Приложения 1» количество теплоты, поступающее в танк из внешней среды
5. Рассчитать суммарную холодопроизводительность компрессорной установки.
6. Рассчитать полное время, необходимое на погрузку, если мы будем использовать все 3 компрессора во время погрузки.

Решение:

- 1) $Q_T = m_T \cdot c_T \cdot (t_1 - t_2)$
 $= 740 \cdot 10^3 \cdot 0,419 \cdot (291 - 269) =$ **$6,82 \cdot 10^6 \text{ кДж}$**
- 2) $Q_I = m_I \cdot c_I \cdot (t_1 - t_2) \cdot 0,5$
 $= 14,4 \cdot 10^3 \cdot 0,840 \cdot (291 - 269) \cdot 0,5 =$ **$0,13 \cdot 10^6 \text{ кДж}$**
- 3) $Q_L = m \cdot \Delta h$
 $= 2,707 \cdot 10^6 \cdot (549,3 - 514,0) =$ **$95,56 \cdot 10^6 \text{ кДж}$**
- 4) $Q_A = V_t \cdot \rho_A \cdot \Delta h_A$
 $= 5.200 \cdot 1,95 \cdot (945 - 514) =$ **$4,37 \cdot 10^6 \text{ кДж}$**
- 5) $Q'_{TR} = 19 \text{ kW} \cdot 0,5$
 $= 9,5 \cdot 3600 =$ **$0,034 \cdot 10^6 \text{ кДж/час}$**
- 6) $Q'_{net} = V_s \cdot p_s \cdot \Delta h$
 $= 410 \cdot 8,8 \cdot (894,2 - 578,3) =$ **$1,14 \cdot 10^6 \text{ кДж/час}$**
- 7) **Общее время, необходимое на погрузку:**

$$t_{п} = \frac{Q_T + Q_I + Q_L + Q_A}{Q'_{net} + Q'_{TR}} = \frac{(6,82 + 0,13 + 95,56 + 4,37) \cdot 10^6 \text{ кДж}}{(3 \cdot 1,14 - 0,034) \cdot 10^6 \text{ кДж/час}} =$$

31,6 часа



Основные понятия и определения.

Основным отличительным признаком насосов является преобладающий вид энергии, сообщаемой насосом жидкости. В соответствии с этим признаком все насосы делятся на 2 группы:

- Насосы динамического напора;
- Насосы статического напора.

В насосах динамического напора жидкости передается преимущественно кинетическая энергия. Передача энергии происходит в проточной части насосов, через которую непрерывно движется поток жидкости и, которая сообщена постоянно со стороной всасывания и нагнетания насоса.

Учитывая преобладающий вид энергии, сообщаемой жидкости, насосы динамического напора называют **динамическими насосами**. К насосам этой группы относятся:

- Центробежные насосы;
- Вихревые насосы;
- Осевые насосы;
- Струйные насосы.

В насосах статического напора жидкости сообщается преимущественно потенциальная энергия. Передача энергии происходит в рабочих камерах насосов, образующих, так называемый, рабочий объём насоса, и, которые сообщаются со стороной всасывания и нагнетания попеременно. Учитывая эту конструктивную особенность (наличие рабочих камер) насосы статического напора называют **объёмными насосами**. К этой группе относятся:

- Поршневые насосы;
- Роторные насосы (шестерённые, винтовые, пластинчатые);
- Роторно-поршневые насосы (радиально-поршневые, аксиально-поршневые).

Математические основы рабочих параметров насосов.

Основными параметрами, характеризующими режим и эффективность действия насосов, являются:

- Подача;
- Напор;
- Давление;
- Высота всасывания;
- Мощность;
- КПД.

Подача насоса

Подачей называется количество жидкости, поданное насосом в единицу времени.

Различают два понятия подачи:

- Теоретическая подача насоса;
- Действительная подача насоса.



8. Насосы грузовых систем газовозов

Теоретической называют подачу насоса без учета потерь.

$$Q_T \text{ (м}^3\text{/сек, л/мин, м}^3\text{/час)}$$

Действительной подачей насоса называют подачу жидкости с учетом потерь, которые возникают в насосе из-за протечек жидкости или подсосывания воздуха.

$$Q = Q_T \cdot \eta_0,$$

где $\eta_0 = Q/Q_T$ – объёмный КПД насоса.

Подача насоса может выражаться в единицах массы:

$$G = \rho \cdot Q \text{ (кг/с),}$$

где ρ [кг/м³] – плотность жидкости.

Давление насоса.

Давлением насоса (р) называется приращение энергии, сообщенное насосом единице массы жидкости, выраженное в единицах давления.

$$p = \rho g z + p_H + p_B + \rho \frac{(v_H^2 + v_B^2)}{2}$$

где z (м) – высота центра тяжести сечения потока жидкости на выходе из насоса над центром тяжести сечения потока жидкости на входе в насос;
 p_B, p_H , (Па) – давление всасывания и нагнетания насоса;
 v_H, v_B , (м/с) – линейная скорость жидкости на выходе и на входе насоса.

Энергия ($\rho \cdot g \cdot z$), затрачиваемая на подъём жидкости в насосе, и энергия ($\rho \cdot (v_H^2 - v_B^2)/2$), затрачиваемая на повышение скорости жидкости, невелики по сравнению с величиной энергии ($p_H - p_B$), которая затрачивается на повышение давления, поэтому на практике, пренебрегают небольшими величинами вышеуказанных энергий, и используют для расчетов величину

$$p = p_H - p_B \text{ (Па)}$$

Напор насоса.

Напором насоса называют приращение энергии, сообщенное насосом единице массы жидкости, выраженное в метрах столба жидкости, перекачиваемой насосом.

Различают два понятия напора: теоретический и действительный напор.

Теоретическим напором называют напор насоса без учета потерь энергии на преодоление гидравлического сопротивления в насосе (H_T), выраженном в метрах.

8. Насосы грузовых систем газовозов



Действительным напором называется напор насоса с учетом потерь на преодоление гидравлического сопротивления в насосе.

$$H = H_t \cdot \eta_g,$$

где $\eta_g = H/H_t$ – гидравлический КПД насоса.

Для грузовых насосов газовозов p_v принимается равным 0, поэтому на практике величина напора насоса определяется расчетным путем по выражению:

$$H = \frac{P}{\rho \cdot g}, (м)$$

Высота всасывания насоса.

Геометрической высотой всасывания насоса называют величину ЦТ сечения потока жидкости при входе в насос над уровнем жидкости в расходной цистерне (грузовом танке), Z, м.

Вакууметрической высотой всасывания насоса называется величина разрежения при входе жидкости в насос

$$H_v = \frac{P_B}{\rho \cdot g} - \frac{P_B}{\rho \cdot g} - \frac{v^2}{2g}, (м)$$

где P_a (Па) – давление над поверхностью жидкости в грузовом танке (1Па = 0,102 мм водяного столба)

Отрицательное значение величины H_v называется **подпором насоса**.

Мощность насоса.

Мощностью насоса называют работу, выполненную насосом, отнесенную к единице времени. Различают следующие понятия мощности насосов:

- Теоретическая мощность насоса;
- Полезная мощность насоса;
- Мощность, подведенная к насосу.

Теоретическая мощность (N_t) – это расчетная мощность насоса без учета потерь энергии. Расчет производится по формуле:

$$N_t = \rho \cdot g \cdot Q_t \cdot H_t, (Вт)$$

Полезная мощность насоса (N_p) – это мощность, полезно сообщенная насосом потоку жидкости, или же мощность рассчитанная с учетом объёмных и гидравлических потерь насоса.



8. Насосы грузовых систем газовозов

$$N_{\Pi} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H, (\text{Вт})$$

Мощность, подводенная к насосу – это мощность насоса, с учетом объёмных, гидравлических и механических потерь.

$$N_H = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_H}$$

где η_H – КДП насоса ($\eta_H = \eta_o \cdot \eta_r \cdot \eta_m$);

$\eta_m = \frac{N_{\Pi}}{N_{\Pi} - N_m}$ – механический КДП насоса, который учитывает потери на трение в подшипниках, уплотнениях вала насоса;

N_m – мощность, затрачиваемая на преодоление механических потерь.

Насосы грузовых систем газовозов.

В настоящее время, на газовозах используются центробежные насосы погружного или же полностью погружного типа. Насосы погружного типа устанавливаются в колодце грузового танка, привод насоса располагается на куполе грузового танка. Насосы полностью погружного типа (моноблочные) представляют собой компактный механизм, объединенный с приводом насоса общим герметичным кожухом.

Погружные грузовые насосы.

На рис. 2 изображен классический пример грузового насоса, который наиболее часто встречается на газовозах. Насос включает в себя следующие узлы: (1) центробежный трех-ступенчатый насос, (2) колонна насоса, (3) головка насоса, (4) коффердам, (5) упорный подшипник, (6) сильфон масляного затвора.

Насос изготовлен в виде единого блока, состоящего из 3-х одноступенчатых центробежных насосов, рабочие колеса которых (импеллеры) посажены на общий вал и соединены нагнетательными патрубками. Колонна насоса представляет собой нагнетательный трубопровод, внутри которого расположен приводной вал насоса. Внутри колонны расположены опорные подшипники промежуточных валов. Верхняя часть колонны крепится к головке насоса, которая, в свою очередь, представляет собой опорную или несущую часть насоса, и устанавливается на куполе танка. В верхней части головки насоса устанавливается опорный подшипник вала насоса, механический сальник и масляный уплотнитель, предохраняющий протечки газа из танка. Давление масла в коффердаме должно быть несколько выше, чем давление паров в грузовом танке, что обеспечивается установкой сильфонного аппарата, обеспечивающего поддержание необходимой разницы давлений.

Грузовые насосы с электромотором, расположенным на куполе танка, предпочтительнее с точки зрения технической эксплуатации и пожаробезопасности, однако, их применение ограничивается лишь судами средних размеров. Поскольку увеличение размеров грузовых танков влечет за



собой и увеличение длины промежуточных валов, обеспечивающих привод насоса, что, в свою очередь, приводит к возникновению значительных поперечных нагрузок на направляющие подшипники вала. Под действием поперечной составляющей массы вала, возникает знакопеременная нагрузка на направляющие подшипники, усиливается вибрация вала, повышается интенсивность износа подшипников и уплотнений вала. Очевидными недостатками таких насосов являются сложность конструкции привода насоса, большая масса и габариты привода, сложности при ремонте и обслуживании.

Перечисленные выше недостатки отсутствуют у, так называемых, полнопогружных моноблочных насосов (рис. 1). Насосы такого типа обычно используются на газовозах большей вместимости. Вал рабочего колеса такого насоса одновременно является валом электродвигателя. Корпус насоса и кожух электродвигателя представляют собой единый блок. Моноблок устанавливается в герметичном контейнере. В свободное пространство между моноблоком и контейнером подается груз, который одновременно является и смазкой подшипников, и охлаждающим агентом для электродвигателя. В нижней части насоса устанавливается индьюсер (inducer) – осевая ступень насоса. Необходимость установки дополнительной ступени насоса объясняется высокой частотой вращения рабочего колеса насоса, что позволяет уменьшить диаметр рабочего колеса насоса и, соответственно, его габариты. Но при высокой частоте вращения рабочего колеса резко увеличивается скорость потока жидкости и понижается давление при входе в межлопастные каналы колеса насоса. В результате этого появляется опасность возникновения кавитации.

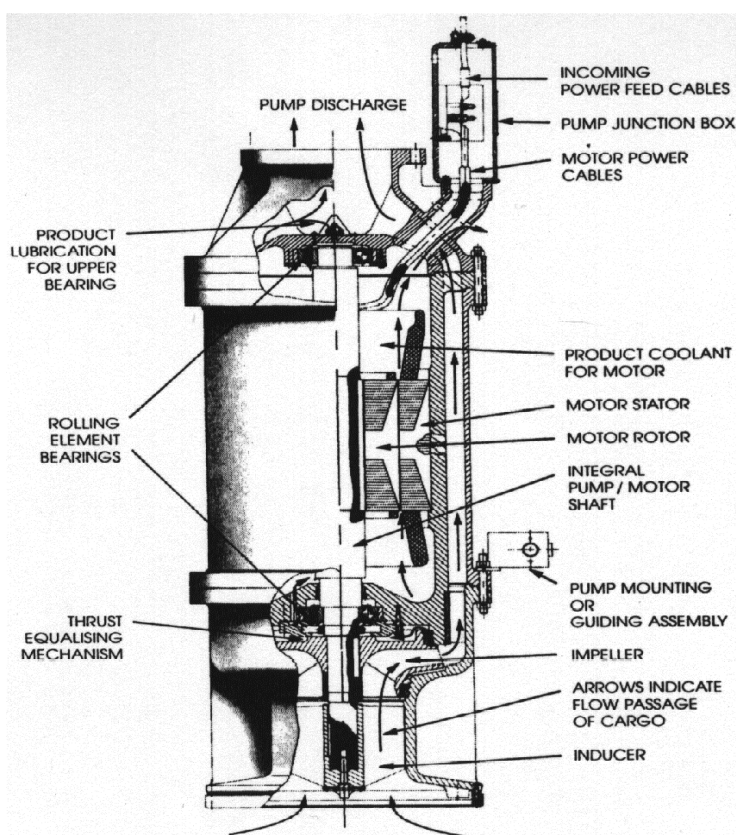


Рис.1 . Моноблочный полнопогружной насос.



8. Насосы грузовых систем газовозов

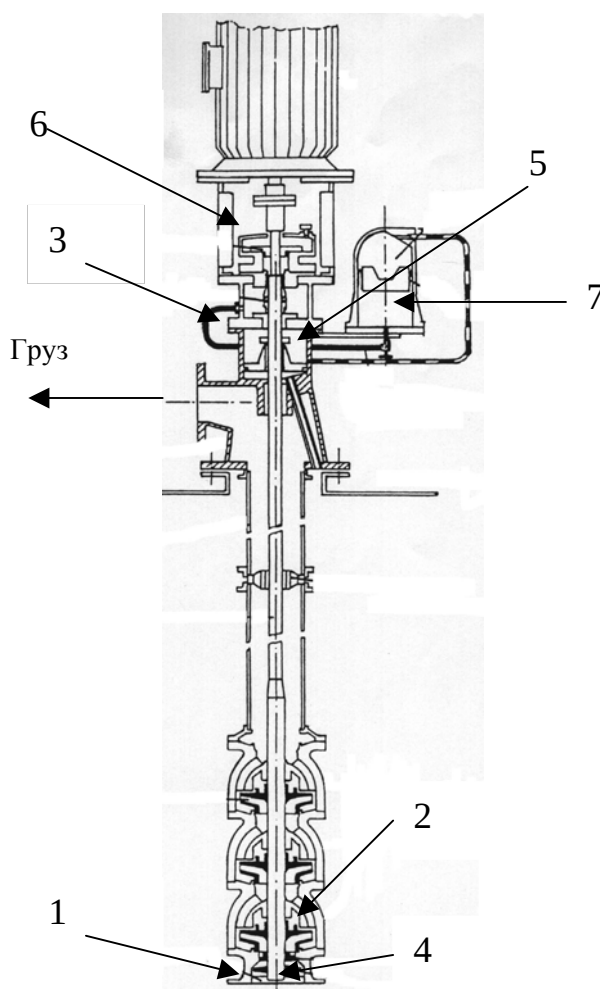


Рис. 2. 3-х ступенчатый погружной насос с электроприводом.

Для того чтобы избежать возникновения кавитации, необходимо повысить давление перед рабочим колесом. Это достигается с помощью установки дополнительной осевой ступени насоса (4). Перед рабочим колесом дополнительной осевой ступени установлен лопастной направляющий аппарат (1), препятствующий закручиванию потока жидкости, следствием чего является увеличение напора.

За рабочим колесом устанавливается лопастной выправляющий аппарат (2), в котором скорость, сообщенная жидкости рабочим колесом, преобразуется в давление, что предотвращает закручивание потока перед рабочим колесом основного насоса. В танке насос такого типа устанавливается в колодце танка на специальные опоры с помощью опорного фланца (3).. Во избежание протечек паров груза по валу, в дополнение к механическому сальнику (6), на выходе вала из купола танка устанавливается масляный затвор (5), давление в котором поддерживается несколько выше, чем в грузовом танке. Поддержание избыточного давления в масляном затворе обеспечивает сильфонный аппарат(7).

Бустерные насосы.



Береговые емкости для хранения сжиженного газа обычно находятся на довольно большом удалении от терминала и, иногда, на значительной высоте над уровнем моря. Такое расположение береговых емкостей приводит к тому, что давления грузовых насосов, установленных в грузовых танках судна, может быть недостаточно для того, чтобы преодолеть сопротивление трубопровода и давление столба жидкости в трубопроводе и береговой емкости.

Учитывая вышесказанное, а также тот факт, что иногда возникает необходимость производить выгрузку груза с его подогревом (значительное повышение давления в магистрали), все газовозы оборудуются бустерными насосами. В результате последовательного подключения грузовых и бустерных насосов, в грузовом трубопроводе давление может быть повышено до необходимой величины (25-28 бар).

В качестве бустерных насосов (рис. 3) обычно используются центробежные насосы с вертикальным или горизонтальным расположением приводного вала. Особенностью устройства таких насосов является наличие в их конструкции коффердама (1), который заполняется маслом. Давление масла в коффердаме контролируется манометром (2). Привод бустерных насосов осуществляется обычно электродвигателями с постоянной частотой вращения.

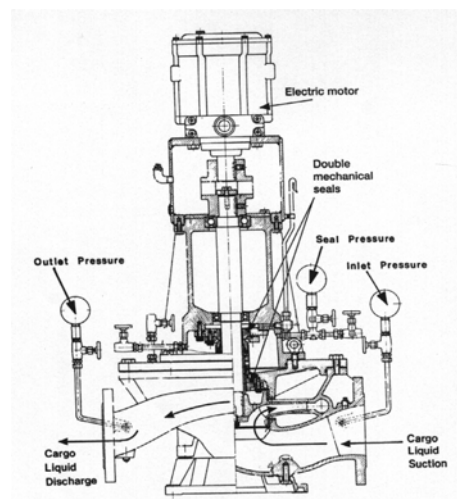
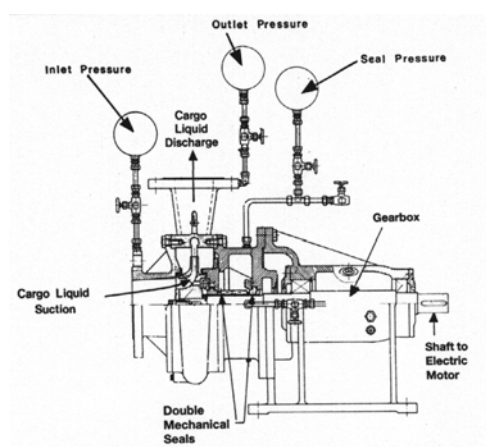


Рис. 3. Горизонтальный (слева) и вертикальный (справа) бустерные насосы.

Эжекторы.

Эжекторы являются разновидностью струйных насосов (рис. 4). При подаче рабочей струи в эжектор в камере (1) создается разрежение и осуществляется засасывание перекачиваемой жидкости в рабочую камеру. На газовоза эжекторы в основном используются для осушения межбарьерных пространств в случае аварийных протечек груза из грузовых танков. В качестве



8. Насосы грузовых систем газовозов

рабочей жидкости в данном случае используется груз. Из межбарьерного пространства протечки можно откачать обратно в грузовой танк. В общем случае эжекторы используются для откачки воды из коффердамов, цепных ящиков, льяльных колодцев и т. д. При таком использовании эжекторов в качестве рабочей жидкости используется заборная вода, подаваемая на эжектор по пожарной магистрали.

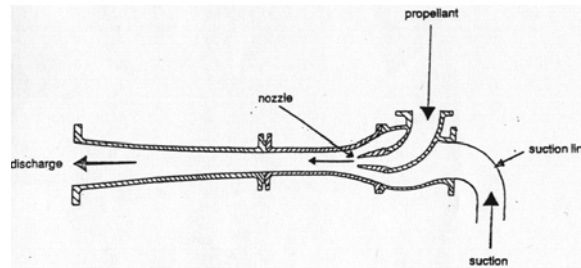


Рис 4. Устройство эжектора.

Характеристики центробежных насосов.

Характеристиками насосов называется графическое представление зависимости между рабочими параметрами насоса.

Для решения задач, связанных с процессом выгрузки судна, используются напорные характеристики, выражающие зависимость между величиной подачи и напора (рис.5- 7). Характер этой зависимости можно определить, используя метод расчетного построения напорной характеристики. Для таких расчетов используется выражение, определяющее величину напора центробежных насосов:

$$H = k \cdot H_{m\infty} \cdot \eta_r, \quad (1)$$

где $H_{T\infty}$ – теоретический напор насоса;
 k – коэффициент, учитывающий понижение напора под действием сил инерции окружного движения, действующих на жидкость в межлопастных каналах рабочего колеса;
 η_r – гидродинамический КПД насоса.

Для выражения $H_{T\infty}$ существует выражение:

$$H_{m\infty} = A + B \cdot Q_{m\infty}, \quad (2)$$

где $A = u_2^2/g$
 $B = (u_2/g \cdot f_2) \cdot \operatorname{ctg} \beta_2$;
 u_2 – окружная переносная скорость жидкости при выходе из рабочего колеса;
 f_2 – площадь сечения потока жидкости на окружности выхода из рабочего колеса;

8. Насосы грузовых систем газовозов

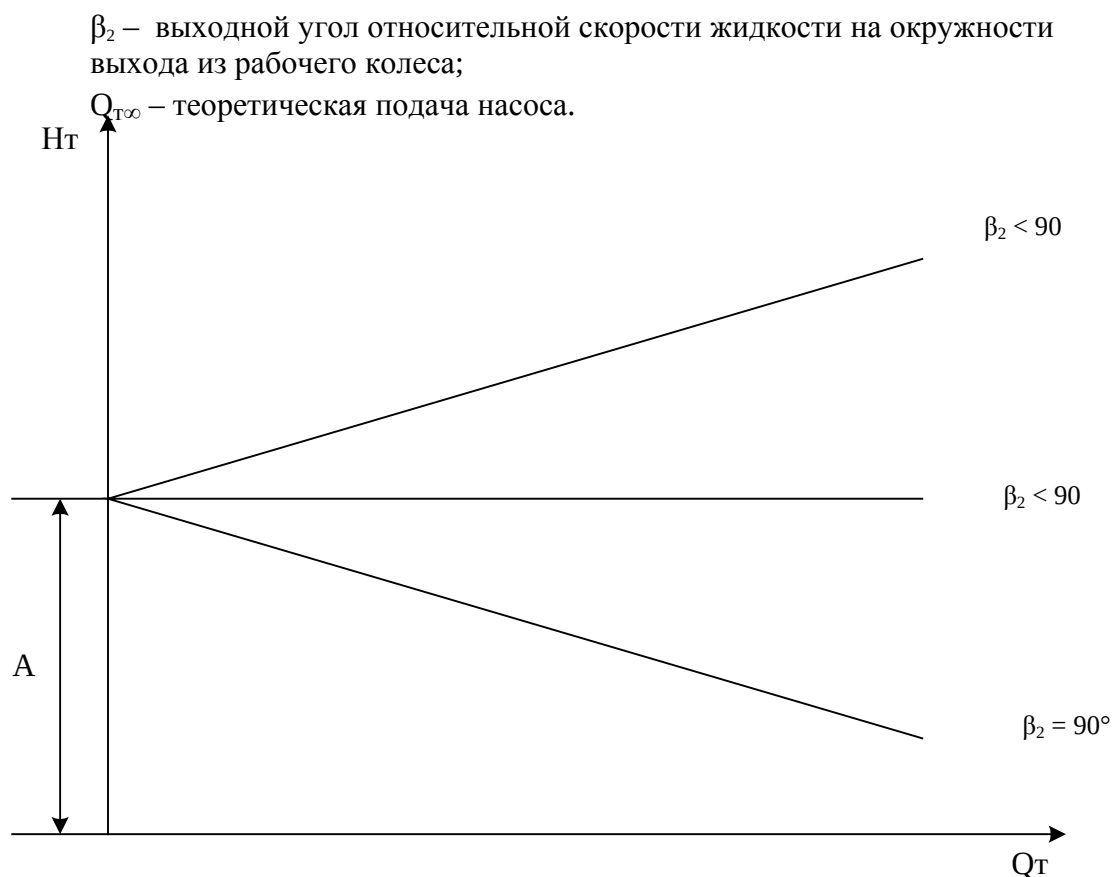


Рис. 5. Теоретическая напорная характеристика.

Для конкретного насоса, рабочее колесо которого имеет данные размеры и частоту вращения $u_2 = \text{const}$, $f_2 = \text{const}$, $\beta_2 = \text{const}$, следовательно, $A = \text{const}$ и $B = \text{const}$.

Выражение (2) определяет зависимость между теоретической величиной подачи и напора и является математическим выражением теоретической напорной характеристики насоса. Из этого выражения следует, что теоретическая напорная характеристика центробежных насосов является прямой линией (рис. 5), положение которой в координатной системе зависит от величины β_2 .

При $\beta_2 < 90^\circ$ лопасти рабочего колеса изогнуты назад, т.е. в сторону, противоположную направлению вращения рабочего колеса, при $\beta_2 = 90^\circ$ лопасти рабочего колеса имеют радиальный выход, а при $\beta_2 > 90^\circ$ лопасти рабочего колеса изогнуты вперед, т.е. в сторону направления вращения рабочего колеса.

Учитывая выражение (2) можно получить:

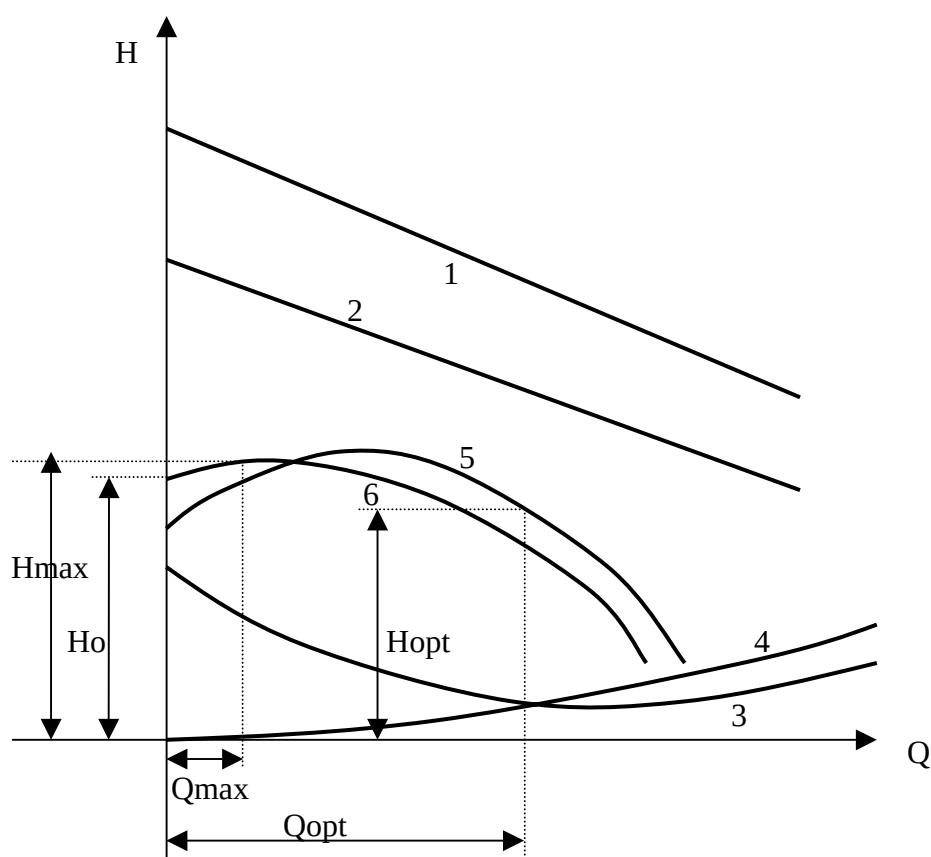
$$H = k \cdot (A + B \cdot Q_{T\infty}) \cdot \eta_r.$$

Для случая, когда $\beta_2 > 90^\circ$, обеспечивается максимально возможный КПД насоса:

$$H = k \cdot (A - B \cdot Q_{T\infty}) \cdot \eta_r$$



8. Насосы грузовых систем газовозов



H_o – напор насоса при закрытом нагнетательном клапане;

H_{max} – максимальный напор насоса;

H_{opt} , Q_{opt} – напор и подача, соответствующие режиму максимального КПД насоса.

1. Теоретическая напорная характеристика.
2. Теоретическая напорная характеристика с учетом сил инерции окружающего движения жидкости;
3. График гидравлических потерь трения;
4. График местных гидравлических потерь;
5. Характеристика с учетом гидравлических потерь;
6. Характеристика с учетом объемных потерь ΔQ или же действительная напорная характеристика $H = f(Q)$.

Рис 6. Характеристики насосов.

Из данного графического построения следует, что действительной напорной характеристикой является парабола с вершиной в точке, соответствующей максимальному напору насоса. (рис.6)

Участок характеристики левее вершины параболы называется западающим участком. Участок параболы, расположенный правее вершины – ниспадающий участок. Участок, расположенный вблизи точки параболы, соответствующей Q_{opt} называется рабочей зоной характеристики, т.е. зоной, в пределах которой КПД насоса меняется весьма незначительно (2-3 %)



Отношение:

$$\frac{H_{\max} - H_0}{H_{\max}}$$

выражает величину западания характеристики, а отношение:

$$\frac{H_{\max} - H_{\text{орт}}}{H_{\text{орт}}}$$

выражает крутизну характеристики.

При величине этого отношения менее 1,15, характеристика называется **пологой**, а при величине отношения более 1,15 – характеристика называется **крутопадающей**. Характеристика насоса с западающей составляющей не всегда приемлема, поскольку действие насоса с рабочей точкой на указанном участке при определенных условиях может быть неустойчивым. Однако насос может быть спроектирован таким образом, что западающий участок характеристики может отсутствовать. В таком случае характеристика насоса называется непрерывно падающей. Непрерывно или крутопадающая напорная характеристика (рис. 7) характерна для погружных грузовых насосов, используемых на газовозах.

Работа насосов, включенных параллельно .

Для обеспечения своевременной выгрузки груза возникает необходимость одновременного использования нескольких грузовых насосов. В этом случае насосы подключаются к грузовой системе параллельно, что позволяет увеличить общую подачу груза в трубопровод и ускорить выгрузку. Величина подачи груза при такой работе насосов определяется с помощью характеристики параллельного действия насосов.

Обычно все грузовые насосы судна являются насосами одной и той же серии и имеют одинаковые напорные характеристики и могут подавать груз в трубопровод одновременно ТОЛЬКО при условии равенства НАПОРА.

Учитывая это, характеристику параллельного действия насосов получают в результате суммирования подачи насосов при заданных величинах напора. Например, для двух одинаковых насосов, работающих в параллель, характеристика их параллельного действия будет выглядеть, как показано на рисунке 8.

Работа насосов, включенных последовательно.

Довольно часто возникают ситуации, когда напора, создаваемого одним грузовым насосом, недостаточно для того, чтобы преодолеть высокое противодавление в береговом трубопроводе. Это происходит в тех случаях, когда необходимо осуществить перекачку груза в высоко расположенные береговые емкости, или же в том случае, если возникает необходимость подогреть груз на выгрузке, что приводит к значительному повышению давления в трубопроводе.



8. Насосы грузовых систем газовозов

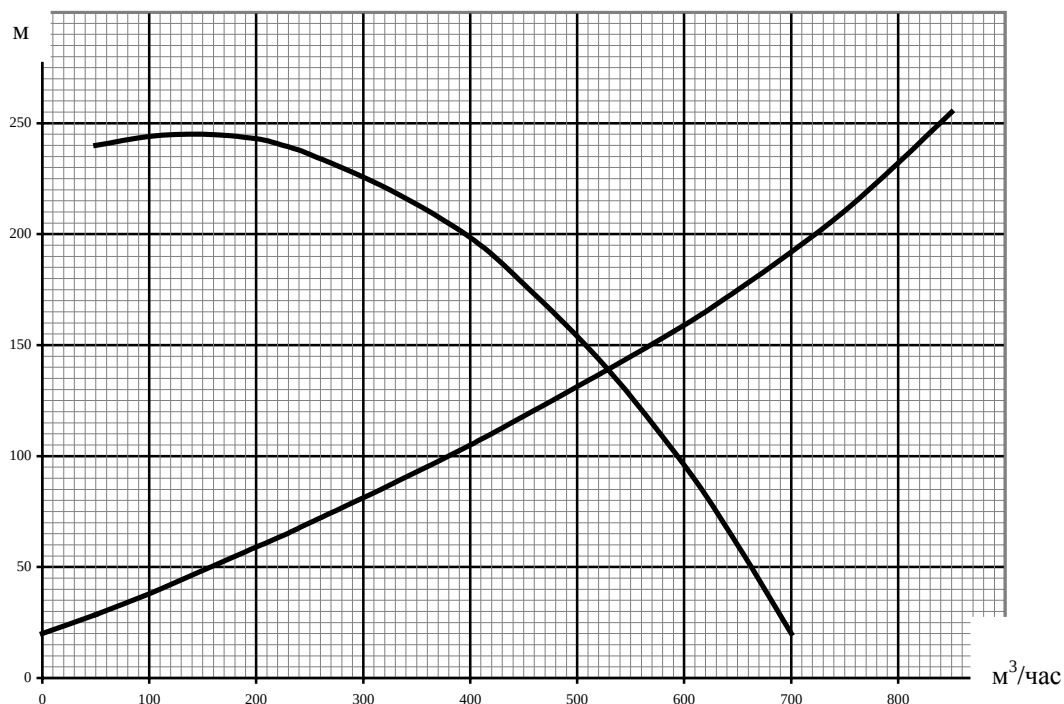


Рис.7. Напорная характеристика насоса в системе простого трубопровода.

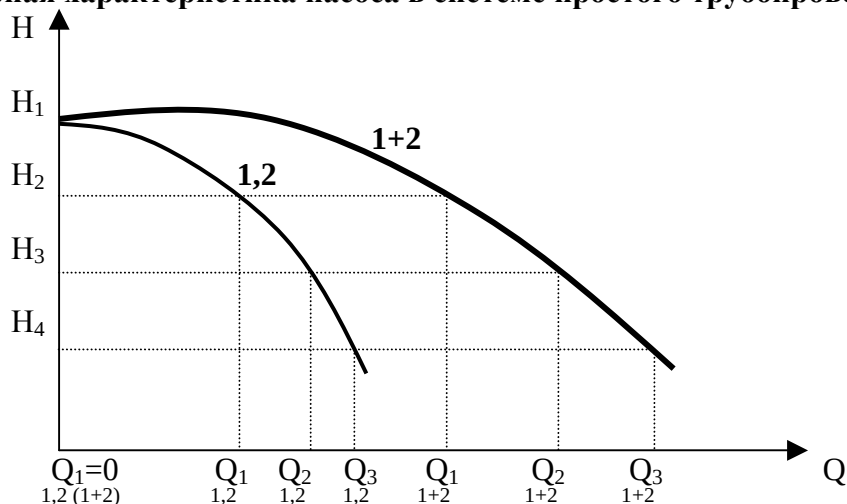


Рис. 8. Параллельное включение насосов.

- 1,2 — напорная характеристика автономного действия насосов;
1+2 — напорная характеристика параллельного действия насосов.

В таких случаях последовательно с грузовыми насосами включаются один или два бустерных насоса. Обычно грузовые и бустерные насосы имеют различные напорные характеристики.

Нормальная работа грузового и бустерного насосов при последовательном их включении обеспечивается ТОЛЬКО при равенстве ПОДАЧИ насосов.

Учитывая это, характеристику последовательного действия насосов получают в результате суммирования напора насосов при заданных величинах

8. Насосы грузовых систем газовозов



подачи. Графически последовательное включение насосов будет выглядеть следующим образом:

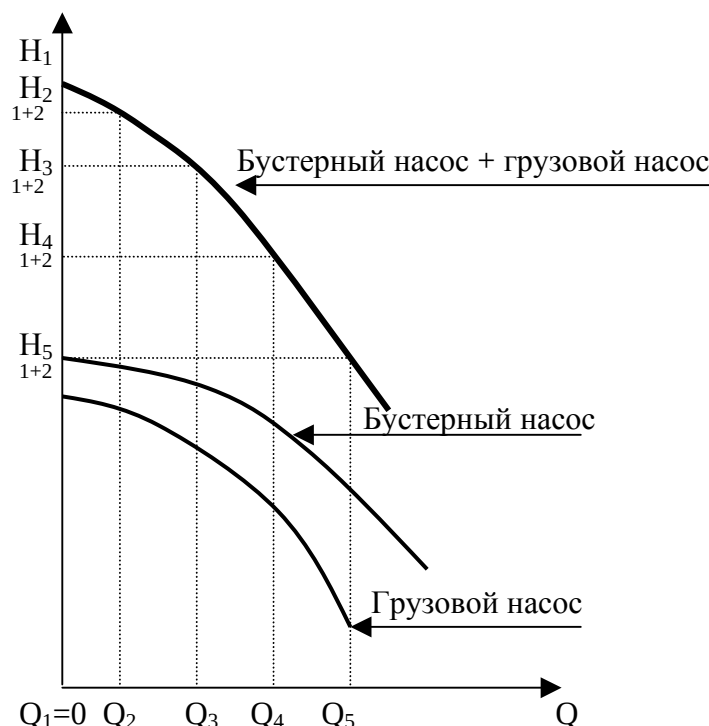


Рис. 9. Последовательное включение насосов.

Характеристики струйного насоса.

Напор струйного насоса зависит от расхода Q_p , давления P_p рабочей жидкости (пропелланта) и высоты всасывания. При заданных величинах Q_p , P_p , подача насоса зависит от высоты всасывания

Характеристики трубопроводов.

Характеристикой трубопровода называется графическое представление зависимости между расходом жидкости через трубопровод и величиной сопротивления трубопровода.

Зависимость между указанными параметрами для простого одноточечного трубопровода можно объяснить с помощью выражения для сопротивления трубопровода:

$$N_{тр} = N_{тр.ст} + N_{тр.дин},$$

где $N_{тр.ст}$ – статическая составляющая сопротивления трубопровода.
 $N_{тр.дин}$ – динамическая составляющая сопротивления трубопровода.

Статическая составляющая трубопровода образуется вследствие разности давления на поверхности жидкости в береговом танке и в грузовом танке судна, и в случае разности уровней жидкости в танке и в береговой емкости.



8. Насосы грузовых систем газовозов

$$H_{\text{тр.ст}} = Z_H + (p_p - p_r) / \rho g$$

При условии равенства давлений в береговой емкости и судовом танке, получим:

$$H_{\text{тр.ст}} = Z_H$$

Динамическая составляющая возникает вследствие гидравлического сопротивления трубопровода потоку жидкости и равна:

$$H_{\text{тр.дин.}} = \sum_T \lambda \frac{l \cdot v^2}{d \cdot g} + \sum_M \zeta \frac{l \cdot v^2}{2g},$$

где $\sum \lambda, \sum \zeta$ – сумма сопротивлений трения и местных сопротивлений трубопровода;
 λ, ζ – коэффициенты сопротивления трения и местного сопротивления;
 l, d – длина и диаметр трубопровода, соответственно

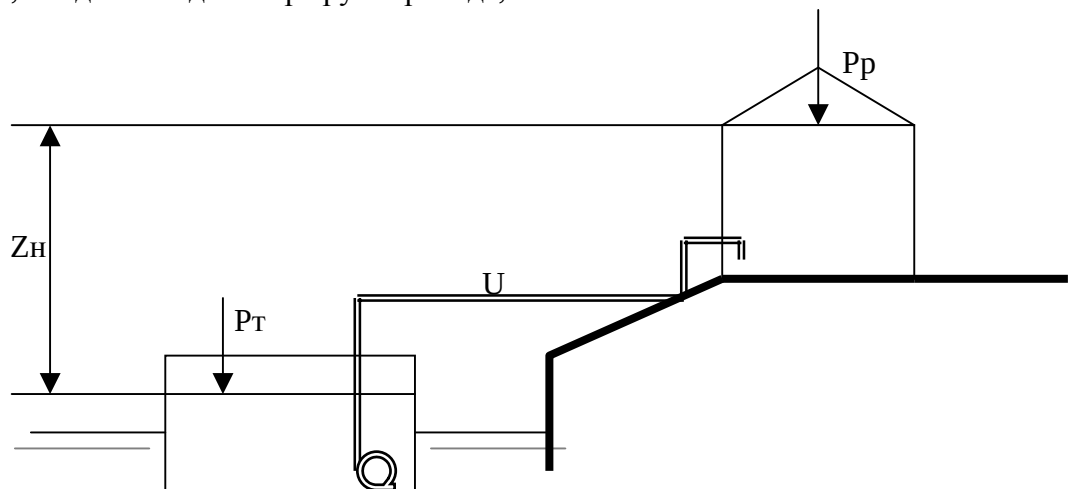


Рис. 10. Иллюстрация факторов сопротивления трубопровода.

В соответствии с законом сохранения массы, предполагающим постоянство расхода жидкости в любом поперечном сечении трубопровода:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{d^2} \cdot \pi \quad \text{и} \quad Q = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot v$$

с учетом этого после преобразования правой части выражения для $H_{\text{тр.дин.}}$ получим:

$$H_{\text{тр.дин.}} = W \cdot Q^2,$$

где W – сумма приведенных коэффициентов гидравлических сопротивлений трубопровода – постоянная трубопровода.

Тогда:

$$H_{\text{тр.}} = H_{\text{тр.ст}} + W \cdot Q^2.$$

Следовательно, характеристика трубопровода является параболой с началом на оси ординат (рис 11).

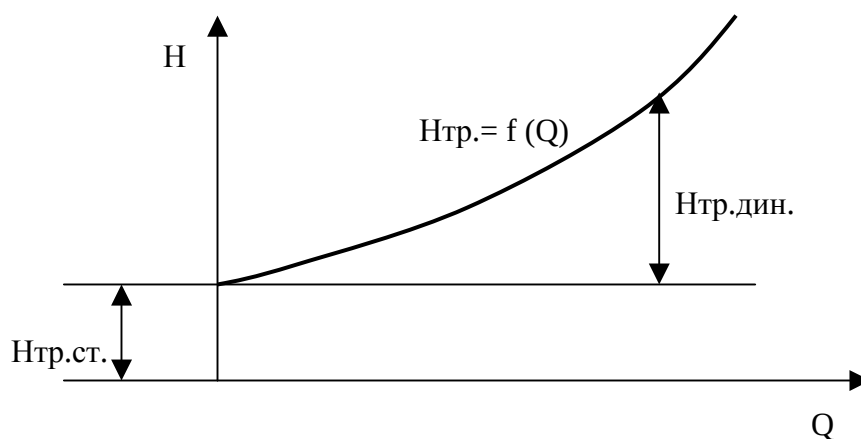


Рис. 11. характеристика трубопровода.

Грузовой трубопровод может быть разветвленным (рис.12). Ветви трубопровода могут иметь различную длину, диаметр, конфигурацию и, следовательно, различные характеристики. Ветви трубопровода могут пропускать жидкость одновременно только при условии, что их сопротивления будут равны. Учитывая это, суммарную характеристику ветвей трубопровода можно отобразить графически (см. рис 13):

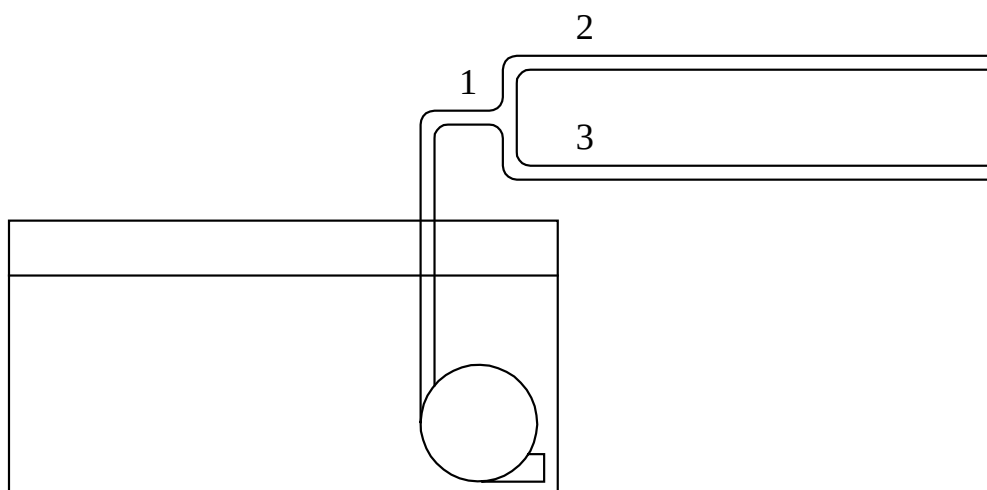


Рис. 12. Разветвленный трубопровод.



8. Насосы грузовых систем газовозов

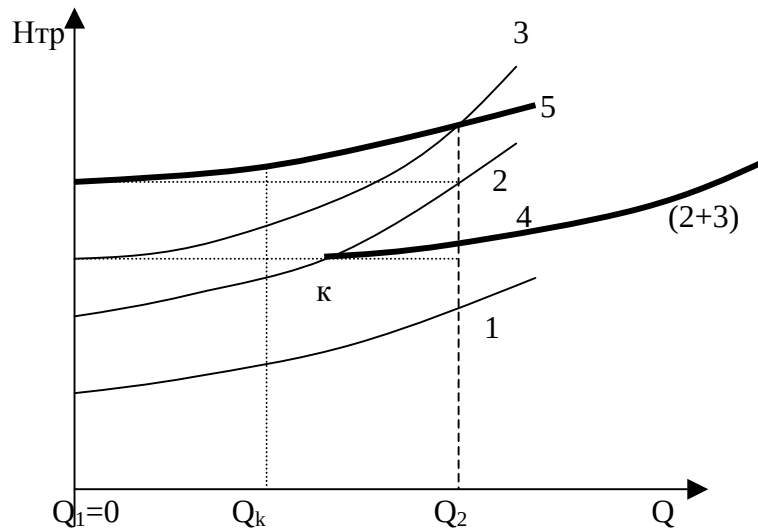


Рис. 13. Характеристики разветвленного трубопровода.

В результате суммирования расходов жидкостей через ветви трубопровода 1 и 2 при равной величине их сопротивлений получают суммарную характеристику ветвей (к-4). Суммируя сопротивления ветви 1, сопротивление ветви 2 на участке от Q_1 до Q_k (поскольку на этом участке ветвь 3 пропускать жидкость не может из-за высокого сопротивления), и сопротивление ветвей 2, 3 и участка к-4, получают суммарную характеристику (5) разветвленного трубопровода при заданных расходах жидкости.

Действие центробежных насосов в составе трубопроводов.

Величина подачи и напора центробежных насосов в составе трубопровода определяется в результате изображения напорной характеристики насоса и характеристики трубопровода в общей координатной системе Q - H . Характеристика трубопровода обычно имеется на всех терминалах, а напорная характеристика грузового насоса приводится в паспорте насоса. Автономное действие центробежного насоса в составе простого трубопровода графически будет выглядеть следующим образом: (рис 14)

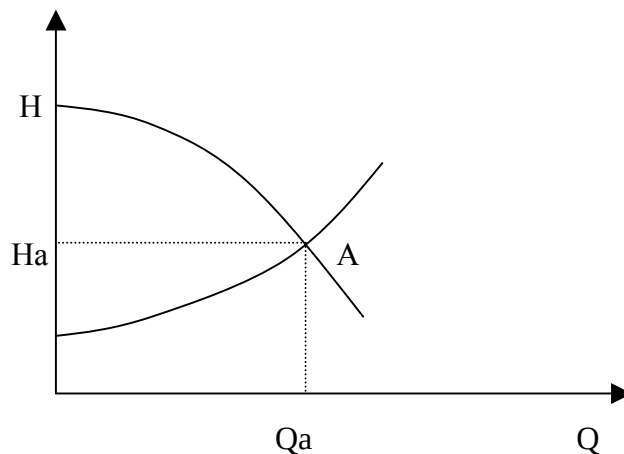


Рис. 14. Автономное действие насоса в составе трубопровода.

8. Насосы грузовых систем газовозов



Точка А пересечения характеристик насоса и трубопровода называется рабочей точкой насоса. В точке А между насосом и трубопроводом существует энергетическое равновесие. При таком равновесии, подача насоса равна расходу жидкости через трубопровод, напор насоса равен сопротивлению трубопровода. На следующем графике изображено параллельное действие двух одинаковых насосов в составе простого трубопровода (рис. 15).

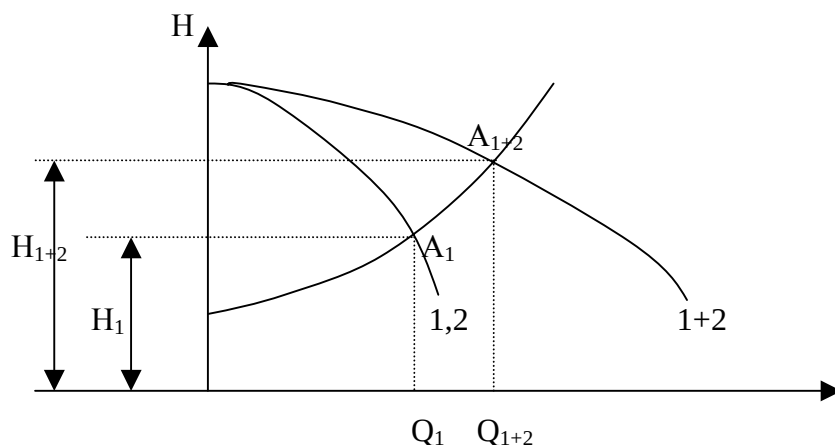


Рис. 15. Действие двух насосов включенных параллельно в составе простого трубопровода.

На следующем графике (рис.16) изображено последовательное включение двух центробежных насосов в составе простого трубопровода:

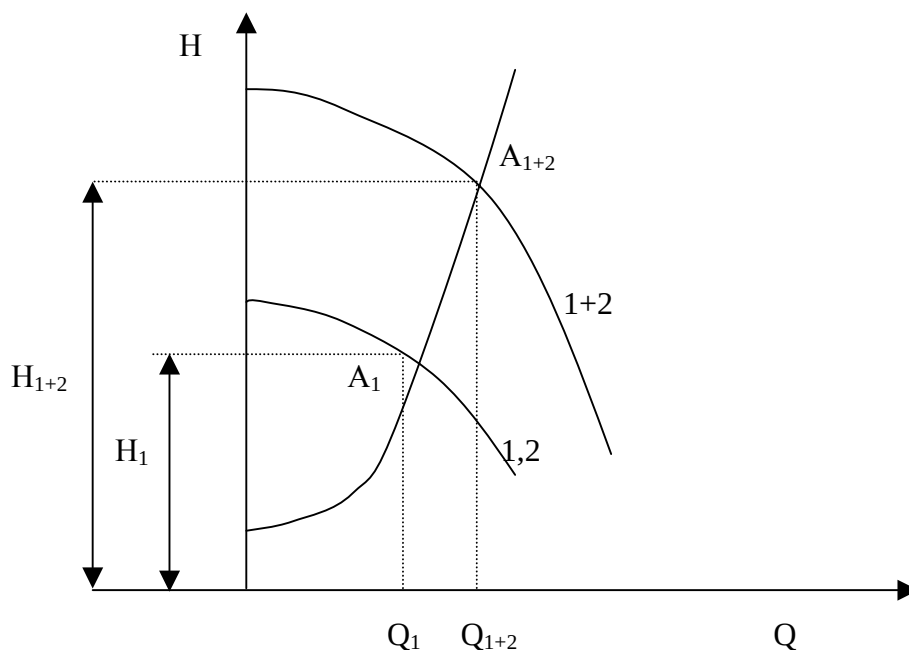


Рис. 16. Действие двух насосов, включенных последовательно в составе простого трубопровода.



8. Насосы грузовых систем газовозов

Регулирование подачи центробежных насосов.

Существуют 3 метода регулировки подачи центробежных насосов:

- Дроссельное регулирование;
- Регулирование рециркуляцией (байпас);
- Регулировка частотой вращения насоса.

Дросселирование осуществляется путём изменения величины сопротивления трубопровода. Производится дросселирование с помощью использования клапана на нагнетательном трубопроводе путем изменения степени открытия клапана. В результате такой регулировки изменяется величина динамической составляющей сопротивления трубопровода и величина её крутизны, при этом рабочая точка насоса перемещается по его напорной характеристике (рис17).

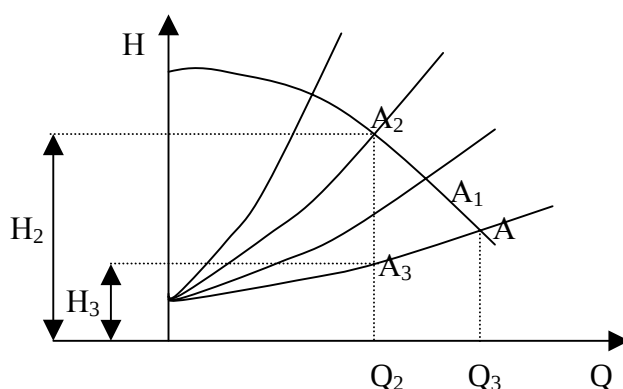


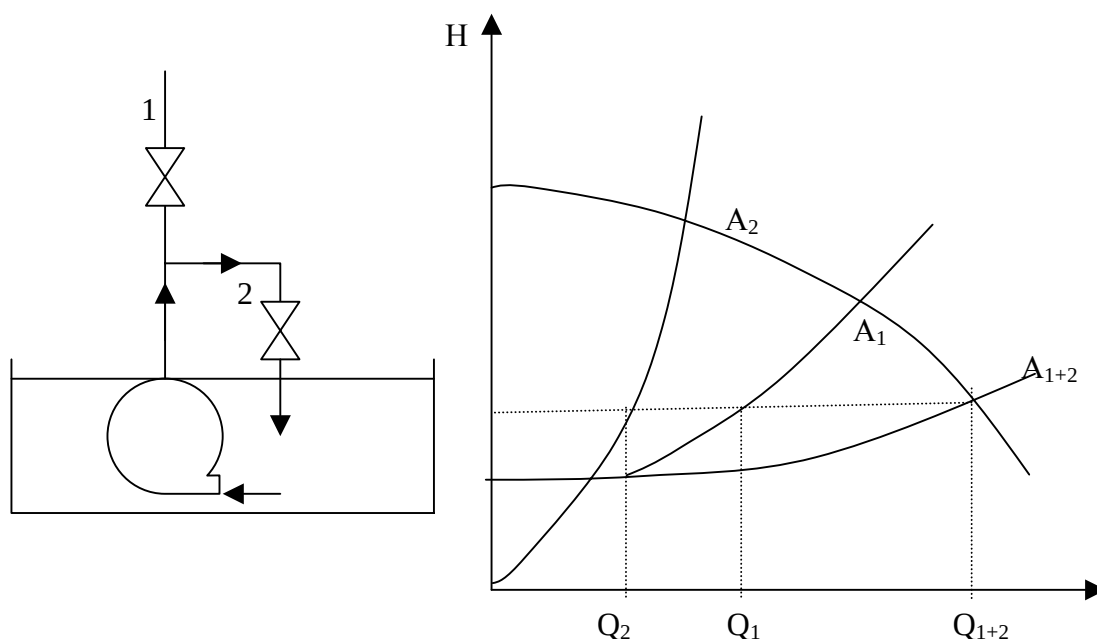
Рис. 17. Перемещение рабочей точки насоса.

Недостатком такого метода является большая потеря напора на дросселировании:

$$H_{др} = H_2 - H_3,$$

где H_3 – напор насоса в том случае, если бы можно было регулировать подачу без изменения сопротивления трубопровода.

Величины потерь при дросселировании увеличиваются при увеличении крутизны напорной характеристики насоса. Учитывая это, дроссельное регулирование целесообразно применять, когда напорная характеристика насоса пологая. Регулирование рециркуляцией производится путем отвода части подачи насоса обратно в танк с помощью циркуляционного трубопровода (рис18).



Q_1 – расход жидкости через нагнетательный трубопровод (1),
 Q_2 – расход жидкости через рециркуляционный трубопровод (2).

Рис. 18. Регулирование рециркуляцией.

Регулирование рециркуляцией целесообразно, если напорная характеристика насоса является круто падающей, поскольку в этом случае потеря на дросселирование будет меньше, чем при дроссельном регулировании, однако значительной будет объёмная потеря рециркуляции.

Регулирование подачи частотой вращения насоса производится с помощью регулируемого двигателя насоса. При изменении частоты вращения рабочего колеса изменяется положение напорной характеристики насоса. Рабочая точка насоса перемещается по характеристике трубопровода (рис. 19).

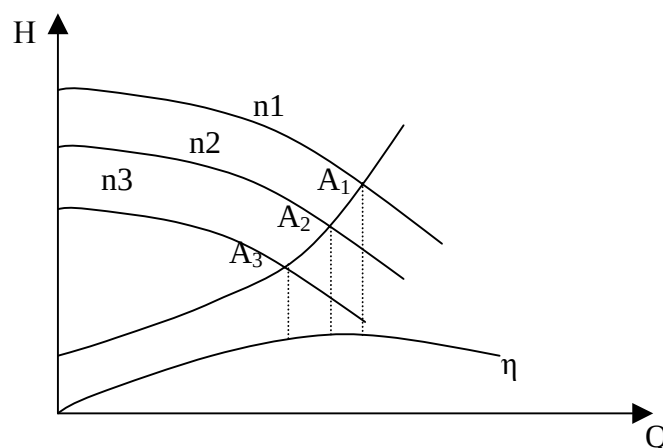


Рис. 19. Изменение подачи, регулировкой оборотов.



8. Насосы грузовых систем газовозов

Достоинством метода является высокий КПД регулирования, поскольку КПД насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса меняется мало, причем его изменения значительно меньше, если напорная характеристика насоса круто падающая.

Для регулирования подачи центробежного насоса на газовозах, обычно используется дроссельное регулирование. Регулирование частотой вращения производится только в том случае, если электродвигатель привода насоса имеет переменную частоту вращения. Регулирование рециркуляцией предусматривается для уменьшения подачи насоса в период пуска, с целью уменьшения пускового момента.

Особенности действия грузовых насосов.

Кавитация.

Кавитацией называют разрыв сплошности жидкости, вызванный образованием в потоке жидкости газовых или паро-газовых каверн.

Возникновения кавитации в насосах вызвано понижением давления или же повышением температуры жидкости в потоке. Различают два вида кавитации: газовую и паровую.

Газовая кавитация возникает в результате выделения из жидкости растворенных в ней газов.

Паровая кавитация возникает в результате вскипания жидкости.

Газовая кавитация в насосе представляет несущественное явление, поскольку содержание газов, растворенных в жидкости, довольно мало. Основную же опасность для насосов представляет из себя паровая кавитация. Вероятность возникновения кавитации оценивается по величине кавитационного запаса насоса.

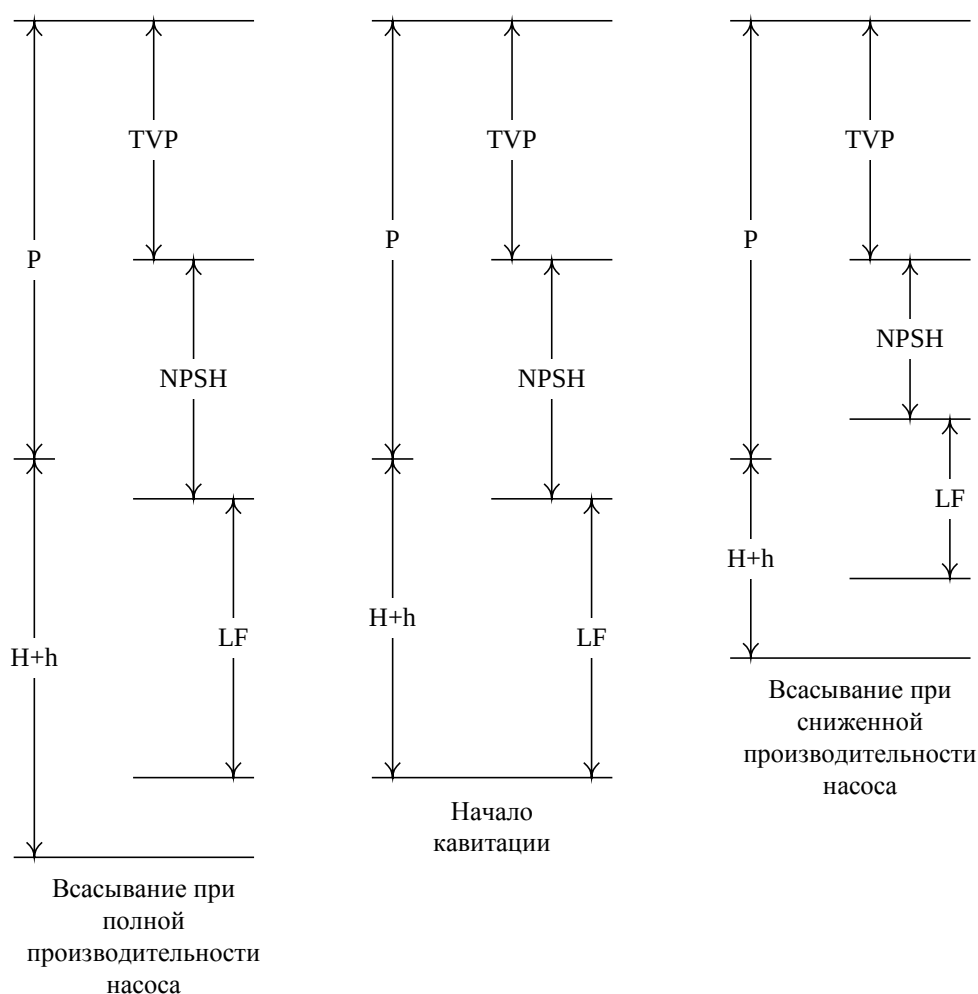
$$\Delta h = \underbrace{P_b / \rho g + v_b^2 / 2g}_1 - \underbrace{P_n / \rho g}_2, \quad (м)$$

где P_b и v_b – соответственно давление и скорость жидкости при входе в насос;
 P_n – давление насыщенных паров жидкости при входе в насос.

Кавитационный запас – это величина, выраженная в метрах, на которую полный гидродинамический напор жидкости (1) превышает величину давления насыщенных паров жидкости (2) при данной температуре.

Если кавитационный запас израсходуется на преодоление сопротивления или на повышение скорости потока жидкости, то жидкость при входе в насос будет иметь давление равное давлению насыщенных паров, что вызывает процесс кипения и, следовательно, кавитации. (рис.20)

В центробежных насосах возникновение кавитации наиболее вероятно на тыльной стороне лопастей рабочего колеса, вблизи от входных кромок, где наблюдается минимальное давление потока. Именно на тыльной стороне лопастей будут образовываться парогазовые каверны, которые будут перемешаться вместе с потоком жидкости.



P	Atmospheric pressure	-атмосферное давление
H+h	Liquid head and trim	-высота жидкости
TVP	True vapour pressure	-истинное давление паров
NPSH	Net positive suction head	-общее давление всасывания
LF	Line friction	-сопротивление трубопровода

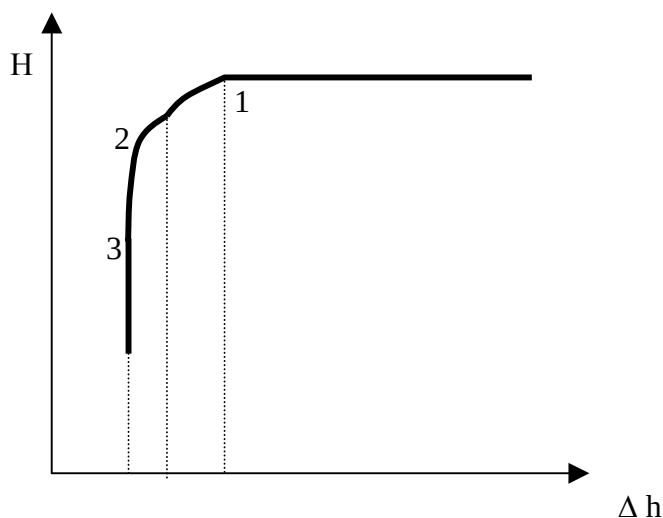
Рис. 20. Условия возникновения кавитации.

В межлопастных каналах давление жидкости возрастает, в тот момент, когда величина давления превысит давление насыщенных паров жидкости P_p , процесс кипения прекратится, пары в кавернах мгновенно сконденсируются и произойдет их заполнение жидкостью. Заполнение каверн жидкостью происходит с высокой скоростью, практически мгновенно, вследствие этого, заполнение каверн сопровождается сильным гидравлическим ударом. Если заполнение каверны происходит на поверхности лопасти насоса, то за счет таких гидравлических ударов, происходит разрушение поверхности металла.



8. Насосы грузовых систем газовозов

Для определения кавитационного запаса проводятся специальные испытания насоса (головных образцов серии насосов), в процессе которых получают данные для построения кавитационной характеристики насоса (рис. 21).



в точке 1 начинается кавитация,
на участке 1-2 зона кавитации расширяется,
на участке 2-3 кавитация распространяется на большую часть сечения потока,
а в точке 3 наступает суперкавитация, когда напор насоса стремится к нулю,
происходит срыв всасывания и прекращение подачи.

Рис. 21. Кавитационная характеристика насоса.

Первый Δh_1 или второй Δh_2 кавитационный запас принимается за величину Δh^L , при которой допускается длительная эксплуатация насоса. С учетом Δh^L определяется допустимая вакуумметрическая высота всасывания насоса (NPSH).

$$H_v^L = (p_v - p_n) / \rho g + \Delta h^L$$

Из этого выражения, при известной величине H_v^L можно определить кавитационный запас:

$$\Delta h^L = (p_v - p_n) / \rho g - H_v^L.$$

Гидравлический удар в трубопроводе.

Гидравлическим ударом называют комплекс явлений, происходящих в жидкости при резком понижении скорости её потока, которые приводят к возникновению в жидкости затухающего колебательного процесса, сопровождающегося чередующимися резкими повышениями и понижениями давления.

Зачастую при работе грузовых систем как при погрузке, так и при выгрузке, могут возникнуть ситуации, когда требуется аварийное или

8. Насосы грузовых систем газовозов



экстренное закрытие грузового клапана на трубопроводе (на многих танкерах такой процесс осуществляется автоматически при срабатывании системы ESD).

В случае резкой остановки потока газа в трубопроводе, при закрытии клапана, начинается процесс сжатия жидкости в направлении к закрытому клапану(см.рис 22). Первым останавливается и сжимается слой, непосредственно прилегающий к клапану. Давление в слое повышается до величины:

$$p = \rho \cdot a \cdot v, (Па = 10^{-5} \text{ бар})$$

где ρ , кг/м³ –плотность жидкости;
 a , м/с – скорость звука в жидкости;
 v , м/с – линейная скорость потока до закрытия клапана.

Затем последовательно останавливаются и сжимаются до давления P остальные слои жидкости в направлении от клапана до открытого конца трубопровода, то есть до входного отверстия трубопровода. Таким образом, образуется волна сжатия – ударная волна.

Ударная волна распространяется со скоростью звука в жидкости и достигнет входного отверстия трубопровода за время :

$$T = L / a \text{ (с)}$$

где L , м – длина трубопровода,
 a , м/с – скорость звука в жидкости,

Дальнейшее распространение ударной волны становится невозможным, так как масса газа в емкости многократно превышает массу газа в трубопроводе и, следовательно, его энергию (а при погрузке на пути ударной волны расположен работающий береговой насос). В связи с этим, у входного отверстия трубопровода образуется граница ударной волны. Состояние газа на границе волны различное. Газ в цистерне находится в нормальном состоянии, а газ в трубопроводе – в сжатом, напоминающем пружину, присоединенную к закрытому клапану и свободную с противоположного конца.

Очевидно, что сжатый в трубопроводе газ, не может оставаться в таком состоянии, и , поэтому, начинается его разжатие. Сначала разжимается слой, находящийся у границы удара, затем последовательно разжимаются остальные слои жидкости. В результате чего в трубопроводе образуется волна разжатия, распространяющаяся со скоростью звука в жидкости в направлении закрытого клапана. Волна достигнет клапана за время :

$$T=2L/ a \text{ (с)}$$

Этот промежуток времени называется фазой гидравлического удара.

В этот момент вся масса газа будет иметь скорость и давление направленные в сторону цистерны и газ будет стремиться оторваться от клапана. В результате возникает вторая волна гашения – волна снижения давления до величины ниже нормального давления, волна которого достигнет цистерны за время :

$$3T = 3L/a, \text{ (с)}$$

В этот момент вся масса газа в трубопроводе будет неподвижна, и будет иметь пониженное давление. Поскольку давление в цистерне выше давления газа в трубопроводе, газ начнет перемещаться в направлении от цистерны к клапану, и



8. Насосы грузовых систем газовозов

возникнет четвертая волна, волна восстановления, которая достигнет клапана за время:

$$2T=4L/a,(c)$$

в этот момент в трубопроводе установится начальное давление, но, поскольку, клапан остается закрытым, и газ не сможет продолжить свое движение, то у клапана вновь возникнет ударная волна.

При условии отсутствия потерь энергии, удар будет иметь периодический характер, и колебательный процесс в трубопроводе будет продолжаться бесконечно долго. В действительности же, в связи с потерями энергии на трение и деформацию трубопровода, колебательный процесс в трубопроводе постепенно затухает, и, в конечном итоге, давление в трубопроводе нормализуется.

При закрытии БЗК, гидравлический удар возникает и в трубопроводе за клапаном, вследствие резкого понижения давления и возникновения кавитации у клапана. При одновременном возникновении гидравлического удара перед клапаном, и кавитации за клапаном, может произойти разрушение клапана или трубопровода.

Вероятность возникновения гидравлического удара оценивается величиной отношения:

$$t_z / T$$

если это соотношение равно 1, то вероятность возникновения гидравлического удара весьма высока. При соотношении времени закрытия клапана к фазе гидродинамического удара

$$t_z / T > 5,$$

вероятность возникновения удара отсутствует.

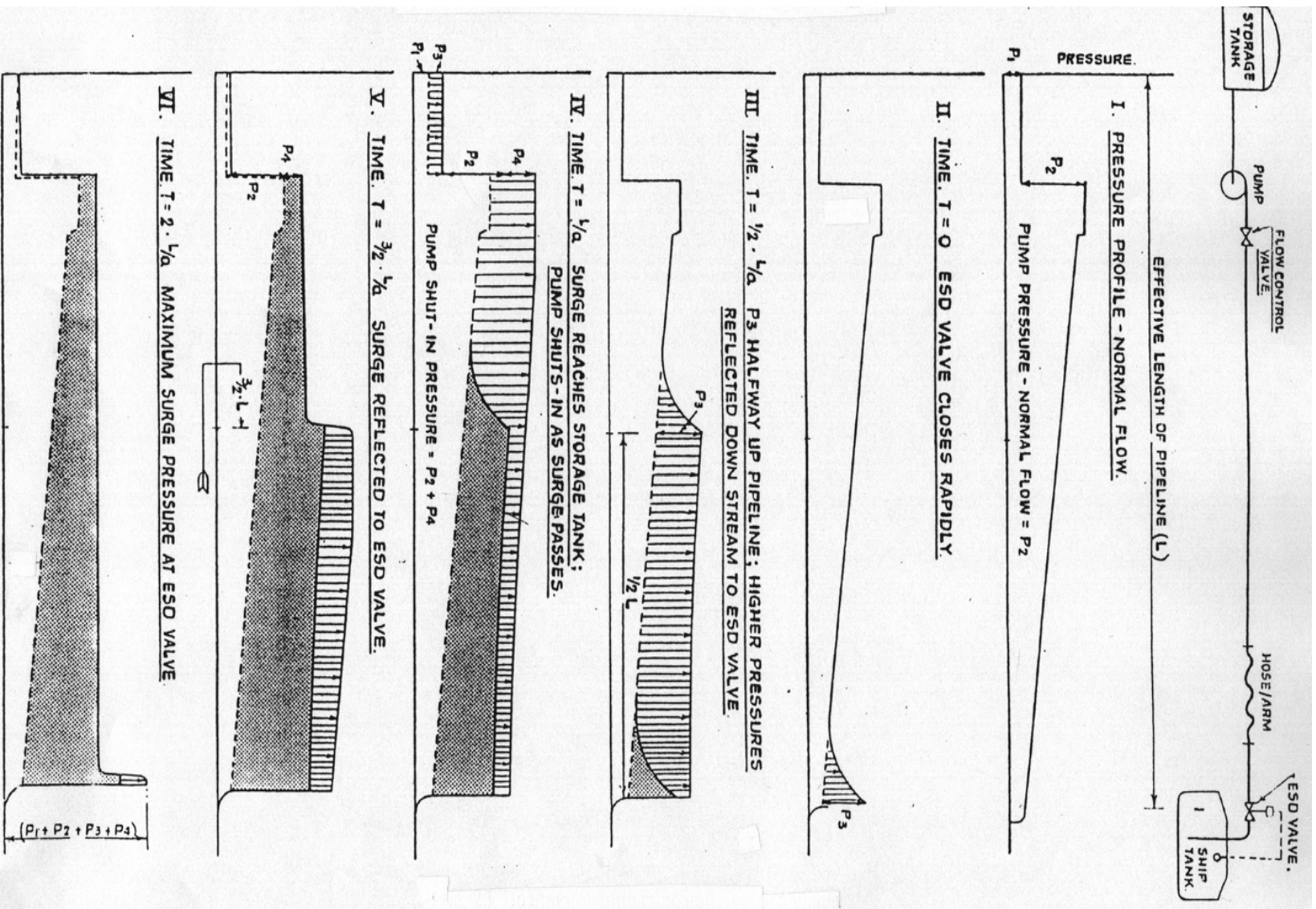


Рис. 22 Возникновение гидравлического удара в трубопроводе.



8. Насосы грузовых систем газовозов

Существующие расчетные оценки вероятности возникновения гидравлического удара показывают, что для газовозов, безопасным временем закрытия БЗК, является интервал в **22,5** секунды. Гидравлический удар в трубопроводе возможен также в случае пуска грузового насоса при полностью открытом нагнетательном клапане.

На практике закрыть клапан мгновенно нельзя и поэтому при закрытии клапана происходит некоторый сброс давления. В результате величина давления гидравлического удара на практике получается меньше расчетной, а фронт давления менее выраженным.

Если фактическое время закрытия клапана в несколько раз превышает фазу гидравлического удара, сброс давления происходит более интенсивно и возникновение гидравлического удара маловероятно.

Слишком медленное закрытие клапана может привести к другим последствиям, нежели возникновение гидравлического удара, увеличению протечек из поврежденных трубопроводов или шлангов, переполнению грузового танка и т.д. Поэтому необходимо выбирать оптимальное время закрытия клапана: не столь малое, чтобы вызвать возникновение гидравлического удара и не столь продолжительное, чтобы обеспечить безопасность грузовых операций.

Практически все терминалы имеют сведения о длине своих трубопроводов и времени безопасного закрытия клапанов на нем.

Меры предосторожности.

Там, где грузовые клапана имеют ручной привод, их надлежащая эксплуатация должна исключать вероятность возникновения гидравлического удара. Важно, чтобы клапан, встроенный в конце длинного трубопровода, не закрывался внезапно. Все изменения положения клапана должны осуществляться плавно.

Для устранения опасности гидравлического удара при использовании клапанов с механическим приводом, следует:

- Уменьшить скорость потока;
- Увеличить фактическое время закрытия клапана;
- Использовать систему сброса давления;
- Использовать уравнильные танки.

По приблизительным подсчетам в некоторых случаях время закрытия клапана должно составлять 30 сек и более. Скорость закрытия клапана должна быть постоянной.

Ограничение скорости потока.

С функциональной точки зрения длина трубопровода, а часто и время закрытия клапана являются заранее обусловленными, поэтому на практике избежать преднамеренно быстрого закрытия клапана, например при завершении налива, можно лишь путем ограничения линейной скорости потока ($v_{\max}$). Зависимость между скоростью потока и давлением гидравлического удара представлены в следующем уравнении. Если диаметр трубопровода равен d , то максимально допустимая скорость потока ($Q_{\max}$, м³/сек) определится по формуле:



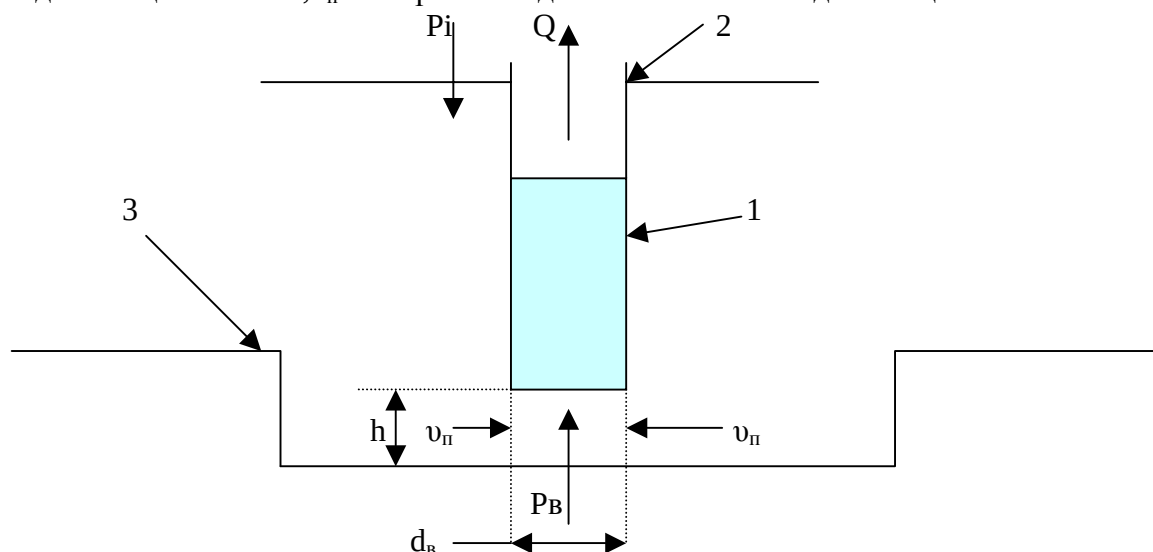
$$Q_{\max} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v = \frac{\pi d^2 P}{4 \cdot p \cdot a} \quad (\text{м}^3/\text{сек})$$

Влияние уровня жидкости в танке на условия работы насосов.

Важнейшим условием безотказного действия насосов является неразрывность потока жидкости, подтекающего ко всасывающему патрубку насоса из танка.

$$Q = Q_{\text{п}}$$

где Q – подача насоса; $Q_{\text{п}} = f_{\text{п}} v_{\text{п}} = \pi d_{\text{в}} h v_{\text{п}}$ – количество подтекающей жидкости; $f_{\text{п}}$ – площадь сечения подтекающего потока; $d_{\text{в}}$ – диаметр окружности входной кромки всасывающего патрубка насоса; h – высота сечения подтекающего потока; $v_{\text{п}}$ – скорость жидкости в сечении подтекающего потока.



1 - насос, 2 - колонна насоса, 3 колодец грузового танка.

Рис. 23. Подтекание жидкости к насосу.

Давление жидкости при входе насос зависит от уровня жидкости в танке. Понижение уровня жидкости в процессе выгрузки сопровождается уменьшением $P_{\text{в}}$, и при некотором положении уровня, который называется критическим, $P_{\text{в}}$ становится равным давлению на поверхности жидкости $P_{\text{и}}$. В результате этого, под действием силы тяжести верхние слои жидкости проваливаются в направлении всасывающего патрубка, и в подтекающем потоке образуется вращающаяся воронка. Вращение воронки объясняется воздействием на жидкость крутящего момента, возникающего в жидкости вследствие неравномерности скорости и давления жидкости по окружности входной кромки всасывающего патрубка.

Воронка опускается до уровня кромки всасывающего патрубка, в результате чего происходит прорыв газовой среды танка во всасывающие патрубок и срыв всасывания. Напор насоса становится равным нулю, подача груза прекращается.

Эксплуатационными мерами предупреждения срыва всасывания насоса являются своевременное уменьшение подачи насосов и повышение избыточного давления в танке.

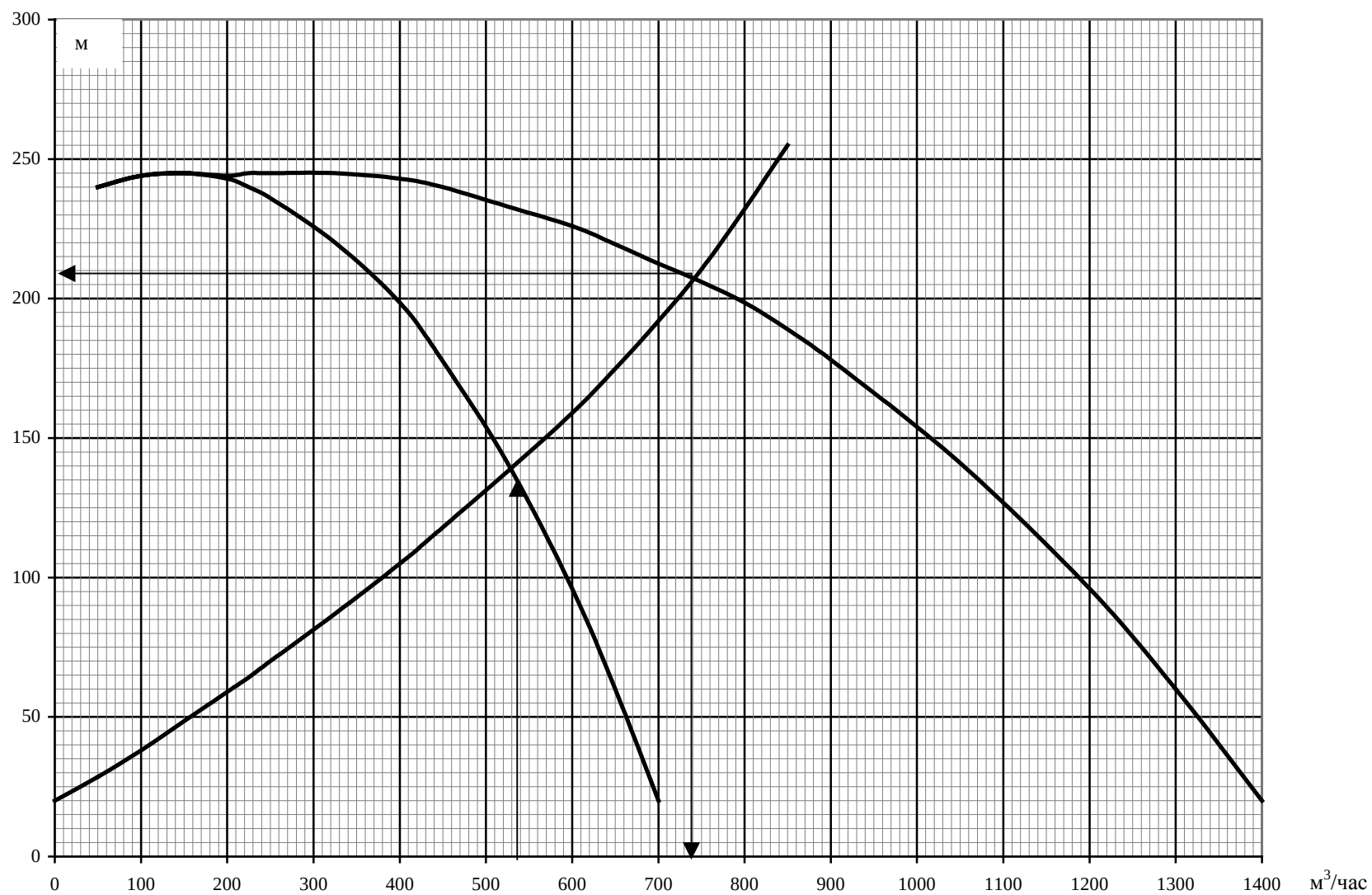


Рис. 25. Параллельное включение насосов в системе простого трубопровода (Задача № 1).



8. Насосы грузовых систем газозовов

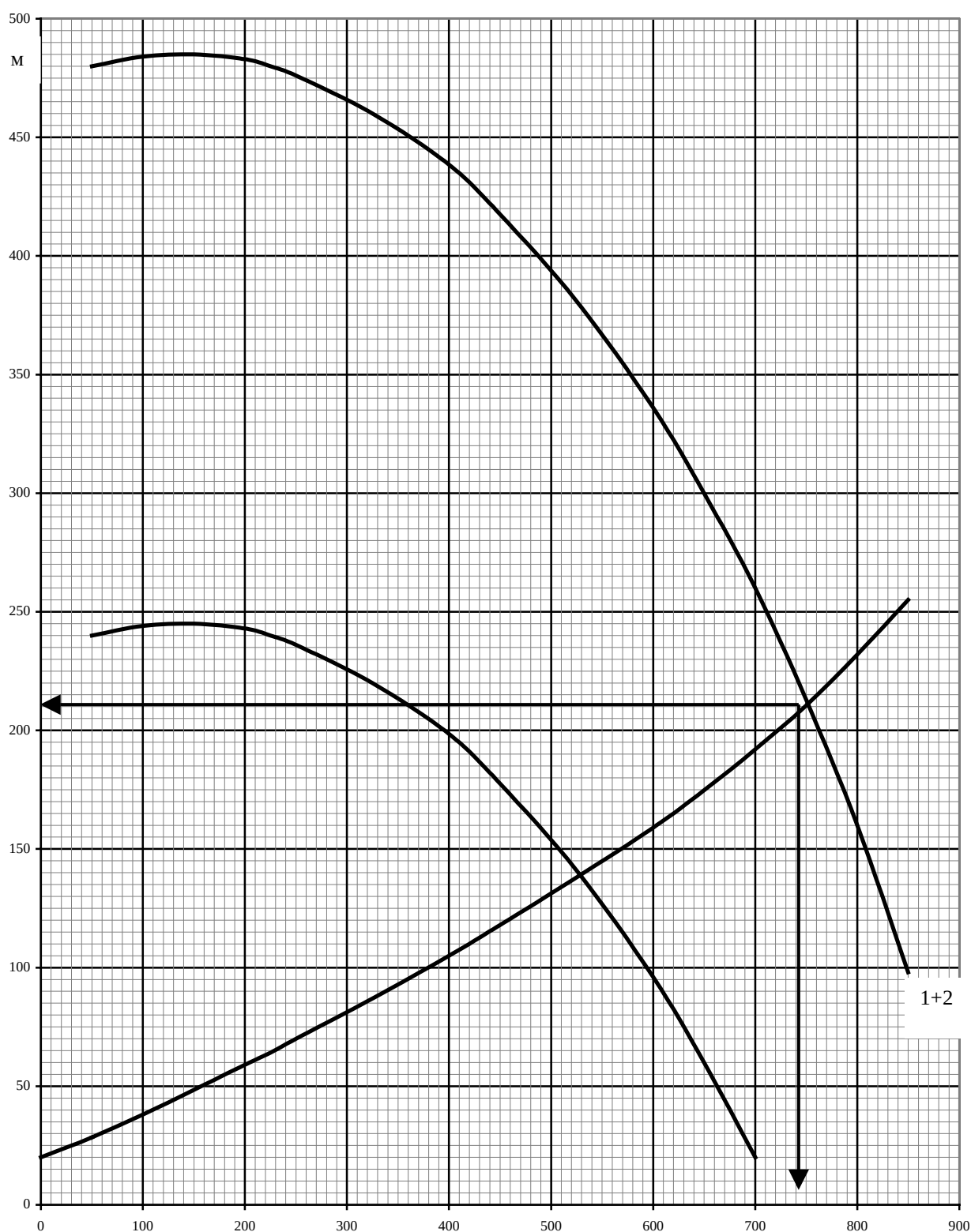


Рис. 26. Последовательное включение двух насосов в систему простого трубопровода (Задача №2).



Для закрепления материала решим несколько практических задач.

Задача №1.

Определить, как изменятся величины подачи и напора насоса при выгрузке пропана с температурой -40°C , при подключении в параллель второго грузового насоса (рис.25)

Решение :

Построим результирующую характеристику работы двух одинаковых насосов в параллель по имеющимся характеристикам одного грузового насоса и берегового трубопровода. Подача при автономном действии одиночного насоса составит $530\text{ м}^3/\text{час}$ (точка пересечения характеристики насоса и берегового трубопровода). Точка же пересечения суммарной характеристики параллельного включения насосов и характеристики берегового трубопровода, позволит нам определить величину подачи 2-х насосов при параллельном включении, которая составит $745\text{ м}^3/\text{час}$.

Напор при автономном включении одного насоса составляет $137,5\text{ м}$, а при использовании 2-х насосов при параллельном включении, напор составит 210 метров .

Для того, чтобы определить насколько изменится давление в трубопроводе, будем использовать уже известную нам формулу:

$$H = P_n / \rho \cdot g, \text{ откуда } P_n = \rho \cdot g \cdot H$$

Из термодинамических характеристик для пропана определяем плотность пропана при температуре -40°C , которая составит 578 кг/м^3 . Подставив численные значения плотности ρ , напора H и ускорения свободного падения g , получим:

При автономном действии насоса:

$$P_n = 578 \cdot 9,81 \cdot 137,5 = 779649\text{ Па} = 779649 \cdot 10^{-5} = 7,8\text{ бар}$$

При параллельном включении насосов:

$$P_n = 578 \cdot 9,81 \cdot 210 = 1190742\text{ Па} = 1190742 \cdot 10^{-5} = 11,9\text{ бар}.$$

Задача № 2

Определить, как изменится величина давления в грузовом трубопроводе при выгрузке пропана с температурой -40°C при последовательном подключении в трубопровод бустерного насоса. (характеристики бустерного насоса точно такие же, что и грузового насоса.

Решение:

Используя напорные характеристики грузового (1) и бустерного (2) насосов (рис 26), строим результирующую напорную характеристику насосов, включенных последовательно (1+2).

При данной величине подачи грузового насоса ($530\text{ м}^3/\text{час}$) определяем величину напора. Для автономно действующего насоса она составит 130



8. Насосы грузовых систем газовозов

метров, а для последовательного включения грузового и бустерных насосов, величина напора составит 220 метров. Для определения величины давления в трубопроводе, будем использовать ту же формулу, что и в первой задаче:

Для автономно действующего насоса получим:

$$P_n = 578 \cdot 9,81 \cdot 130 = 676130 \text{ Па} = 676130 \cdot 10^{-5} = 6,8 \text{ бара}$$

А для последовательно включенных насосов:

$$P_n = 578 \cdot 9,81 \cdot 220 = 1247440 \text{ Па} = 1247440 \cdot 10^{-5} = 12,5 \text{ бара}$$

Задача №3.

Рассчитать безопасное время закрытия клапана грузового трубопровода при погрузке пропана. Температура пропана -20°C , давление в грузовом трубопроводе - 7,0 бар, длина грузового трубопровода - 1200 метров, скорость звука в пропане составляет 1060 м/с..

Решение.

Определяем фазу гидравлического удара по формуле:

$$T = 2L / a \text{ (с)}.$$

$$T = 2 \cdot 1200 / 1060 = 2,26 \text{ с}$$

Далее, рассчитываем время безопасного закрытия клапана при отношении $t_z / T > 5$

$$t_z = T \cdot 5 = 2,26 \cdot 5 = 11,3 \text{ с}.$$

Общие принципы обеспечения безопасности на газовозах.

Если судно, вообще, считается объектом повышенной опасности, то на танкерах эта опасность многократно возрастает. Поэтому при постройке и эксплуатации танкеров применяются более жесткие правила и требования, чем к судам других типов.

Как мы уже отмечалось, при перевозке опасных грузов на танкерах возникают 3 вида основных опасностей

- Пожароопасность.
- Опасность для здоровья персонала.
- Опасность для окружающей среды.

Устранение или минимизация каждого вида вышеперечисленных опасностей выполняется как конструктивно, так и организационно.

Конструктивное обеспечение пожарной безопасности сформулировано в Конвенции СОЛАС 74 и Кодексах постройки и оборудования судов, перевозящих сжиженные газы наливом (IGC).

Главные принципы обеспечения пожарной безопасности в конструкциях судна таковы:

- Уменьшение возможности возникновения пожара.
- Ограничение распространения пожара.
- Обеспечение безопасных путей эвакуации экипажа.
- Оборудование танкера активными средствами пожаротушения.
- Установка надлежащей пожарной сигнализации и системы оповещения.

Уменьшение возможности возникновения пожара.

Уменьшение возможности возникновения пожара осуществляется за счет использования при строительстве танкера негорючих и не аккумулирующих статическое электричество материалов, рациональное и безопасное расположение жилых, специальных и служебных помещений, использование взрывобезопасного оборудования, надлежащая вентиляция палубных помещений. Использование горючих материалов при постройке танкера весьма ограничено. Напомним, что конструкции танкера должны быть изготовлены из огнестойких (класса А) или огнезадерживающих (класса В) материалов.

Огнестойкие материалы (сталь или равноценные материалы) предотвращают прохождение через них дыма и огня в течение 60 минут, а негорючий изоляционный материал на поверхности таких конструкций, должен обеспечивать повышение температуры на стороне обратной воздействию огня не более чем на 139°C. Соответственно, по времени, в течение которого материал выдерживает данные параметры, все переборки танкера делятся на следующие классы:

- А-0,
- А-15,
- А-30,
- А-60.

Огнезадерживающий материал должен обеспечивать непроницаемость конструкции для дыма и огня в течение 30 минут стандартного испытания. Превышение температуры на стороне конструкции, обратной воздействию огня должно быть не более 139°C. По времени, в течение которого выдерживаются данные параметры материал класса В делится на:

- В-15,
- В-30.

Все жилые и служебные помещения должны быть отделены от района грузовых помещений переборками класса А-60. Пути эвакуации экипажа также должны быть ограждены переборками из негорючих материалов.

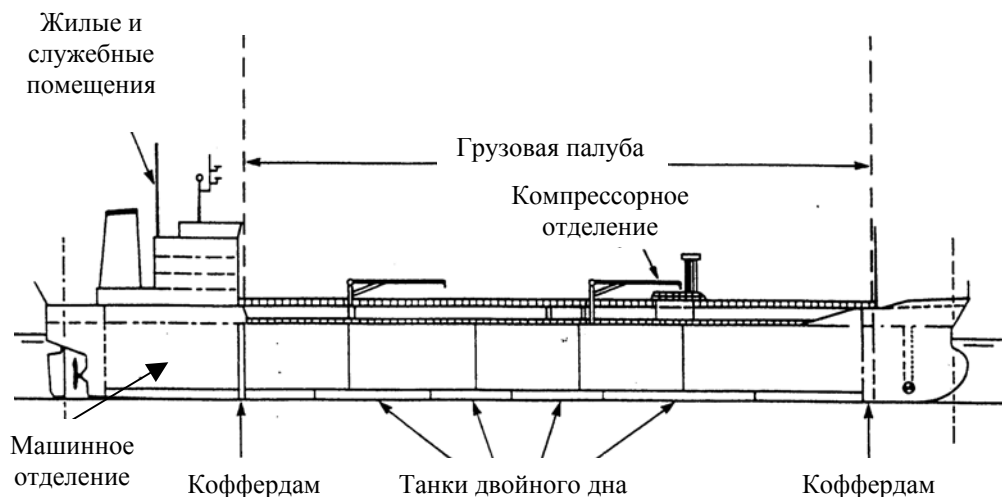


Рис. 1. Деление судна на противопожарные зоны

Пожар может возникнуть только при наличии всех составляющих пожарного треугольника, а именно:

- кислорода,
- горючего материала,
- источника воспламенения,

в одном месте и в одно и то же время

При исключении любой из этих составляющих, возникновение пламени невозможно. Поэтому при конструировании судна очень важно определить, какой из элементов пожарного треугольника и каким способом можно изолировать в различных частях судна.

Район грузовых помещений — самый опасный, в плане образования горючих материалов. Поэтому необходимо конструктивно избегать в нем образования любого источника открытого пламени. В настоящее время все силовые агрегаты на грузовой палубе газовозов, в подавляющем большинстве случаев, приводятся в движение электромоторами. Следовательно, электромоторы и любое другое электрооборудование, используемое в районе грузовых операций должны быть выполнены таким образом, чтобы исключить возможность возникновения открытого пламени или искр.

Различают 2 вида электрооборудования, которое может использоваться в районе грузовых помещений:

1.

Оборудование конструктивно безопасного типа использует обычное судовое напряжение для своего питания, но выполнено таким образом, что исключает образование искр или электрических разрядов.

Однако использование такого оборудования ограничено только его применением в системах по контролю и управлению грузовыми и другими операциями, а также в системах сигнализации. То есть такое оборудование не используется для больших токов. Такое определение не относится к электромоторам, которые используются на танкерах в качестве приводов грузовых насосов.

Например реле конструктивно безопасного типа в качестве напряжения для питания использует судовую сеть в 220 вольт, но такое реле используется только для переключения цепей с напряжением не более **12 вольт** и силой тока не более **5 мА**.

Источник питания такого реле должен находиться в месте, исключающем возникновение взрывоопасных концентраций паров груза, и защищен с помощью так называемого барьера Зенера, который состоит из специальных диодов, сопротивлений и предохранителей (рис.1). Использование оборудования без такого барьера **ЗАПРЕЩЕНО**.

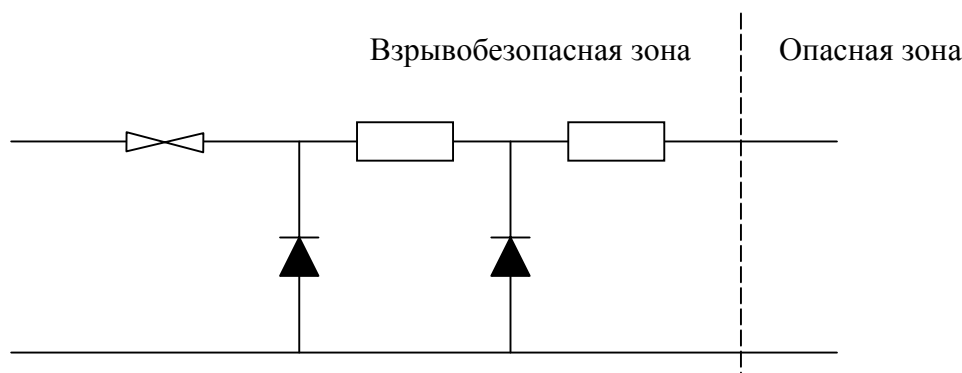


Рис. 2. Барьер Зеннера.

2.

Взрывобезопасное оборудование предусматривает такое исполнение, при котором возникновение взрыва внутри оборудования (если такое произойдет) не вызовет повреждения герметичного кожуха этого оборудования и дальнейшее распространение пламени.

Оборудование такого типа используется в качестве приводов для грузовых насосов, все соединительные кабельные коробки на грузовой палубе, выключатели и т.д. также должны быть взрывобезопасного типа.

Важно поддерживать во время эксплуатации состояние такого оборудования в соответствии с его эксплуатационными требованиями:

- Проверки физического состояния изоляции.
- Регулярных проверок сопротивления изоляции.
- Проверки плотности кабельных соединений.

Все электрическое оборудование, используемое в районе грузовой палубы должно иметь соответствующие сертификаты и обслуживаться только специалистами необходимого класса.

Запрещается отключение в процессе эксплуатации различных систем, обеспечивающих безопасность грузовых операций и безопасность судна. Если же возникает необходимость ремонта таких систем, то необходимо сделать запись в судовой журнал об их отключении на время ремонта.

Грузовое компрессорное отделение.

9. Меры безопасности на газовозах

Самое опасное место в районе грузовой палубы представляет собой компрессорное отделение. В общем случае компрессорное отделение конструктивно состоит из двух частей:

- Электромоторное отделение.
- Отделение компрессоров.

Электромоторное отделение (рис. 3) представляет собой взрывобезопасную зону, поэтому в нем допускается использование электрооборудования обычного исполнения. Взрывобезопасность электромоторного отделения достигается путем использования усиленной принудительной вентиляции помещения. За счет смены объемов атмосферы в помещении с частотой 30 объёмов в час, исключается возникновение в нем взрывоопасных концентраций паров груза.

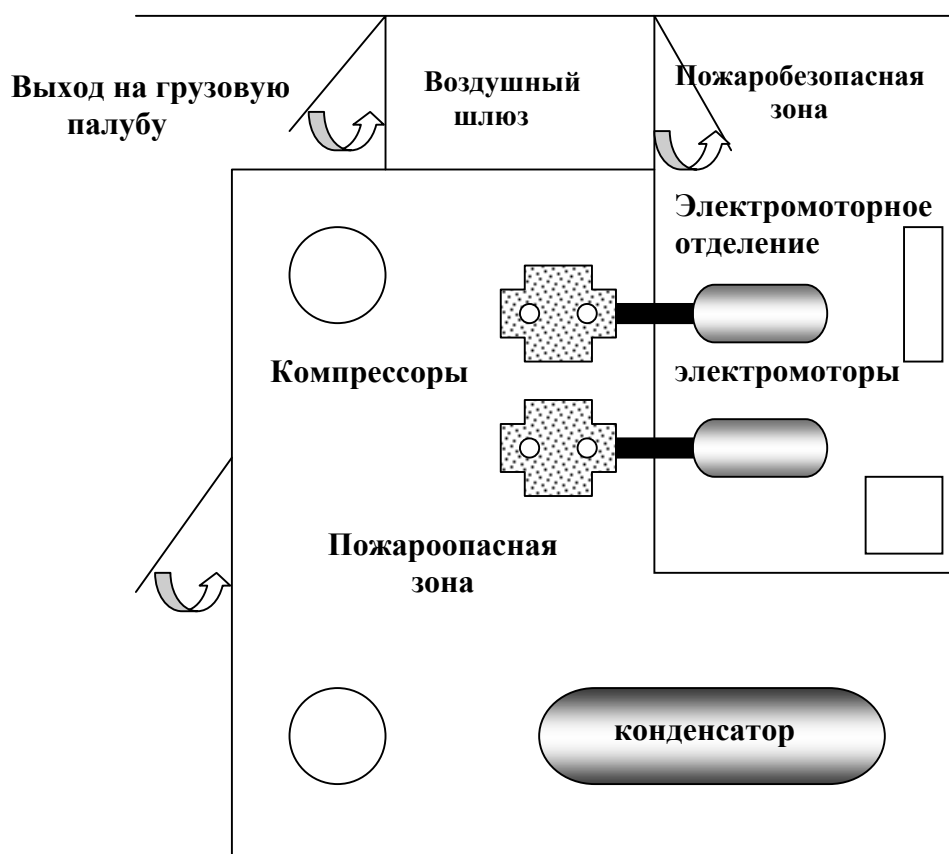


Рис. 3. Схема компрессорного и электромоторного отделений.

Вход в электромоторное помещение с грузовой палубы производится через систему воздушного шлюза. Эта система представляет собой небольшое помещение, в котором постоянно поддерживается избыточное давление. Шлюз оборудован двумя герметично закрывающимися дверями, расстояние между которыми должно быть не менее 2-х метров. При открывании одной из дверей должна срабатывать световая и звуковая сигнализация. А при открывании обеих дверей одновременно должна срабатывать световая и звуковая сигнализация и происходить обесточивание электромоторного отделения. Такая конструкция предотвращает возникновение одновременно 3-х составляющих пожарного треугольника в помещении электромоторов.

Помещение компрессоров также оборудуется усиленной принудительной вентиляцией (рис. 4), обеспечивающей смену 30 объёмов помещения в час. Такая интенсивность обмена атмосферы помещения исключает образование

взрывоопасных и токсичных концентраций паров груза и обеспечивает безопасную работу персонала.

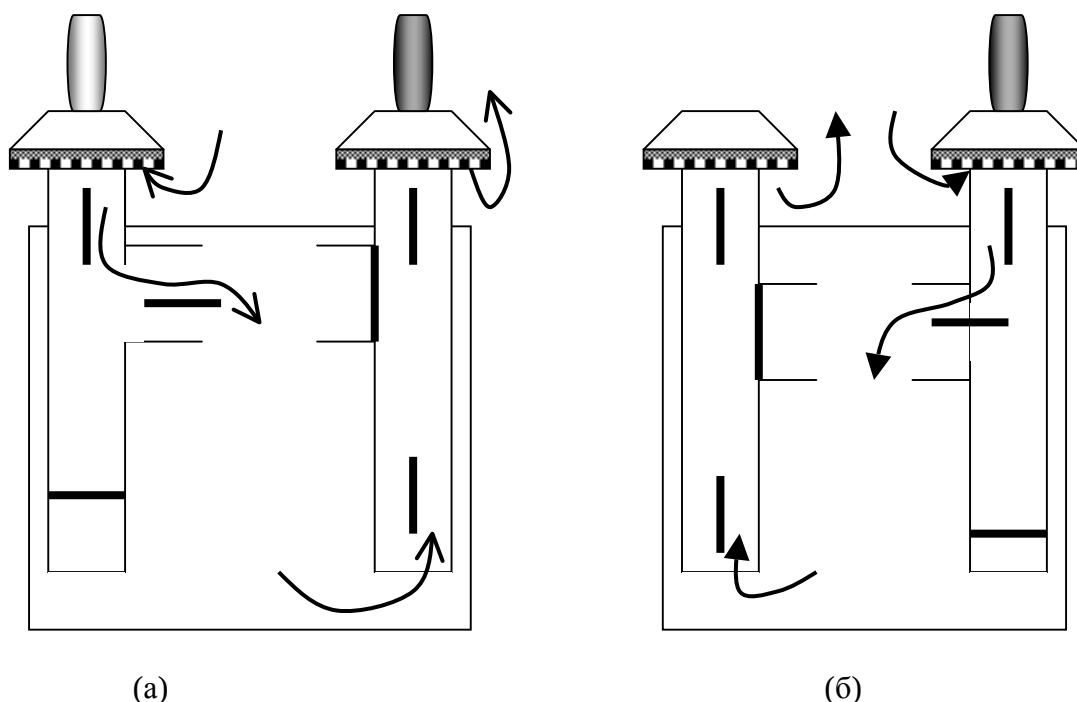


Рис. 4. Схема вентиляции компрессорного (а) и электромоторного (б) отделений.

Жилые и служебные помещения надстройки.

Помещения надстройки в которых находится великое множество источников воспламенения (персональное электрооборудование, камбузное и бытовое электрооборудование, курительные комнаты и т.д.) должны быть спроектированы таким образом, чтобы исключить возможность проникновения взрывоопасных газов внутрь помещений. Вот почему на газовозах требуется установка воздушных шлюзов при входе в надстройку и поддержка небольшого избыточного давления внутри надстройки.

Пути эвакуации экипажа также должны быть ограждены переборками из негорючих материалов.

Ограничение распространения пожара.

Ограничение распространения пожара по судну достигается делением его горизонтальными и вертикальными переборками на противопожарные зоны (рис. 1). Обычно на танкере существуют следующие конструктивно выделенные зоны:

- Помещения полубака.
- Район грузовых помещений.
- Район жилых и служебных помещений надстройки.
- Машинно-котельное отделение.

Оборудование газовоза активными средствами пожаротушения.

Прежде чем рассматривать средства активного пожаротушения, необходимо отметить еще одну особенность конструкции газовозов. Все они оборудуются аварийной остановкой грузовых насосов, которая может быть приведена в действие с помощью специальных включателей, расположенных в различных частях судна, или же автоматически. Автоматическая остановка грузовых насосов производится с помощью плавких предохранителей, которые установлены над куполом каждого танка, в районе манифолдов, в компрессорных помещениях. При нагревании вставки до 100°C она плавится, в результате чего размыкается управляющая цепь и срабатывает система аварийной остановки насосов, а также происходит автоматический запуск системы орошения.

К активным средствам тушения пожаров на газовозе относятся:

- Система водотушения;
- Система порошкового тушения;
- Система орошения;
- Системы объёмного тушения.

Остановимся немного подробнее на преимуществах и недостатках каждой из систем.

Система водотушения.

Вода является самым универсальным и самым доступным средством для тушения пожаров на судне. Огнетушащее действие воды заключается в её охлаждающем эффекте. Причем использовать её можно самым различным образом.

- Пущенная компактной струей вода позволяет сбить пламя и произвести быстрое охлаждение поверхности. Иногда, при тушении горящего газа, пущенная по ходу пламени струя воды, может сбить пламя и потушить возгорание.
- Струя воды в виде широкого конуса является идеальной защитой для персонала, производящего тушение пожара.
- Распыление воды над раскаленной поверхностью способствует охлаждению поверхности и уменьшению содержания кислорода в области горения за счет образования пара.

Однако водой нельзя потушить горящий сжиженный газ и нефтепродукты, поскольку попадание воды в сжиженный газ вызывает усиленное его кипение и, соответственно усиленное выделение горючих паров. А при попадании воды на поверхность нефтепродуктов, происходит их разбрызгивание и увеличение площади горения.

Пожарные насосы, магистрали, гидранты и система орошения.

Газовоз должен быть оборудован стационарной системой водотушения таким образом, чтобы по меньшей мере две струи воды, из разных пожарных рожков (одна из которых подаётся по цельному пожарному рукаву) доставали до любой части судна в опасной зоне (т.е. в районе грузовой палубы). Поэтому количество и размещение пожарных гидрантов, длина пожарных шлангов должны удовлетворять этим требованиям.

С целью обеспечения работы пожарной магистрали в случае её повреждения при пожаре или взрыве, на ней должны быть установлены секущие клапана. Секущие клапана на пожарной магистрали должны быть расположены через интервалы не более 40 метров.

Количество и производительность пожарных насосов должны быть достаточными, чтобы обеспечить подачу необходимого количества воды в пожарную магистраль. Запуск пожарных насосов должен осуществляться дистанционно с нескольких мест.

Все пожарные стволы должны быть комбинированного одобренного типа, т.е. иметь возможность подавать как компактную, так и распыленную струю воды.

Система орошения.

На газовозах водотушение используется дополнительно в виде системы орошения. В начальный момент возникновения пожара на газовозе использование системы орошения весьма эффективно, поскольку происходит охлаждение поверхностей и предотвращение возникновения дополнительных источников возгорания. Система запускается автоматически при нагреве специальных плавких вставок до 100°C.

Все поверхности газовоза, которые находятся в контакте со взрывоопасными грузами в процессе эксплуатации должны находиться при температуре, которая исключает самовоспламенение газов. Для того, чтобы предотвратить чрезмерный нагрев таких поверхностей система орошения должна перекрывать:

- Купола танков.
- Манифолды.
- Лобовую переборку надстройки.
- Помещение компрессоров.
- Палубные помещения, расположенные в опасной зоне.

Запуск системы орошения должен осуществляться из нескольких стратегически важных мест судна, как в районе грузовой палубы, так и за её пределами. Производительность системы орошения должна обеспечивать подачу воды с интенсивностью 10 л/мин на каждый квадратный метр горизонтальной поверхности и с интенсивностью 4 л/мин – на каждый квадратный метр вертикальной поверхности.

Система порошкового тушения.

Помимо водотушения все газовозы оборудованы стационарными системами порошкового тушения. Причем мониторы системы порошкового тушения должны быть расположены таким образом, чтобы перекрывать весь район грузовой палубы.

В качестве тушащего агента обычно используется обычная пищевая сода (бикарбонат натрия). Под высоким давлением происходит распыление порошка над поверхностью горения. Эффект воздействия порошка в следующем: при попадании порошка в зону с высокой температурой начинается процесс разложения бикарбоната натрия с большим выделением углекислого газа, за счет чего происходит снижение содержания кислорода в зоне горения. Помимо этого наличие в воздухе огромной массы твердых частиц (а для 1 кг порошка

площадь взаимодействия около 200 м²) происходит отбор тепла из зоны горения и снижение температуры.

Стоимость такой системы довольно высока. Однако её использование эффективно только в начальный момент пожара, когда еще не произошло нагревание металла до температуры, способной вызвать повторное воспламенение газа.

Порошки нетоксичны, некоррозийны, нетокопроводны, однако они гигроскопичны и склонны к комкованию.

Очень эффективно использование порошка при тушении пожаров в виде струи газа под давлением, достаточно одной атаки порошком по направлению струи и пожар потушен, однако только в том случае, если газ не соприкасается с раскаленным металлом.

Как показывает практика, порошковое тушение не обладает достаточной эффективностью для тушения горящих сжиженных газов, разлившихся по палубе.

Система порошкового тушения устанавливается на газовозах как основная система пожаротушения. Установка порошкового тушения должна обеспечивать подачу порошка под необходимым давлением как минимум на 2 ствола способных перекрыть всю опасную зону. В качестве газа, создающего давление в системе, используется азот. Система порошкового тушения должна состоять как минимум из двух установок порошкового тушения с возможностью использования как отдельно каждой установки, так и их совместного использования. Скорость подачи порошка через стационарный монитор должна быть не ниже 10 кг/сек, а через ручной ствол не ниже 3,5 кг/сек.

Судно должно иметь достаточное количество порошка для обеспечения работы всех мониторов и переносных стволов в течение 45 секунд.

Пенотушение.

Как вам известно, горит не горючая жидкость, а пары, которые образуются при её нагреве. То есть между поверхностью жидкости и пламенем существует небольшой промежуток.

Пена представляет собой скопление небольших пузырьков воздуха, заключенных в оболочку пенообразующего агента. Удельный вес пены очень мал, и это позволяет ей растекаться по горячей поверхности, образуя плотное покрытие, перекрывающее доступ кислорода.

Применяются различные виды пенных концентратов. К ним относятся:

- Стандартная протеиновая пена.
- Фтористо-протеиновая пена.
- Синтетические концентраты.
- Alcohol Resistant Foam.

**Использование стандартной протеиновой пены на газовозах-химовозах
ЗАПРЕЩЕНО!!!**

Синтетические концентраты, подразделяются в свою очередь на концентраты, образующие пену с водной пленкой (AFFF), и пенные концентраты с поверхностно-активными углеводородными добавками. Все виды концентратов пены обычно используются в виде водных растворов с концентрацией от 3% до 6% по объёму.

9. Меры безопасности на газовозах



Пена производится механическим перемешиванием воздуха, воды и пенного концентрата. Кратность пены определяется соотношением:

$$\text{Кратность пены} = \frac{\text{Объём пены}}{\text{Объём воды} + \text{объём пенообразователя}}$$

Различные виды пены классифицируются по их отношению объёмного расширения на 3 типа:

- Высокократная пена.
- Пена средней кратности.
- Пена низкой кратности.

Высокократная пена имеет кратность расширения в пределах 150:1 до 1500:1. Такая пена производится из концентратов с поверхностно-активными добавками и используется при тушении пожаров в закрытых помещениях, путем быстрого его заполнения пеной и прекращения движения воздуха. Высокократная пена не пригодна для тушения пожаров на открытых участках, поскольку существуют трудности в придании потоку пены нужного направления, к тому же она очень быстро разрушается, даже при слабом ветре.

Пена средней кратности имеет кратность расширения от 15:1 до 150:1. Такая пена производится из тех же концентратов, что и пена высокой кратности. Однако для её образования используются не воздушные вентиляторы (как в случае высокократной пены) а струя воды. Но даже при умеренном ветре происходит рассеивание данной пены.

Пена низкой кратности имеет кратность расширения от 3:1 до 15:1. Производится такая пена из концентратов на основе протеина или синтетических концентратов и может применяться при тушении пожаров в танках или же при тушении растекшейся нефти при помощи стационарных и переносных мониторов и стволов. Пена может подаваться на значительное расстояние, при этом не происходит её разрушения ветром. Различные концентраты пены, в принципе, несовместимы друг с другом, поэтому их не следует смешивать между собой.

Почти все виды концентратов совместимы с сухим химическим порошком, что позволяет использовать их совместно или последовательно при тушении пожаров.

Никогда не используйте одновременно пену и водотушение, поскольку вода разрушает пену.

Обычная пена не может использоваться для тушения веществ на основе спиртов или веществ, которые растворяются в воде. Многие химические вещества бурно реагируют с водой (кислоты, щелочи и др.), что также приводит к разрушению обычной пены. Для тушения пожаров на газовозах-химовозах используется исключительно **Alcohol Resistant Foam**.

Пенообразующие агенты с водной пленкой, дают очень устойчивую пену, которая успешно используется для тушения горящих жидкостей. Поверхностное натяжение пузырьков пены в таком пенообразователе уменьшается за счет добавления различных присадок и аддитивов. Название

таких пенообразователей **Light Water**, они создают высокопрочную пену и обладают хорошей перекрывающей способностью, поэтому используются при тушении пожаров типа «А».

Производительность подачи пены должна быть не менее 10 л/мин, причем лафетный ствол должен обеспечивать подачу пены с производительностью не менее 1.250 л/мин. Производительность же ручного пенного ствола должна быть не меньше, чем 400 л/мин.

Так как при длительном хранении, воздействии высокой температуры, пенообразователь может образовывать осадок и разрушаться существуют требования о ежегодной проверке качества пенообразователя береговыми службами.

Системы объёмного тушения.

Применяется для объёмного тушения пожаров в ограниченных пространствах (в машинном отделении в помещении компрессоров). В качестве тушащего агента используется фреон (в настоящее время запрещен к использованию), углекислый газ или некоторые галогенуглеводороды (хладоны).

Система объёмного тушения может быть запущена **только вручную**. При этом предусматривается включение предупредительной сигнализации в помещении, куда будет подаваться тушащий агент.

Тушение углекислым газом эффективно при использовании его в помещениях, объём которых не превышает 1000 м³. Для успешного тушения концентрация углекислого газа в помещении должна быть не менее 28% по объёму. При этом следует помнить, что при содержании углекислого газа в атмосфере помещения свыше 10% по объёму у человека наступает потеря сознания и паралич нервной системы.

Огнетушащее действие хладонов заключается в том, что они действуют как химические ингибиторы пламени. При добавлении хладона в газовую смесь, эта смесь становится негорючей, даже при незначительных концентрациях хладона:

Название агента	Температура кипения, °С При атмосферном давлении	Пиковая концентрация, % По объёму
114 В2	47,5	3,22
11 В1	-57,8	4,9
12 В1	-4,0	5,2
Углекислый газ	-78,5	28
Азот	195,5	42

Рис. 5. Таблица пиковых концентраций огнетушащих агентов.

Как можно видеть, огнетушащие способности хладонов на порядок выше, чем инертных газов. Более того, ПДК хладонов в 5-10 раз выше, чем их огнетушащая концентрация. Однако для снижения токсичности хладонов их следует вводить в атмосферу помещения очень быстро.

Переносные средства пожаротушения.

К переносным средствам пожаротушения относятся:

- Переносные огнетушители различных типов;
- Противопожарные одеяла или покрывала, пропитанные специальным составом;
- Песок;
- Ручной и механизированный инструмент.

В соответствии с международными требованиями каждый газовоз должен быть оснащен достаточным количеством комплектов снаряжения пожарного, однако в дополнение к снаряжению пожарного, каждое судно



должно иметь на борту необходимое количество и защитной одежды, используемой при грузовых операциях (газонепроницаемые костюмы и дыхательные аппараты).

Комплект снаряжения пожарного должен включать:

- Дыхательный аппарат с объемом воздуха в баллонах не менее 1.200 литров;
- Комплект защитной одежды пожарного, включая сапоги, перчатки и шлем;
- Страховочный конец с металлическим сердечником;
- Взрывобезопасный фонарь;
- Пожарный топор;
- Комплект запасных баллонов к дыхательному аппарату.

Правила оснащения судна противопожарным оборудованием и инвентарем в СОЛАС 74 и Газовом Кодексе. Особое внимание следует уделять при перевозке особо опасных грузов дополнительным требованиям по наличию на борту защитного и противопожарного оборудования. Поскольку, как правило, минимальные требования по оборудованию судна такими средствами должны соответствовать

наиболее строгим требованиям.

Переносные порошковые огнетушители.

Переносные порошковые огнетушители используются в тех районах, где применение ручных огнетушителей будет недостаточным и где требуются быстрые и эффективные действия при тушении пожара. Такие аппараты используются в машинных отделениях, компрессорных отделениях и других специальных местах.

Объем таких огнетушителей обычно 50 литров и в качестве подающего газа используется азот. Устанавливаются такие мобильные огнетушители на специальную тележку, что обеспечивает их легкую транспортировку к месту пожара. Количества порошка (50 кг) достаточно для проведения 45 секундной атаки.

Дыхательные аппараты.

Рассмотрим некоторые специальные требования к персональному противопожарному оборудованию. Прежде всего – дыхательные аппараты.

Объём воздуха в баллонах дыхательного аппарата должен обеспечивать работу в загазованном помещении не менее чем в течении 20 минут. Такое требование основано на наиболее трудных условиях работы в аппарате при расходе воздуха 80 литров в минуту. Средний же расход воздуха принимается равным **60** литров в минуту.

Каждый дыхательный аппарат должен иметь такое количество запасных баллонов, чтобы обеспечить работу аппарата в течение 2-х часов (7.200 литров сжатого воздуха), включая использование первоначально установленных баллонов. То есть для нашего случая необходимо дополнительно 4 запасных баллона к аппарату. Взамен запасных баллонов может использоваться специальный компрессор с комплектом шлангов для снабжения воздухом. Такой компрессор должен обеспечивать подачу воздуха, достаточного для работы двух человек в течение 1 часа без использования воздуха, находящегося в баллонах дыхательного аппарата.

Обычно дыхательные аппараты имеют один 7 литровый баллон с давлением 300 бар или 2 х 4-х литровых с давлением воздуха 200 бар.

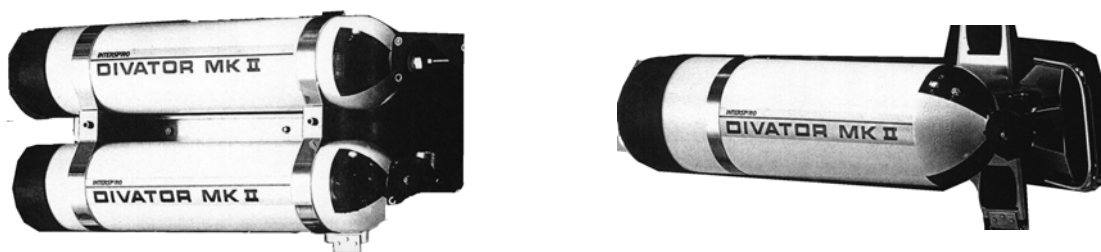


Рис. 6. Двух- баллонный и одно-баллонный дыхательные аппараты

При использовании аппаратов очень важно правильно дышать, чтобы максимально использовать возможности аппарата. Дыхание должно быть спокойным и ровным. Человек в минуту производит в среднем 10-12 вдохов, при объёме легких в 4 литра, расход воздуха составит 40-48 литров в минуту. Однако этот расход меняется в зависимости от физического и психического состояния человека. Ниже приведен примерный расход воздуха при различных условиях:

Состояние человека	Расход воздуха
Полный покой	8-10 литров /мин
Неподвижное сидение	15-25 литров /мин
Ходьба	40-50 литров /мин
Медленный бег	60-70литров /мин
Кратковременное сильное напряжение	70-100 литров /мин

Рис. 7. Таблица среднего расхода воздуха человеком в различных условиях.

По международной системе подсчета теоретического рабочего времени аппарата, средний расход воздуха принимается равным 40 литров в минуту.

Резервное время также включено в указанный расчет.

Сигнализация аппаратов устроена таким образом, что оповещение о низком давлении в цилиндрах происходит тогда, когда в баллонах остается 280-300 литров воздуха, такого количества достаточно на 7-10 минут.

Очень важно, чтобы при использовании аппаратов ответственное лицо (командир аварийной партии) фиксировало время включения аппарата, давление в баллонах.

Комплекты снаряжение пожарного и дыхательные аппараты с запасными баллонами должны находиться в специально оборудованных легкодоступных, промаркированных надлежащим образом помещениях.

Однако несмотря на то, что судно оснащено самыми современными и эффективными средствами пожаротушения, главным фактором в борьбе с пожарами был и остается экипаж судна. Поэтому наиболее важными мероприятиями по предотвращению пожаров на судах являются организационные мероприятия.

Организационные мероприятия по пожаробезопасности.

Такие мероприятия включают в себя профилактические меры и подготовку экипажа к борьбе за живучесть судна. Профилактические меры включают в себя определение мер по пожарной безопасности и строгий контроль за их соблюдением. Прежде всего необходимо минимизировать возможность возникновения пожаров. Для этого на танкерах существуют меры по ограничению и запрещению использования открытого огня и переносного электрического оборудования и инструментов.

План размещения противопожарного оборудования.

Все аварийно спасательное и противопожарное имущество должно находиться в специально отведенных местах и помещениях. План размещения аварийно спасательного и противопожарного имущества должен отображать фактическое расположение и количества всего инвентаря и оборудования, расположение пожарных рожков и гидрантов, мониторов и ручных стволов, ящиков для хранения пожарных рукавов и т.д. и т.п.

Все оборудование обозначается на плане специальными (общепринятыми) символами. Перечень соответствия символов различным видам оборудования должен располагаться справа на плане. План размещения аварийно спасательного оборудования должен быть размещен во всех местах общего пользования на судне, но не менее одного на каждой палубе. Обязательно размещение такого плана на мостике и в машинном отделении.

Режим курения.

Курение на танкерах разрешается только в специально оборудованных помещениях, определенных для этих целей приказом капитана. Помещение курительной комнаты должно иметь:

- Отдельную систему вентиляции с возможностью её остановки в непосредственной близости от помещения;

9. Меры безопасности на газовозах

- Переборки и отделку из негорючего материала;
- Выгорожено в помещении надстройки переборками класса А-60;
- Выход только во внутренние помещения надстройки.

Если судно на ходу, то курение в надстройке может быть разрешено (в зависимости от конструктивных особенностей судна) на мостике и в радиорубке. Однако это всецело зависит от капитана.

Во время грузовых операций в порту курение разрешается только в одном помещении, которое должно быть обозначено как «Designated Smoking Area». Во время дегазации или погрузки/выгрузки особо опасных грузов курение на борту ЗАПРЕЩЕНО.

Большое внимание должно быть уделено хранению и использованию на судне зажигалок различных типов и спичек. Хранение таких вещей в каютах строго запрещено. Некоторые компании вообще запрещают использование зажигалок на судах, объясняя это возможностью образования искр при падении зажигалки. Спички, используемые на судне для курения должны быть также безопасного типа (“Safety matches”). Строго ЗАПРЕЩЕНО ношение спичек в кармане и выход с ними на грузовую палубу. Двери выходящие на главную палубу должны быть снабжены предупредительными надписями:

CHECK YOUR POCKETS !!!
NO MATCHES OR LIGHTERS ALLOWED BEYOND THIS DOOR

Использование камбузного оборудования.

Небрежное или неправильное использование камбузного оборудования, такого как печь, электросковорода, фритюрница и т.д. зачастую приводят к возникновению пожаров и ожогов. Весь камбузный персонал должен быть проинструктирован должным образом по правильному использованию камбузного оборудования, а также знать способы тушения пожаров на камбузе и расположение средств пожаротушения, аварийного выключения вентиляции и электрооборудования на камбузе.

На современных судах ввиду повышенной пожароопасности на камбузе, помещения камбуза изготавливаются в виде автономного блока, выгороженного в надстройке переборками класса А-60 с автономной вентиляцией и объёмным пожаротушением. Помещение камбуза помимо этого должно быть оснащено углекислотным огнетушителем, противопожарным покрывалом.

Необходимо проводить регулярные тренировки обслуживающего персонала по правильному использованию средств пожаротушения при ликвидации небольших возгораний на камбузе.

Использование открытого огня (Hot Works).

К "Горячим работам" относятся все работы связанные с использованием газо- и электросварки, электроинструментов или любые другие операции, в том числе и сверление и шлифовка, в процессе которых происходит чрезмерный нагрев рабочих или обрабатываемых поверхностей или усиленное искрообразование.

Проведение горячих работ в районах возможного скопления взрывоопасных газов и на грузовой палубе не дегазированного танкера **КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩЕНО.**

9. Меры безопасности на газовозах



Такие работы разрешается проводить только в специально оборудованном помещении в машинном отделении.

Горячие работы за пределами основных машинных помещений следует выполнять только в случае отсутствия условий для выполнения ремонта каким-либо другим методом.

Все горячие работы, проведение которых планируется за пределами основных машинных помещений, требуют специального разрешения. При выдаче разрешений на проведение горячих работ следует помнить, что во многих портах проведение таких работ даже в специально оборудованном помещении КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩЕНО.

В портах США при получении разрешения властей на проведение сварочных работ на борту судна (даже в основных машинных помещениях) такие работы проводятся только с разрешения и под контролем USCG.

Только капитан в праве определять, насколько обосновано проведение горячих работ за пределами специальных помещений и в каком объеме следует принимать меры предосторожности при проведении таких работ.

На грузовой палубе ЗАПРЕЩАЕТСЯ проведение любых горячих работ без согласования с оператором или судовладельцем (см. схему рис.8)

В случае проведения таких работ письменное разрешение судовладельца (копия переписки и т.д.) должны подшиваться вместе с судовой формой на проведение горячих работ.

Любое проведение горячих работ за пределами основных машинных отделения требует детального обсуждения мер по обеспечению безопасности на время работ, проведению подготовительных работ перед горячими работами и тщательной проработки порядка проведения горячих работ. В обсуждении обязательно должны принимать участия лица, которые будут обеспечивать безопасность проведения таких работ и непосредственные исполнители горячих работ.

Предусмотрена специальная форма разрешения на проведения горячих работ (рис. 9), в которой обязательно должны быть указаны лица, несущие ответственность за обеспечение безопасности и проведение горячих работ и персонал, производящий выполнение таких работ.

Предусмотрена специальная форма разрешения на проведения горячих работ (рис. 9), в которой обязательно должны быть указаны лица, несущие ответственность за обеспечение безопасности и проведение горячих работ и персонал, производящий выполнение таких работ.

Любые изменения условий, на основании которых выдано разрешение на проведение горячих работ, делают его недействительным !!!

При проведении горячих работ в районе грузовой палубы необходимо обеспечить следующие условия:

Все грузовые, топливные, отстойные танки, расположенные в радиусе 30 метров от места проведения работ должны быть дегазированы до содержания паров углеводородов менее 1 % от НПВ или же проинертизированы и герметично закрыты.

9. Меры безопасности на газовозах

Если горячие работы проводятся в грузовом танке, то днище танка должно быть очищено от шлама, ржавчины и других отложений в радиусе 10 метров от места проведения работ.

Непосредственно перед началом горячих работ необходимо еще раз проверить состояние атмосферы вместе проведения работ.

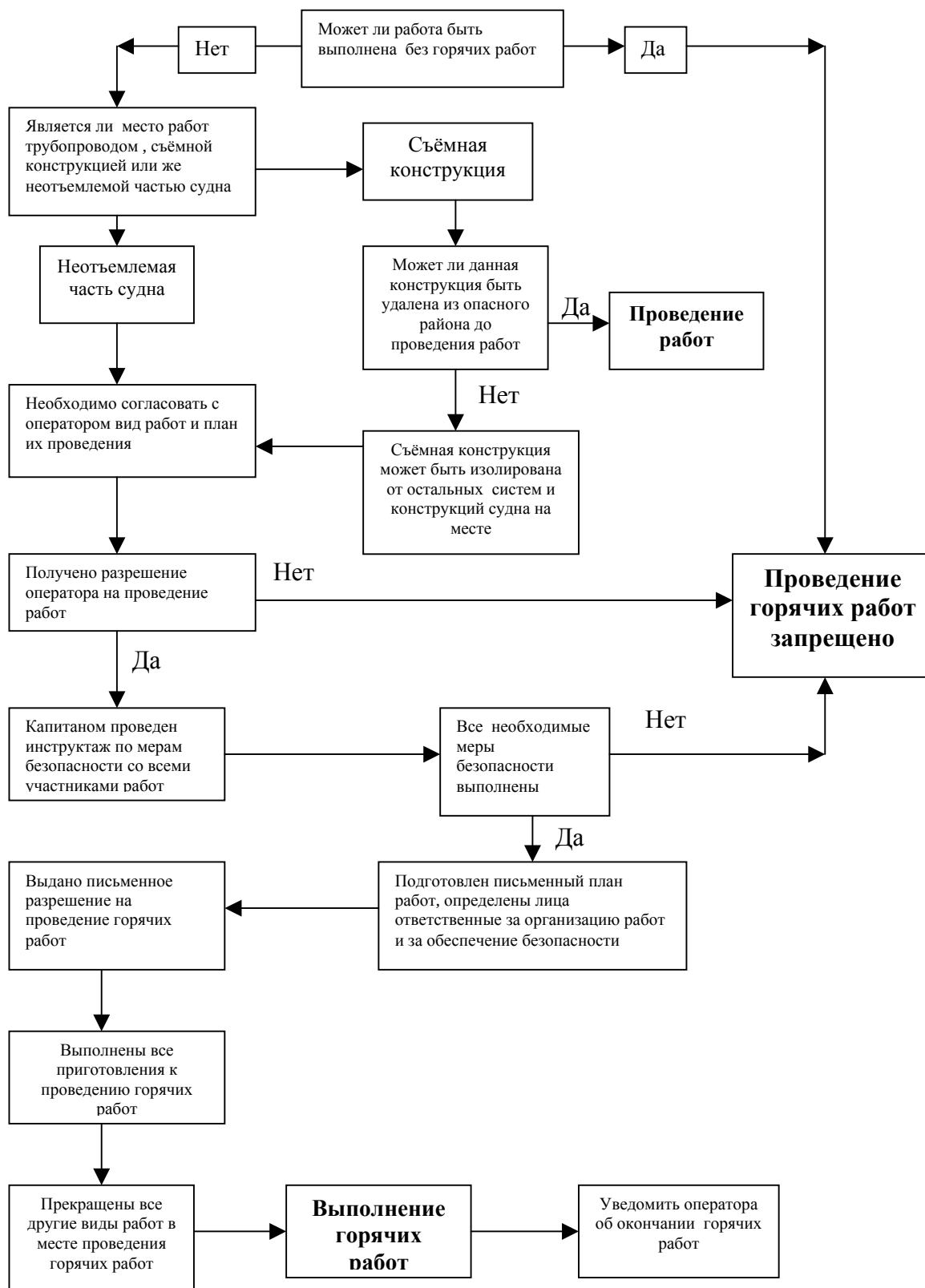


Рис. 8. Схема действий при проведении «горячих работ» на грузовой палубе не дегазированного танкера.

SAFETY

Разрешение на выполнение горячих работ

Общие положения

Раздел 1.

Время.....

9. Меры безопасности на газовозах

- 1.2. Обеспечена ли безопасность на участках, прилегающих к месту проведения горячих работ? Да / Нет
Время.....

Раздел 2.

- 2.1. Проконтролировано ли содержание углеводородов в месте проведения горячих работ с помощью детектора воспламеняющихся газов? Да / Нет
- 2.2. Прогдегазировано ли оборудование или трубопровод? Да / Нет
- 2.3. Установлены ли заглушки на трубопроводах или оборудовании? Да / Нет
- 2.4. Свободны ли трубопровод или оборудование от жидкого груза? Да / Нет
- 2.5. Обесточено ли данное оборудование? Да / Нет
- 2.6. Обеспечена ли безопасность в прилегающей зоне Да / Нет
- 2.7. Обеспечена ли дополнительная противопожарная защита? Да / Нет
- 2.8. Особые условия и дополнительные меры предосторожности.....
.....

Считаю безопасность выполнения горячих работ обеспеченной при выполнении вышеуказанного.

Подпись Капитан

Подпись.....Лицо, ответственное за организацию работ

Раздел 3.

Данная работа была завершена, весь персонал, находящийся под моим наблюдением покинул место работ, все использованное в процессе работ оборудование, разнесено по штатным местам.

Ответственный офицер Время.....Дата.....

Комментарии
к "Разрешению на выполнение горячих работ".

Общие положения.

- Время начала и окончания работ должны указываться в период рабочего времени ответственного персонала.
- Обязательно должно быть указано место проведения горячих работ.

- Описание горячих работ должно включать тип оборудования, которое будет использоваться.

Раздел 1.

Этот раздел относится ко всем опасным работам, при выполнении которых не возникает открытое пламя или продолжительное искрообразование, кроме того раздел относится к работам с использованием электрооборудования, пневмоинструментов, пескоструйного и механизированного обдирочного или ударного инструмента, а также работы по перемещению материалов или оборудования над или вблизи работающих механизмов.

Раздел 2.

Требования этого раздела распространяются на все горячие работы, при выполнении которых происходит высокотемпературный нагрев, образуется открытое пламя, электрическая дуга или продолжительное искрообразование и т.п.. Такой тип работ включает, но не ограничивается, сварочными работами, работами по отжигу, работой со шлифовочным инструментом и пр..

Контрольные проверки атмосферы в месте работ следует производить непосредственно перед началом горячих работ и осуществлять замеры на регулярной основе через незначительные промежутки времени на протяжении всего периода выполнения работ.

Рис. 9. Примерная форма разрешения на горячие работы

Пескоструйные работы и использование инструментов с механическим приводом.

Следует отметить, что выполнение пескоструйных работ и использование инструментов с механическим приводом (за исключением сверлильных и шлифовальных или отрезных машин) обычно не относится к горячим работам. Однако выполнение этих работ также требует соблюдения мер пожаробезопасности и выдачи специального разрешения на их проведение.

Использование же ручного инструмента, такого как обдирочные молотки, щетки и скребки может быть допущено без выдачи разрешения на проведение горячих работ. Однако меры безопасности, при проведении таких работ должны соответствовать правилам пожаробезопасности. Использование так называемого «неискрящего инструмента» нецелесообразно и нежелательно из-за его низкой эффективности и того, что в процессе работы, такие твердые частицы как бетон, песок, окалина могут внедряться в рабочую поверхность инструмента и впоследствии образовывать искры. Поэтому любые работы в районе грузовой палубы необходимо производить в контролируемых условиях. Для этих целей используется "Разрешение на проведение холодных работ".

Разрешение на выполнение холодных работ

Данное разрешение используется при выполнении любых работ, не вызывающих значительное повышение температуры, которое может привести к воспламенению горючих газов, паров груза или жидкостей в месте проведения работ и в примыкающих к ней зонах.

Общие положения

Данное разрешение действительно с час Дата.....

по..... час Дата.....

Место выполнения холодных работ.....

Выдано ли разрешение на вход в закрытое помещение.....Да \ Нет

Описание работ.....

Персонал, привлеченный к выполнению работ.....

Офицер, обеспечивающий контроль за проведением работ.....

Раздел 1.

Подготовка и контроль осуществляемые офицером, обеспечивающим проведение холодных работ.

1.1.Оборудование / трубопровод подготовлены следующим образом:

Провентилировано в атмосферу Да / Нет
 Промыты водой Да / Нет
 Осушены Да / Нет
 Продуты Да / Нет
 Иное.....

1.2.Оборудование/трубопровод изолированы от систем следующим образом:

Трубопроводы заглушены Да / Нет
 Клапана закрыты Да / Нет
 Магистраль отсоединены..... Да / Нет
 Иное.....

1.3.Свободно ли оборудование от:

9. Меры безопасности на газовозах

SAFETY

Газа..... Да / Нет
Нефтепродуктов Да / Нет
Давления Да / Нет
Паров Да / Нет
Сероводорода Да / Нет

1.4.Свободна ли от опасностей прилегающая к месту работ зона ? Да / Нет

1.5.Если работы проводятся на электрооборудовании, отключено ли его питание?.....Да / Нет

Раздел 2.

Необходимая информация и инструктаж персонала, выполняющего холодные работы

2.1.Должны быть использованы следующие средства индивидуальной защиты и защитная одежда.....

2.2.В процессе эксплуатации оборудование или трубопровод содержали следующие материалы:.....

2.3.Предполагается, что при вскрытии оборудования внутри него могут присутствовать следующие материалы:.....

2.4.Особые условия и меры предосторожности:.....

Считаю, что при перечисленных выше условиях безопасность выполнения холодных работ обеспечена:

Капитан Подпись.....

Ответственный офицер.....Подпись.....

Раздел 3.

Перечисленные выше холодные работы были завершены, весь персонал, выполнявший работы, покинул место проведения работ, все оборудование, использованное в процессе работ, разнесено по штатным местам.

Ответственный офицер.....время.....дата.....

Комментарии к "разрешению на холодные работы"

- Время начала и окончания работ должно укладываться в рабочее время ответственного и обеспечивающего лиц командного состава.
- Должно быть указано конкретное место проведения холодных работ и описание самих работ.
- Описание холодных работ должно содержать перечень оборудования, рекомендованных к использованию при выполнении холодных работ.
- Данное разрешение используется, но не ограничивается перечнем, при выполнении следующих работ:
 1. Установка и снятие заглушек.
 2. Отсоединение/присоединение трубопроводов.
 3. Установка/снятие клапанов, экранов, фланцев и пр.
 4. Работа с насосами и другими палубными механизмами.
 5. Ликвидация последствий разливов.

Рис.10. Примерная форма разрешения на проведение холодных работ

Использование алюминиевого оборудования.

Любое оборудование из алюминия не должно перемещаться по палубе таким образом, чтобы оставался след алюминия на стали. На ржавчине такой след может представлять значительную опасность, поскольку при сильном нажатии или легком ударе по такому следу может возникнуть искра, достаточная для воспламенения взрывоопасной концентрации. Поэтому рекомендуется алюминиевые поверхности используемого оборудования (лестницы, треноги и т.д.) защищать пластиком или деревом.

Самовозгорание.

Некоторые материалы способны возгораться без подвода дополнительного тепла. Такие материалы как мокрая или промасленная ветошь, пакля, вата или другие обтирочные материалы могут представлять опасность при определенных условиях хранения. Под воздействием процессов гниения и окисления происходит постепенный нагрев этих материалов до температуры воспламенения. Поэтому грязные обтирочные или мокрые материалы не должны храниться в непосредственной близости от мест хранения красок, растворителей, масел и т.д.

Многие вещества, используемые для чистки котлов, представляют собой сильнейшие окислители, и их попадание на различные обтирочные материалы может усилить их способность к самовозгоранию.

Самовоспламенение.

Протечки или разлив нефтепродуктов при попадании их на горячую поверхность могут воспламениться без внешнего источника открытого огня. Такие случаи зачастую вызывают серьезные пожары в машинном отделении. Поэтому состояние изоляции топливных трубопроводов должно находиться под постоянным контролем. Участки изоляции, пропитанные нефтепродуктами, должны быть удалены. При обнаружении протечек топлива, которые могут привести к попаданию его на горячую поверхность, должны быть приняты немедленные действия по устранению протечек.

Использование переносного радио и электрооборудования.

Особое внимание должно уделяться использованию переносного радио и электрооборудования. Запрещается использование переносных радиоприемников и магнитофонов, фотоаппаратов со вспышкой и кинокамер в местах возможного скопления взрывоопасных газов. При проведении грузовых операций разрешается использовать только переносные аккумуляторные фонари и портативные радиостанции только одобренного взрывобезопасного типа (маркировка EX). Переносные радиостанции и фонари должны иметь сертификаты или соответствующую маркировку, подтверждающую их пригодность к использованию в районе грузовой палубы.

Портовые правила.

Очевидно, что безопасное и быстрое осуществление погрузочно-разгрузочных операций является основным мерилом эффективности работы судна и в таком проведении грузовых операций заинтересованы и экипаж судна и береговой персонал. Поэтому большинство терминалов имеют свои собственные правила по обеспечению безопасности грузовых операций при стоянке судна у причала и взаимодействию судна и терминала. При этом подразумевается, что, прежде всего, должны быть выполнены международные, национальные и местные правила. Ответственность за выполнение этих правил возлагается и на терминал и на судно.

Обычно, правила, установленные терминалом довольно просты и судно может легко им следовать. Обязанностью судовой администрации является своевременный запрос агента или портовых властей относительно особых правил при стоянке судна у того или иного терминала. Некоторую информацию можно найти также в «Guide to Port Entry» и в различных инструкциях операторов и судовладельца. Многие компании снабжают суда справочниками, содержащими специальные требования, предъявляемые некоторыми терминалами.

Вся информация относительно груза обычно предоставляется оператором или грузоотправителем. Перед погрузкой необходимо произвести инструктаж экипажа об основных физических и химических свойствах груза, предъявленного к перевозке, его опасностях и мерах по борьбе с пожарами и

разливами груза. Такая информация должна быть доступна всем членам экипажа и различным инспекторам.

После окончания швартовки судна, перед началом любых действий по подготовке судна к приему груза, судном и представителем терминала должен быть заполнен и подписан проверочный лист (Tanker Safety Check List). Все вспомогательные операции должны быть оговорены до начала грузовых операций.

Многие терминалы запрещают совмещать бункеровочные и грузовые операции, некоторые терминалы не разрешают принимать плавучие средства к борту судна. Во многих портах доставка продуктов к борту судна также запрещена. Поэтому при планировании стояночных операций необходимо учитывать все эти факторы. Ремонт судовой силовой установки или других механизмов и устройств, которые ограничивают маневренность судна, при проведении грузовых операций ЗАПРЕЩЕН. Очень важно по окончании швартовки заземлить судовые антенны передатчиков и обесточить судовые радары. Многие рутинные судовые работы также запрещены при стоянке судна у причала и проведении грузовых операций (очистка палубы, покраска, вход в закрытые помещения и т.д.). Все эти ограничения должны оговариваться заранее.

Многие компании во время проведения грузовых операций (а некоторые и на все время стоянки судна в порту) требуют присутствия на борту офицера по безопасности, который обеспечивает надежную связь с берегом, контролирует ход грузовых операций и соблюдение правил безопасности. Все дополнительные требования терминала должны быть предоставлены капитану в письменном виде, и подписаны им после ознакомления.

Системы по обнаружению пожаров.

Системы по обнаружению пожаров включают в себя центральный пульт управления и сигнализации, и сеть датчиков по обнаружению дыма, огня или чрезмерного нагрева, а также ручных пожарных извещателей. Центральный пост располагается на ходовом мостике и устроен таким образом, что при срабатывании датчика или извещателя, на пульте указывается местоположение на судне этого датчика или извещателя. При этом автоматически включается сигнал общесудовой тревоги, который должен быть слышен по всему судну.

Центральный пост и система оповещения должны иметь как минимум два независимых источника питания, каждый из которых способен обеспечит надлежащую работу всей системы. Один из источников питания должен иметь возможность обеспечивать работу системы обнаружения пожара и сигнализации при выходе из строя общего судового питания.

Система обнаружения взрывоопасных газов.

Как уже было сказано, большинство газов, перевозимых морем, взрывоопасны. Это означает, что при определенных концентрациях смеси таких газов с воздухом могут воспламеняться при наличии источника открытого огня. Классификационные сообщества требуют установки на судах, перевозящих сжиженные газы, специальной системы по обнаружению взрывоопасных газов. В местах наиболее вероятных районов образования протечек газа или его скопления должны быть установлены специальные детекторы, которые

срабатывают при образовании смесей газов с воздухом в концентрации около 30% от НПВ.

К наиболее вероятным местам, где может возникать взрывоопасная концентрация газов, относятся:

- Районы грузовых танков (купола);
- Районы трюмных пространств вокруг грузовых танков;
- Грузовая палуба;
- Помещение компрессоров;
- Различные помещения в районе грузовой палубы;
- Электромоторное отделение;
- Машинное отделение.

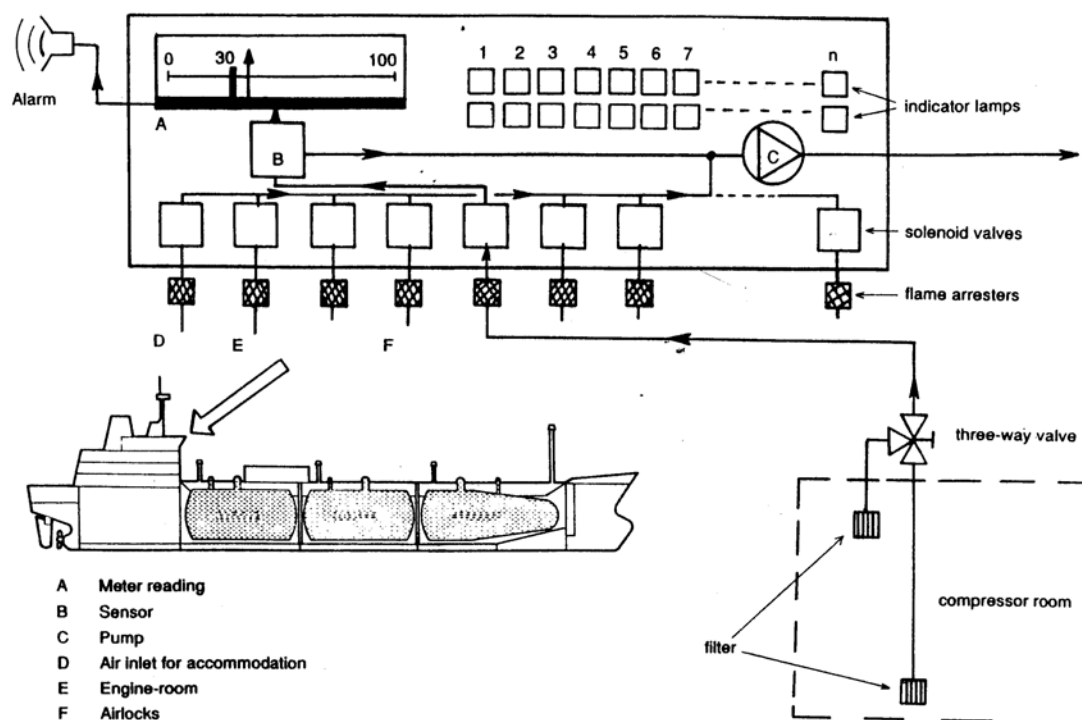


Рис.11 Стационарная система газового анализа.

Автоматическая система обеспечивает отбор проб и проверку содержания атмосферы вблизи мест установки датчиков в определенной последовательности с частотой, обеспечивающей отбор проб из каждой точки не реже чем через 30 мин. При достижении концентрации газов 30 % от НПВ должна срабатывать сигнализация.

Вход в закрытые помещения.

В процессе эксплуатации танкера очень часто (мойка танков, ремонтные работы, осмотры и инспекции) возникает необходимость посещения так называемых «закрытых помещений». Закрытое помещение – это помещение, имеющее любую из следующих характеристик:

- Ограниченные по размеру отверстия для входа и выхода;

- Неблагоприятную естественную вентиляцию;
- Помещение не предназначено для продолжительной рабочей деятельности.
Закрытые помещения включают в себя, но не ограничиваются этим:
- Грузовые танки;
- Танки двойного дна;
- Балластные танки;
- Насосные отделения;
- Компрессорные отделения;
- Коффердамы;
- Пустые пространства (VOID SPACES);
- Коробчатые кили;
- Разделительные пространства;
- Картеры двигателей;
- Отстойные и бытовые танки (Domestic tanks).

В атмосфере любого закрытого помещения может быть недостаток кислорода, и она может содержать воспламеняющиеся или опасные газы и пары. Причем такая же атмосфера может оказаться и в помещении, которое ранее было безопасным, а также в помещениях сопряженных с грузовыми танками и системами.

Компетентное лицо – лицо командного состава, с достаточным теоретическими знаниями и практическим опытом, способное производить обоснованную оценку возможного наличия или последующего образования опасной атмосферы в закрытых помещениях.

Ответственное лицо – лицо старшего командного состава, уполномоченное разрешать доступ в закрытое помещение и имеющее достаточное знание процедур, подлежащих выполнению.

Оценка риска.

Для обеспечения безопасности персонала, производящего работы в закрытых помещениях компетентное лицо всегда должно производить предварительную оценку любых потенциальных опасностей в помещении, куда собираются войти люди, принимая во внимание перевозимый ранее груз, вентиляцию помещения, защитное покрытие помещения и другие соответствующие факторы. Определяется также возможность наличия в атмосфере помещения ядовитых или опасных паров и газов, наличие кислорода. Процедуры по входу в закрытое помещение будут зависеть от того:

- Имеется ли минимальный риск здоровью и жизни персонала, входящего в помещение;
- Риск здоровью и жизни людей может возникнуть в ходе работ в помещении;
- Определен риск здоровью и жизни.

Риск и угроза жизни определяются, прежде всего, анализом атмосферы помещения:

- Недостаточное содержание кислорода;
- Опасная концентрация ядовитых паров и газов, которая может привести к мгновенной потере сознания или даже смерти;
- Незначительные концентрации ядовитых и вредных веществ, которые могут привести к острым или хроническим отравлениям организма;

9. Меры безопасности на газовозах



- Взрывоопасные концентрации паров и газов воспламеняющихся веществ (углеводородов, угарного газа, сероводорода);
- Вторичные источники опасности (скользящая поверхность, недостаточное освещение, повышенная температура и повышенный уровень шума).

Необходимо помнить, что ВХОД В ЗАКРЫТЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ САМ ПО СЕБЕ ВЫЗЫВАЕТ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, даже если и помещение безопасно для входа, а наличие вторичных источников опасности делает это помещение вдвойне опасным.

Недостаток кислорода.

Человек, находясь в атмосфере с низким содержанием кислорода, может неожиданно потерять сознание, в течении нескольких минут после этого происходит нарушение мозговой деятельности и возникает угроза летального исхода. При недостатке кислорода может и не произойти потери сознания, но может возникнуть состояние апатии и замедленность движений, если при возникновении этих симптомов не эвакуировать его из помещения с низким содержанием кислорода, то в, конечном итоге, физическое истощение приводит к еще большему ослаблению умственной деятельности. Дыхание становится частым и глубоким. При этом человек не распознает опасность до тех пор, пока он не станет настолько слабым, что не сможет выбраться из помещения без посторонней помощи.

При концентрации кислорода менее 5% человек сразу же теряет сознание, если искусственное дыхание не будет сделано в пределах 4-х минут с момента потери сознания, то происходит необратимое нарушение мозговой деятельности. Более продолжительная задержка приводит к смерти.

Если в атмосфере помещения содержание кислорода менее 20%, то происходит нарушение физиологической деятельности, притупление сознания и нарушение координации движений. Длительное нахождение в такой атмосфере может привести к необратимому нарушению мозговой деятельности. Воздействие на человеческий организм атмосферы с недостаточным содержанием кислорода, более опасно, чем воздействие некоторых токсичных газов, в том числе паров углеводородов.

Некоторые грузы и вещества, не представляя никакой опасности сами по себе, могут привести к значительному снижению содержания кислорода в атмосфере помещения из-за различных химических реакций, протекающих в этих веществах.

- Самонагревание;
- Окисление металлов и руд;
- Разложение растительных масел и жиров животного происхождения.

Поэтому присутствие в помещениях остатков грузов, пищевых отходов, ветоши, металлической стружки и металлического лома приводит к значительному снижению содержания кислорода в таких помещениях.

9. Меры безопасности на газовозах

Если предварительная оценка указывает на то что риск минимален и условия не изменятся в процессе работы, то вход в такие помещения может быть разрешен без ограничений.

Если же при оценке выясняется, что риск здоровью или жизни может возникнуть в процессе работы, через некоторое время после входа, то необходимо принять ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕРЫ безопасности, которые мы рассмотрим ниже.

И, наконец, в случае, если вход в закрытые помещения, представляет риск здоровью или жизни персонала, то принимаются ОСОБЫЕ МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ.

Разрешение на вход.

Необходимо усвоить раз и навсегда, что нарушение соблюдения простых процедур может неожиданно для входящего в закрытое помещение привести его в бессознательное состояние:

Ни одно лицо не должно открывать или входить в закрытое помещение, если оно не получило разрешения от капитана или ответственного лица и не выполнив соответствующие процедуры безопасности, предписанные для данного судна.

Вход в такие помещения должен быть обязательно спланирован, рекомендуется использовать систему разрешения входа, которая может включать в себя использование контрольного перечня проверок. Разрешение на вход подписывается капитаном или другим ответственным лицом и заполняется тем, кто собирается войти в помещение.

Общие меры предосторожности.

Прежде всего, капитан или ответственное лицо должны установить, что обеспечены следующие меры:

1. Потенциальные опасности, которые могут возникнуть в закрытом помещении, определены и по возможности изолированы или удалены.
2. Помещение тщательно провентилировано естественным или механическим способом для удаления любых воспламеняющихся или ядовитых газов и обеспечения достаточного содержания кислорода в атмосфере.
3. Атмосфера помещения проверена соответствующим образом при помощи откалиброванных инструментов и приборов на предмет наличия воспламеняющихся и ядовитых газов и содержание кислорода.
4. Помещение приведено в безопасное для входа состояние и освещено надлежащим образом.
5. Согласована и проверена система связи между всеми сторонами для использования во время входа.
6. Выставлен вахтенный у входа, остающийся там на все время проведения работ.
7. Спасательное оборудование и реанимационное оборудование подготовлены к использованию и находятся у входа в помещение. Согласованы меры и устройства по спасанию.

8. Персонал надлежащим образом одет и экипирован для входа и последующих работ.
9. Выдано разрешение, позволяющее вход в закрытое помещение.

Только подготовленный персонал допускается ко входу в помещение, для обеспечения наблюдения у входа и для проведения спасательных операций. Экипаж должен периодически проходить учения по спасанию из закрытых помещений и оказанию первой помощи. Все оборудование, используемое для входа в закрытые помещения, должно быть в хорошем рабочем состоянии и надлежащим образом осмотрено перед использованием.

Проверка атмосферы.

Проверка состояния атмосферы в закрытом помещении производится хорошо откалиброванным инструментом, позволяющим произвести необходимые замеры (содержание кислорода, воспламеняющихся и ядовитых веществ). Калибровка и замеры должны производиться в полном соответствии с требованиями инструкций завода-изготовителя.

Проверка атмосферы производится до входа в помещение любого лица, а после этого регулярно до тех пор, пока все работы не будут прекращены. При необходимости проверка атмосферы производится на нескольких уровнях и в нескольких точках помещения.

Для того чтобы атмосфера закрытого помещения была признана пригодной для входа, необходимо чтобы были получены устойчивые показания:

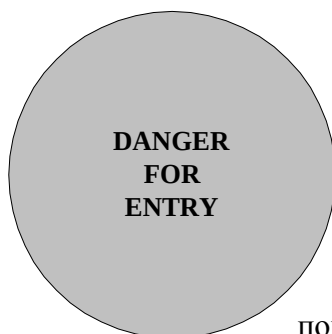
- Содержание кислорода по объёму, измеренное кислородомером составляет 21%.
- Содержание воспламеняющихся газов, измеренное эксплозиметром подходящей чувствительности, составляет не более чем 1% от нижнего предела взрываемости.
- Содержание токсичных или ядовитых веществ, измеренное соответствующим прибором, находится ниже пределов Допустимой концентрации, безопасной для входа.

Если эти условия не могут быть выполнены, то необходимо использовать дополнительную вентиляцию и через некоторое время повторно проверить атмосферу помещения.

Любая проверка атмосферы помещения должна проводиться при остановленной искусственной вентиляции, для получения точных показаний приборов.

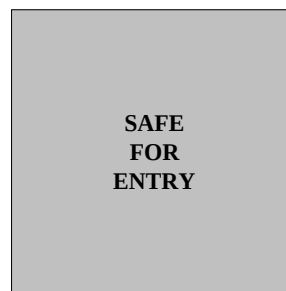
Следует иметь ввиду, что проверка на воспламеняемость не дает подходящего средства для измерения токсичности, и наоборот. Необходимо учитывать также то, что помещения могут иметь непроветриваемые карманы, где происходит скапливание газа или же содержание кислорода может быть ниже нормы. Наличие таких мест всегда должно учитываться, даже если помещение было признано годным для входа.

Необходимая маркировка и предупредительные надписи.



Даже несмотря на выставленного у входа в помещение вахтенного, необходимо обозначать помещение для входа и его состояние, тем или иным образом. Помещение небезопасное для входа обычно обозначается табличкой **красного** цвета с надписью “DANGER FOR ENTRY”. Такая табличка должна быть помещена у входа в закрытое помещение до того как произведена проверка атмосферы помещения или же работы прекращены или прерваны, а также, если остановлена принудительная вентиляция помещения. Т.е. в любых случаях, когда вход в помещение не контролируется или становится опасным. Если атмосфера в помещении была приемлемой и безопасной, но входное отверстие было прикрыто на какой-нибудь, пусть даже короткий срок, то помещение вновь должно считаться опасным для входа.

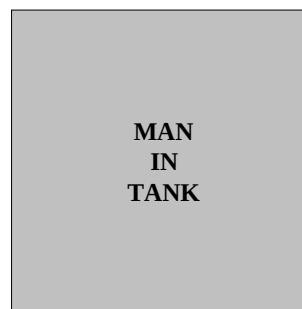
После того, как атмосфера помещения была проверена и установлено, что она является пригодной и безопасной для проведения необходимых работ в закрытом помещении **красную** предупреждающую надпись необходимо сменить на другую табличку **зеленого** цвета с надписью:



“SAFE FOR ENTRY”. Следует помнить, что при возникновении любого сомнения в безопасности атмосферы в помещении или же при выходе из строя вентиляции или освещения, эту табличку следует **НЕМЕДЛЕННО** убрать и заменить на предупреждающую надпись.

Помещения с инертной атмосферой внутри, должны быть обозначены предупредительной надписью, обозначающей опасность. Очень часто свободные пространства вокруг грузовых помещений должны находиться под инертной атмосферой (инертным газом или азотом). В таком случае вход в такие помещения должен быть постоянно отмаркирован предупредительной надписью «DANGER NITROGEN» (табличка **желтого** цвета). Внешне безопасное помещение, при отсутствии в нем кислорода, может быть смертельно опасным для человека.

Любое закрытое помещение, в котором находятся люди, должно быть обозначено соответствующей табличкой **оранжевого** цвета. На табличке должно быть место для указания фамилий персонала, выполняющего работы в закрытых помещениях. Это необходимо для того, чтобы можно было точно определить сколько человек и кто именно, находятся в данном помещении. Очень важно следовать этому правилу, при выполнении рутинных и каждодневных операций, потому что именно при выполнении рутинных работ (мойка и ручная зачистка танков, инспекция грузовых танков



и пустых пространств) чаще всего и происходит пренебрежение мерами предосторожности, а, следовательно, и несчастные случаи.

Меры предосторожности при работе в закрытом помещении.

При нахождении персонала в закрытом помещении, атмосфера этого помещения должна проверяться на регулярной основе, и при возникновении опасности или ухудшении состава атмосферы, персонал немедленно инструктируется в необходимости покинуть помещение. Пока в закрытом помещении находятся люди, и в течение временных перерывов в работе (технологических и для отдыха персонала) вентиляция помещения должна непрерывно продолжаться. До входа в помещение и после перерыва, атмосфера должна быть проверена повторно. В случае же выхода вентиляции из строя весь персонал, находящийся в помещении, должен НЕМЕДЛЕННО его покинуть.

При возникновении аварийной ситуации, наблюдатель (вахтенный у входа в помещение) НИ В КОЕМ СЛУЧАЕ НЕ ДОЛЖЕН ВХОДИТЬ В ПОМЕЩЕНИЕ ДО ПРИБЫТИЯ ПОМОЩИ !!!

Очень часто чувство товарищества преобладает над здравым смыслом и чувством опасности. И наблюдающий, сломя голову, бросается на помощь своему другу, работавшему в закрытом помещении и внезапно потерявшему сознание. В результате минимальное количество пострадавших в этом случае определяется цифрой 2. А иногда, как это было в прошлом (1998) году на одном химовозе, погибло 5 человек, пытаясь спасти одного.

Дополнительные меры предосторожности при входе в помещения с небезопасной атмосферой.

Если атмосфера в помещении является или предполагается небезопасной, то вход в такие помещения осуществляется ТОЛЬКО ПРИ ОТСУТСТВИИ ЛЮБОЙ ПРАКТИЧНО АЛЬТЕРНАТИВЫ.

Вход разрешается осуществлять только для:

- Дальнейшей проверки атмосферы;
- Выполнения важнейшей работы;
- Безопасности человеческой жизни;
- Безопасности судна.

Количество лиц, входящих в помещение, должно быть минимальным, сравнимым с необходимым объёмом работ. При этом входящий персонал должен быть обеспечен подходящими дыхательными аппаратами, одобренного типа, позволяющими производить работы, как минимум, в течение 20 минут. К таким аппаратам относятся аппараты с внешним воздухопроводом и с автономным воздухомоснабжением. ЗАПРЕЩАЕТСЯ использование респираторов любого типа, поскольку они не обеспечивают подачу чистого воздуха, независимо от атмосферы помещения.

К работам в таких помещениях допускается ТОЛЬКО ПОДГОТОВЛЕННЫЙ к использованию дыхательных аппаратов персонал. На входящем должен быть надет страховочный пояс с предохранительным

9. Меры безопасности на газовозах

концом, и если это возможно, следует использовать предохранительный трос. Следует одеть соответствующую защитную одежду, особенно если имеется риск попадания на кожу или в глаза вредных и ядовитых веществ. В данном случае, рекомендации о подготовке к использованию спасательных средств, являются наиболее уместными.

Атмосфера любого помещения, содержащего опасные грузы, может создать риск здоровью или жизни лица, входящего в него. Опасности могут включать наличие воспламеняющихся, ядовитых или коррозионных паров, которые замещают кислород в помещении, остатки груза и т.д. Те же самые опасности могут возникать и в помещениях, смежных с грузовыми танками из-за протечек.

ПОМНИТЕ!!!

**НИКАКИЕ КОММЕРЧЕСКИЕ СООБРАЖЕНИЯ НЕ ДОЛЖНЫ
ПРЕОБЛАДАТЬ НАД ЗДРАВЫМ СМЫСЛОМ И ОБЕСПЕЧЕНИЕМ
БЕЗОПАСНОСТИ СУДНА И ЭКИПАЖА!!!**

ПРИМЕРНАЯ ФОРМА РАЗРЕШЕНИЯ НА ВХОД В ЗАКРЫТОЕ ПОМЕЩЕНИЕ

Данное разрешение относится ко входу в закрытые помещения и должно подписываться капитаном или ответственным лицом командного состава и заполняться лицом, направляющимся в помещение или уполномоченным руководителем группы.

Общие положения

Расположение/Наименование помещения.....

Причина для входа.....

Разрешение действительно с _____ по _____ Дата _____

Раздел 1 – Подготовка до входа (подлежит проверке капитаном или ответственным лицом) о ли помещение тщательно провентилировано.....Да/ Нет

Было ли помещение изолировано от трубопроводов и линий электропитания и оборудования в нем..... Да/ Нет

Было ли помещение по необходимости зачищено..... Да/ Нет

Была ли атмосфера помещения проверена и найдена безопасной..... Да/ Нет

Показания приборов проверки атмосферы до входа:

Кислород в % от объёма

Углеводороды в % от НПВ

9. Меры безопасности на газовозах



Токсичные газы в ppm

Ответственный офицер.....

Время.....

Обеспечены ли мероприятия по регулярной проверке атмосферы с необходимой частотой во время работ и после перерывов в работе в помещении Да/ Нет

Обеспечены ли мероприятия по непрерывной вентиляции помещения в ходе работ и в период перерывов в работе..... Да/ Нет

Являются ли доступы в помещение и его освещение достаточными... Да/ Нет

Имеется ли у входа в помещение готовое к немедленному использованию спасательное оборудование и оборудование по восстановлению жизнедеятельности..... Да/ Нет

Назначено ли ответственное лицо быть вахтенным у входа в помещение постоянно на время проведения работ..... Да/ Нет

Поставлены ли в известность ответственные за вахту (помощник, механик, донкерман) о планируемом входе..... Да/ Нет

Была ли согласована и опробована связь между всеми привлеченными к входу в помещение Да/ Нет

Предусмотрены ли процедуры на случай аварии и эвакуации и понятны ли они всему вовлеченному персоналу..... Да/ Нет

Осмотрено ли до входа в помещение все используемое оборудование и находится ли оно в хорошем рабочем состоянии..... Да/ Нет

Одет ли и экипирован весь персонал надлежащим образом..... Да/ Нет

Раздел 2 – проверка до входа (*подлежат проверке лицом, входящим в помещение или назначенным руководителем группы*)

Я получил инструктаж или разрешение от капитана или ответственного лица на вход в закрытое помещение..... Да/ Нет

Раздел 1 данного разрешения был выполнен капитаном или ответственным лицом удовлетворительно..... Да/ Нет

9. Меры безопасности на газовозах

Я согласен и понимаю процедуры связи..... Да/ Нет

Я согласен с интервалом между моими докладами в минут..... Да/ Нет

Процедуры на случай аварии и эвакуации согласованы и понятны..... Да/ Нет

Я знаю, что помещение должно быть немедленно покинуто в случае отказа вентиляции или, если проверка атмосферы покажет на изменение согласованного критерия безопасности..... Да/ Нет

Раздел 3 – Дыхательные аппараты и иное оборудование (подлежит проверке капитаном или ответственным лицом, совместно с лицом, которое должно войти в помещение)

Все входящие в помещение знают и умеют пользоваться дыхательными аппаратами..... Да/ Нет

Дыхательные аппараты были опробованы следующим образом:

- Работа вентиля и давление в воздушных баллонах..... Да/ Нет
- Звуковая сигнализация о низком давлении воздуха..... Да/ Нет
- Маска держит давление..... Да/ Нет

Средства связи опробованы и аварийные сигналы согласованы..... Да/ Нет

Весь персонал, входящий в помещение обеспечен страховочными поясами и, где практически выполнимо, предохранительными концами..... Да/ Нет

Подписи:

.....капитан

.....ответственное лицо, контролирующее вход

.....лицо, входящее в помещение (старший группы)

Раздел 4 – Записи о вошедших (подлежит заполнению лицом, контролирующим вход)

Фамилия, Имя, Отчество	Время входа	Время выхода

9. Меры безопасности на газовозах



Раздел 5 – Завершение работы *(подлежит заполнению лицом, контролирующим вход)*

	Дата	Время
Работа завершена		
Помещение закрыто способом, исключающим свободный вход в помещение		
Вахтенные помощник, механик и донкерман поставлены в известность об окончании работ		



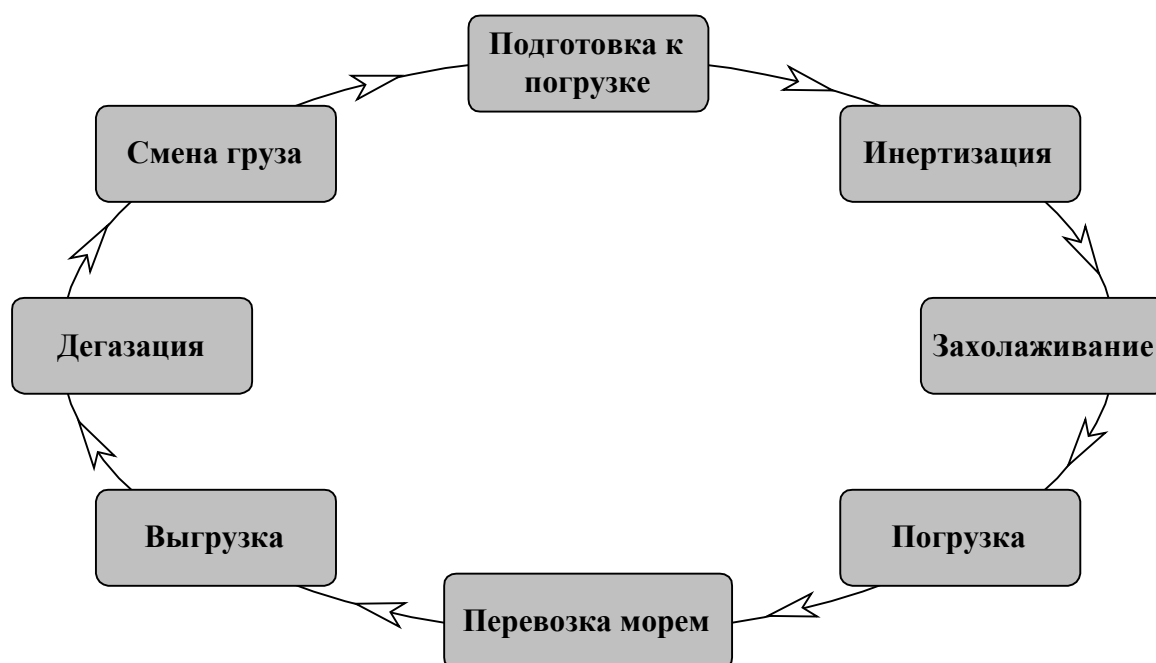
Общие положения.

Основными, характеристиками эффективности работы судна, являются его временные и количественные показатели.

Временные показатели отображают время, затраченное судном на обработку и перевозку груза, так называемую оборачиваемость танкера. Оборачиваемость танкера характеризуется, прежде всего, временем, затраченным на транспортировку груза, поскольку, именно этот временной интервал приносит прибыль. Все время, затраченное на обработку груза в порту, отображает затраты перевозчика, и не является полезной составляющей общего периода оборачиваемости танкера.

Количественные же характеристики танкера, выражаются в количестве груза, перевезенном за определенный период, и также являются мерилем той прибыли, которое судно приносит перевозчику или владельцу судна.

В общем случае, все грузовые операции, которые осуществляются на газозове, можно отобразить следующим циклом:



Рассмотрим каждую из вышеперечисленных операций несколько подробнее.

Подготовка судна к грузовым операциям.

Ещё до прихода судна в порт все подготовительные и погрузочные операции, должны быть спланированы судовой администрацией. Время стоянки судна в порту должно быть сведено к минимуму, поскольку доход судно приносит только в процессе перевозки груза, а не стоянки в порту. Это означает, что судно должно быть в полном объёме готово к предстоящим грузовым операциям и иметь заранее всю необходимую информацию о стоянке в порту.

До прихода судна в порт капитан обязан запросить через агента порта погрузки следующую информацию:

- Наименование и количество груза к погрузке (если несколько партий груза, то необходимая информация должна быть предоставлена по каждому грузу).



10. Грузовые операции

- Давление и температуру груза у приемного фланца терминала, а также любую другую информацию о грузе, которая может потребоваться.
- Размер фланцев берегового соединения и его тип (ANSI, DIN).
- Наличие на терминале и необходимость использования береговой газоотводной магистрали, а также максимальную производительность газоотвода.
- Максимальная скорость погрузки и ограничения.
- Любые специальные требования терминала при проведении грузовых операций.

Также до прихода судна производится проверка судовых систем и механизмов, обеспечивающих проведение грузовых операций и их безопасность:

- Системы аварийного закрытия грузовых клапанов.
- Системы пожаротушения.
- Опрессовка грузовых магистралей с проверкой герметичности соединений и заглушек.
- Системы обнаружения газа и аварийной сигнализации.
- Системы сигнализации предельного уровня заполнения танков.
- Предохранительные клапана выставляются на необходимое давление срабатывания.

О проведении вышеуказанных проверок делается запись в судовой журнал. Более того, до проведения грузовых операций, необходимо произвести проверку оборудования, обеспечивающего безопасность персонала:

- Палубное освещение.
- Систему вентиляции жилых и служебных помещений.
- Наличие защитной одежды и готовность дыхательных аппаратов.
- Согласование всех работ, проводимых в районе грузовых операций.
- Состояние пламегасительных сеток на системах вентиляции.
- Ознакомить экипаж с основными опасностями грузов, заявленных к перевозке.
- Проинструктировать персонал, занимающийся обработкой груза.

Грузовая система подготавливается заранее, до начала грузовых операций. Если необходимо, устанавливаются переходники на манифолдах, для подсоединения к береговым магистралям. Составляется грузовой план и производится предварительный расчет груза. Определяется время, необходимое, для подготовки к погрузке (захолаживание магистралей, танков). Определяется время на погрузку с учетом максимально возможной скорости налива. Производится инструктаж экипажа о свойствах груза и мерах предосторожности при работе с ним.

По окончании швартовки к причалу необходимо произвести следующие операции:

- Если правилами порта не требуется установка изолирующих фланцев, то до начала шланговки судно должно быть надлежащим образом заземлено.
- Производится отключение индукционной защиты корпуса судна (если установлена).
- После чего производится подсоединение береговых трубопроводов к судовым приемным фланцам.
- Производится заполнение проверочного листа (Форма проверочного листа приведена в Приложении 1).



- Совместно с представителями терминала проверяется состояние грузовых танков (давление и температура) и, если необходимо, производится отбор проб.
- Производится повторная проверка всех грузовых магистралей и систем.
- Заполняются необходимые проверочные листы подготовки судна к грузовым операциям.

Погрузка.

Грузовые операции должны начинаться только с разрешения капитана или замещающего его лица. Погрузку рекомендуется начинать с малой интенсивностью, обеспечивающей:

- Равномерное охлаждение грузовой системы и танков.
- Предотвращение гидравлических ударов.
- Правильное поступление груза и отсутствие протечек.
- Предотвращение образования статического электричества.

Температура, давление, уровень и плотность груза, находящегося в танках и трубопроводах, должны быть в пределах, соответствующих паспортным данным судна. Скорость охлаждения грузовых танков не должна превышать 5-10°C в час. В течение всей погрузки судно должно иметь достаточную остойчивость, прочность корпуса, необходимые осадки и дифферент, обеспечивающие в случае необходимости, немедленный выход в море.

Продувка газом и охлаждение дегазированных грузовых систем, находящихся при температуре окружающей среды.

Охлаждение грузовых систем, находящихся при температуре окружающей среды зависит во многом от конструкции судна и используемых материалов. Однако в любом случае при выполнении таких процедур следует придерживаться рекомендаций завода-изготовителя и хорошей морской практики.

Захолаживание танков перед погрузкой метана.

На судах для перевозки природного газа, зачастую, инертизация танков осуществляется судовой установкой инертного газа до приемлемого содержания кислорода в грузовых танках. После чего инертный газ рециркулируют через селикагелиевый осушитель до достижения точки росы от -30°C до -60°C. Такая же операция может быть проделана и с помощью теплого азота, однако в случае использования азота, стоимость её значительно возрастает.

По достижении необходимой температуры точки росы подсоединяется грузовой шланг и начинается продувка танка теплыми парами метана с температурой не ниже +10°C. Поскольку метан легче инертного газа, то его подачу целесообразно осуществлять в верхнюю часть танка. В таком случае будет происходить вытеснение инертного газа парами метана из атмосферы танков и трубопроводов. Охлаждение танка можно начинать только в том случае, если атмосфера танка не менее чем на 95 % замещена парами метана.



10. Грузовые операции

Время продувки танков занимает приблизительно 20-24 часа, а вот время их охлаждения может занять период от 36 до 48 часов. Танки должны быть охлаждены до температуры -135°C в своей экваториальной части, прежде чем можно будет начинать погрузку. Поверхность жидкости не должна достигнуть экватора танка, пока температура в этой части не будет ниже чем -145°C . Только после этого можно начинать погрузку полной скоростью. Скорость охлаждения танков зависит от требований завода-изготовителя, но обычно она колеблется в пределах от 10 до 15°C в час.

Захолаживание танков перед погрузкой этилена.

Для судов, перевозящих этилен, применяются температурные параметры захолаживания грузовых танков в соответствии с инструкциями завода-изготовителя и требованиями фрахтователя. Перед погрузкой этилена инертизация танков производится теплым азотом, поскольку инертный газ содержит в своём составе много углекислого газа ($14-15\%$ по объёму), который при температуре -60°C кристаллизуется, что может привести к блокированию трубопроводов и систем кристаллами углекислого газа. Более того, присутствие углекислого газа в этилене строго лимитировано ($2-5\text{ ppm}$).

Достижение необходимой температуры точки росы очень важно и в этом случае. Обычно требуется, чтобы перед началом погрузки грузовые танки имели температуру точки росы не выше -40°C , только после этого можно приступить к продувке танка парами этилена. Для судов перевозящих этилен нормальная скорость захолаживания танков находится в пределах 10°C в час, пока температура танка в его нижней части не достигнет $-70 \sim -80^{\circ}\text{C}$, после чего можно начинать погрузку этилена по грузовой магистрали.

Подготовка танков под погрузку химических газов.

Продувка танков азотом требуется также при перевозке бутадиена (-5°C) и винил хлорида (-14°C), поскольку содержание кислорода в инертном газе слишком велико для этих грузов.

При продувке азотом обычно не возникает трудностей для достижения необходимой температуры точки росы. При перевозке бутадиена максимальное содержание кислорода в атмосфере танков не должно превышать $0,2\%$ по объёму, а при перевозке винил хлорида, содержание кислорода не должно превышать $0,1\%$ по объёму.

Погрузка неорганических газов.

Перед погрузкой аммиака, грузовые танки и магистрали должны быть заполнены парами аммиака. Если есть такая возможность, то есть судно перевозило аммиак в предыдущих рейсах и на борту имеется достаточный запас аммиака, необходимый для продувки танков, смена атмосферы в танках, должна быть проведена в море, до захода судна в порт.

Если же судно не имеет такого запаса, танки перед продувкой должны быть продуты в порту азотом. Это вызвано тем, что при распылении аммиака через верхний распыл в момент начала погрузки, возникает высокий заряд статического электричества, что может привести к взрыву аммиака в танке,



более того, если в грузовом танке находится влажный воздух, то при подаче в танк аммиака существует реальная угроза вакуумирования танка.

Никогда не следует использовать верхний распыл при погрузке аммиака в танк содержащий воздух.

Тем не менее, очень часто аммиак грузится в танки, находящиеся под сухим воздухом. Это объясняется тем, что пары аммиака имеют довольно высокие пределы взрываемости и требуют значительных затрат энергии для их воспламенения. В последнее время такой метод погрузки разрешен только в странах Дальнего Востока. В Европе же погрузка аммиака осуществляется только под азот. Пары аммиака необходимо подавать в верхнюю часть танка, поскольку он легче воздуха. Когда атмосфера танка будет содержать не менее чем 98% паров аммиака от объёма танка, можно начинать захлаживание танка и погрузку.

Очень важно, чтобы в процессе продувки не возникло смешение аммиака с инертным газом, содержащим углекислый газ, поскольку при этом возникает химическая реакция с образованием карбонатов и карбомидов аммония. Даже если смесь аммиака с воздухом находится во взрывоопасных пределах, опасность воспламенения этой смеси гораздо ниже, чем для нефтяных газов, потому, что температура вспышки аммиака и энергия необходимая для его воспламенения на много выше, чем у нефтяных газов. Поэтому зачастую вентиляция танков после выгрузки аммиака производится воздухом.

Напротив, смесь паров углеводородов с воздухом может представлять взрывоопасную концентрацию в широких пределах, поэтому продувку танков после выгрузки углеводородов следует производить только инертными газами.

Погрузка органических газов.

Большинство органических газов – это нефтяные газы: пропан, пропилен, бутан, изо-бутан, и бутилен. Перед погрузкой этих газов трубопроводы и атмосфера танков должны быть заполнены инертным газом, азотом или же парами газов, подлежащих погрузке. При этом, следует учитывать требования фрахтователя к условиям по транспортировке газов.

Если грузоотправитель не имеет информации о максимально допустимом содержании кислорода в танках, то продувку инертным газом необходимо производить до тех пор, пока содержание кислорода в атмосфере танков и трубопроводов не будет менее 8% по объёму. В этом случае будут достигнуты общепринятые требования в обеспечении взрывобезопасности грузовых помещений.

Погрузку LPG можно начинать под инертный газ или азот. Если инертный газ в танке имеет температуру точки росы +5°C, то при погрузке пропана происходит отделение воды на границе пропан - инертный газ. Вот почему важно, при продувке танков под погрузку LPG использовать надлежащим образом «эффект поршня», который позволяет избежать перемешивания паров груза с инертным газом.

Продувка танка парами пропана осуществляется снизу-вверх. После окончания продувки танков можно начинать их охлаждение. Погрузка может быть начата после того, как танк охладится до необходимой температуры. В зависимости от типа судна и материала танка эта температура меняется от судна



10. Грузовые операции

к судну. Слишком быстрое охлаждение танка может привести к возникновению трещин и разрушению металла. Поэтому необходимо руководствоваться инструкциями завода-изготовителя по скорости охлаждения танков и минимальной и максимальной температурам груза и танка перед началом погрузки.

Погрузка с использованием береговой линии газоотвода.

Погрузка с использованием берегового газоотвода производится в том случае, если терминал имеет возможность приема паров с судна для их сжижения или отвода в ёмкости или же на факел. В дополнение к газоотводу судно может использовать свою систему сжижения газов с тем, чтобы увеличить скорость налива. Если же давление в танках начинает расти, скорость налива следует уменьшить. Следует иметь в виду, что присутствие в атмосфере танка инертного газа или азота может привести к повышению давления в танке выше расчетного.

. При использовании берегового газоотвода возможно закрытие клапанов на береговой линии по различным причинам. В таком случае срабатывает система автоматического закрытия клапанов на судне.

Погрузка без использования берегового газоотвода.

В этом случае необходимо заранее знать температуру, груза в береговых емкостях. Если температура груза превышает максимально расчетную температуру для MARVS (Maximum Allowed Relieve Valve Setting) – установочного давления срабатывания предохранительных клапанов на танках, то судовая установка сжижения должна быть запущена до начала погрузки.

Охлаждение груза до требуемой температуры в ходе погрузки существенно снижает скорость налива. При этом производительность установки сжижения газов определяет скорость налива. При увеличении давления в танке, скорость налива снижается. Необходимо всегда держать давление в танке ниже минимального давления срабатывания предохранительных клапанов, с тем, чтобы избежать выброса газов в атмосферу (по требованиям USCG давление в танке не должно превышать 80% от MARVS).

Расчет времени на погрузку.

При изучении установок повторного сжижения, была рассмотрена методика расчета времени погрузки при использовании судовой установки повторного сжижения. На практике же реальный цикл несколько отличается от идеального за счет теплообмена с окружающей средой в системе всасывания паров. Приведенные ниже приближенные расчеты потерь холодопроизводительности в реальной установке реконденсации полезны для практического использования.

1) Потери во всасывающем трубопроводе.

Потери производительности такого рода происходят из-за того, что во всасывающем трубопроводе установки повторного сжижения (между куполом танка и компрессорами) происходит значительный нагрев всасываемых паров.



Даже в случае изолированных трубопроводов на всасывании компрессоров, потери, тем не менее, будут составлять весьма большую величину.

На некоторых типах судов, на всасывающих трубопроводах иногда устанавливаются дополнительные теплообменники, позволяющие снизить нагрев газа на всасывании компрессоров. Для наглядности рассмотрим величину потерь на всасывании компрессора на конкретном примере.

Пример 1:

Аммиак находится в танке при давлении 3,98 бара, при этом температура его груза в куполе танка составляет -2°C . На всасывании компрессора пары аммиака поступают с температурой $+20^{\circ}\text{C}$. Определить потери производительности установки повторного сжижения.

Решение:

Плотность перегретых паров аммиака температуре -2°C и давлении 3,98 бара составляет $3,17\text{ кг/м}^3$

Плотность перегретых паров аммиака температуре $+20^{\circ}\text{C}$ и давлении 3,98 бара составляет $2,90\text{ кг/м}^3$ (данные выбираем из таблиц термодинамических характеристик аммиака – Приложение 1)

Таким образом, потеря в плотности паров составит:

$3,17\text{ кг/м}^3 - 2,90\text{ кг/м}^3 = 0,27\text{ кг/м}^3$ или же в процентном выражении:

$$\frac{0,27}{3,17} \times 100\% = 8,5\%$$

Определив, потери возникающие в данном случае на каждый градус превышения температуры на всасывании, получим следующее:
превышение температуры паров во всасывающем трубопроводе составит:

$$20^{\circ}\text{C} - (-2^{\circ}\text{C}) = 22^{\circ}\text{C}$$

потери массовой производительности на каждый градус превышения температуры:

$$\frac{8,5\%}{22} = 0,4\%$$

Такие же расчеты произведенные для любых других газов, показали, что процентное значение потерь массы паров во всасывающем трубопроводе для всех типов грузов, перевозимых на судах, примерно одинаково и составляет 0,4% на каждый градус превышения температуры паров на всасывании компрессора по сравнению с её значением на выходе из танка.

2) Потери за счет падения давления на всасывании давления.

Шероховатости внутренней поверхности трубопроводов, их изгибы, фланцевые соединения, клапаны – все это также снижает весовое соотношение



10. Грузовые операции

перерабатываемого компрессором газа на каждый м³ за счет падения давления на всасывании компрессора. Рассмотрим величины таких потерь на примере.

Пример 2:

Аммиак находится в танке под давлением $p_T = 4$ бара, давление на всасывании компрессора (p_B) составляет 3,6 бара. Определить гидравлические потери производительности компрессорной установки.

Величина падения давления (Δp) (превышение давления в танке над давлением всасывания компрессора) составляет 0,4 бара. Следовательно, величину потерь в массовом соотношении всасываемых паров на каждый м³, можно выразить следующим образом:

$$\Delta p = \frac{p_T - p_B}{p_T} \quad \text{Или же} \quad \Delta p = \frac{0,4}{4,0} \times 100\% \approx 10\%$$

Таким образом, общая величина потерь, для рассмотренного случая, составит:

$$0,4\% \times (22^\circ\text{C}) + 10\% = 18,8\%$$

Как видно, примерно 1/5 часть времени работы установки реконденсации уйдет на компенсацию потерь во всасывающем трубопроводе.

Погрузка с баржи.

Баржа не имеет компрессоров для сжижения груза и насосов для его перекачки. Груз находится при температуре окружающей среды под высоким давлением. За счет избыточного давления груз и будет поступать с баржи на судно. Такой метод погрузки зачастую используется при транспортировке нефтяных газов и аммиака. Во время погрузки судовая компрессорная установка должна работать на полную производительность. Производительность компрессоров и определяет скорость налива.

Окончание грузовых операций.

При достижении расчетного уровня заполнения танка, грузовой клапан на танке закрывается. Потенциальную опасность в момент закрытия клапана представляет так называемый «гидравлический удар». Поэтому весь персонал, участвующий в грузовых операциях, должен быть проинструктирован должным образом о том, как следует закрывать клапана на грузовой магистрали. Гидравлический удар может возникнуть в том случае, если поток жидкости в трубопроводе останавливается слишком быстро. Опасность гидравлического удара увеличивается, если перекачка груза осуществляется по длинному трубопроводу с высокой скоростью. В момент закрытия клапана образуется скачок давления, который в свою очередь, вызывает волнообразный рост давления во всем трубопроводе, что, в конечном итоге может привести к разрушению трубопровода, клапанов или механизмов.



Это зачастую происходит при срабатывании системы автоматического закрытия клапанов в момент срабатывания аварийной остановки грузовых операций. Во избежание возникновения гидравлического удара при перекачке груза, должны быть предприняты следующие меры предосторожности:

- Во время погрузки, если происходит переход с одного танка на другой, грузовой клапан на втором танке должен быть открыт полностью, прежде чем произойдет закрытие клапана на первом танке.
- По окончании погрузки, подача груза на судно прекращается закрытием клапана на терминале, а затем закрывается клапан на судовом манифолде.
- Во время выгрузки, скорость подачи груза на берег регулируется производительностью насосов или же клапаном нагнетания насоса.
- Нагнетательный клапан насоса во время выгрузки должен быть закрыт до того, как будут закрыты клапана на судовом манифолде и терминале.
- Во время грузовых операций, клапана на жидкостном трубопроводе не должны открываться или закрываться очень быстро.
- Все клапаны на грузовой магистрали должны быть установлены в надлежащую позицию перед началом грузовых операций, и только те клапаны, которыми будет осуществляться управление грузовыми операциями, регулируются вахтенной службой.
- Клапаны с ручным управлением, не используемые в процессе грузовых операций, но установленные на трубопроводах, не должны быть заблокированы, если предусмотрено их использование в случае аварийной ситуации.

Перед окончанием погрузки всегда следует помнить, что многие терминалы требуют заблаговременного предупреждения о моменте окончания погрузки или же снижении скорости налива. После окончания погрузки совместно с сюрвейером производится замер и подсчет груза, принятого на борт. Ниже мы рассмотрим способы расчета предела заполнения танка и подсчета груза.

Оставшийся в трубопроводах и грузовом шланге или чиксане жидкий груз, удаляется следующим образом:

- Терминал продувает перед отшланговкой береговой стендер или шланг азотом, инертным газом или же горячими парами груза в судовой танк.
- Запускается один из судовых компрессоров. Создается избыточное давление в грузовой магистрали перед закрытым манифолдом. Затем манифолд открывается и оставшаяся жидкость выдувается в береговой трубопровод или же в судовой танк.
- Терминал имеет возможность продуть грузовой шланг или стендер на факел.
- Существует еще одна возможность – подсоединить грузовой шланг к газоотводу судна и продуть его на мачту. Однако такой способ должен быть согласован с портовыми властями.

Если производится погрузка грузов с низкими температурами, будет благоразумным держать проточную забортную воду в местах подсоединения шлангов к судовым манифолдам, во избежание термального разрушения палубы, при попадании на неё грузов с низкими температурами.

Только после отшланговки разрешается отсоединять заземляющий кабель.

Охлаждение груза на переходе.



10. Грузовые операции

Если груз должен быть доставлен в порт выгрузки при температуре равной или ниже той, что была в порту погрузки, груз должен охлаждаться в процессе рейса. Исходя из имеющейся на борту судна информации о продолжительности рейса и температуре выгрузки, определяется время, необходимое на охлаждение груза до должной температуры, нагрузка компрессоров и т. д. При этом учитывается, что выгоднее: охлаждать груз в процессе погрузки и увеличить стояночное время в порту погрузки, или же, если рейс непродолжительный, продолжать охлаждение груза на рейде порта выгрузки. Надо учитывать и возможность якорной стоянки в порту выгрузки, и погодные условия, и условия чартера.

Нагрев груза.

Если же погруженный груз имеет температуру ниже той, чем требуется в порту выгрузки, груз должен быть нагрет до необходимой температуры во время перехода морем или же в процессе выгрузки. Следует помнить, что предел заполнения танка всегда должен быть 98%, если температура груза соответствует установочному давлению предохранительных клапанов на танке.

Чем ниже установочное давление, тем больше груза можно принять на борт, однако в таком случае может потребоваться больше времени для нагрева груза до необходимой температуры. Поэтому в каждом случае необходимо заранее определиться экономически, что выгоднее..

Подогрев груза во время рейса можно осуществлять прокачивая груз грузовым насосом через палубный подогреватель (рис. 3), а также сбрасывая компрессорами горячие пары напрямую в танк, минуя конденсатор.

Подготовка к выгрузке.

Заблаговременно, до подхода судна в порт выгрузки, капитан должен запросить у агента всю необходимую информацию о:

- Температуре выгрузки груза;
- Противодавлении в береговом трубопроводе;
- Максимально разрешенной скорости слива;
- Наличии берегового газоотвода;
- Размер и тип берегового соединения;
- Ограничения по осадке у данного причала и т.д.

Основываясь на полученной информации, производится планирование и подготовка к разгрузочным операциям. Такая подготовка включает в себя:

- Подготовку необходимого грузового оборудования;
- Установку предохранительных клапанов в соответствующее положение;
- Проверку системы аварийной остановки и время закрытия клапанов;
- Проверку системы пожаротушения и орошения;
- Подготовку переносных огнетушителей и защитного оборудования к использованию.

Сразу же по окончании швартовки:

- Если не предусмотрена установка изолирующего фланца, производится подсоединение заземляющего кабеля.



- Совместно с сюрвейером производятся замеры температуры, давления и уровня груза в танках, отбор проб.
- Заполняется проверочный лист.
- Определяются осадки судна и его дифферент.
- Производится расчет груза на борту судна.
- Подсоединяется грузовой шланг или стендер.
- Производится продувка стендера парами груза или же азотом. Обычно такая продувка осуществляется со стороны берега на судовую газоотводную колонну.

Выгрузка начинается по завершению всех подготовительных операций и получении подтверждения с берега о его готовности принять груз.

Выгрузка на берег с помощью грузовых насосов.

Выгрузка производится грузовыми насосами без использования газоотвода с берега. В этом случае во избежание вакуума в танках необходимо производить запуск судового компрессора и подавать горячие пары газа в танк в процессе выгрузки. Обычно для предотвращения образования вакуума в танках достаточно, если перед выгрузкой избыточное давление в танках составляет 100 миллибар.

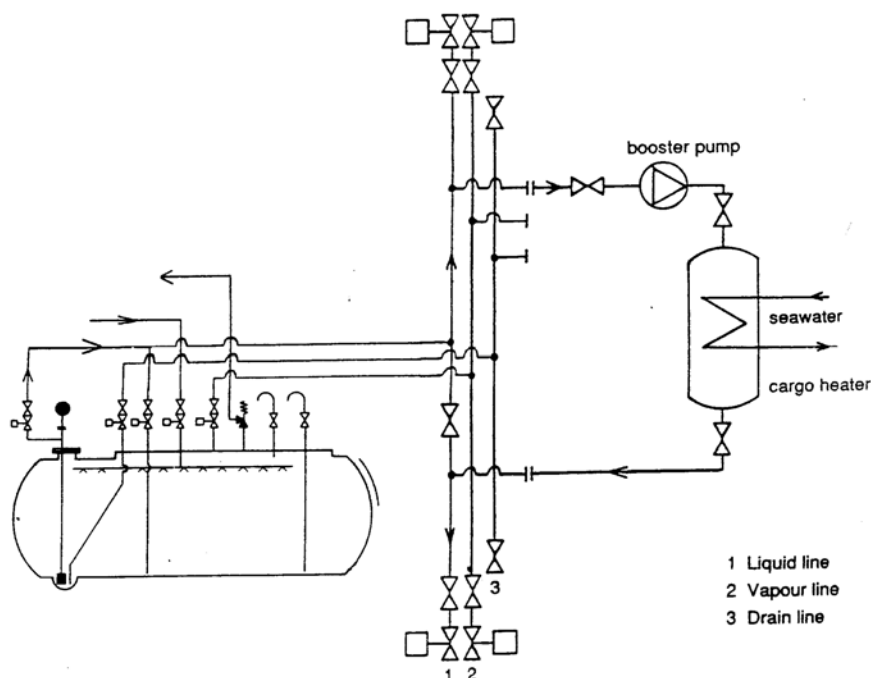


Рис. 1 . Выгрузка с использованием бустерных насосов и палубного подогревателя

Выгрузка с использованием бустерных насосов.

Если противодействие в береговом трубопроводе очень высокое, то при выгрузке необходимо использовать бустерные насосы, позволяющие поднять давление в трубопроводе, последовательно с грузовыми насосами. Обычно один бустерный насос обеспечивает выгрузку 2-мя грузовыми насосами.



10. Грузовые операции

В случае, если температура груза ниже чем температура, на которую рассчитаны системы терминала, возникает необходимость подогрева груза при помощи подогревателя. В этом случае также используются бустерные насосы для прокачки груза через подогреватель в береговой трубопровод.

Охлаждение танков в рейсе.

Если судно не оборудовано дек танком, куда можно сбросить остатки груза после выгрузки и использовать их в дальнейшем при смене груза для продувки и охлаждения, то все остатки груза собираются в один танк и держатся там в охлажденном состоянии с учетом экономической выгоды, времени работы компрессоров, продолжительности балластного перехода, температуры погрузки и т.д.

Последние 2 дня балластного перехода, обычно используются для охлаждения грузовых танков с использованием остатков груза, в том случае, если предполагается грузить такой же груз. Охлаждение танка осуществляется сбросом конденсата из системы сжижения через систему верхнего распыла (spray) танков. За счет быстрого испарения конденсата происходит отбор тепла из атмосферы танка и охлаждение поверхности танка. При испарении жидкости увеличивается давление в танке и соответственно возникает необходимость отбора избыточного давления компрессорами и дальнейшего сжижения газа в установке повторного сжижения..

Смена груза.

В некоторых случаях пары оставшегося газа могут быть замещены парами газа, подлежащего погрузке, и остатки груза в танке могут быть перемешаны с новым грузом (пропан /бутановая смесь). Однако такое перемешивание может быть произведено только с разрешения фрахтователей. Гораздо чаще приходится осуществлять следующие процедуры:

- Удаление из танка остатков предыдущего груза.
- Подогрев танка.
- Продувка атмосферы танка инертным газом или азотом.
- Продувка системы трубопроводов и компрессоров инертным газом или азотом.
- Продувка танков, трубопроводов и компрессоров парами груза, подлежащего погрузке.

Более подробно процедуры по смене груза описаны в разделе «Подготовка грузовых танков».

Инспекция грузовых танков.

Обслуживание грузового устройства танкера включает в себя регулярные инспекции грузовых танков, которые должны проводиться не реже чем один раз в шесть месяцев. Каждая компания имеет свои собственные требования по контролю за состоянием грузовых танков и технологию их осмотров. Подготовка грузовых танков к инспекции может включать в себя следующие операции:

- Удаление остатков груза;
- Подогрев танков;



- Инертизация танков инертным газом или азотом;
- Продувка системы трубопроводов и компрессоров инертным газом или азотом;
- Вентиляция грузовых танков систем трубопроводов и компрессоров воздухом;
- Если необходимо мойка танков;
- Промывка трубопроводов и систем;
- Вентиляция трюмных пространств.

Выпаривание жидких остатков груза.

Обычно для удаления остатков груза из грузовых танков используются судовые компрессоры. Такая операция осуществляется отбором паров из танка, сжатием и нагревом их с помощью компрессора и сбросом горячих паров в колодец грузового танка (рис. 2). Нагрев газа в компрессоре осуществляется за счет его сжатия. Давление в танке будет увеличиваться, соответственно будет и увеличиваться температура паров в танке, и, наконец, наступит момент, когда вся жидкость испарится и превратится в пар. В процессе выпаривания жидкости рекомендуется держать давление в танке настолько высоким, насколько позволяет установочное давление предохранительных клапанов. При этом избыточное давление может быть стравлено на мачту или же, через установку повторного сжижения, сброшено в дек-танк в виде жидкого груза.

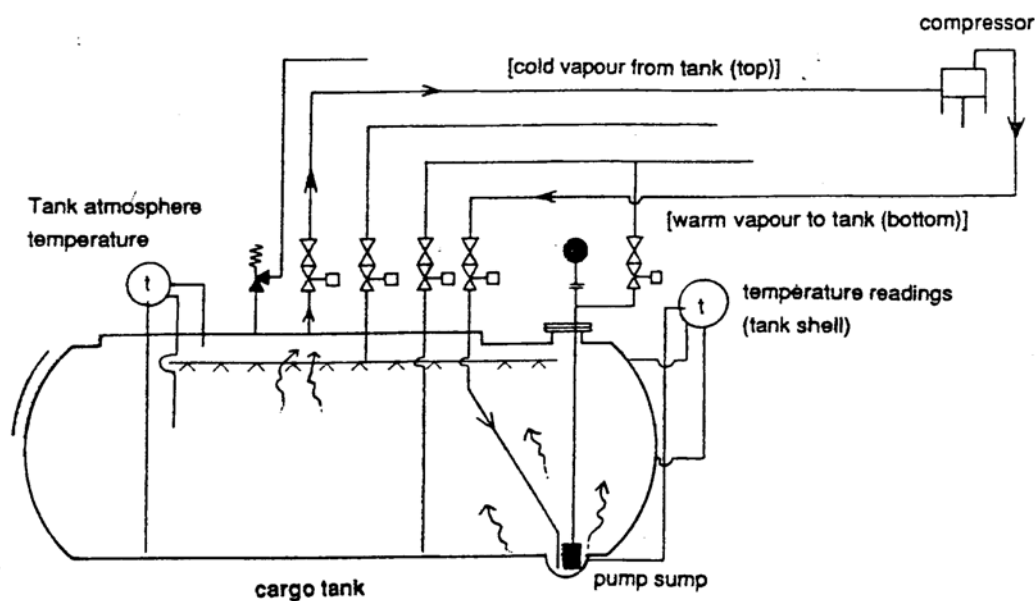


Рис.2. Выпаривание остатков груза с помощью компрессора

Время, которое требуется на выпаривание остатков груза, весьма значительно. И в некоторых случаях занимает несколько суток. Время выпаривания зависит от того, насколько много груза осталось в танках и какова была его температура перед началом выпаривания. Поскольку давление в танке в процессе выпаривания увеличивается, часть жидкости может быть выдавлена из колодца грузового танка в дек-танк или же в другую емкость. При этом остатков, подлежащих выпариванию, будет гораздо меньше.



10. Грузовые операции

На судах, перевозящих грузы под атмосферным давлением такой метод неприемлем, поскольку танки рассчитаны на небольшое избыточное давление (0,25 бара).

Если судно оборудовано температурным датчиком, установленным в колодце грузового танка, то момент окончания выпаривания жидких остатков характеризуется резким повышением температуры в колодце.

После выпаривания жидких остатков груза нагрев танка идет довольно быстро. Как долго после выпаривания необходимо нагревать атмосферу танка, зависит в основном от точки росы инертного газа, который будет использоваться в дальнейшем. Если же планируется продувка танка азотом, то не обязательно греть танк до высокой температуры, поскольку точка росы азоты обычно очень низкая.

В общем случае, танк необходимо нагреть до +5°C, если позволяет время и для продувки танка будет использоваться инертный газ или воздух (поскольку для инертного газа требования к точке росы находятся в этих пределах).

Если танк планируется продувать азотом, то более выгодно на начальной стадии продувки использовать инертный газ, если, конечно, имеется разрешение фрахтователя, а уже потом, произвести кратковременную продувку танков азотом. Еще раз подчеркнем, что такой метод используется только в том случае, если имеется разрешение фрахтователя. Поскольку во многих случаях продувка азотом производится для того, чтобы избежать присутствия в атмосфере танка сажи и углекислого газа.

Некоторые суда имеют один или два бловера (воздуходувки), которые можно использовать для нагрева атмосферы танков. Для этого пары забираются из танка с помощью бловеров, пропускаются через палубный паровой обогреватель, а затем опять сбрасываются в танк. Такой метод обеспечивает экономию энергоресурса компрессоров и позволяет избежать их повреждения из-за высоких температур. Высокие температуры могут возникнуть в компрессорах в момент окончания выпаривания жидкости, поскольку температура паров в танке резко возрастает.

Суда, с мембранными и полу-мембранными танками, обычно не имеют колодцев в грузовых танках. Вместо зачистного трубопровода, на таких судах устанавливаются специальные змеевики обогрева для выпаривания остатков груза. В качестве нагревающего агента в таких змеевиках используется или термомасло, или же пары груза, которые подаются в змеевик со второй ступени компрессора. Особое внимание следует уделять контролю за давлением в танке.

Большинство мембранных и полу-мембранных танков рассчитаны на избыточное давление 0,25 бара, поэтому рекомендуется в процессе выпаривания остатков груза, поддерживать в танке давление, не превышающее 80% от MARVS.

Суда, оборудованные каскадными системами повторного сжижения, могут в качестве нагревающего агента для выпаривания остатков груза, использовать R22. В этом случае, горячий R22 с выхода парового подогревателя системы, подается на компрессор, а, затем, после сжатия, поступает на змеевики обогрева танка. В данном случае необходимо соблюдать особую осторожность, поскольку R22, конденсируясь, может скапливаться в нижней части змеевика, и его повторное выпаривание связано со значительными энергозатратами.



Инертизация и дегазация грузовых танков.

Инертизация и дегазация грузовых танков обычно проводится в море. Такой процесс осуществляется перед постановкой судна в док или же перед сменой груза (рис. 3 и 4). Только несколько из существующих газозовозов имеют на борту достаточное количество азота для проведения инертизации всех танков, поэтому инертизация осуществляется обычно с использованием судовой установки инертного газа. После того как пары груза в танке будут замещены полностью инертным газом или азотом, проводится вентиляция танков до безопасного для персонала состояния.

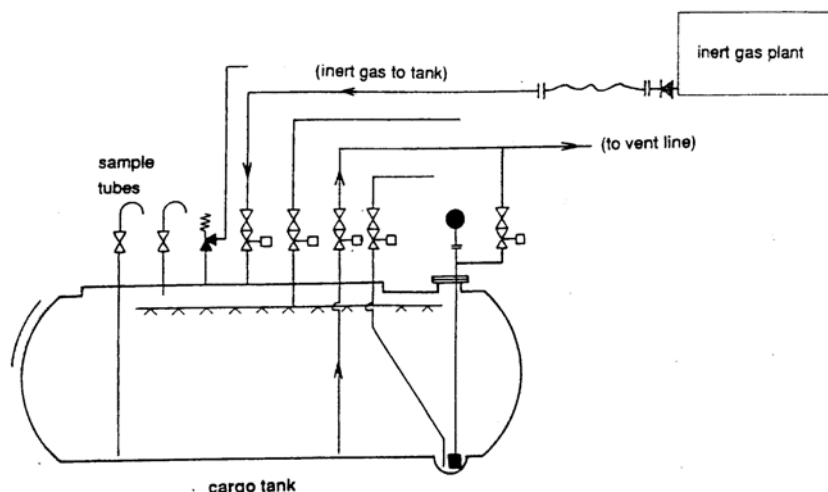


Рис.3. Инертизация грузового танка

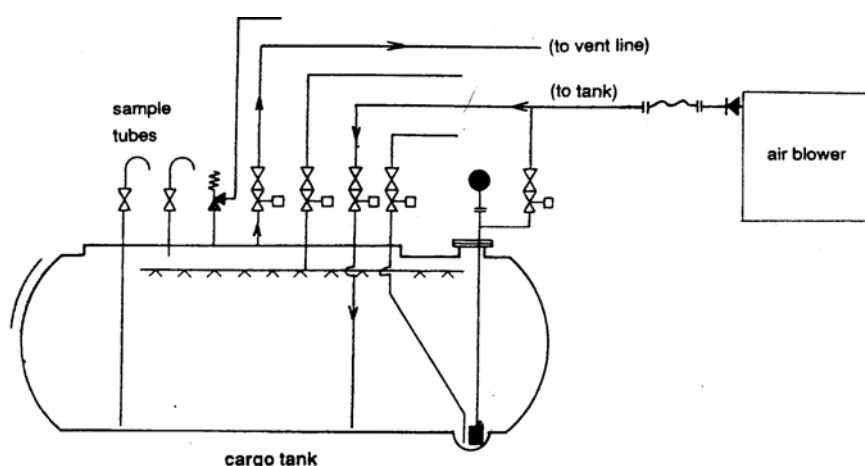


Рис.4. Вентиляция грузового танка

Процедура очистки грузовых танков.

После того как танки провентилированы до безопасного состояния (содержание кислорода не менее 21% по объёму, а содержание паров ниже 1% от НПВ) разрешается вход в грузовые танки для их инспекции, очистки и т.д.



10. Грузовые операции

Очень часто в ходе очистки необходимо удалить тонкий слой пыли на днище танков, образованный различными формациями. Если поверхность танков будет влажной, то удаление пыли практически невозможно и потребуются мойка танков, что в свою очередь вызовет необходимость дальнейшей просушки танков и трубопроводов. Однако после некоторых грузов, таких как Пропилен Оксид или Аммиак необходимо произвести мойку танков пресной водой. Очень важно, чтобы после мойки все трубопроводы, колодцы грузовых танков и места возможного скопления влаги и воды были просушены самым тщательным образом.

Очистка грузовых танков после аммиака.

При дегазации танков после выгрузки аммиака очень часто возникает проблема удаления следов аммиака из материала танков. Порой такая очистка требует значительных трудозатрат. Более того, некоторые грузы (особо чувствительные к присутствию аммиака) запрещено грузить в танки, где предыдущий груз был аммиак, даже, если танк был надлежащим образом промыт и провентилирован.

Поскольку аммиак полностью растворим в воде (в одном объеме воды может раствориться до 1.000 объемов аммиака), то самый надежный и простой метод удаления следов аммиака из танка – мойка его пресной водой. Однако при этом необходимо предпринять особые меры предосторожности. Значительную опасность представляет мойка танков после аммиака на больших судах рефрижераторного типа с призматическими танками, поскольку при взаимодействии паров аммиака с водой возникает опасность вакуумирования танков. Всегда, после мойки танков и грузовых систем, высока вероятность того, что водный раствор аммиака останется где-нибудь в трубопроводе. И помимо того, что будет существовать возможность образования льда или гидратов, остатки водного раствора аммиака могут испортить следующий груз.

Многие газовозы имеют грузовые насосы предназначенные для перекачки груза с расчетной плотностью не более 0,7 кг/л, что позволяет осуществлять выгрузку большинства сжиженных газов, но не позволяет произвести откачку воды из танка, поскольку такая процедура приведет к перегрузке насоса и его поломке.

Поэтому в настоящее время мойка танков после выгрузки аммиака рекомендуется только в том случае, если грузовая система судна предусматривает устройства для мойки танков и откачки смывок, полностью свободна от паров аммиака и ржавчины и не имеет мертвых зон.

Вентиляция танков свежим воздухом после выгрузки аммиака также процедура продолжительная.. Так при температуре +45°C аммиак испаряется в 10 раз быстрее, чем при 0°C.

Во избежание дополнительных расходов при вентиляции танков после выгрузки аммиака, рекомендуется использовать воздух с точкой росы ниже чем температура танка, но в то же время с максимально возможной температурой.



Растворение газов в жидкости.

Если погрузить сжиженные нефтяные газы в танк, содержащий инертный газ, то часть газа растворится в жидком грузе. Это может быть обнаружено позже, когда начнет работать компрессорная установка. Присутствие инертного газа в установке сжижения вызовет значительное повышение давления в компрессорах. Поскольку сжижения инертного газа не происходит, присутствие его в конденсаторе вызовет значительный рост давления и снизит эффективность его работы. Это в свою очередь вызовет необходимость стравливания избыточного давления в атмосферу.

Наглядно растворение газов в жидкости можно наблюдать при перевозке пропиленоксида. При его перевозке необходимо постоянно поддерживать избыточное давление азотной «подушки» в танке минимум 70 мбар. Это делается для того, чтобы не допустить проникновения в танк атмосферного воздуха.

Часто случается так, что давление азотной подушки в танке буквально за несколько часов падает до критического значения (0,35 бара), хотя и не происходит никаких изменений ни в температуре груза ни в температуре окружающей среды, и не было утечек азота из танка. Это происходит потому, что часть азота растворяется в грузе (как углекислый газ в лимонаде). Поэтому при перевозке пропиленоксида падение давления азота в танке вскоре после окончания погрузки, не должно пугать, если, конечно, не обнаружено протечек азота.

Разделение партий груза на борту танкера.

Многие суда-газовозы сконструированы и построены таким образом, чтобы они могли перевозить как минимум два различных вида грузов одновременно. Для разделения грузовых магистралей и газоотвода используются в этом случае только съёмные вставки различной конфигурации с фланцевыми соединениями. То есть системы можно разъединить физически (позитивное разделение) и предотвратить любое возможное смешивание или контакт грузов. Правилами ИМО предусматриваются следующие условия для разделения грузов:

- Только съёмные участки трубопроводов (не изолирующие клапана) могут использоваться для разделения грузов, если судно не оборудовано раздельными системами трубопроводов для каждого танка.
- Глухие фланцевые соединения должны предусматривать возможность их опломбировки через один из болтов.
- Официальная независимая классификационная организация (DNV, Germanischer Lloyd) должны произвести инспекцию и опломбировку соединений по окончании разделения грузовых систем. Основываясь на данной инспекции, судну выдается сертификат, заверяющий разделение трубопроводов и систем с приложением соответствующего чертежа. Данный сертификат должен быть предъявлен местным властям (например, Береговой охране США) перед началом погрузки.
- Чертежи и схемы, показывающие возможные разделения грузовых систем, должны быть на каждом судне.

Специальные грузы.



10. Грузовые операции

Следующие грузы являются объектом применения специальных правил при их перевозке в соответствии с резолюцией ИМО А.328 (IX) пункт 17.2:

- Этиленоксид;
- Метил ацетилен;
- Азот;
- Аммиак;
- Хлор;
- Винил хлорид мономер;
- Диэтил эстер;
- Пропиленоксид и смеси его с этиленоксидом;
- Изопропиламид и моноэтиламид.

Специальные требования.

Многие из грузов, перечисленных в газовом кодексе ИМО имеют индивидуальные характеристики, которые в свою очередь вызывают необходимость специальных требований при перевозке данных грузов, а именно, наличия:

- В районе грузовой палубы специальных душей безопасности;
- Газонепроницаемых помещений в надстройке;
- Газо-безопасного помещения для контроля за грузовыми операциями;
- Ограничения в использовании некоторых материалов в грузовой системе;
- танков типа «С» для некоторых грузов (хлор);
- системы непрямого охлаждения грузов;
- осушения системы конденсации груза,
- рентгеновской инспекции всех сварных швов на трубопроводах диаметром более 75 мм;
- Ограничения в использовании носового или кормового трубопроводов для грузовых операций;
- Автоматической подачи азота в танк и поддержание определенного избыточного давления азотной «подушки» в танке;
- точки росы для некоторых грузов не ниже -45°C ;
- прибора для измерения токсичности.

Полный перечень этих требований приведен в Кодексе ИМО.

Процедуры по внутрисудовой перекачке груза.

В экстренных случаях, при наличии достаточного объема в других танках, груз из одного танка может быть перекачан в другие танки. После чего можно произвести инертизацию, дегазацию и ремонт данного танка. Однако такие операции необходимо производить по согласованию с оператором или фрахтователем во избежание претензий.

11. Замеры и подсчёт груза



Подсчет груза.

Необходимая точность замеров давления, температуры груза и его уровня в танке, определяется техническими возможностями измерительной аппаратуры, условиями чартера, требованиями грузоотправителя и грузополучателя. Каждая крупная компания имеет свои собственные формы для подсчета количества груза на борту. Однако всегда требуется точность и аккуратность в производстве таких подсчетов. Многие грузовые помощники имеют свои собственные секреты в минимизации времени, затрачиваемом на производство таких подсчетов. В настоящее время большинство судов оборудованы компьютерными системами и программами для подсчета количества груза на борту.

Рассмотрим наиболее общие методы определения количества груза на борту судна.

Максимальный предел заполнения танка.

Максимальный предел заполнения танка - объём жидкой фазы груза в танке в зависимости от температуры, плотности жидкости, установочного давления предохранительных клапанов и типа груза.

Как правило, максимальный уровень заполнения танка жидкостью не должен превышать **98%** от общего объёма танка, если груз принимается при температуре, соответствующей минимальному давлению срабатывания предохранительных клапанов.

Для грузового помощника, работающего на судах, перевозящих грузы на судах полунпорного типа, важно понять, **что нижнее установочное давление предохранительного клапана позволяет принять в танк наибольшее количество груза.**

ИМО определяет минимальное установочное давление предохранительных клапанов на газовозах полунпорного типа не более чем в 0,35 бара.

Запрещается производить изменение установочного давления срабатывания предохранительного клапана после окончания погрузки.

С другой стороны слишком низкое установочное давление срабатывания предохранительного клапана не должно использоваться с точки зрения экономии стояночного времени из-за очень длительного времени на погрузку теплых грузов, которые должны быть охлаждены до температуры, соответствующей установочному давлению.

После определения необходимого установочного давления, уже не имеет значения, теплый или холодный груз принимается на борт. Главное то, чтобы его давление насыщения находилось ниже **MARVS (Maximum Allowed Relieve Valve Setting)**. Количество груза (масса) будет тем же самым в любом случае, если танк заполняется до максимально разрешенного предела.

Максимально разрешенный предел заполнения танка (Filling Limit) определяет соотношение:

$$FL = \frac{d_M}{d_C} \cdot 98\% \quad (*)$$



11. Замеры и подсчёт груза

где F_l – предел заполнения танка,
 d_m – плотность груза, соответствующая давлению и температуре установки предохранительного клапана (MARVS).
 d_c – плотность груза, соответствующая давлению и температуре груза в танке на момент окончания погрузки.

Предел заполнения танка жидкостью всегда меньше или равен 98% !

На сколько он будет меньше 98%, е определяет фактическая температура груза.

Допустим, установочное давление предохранительного клапана на танке выставлено на 4 бара. Это означает, что предел заполнения танка пропаном при температуре -10°C в этом случае будет 95,18%, а давление в танке составит 2,44 бара.

Приведенная ниже таблица пределов заполнения танка для пропана, рассчитана по формуле для определения пределов заполнения танка с использованием термодинамических характеристик пропана

Таблица. 1. Примерный вид табличной формы пределов заполнения танка.

Температура груза $^{\circ}\text{C}$	Давление паров бар	Давление в танке бар	Плотность груза кг/м^3	Предел заполнения танка при 0,3 бар %	Предел заполнения танка при 4 бар %
-42,09	1,013	0,00	580,93	96,81	88,77
-40,0	1,110	0,10	578,50	97,21	89,14
-36,04	1,313	0,30	573,86	98,00	89,86
-30,0	1,677	0,66	566,68		91,00
-25	2,034	1,02	560,63		91,98
-20	2,445	1,43	554,48		93,00
-10	3,455	2,44	541,82		95,18
0	4,750	3,74	528,62		97,55
+1,77	5,013	4,00	526,21		98,00

Допустим, по окончании погрузки, возникла проблема с системой сжижения газа. Из окружающей среды теплота продолжает поступать в танк, повышая температуру груза и, соответственно давление в танке. Когда температура груза увеличится до -10°C объём жидкости в танке увеличится до **95,18%**, а при 0°C объём груза в танке увеличится до **97,55%**.

При увеличении температуры груза до $+1,77^{\circ}\text{C}$ объём жидкости увеличится до максимально допустимого значения в **98%**, а давление в танке достигнет величины установочного давления срабатывания предохранительного клапана - 4 бара. Предохранительный клапан откроется и произойдет стравливание избыточного давления из танка на вентиляционную колонну. При этом давление в танке будет сохраняться неизменным, следовательно и температура груза не изменится и составит $+1,77^{\circ}\text{C}$, даже без использования системы сжижения газа.

Первая причина, по которой не допускается заполнение танка более чем на 98% заключается в том, что необходимо иметь достаточный объём газовой фазы в танке для обеспечения работы компрессорной установки и создания

11. Замеры и подсчёт груза



минимального давления всасывания на компрессорах. Если давление в танке будет низким, то компрессор «захлопнется» и прекратит работу. Дальнейшее же повышение температуры груза приведет к увеличению объёма жидкой фазы груза в танке, что еще более усложнит пуск компрессора. Одновременно, увеличение объёма жидкости может привести к заполнению жидкостью вентиляционной системы танка и попаданию груза на палубу. Вторая причина для 2%-ного объёма газа в танке заключается в том, что если поверхность жидкости находится слишком близко ко всасывающему трубопроводу компрессора, существует вероятность попадания жидкости в систему компрессора, что в свою очередь приведет к гидравлическому удару и выходу компрессора из строя. Многие классификационные сообщества, такие как DNV, USCG, GL и др. одобряют предел заполнения танка в 98% при том условии, что соотношение давление/температура в танке соответствует установочному давлению предохранительного клапана. Исключение составляет только транспортировка LNG в сферических танках, где предел заполнения танка обычно несколько больше 99%, поскольку на судах этого типа отсутствует установка повторного сжижения и образующийся выпар газа используется для питания судовой силовой установки. Обычно на судах имеются уже рассчитанные пределы заполнения танков для различных грузов при различных температурах груза и для различных пределов установочного давления предохранительных клапанов, выполненные в графической или табличной форме.

Определение уровня груза в танке

Существующие мерительные устройства, установленные в грузовых танках для определения уровня груза, позволяют определить или расстояние между верхней точкой танка и поверхностью жидкости, т.е. пустое пространства танка (используется термин «Пустота» в английской терминологии – «Ullage»), или же расстояние от днища танка до поверхности жидкости, т.е. глубина (используется термин «Взлив» в английской терминологии – «Sounding»).

Определение уровня груза в грузовых танках должно производиться самым тщательным образом с учетом всех факторов, влияющих на показания мерительных устройств. Наиболее популярным мерительным устройством на газовозах, являются устройства поплавкового типа. Поскольку поплавковые мерительные устройства очень редко располагаются в центре танка, то в большинстве случаев, для того, чтобы определить действительный уровень груза в танке, необходимо учитывать поправки к уровню, возникающие вследствие крена и дифферента судна. На рисунках 1 и 2 проиллюстрировано влияние крена и дифферента судна на показания поплавкового мерительного устройства.

Чем дальше от центра танка будет расположен поплавок, тем значительнее будет поправка к уровню.

Кроме поправок к уровню за крен и дифферент (Trim Correction & List Correction), при использовании поплавковых мерительных устройств необходимо помнить о некоторых особенностях как самого мерительного устройства, так и погруженного груза.



11. Замеры и подсчёт груза

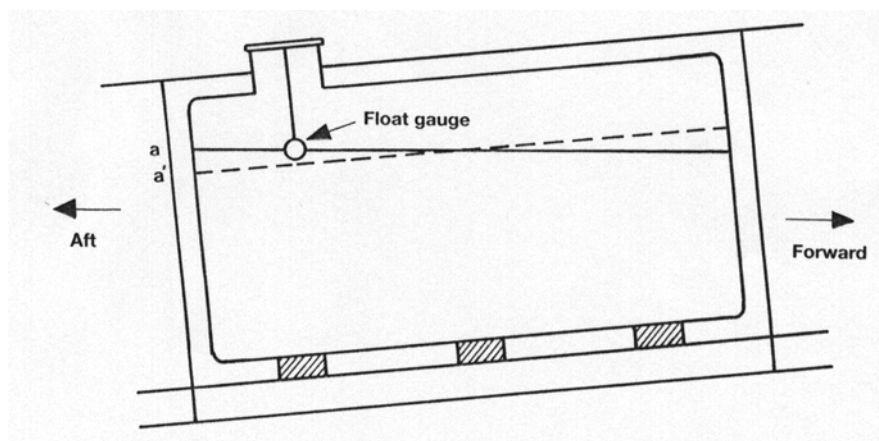


Рис.1 .Влияние дифферента на показания поплавкового мерительного устройства

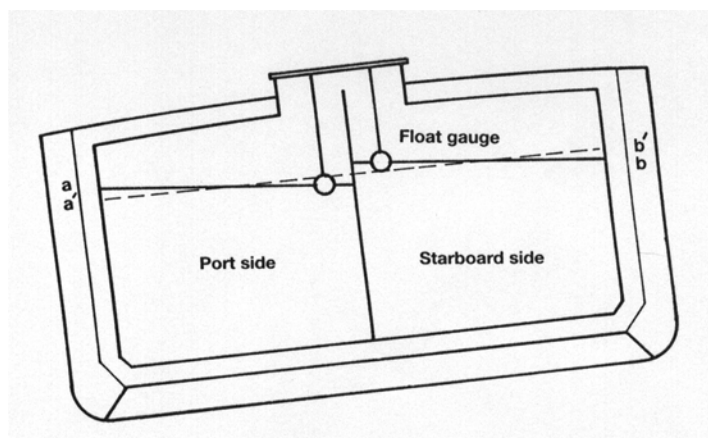


Рис. 2. Влияние крена на показания поплавкового мерительного устройства

Во-первых, поплавок изготавливается из нержавеющей стали и, следовательно, обладает некоторым весом. В зависимости от плотности груза будет меняться и плавучесть поплавка, то есть степень его погруженности. Обычно мерительное устройство поплавкового типа калибруется на определенную плотность груза (0,6 кг/л или 1,0 кг/л). Поправки к уровню на плотность груза (Buoyancy Correction или Float Correction) приводятся или в табличной форме (Таблица 2), или же в графической форме (см. Приложение.)

Как видно из таблицы, мерительное устройство откалибровано на пресную воду (при плотности груза 1 кг/л поправка к уровню равна 0). Однако в некоторых случаях мерительное устройство калибруется по гексану (плотность 0,6 кг/л), и тогда нулевая поправка к уровню будет соответствовать плотности груза 0,6 кг/л, а поправки к уровню будут иметь как положительное значение (для грузов с плотностью выше 0,6 кг/л), так и отрицательные – для грузов с меньшей плотностью.

11. Замеры и подсчёт груза



Таблица 2. Поправки к уровню за плотность груза

Диапазон плотностей Кг/ л	Поправка к уровню мм
0,4743-0,5020	-9
0,5021-0,5332	-8
0,5333-0,5686	-7
0,5687-0,6090	-6
0,6091-0,6556	-5
0,6557-0,7100	-4
0,7101-0,7741	-3
0,7742-0,8510	-2
0,8511-0,9448	-1
0,9449-1,0000	0

Во-вторых, материалы, из которых изготовлены танк и мерительная лента, имеют свойство сжиматься под воздействием низких температур. Поэтому возникает необходимость использования дополнительных поправок к уровню – на сжатие мерительной ленты (Tape Shrinkage Correction) и на вертикальное сжатие танка (Correction for Tank Vertical Shrinkage). Такого вида поправки также приводятся или в графической форме, или же в табличной. (Таблица 3)

Таблица.5. Примерный вид таблицы поправок на сжатие мерительной ленты.

Показания мерительного устройства (м)	Поправка к уровню (мм)			
	Температура паров груза (° С)			
	-46	-44	-42	-40
8	3	3	2	2
9	3	3	3	2

Кроме поправок на вертикальное сжатие танка при расчетах объёма, занимаемого жидкостью или парами груза, следует учитывать объёмное сжатие танка (Volumetric Shrinkage Factor) вследствие воздействия низких температур. В Приложении 1 приведена таблица для определения фактора объёмного сжатия танка по известной температуре. При определении объёма паровой фазы учитывается сжатие танка при температуре паров, а в жидкостной фазе – при температуре сжиженного газа.

Многие классификационные общества и сюрвейерские организации требуют производить определение уровня груза с точностью до 1 мм, а определение температуры с точностью до 0,1 С

Пример:

Произвести предварительные расчеты количества пропана, который необходимо погрузить при температуре –20°С, обеспечивая полную грузовместимость судна и определить объём груза и разливы в каждом танке.



11. Замеры и подсчёт груза

Расчетный дифферент судна на отход – 1 метр на корму. Установочные давления для предохранительных клапанов – 0,3 бар и 4,0 бар.

Решение:

Для расчетов будем использовать мерительные таблицы из Приложения

1. Используя таблицы термодинамических характеристик пропана (Приложение 1), определим давление насыщенных паров пропана при заданной температуре (при -20°C , давление насыщенных паров составит 2,4452 бара) Это давление соответствует манометрическому давлению газа в танке, в 1,44 бара. Следовательно, MAVRS должно быть выставлено на 4,0 бара перед началом погрузки.
2. По соотношению

$$FL = \frac{d_m}{d_c} \cdot 98\%$$

определяем предел заполнения танка. Для этого из термодинамических таблиц находим плотность пропана при давлении, соответствующем установочному давлению предохранительного клапана 4, бара (манометрическое) и плотность пропана при температуре груза – 20°C :

Установочное давление 4,0 бар

Атмосферное давление 1,013 бар

Давление насыщения 5,013 бар.

Плотность пропана при 5,013 бара составляет 526,21 кг/м³

Плотность пропана при температуре -20°C составит 554,48 кг/м³

Подставляя эти значения получим:

$$Fl = \frac{dr \cdot 98\%}{dl} = \frac{526,21 \text{ кг/м}^3}{554,48 \text{ кг/м}^3} = 93\%$$

3. Зная процентное значения предела заполнения танка, рассчитываем объём жидкой фазы груза в каждом из 4-х танков.

Номер танка	Объём танка (100 %)	Объём заполнения (93%)
Танк №1	828,340 м ³ x 0,93	770,356 м ³
Танк №2	987,180 м ³ x 0,93	918,077 м ³
Танк №3	1060,220 м ³ x 0,93	986,005 м ³
Танк №4	1060,220 м ³ x 0,93	986,005 м ³

4. Из мерительных таблиц выбираем значение взливов груза в танках (с учетом поправки за поплавки и дифферент в 1 метр на корму)

Номер танка	Объём заполнения	Исправленный взлив
Танк №1	770,356 м ³	8,395 м
Танк №2	918,077 м ³	8,123 м
Танк №3	986,005 м ³	8,109 м
Танк №4	986,005 м ³	8,131 м

11. Замеры и подсчёт груза



Если предварительный расчет груза был произведен с достаточной точностью, действительные взливы в танках на момент окончания погрузки (показания мерительных устройств) можно рассчитать, используя необходимые поправки за сжатие ленты и вертикальное сжатие танка, с учетом фактической температуры груза и паров.

Расчет груза для продувки танков.

Зачастую, для продувки танков терминал не может обеспечить подачу на борт судна паров груза, и груз поставляется на судно в сжиженном виде специальными грузовиками на отстойный причал или же по грузовому трубопроводу с терминала, после чего судно выходит в море, где и производит продувку и захлаживание танков. Поэтому возникает необходимость предварительных расчетов количества сжиженного газа, необходимого для продувки грузовых танков и их захлаживания перед погрузкой. Такие расчеты производятся с использованием уравнения состояния идеального газа, закона Авогадро (для приближенных расчетов) или же при помощи таблиц термодинамических характеристик перегретых паров груза (если они имеются в наличии)

Пример :

Перед погрузкой необходимо продуть атмосферу танка парами пропана. Температура атмосферы грузового танка перед продувкой составляет +15°C. Определить количество сжиженного пропана (в м³), необходимое для продувки танка объемом 3.000м³, если терминал может поставить сжиженный пропан при температуре –41° С.

Решение

1. Определим массу паров пропана, для замены атмосферы танка. Для вычислений будем использовать таблицы термодинамических параметров перегретых паров пропана (Приложение). По графику находим плотность (ρ) перегретых паров пропана при температуре +15°C и давлении 1бар, 1,75 кг/м³. Зная объем танка и плотность паров, определяем их массу.

$$m = \rho \times V = 1,75 \cdot 3000 = 5250 \text{ кг.}$$

2. Для того, чтобы определить, сколько сжиженного пропана потребуется для замены атмосферы танка, из таблицы термодинамических характеристик пропана (Приложение) по температуре –41° С выбираем значение плотности сжиженного пропана ($\rho_{ж}$), равное 579,66 кг/м³:

$$V = m : \rho_{ж} = 5250 : 579,66 = 9,057 \text{ м}^3$$

Подсчет погруженного груза.

Количественной оценкой эффективности работы судна всегда служит количество перевезенного на борту груза.



11. Замеры и подсчёт груза

Основным документом, подтверждающим количество груза на борту судна после погрузки или перед выгрузкой, является «Акт судовых замеров» (см рис. 3, 4). На нефтяном танкере груз поступает в танк, в котором содержится инертный газ, полученный при помощи установки ИГ. Количество паров углеводородов, содержащихся в объёме танка весьма незначительно (по сравнению с общим количеством груза), поэтому масса паров не учитывается при подсчете груза. При погрузке сжиженных газов, свободное пространство грузового танка заполняется парами, которые образуются из самого груза при его испарении, поэтому при подсчете груза сжиженного газа, учитывается также и масса газовой фазы груза в танке (порой весьма значительный).

Поскольку при погрузке сжиженного газа в грузовом танке постоянно изменяется давление и температура груза, то после окончания погрузки равновесие между давлением насыщенных паров и их температурой наступит через некоторый промежуток времени. Говоря иными словами, давление в танке всегда будет или несколько выше или же ниже, чем давление насыщенных паров груза при данной температуре.

Плотность груза.

Основными единицами для подсчета количества груза на борту судна являются его плотность и объём. Используются следующие термины и понятия при определении плотности:

Истинная плотность, или же просто плотность вещества (Density), отображает массу единицы объёма данного вещества в ВАКУУМЕ. Стандартная размерность: кг/л, кг/м³, т /м³.

Реальная плотность (Apparent Density) отображает массу единицы объёма вещества в ВОЗДУХЕ. Стандартная размерность: кг/л, кг/м³, т/м³.

Относительная плотность (Relative Density) выражает отношение массы единицы объёма вещества в вакууме при определенной температуре к массе единицы объёма пресной воды в вакууме, также при определенной температуре. Величина БЕЗРАЗМЕРНАЯ.

Относительная плотность всегда дается с указанием температур, например R.D. 15/15, R.D. 20/4, R.D. 15/20, R.D. 60/60 F и т.д. Ниже приведена таблица истинной и реальной плотности воды при различных стандартных температурах:

Таблица 6. Истинная и реальная плотность воды.

Температура (° C)	Истинная плотность (кг/л)	Реальная плотность (кг/л)
4	1,00000	0,99888
15	0,99913	0,99805
15,56 (60 F)	0,99904	0,99796
20	0,99823	0,99717
25	0,99707	0,99604
50	0,98807	0,98702

11. Замеры и подсчёт груза



Для пересчета относительной плотности в истинную плотность при определенной температуре необходимо значение относительной плотности умножить на значение плотности воды при указанной температуре.

Пример:

Определить истинную плотность пропана, если его относительная плотность в вакууме $RD_{15/15} = 0,5013$.

Решение:

Из таблицы 6 выбираем истинную плотность воды при температуре 15°C . $d_w = 0,99913 \text{ кг/л}$

Умножим относительную плотность пропана на истинную плотность воды, в результате чего получим истинную плотность пропана при $+15^\circ \text{C}$.

$$0,5013 \times 0,99913 = 0,50086 \text{ кг/л.}$$

Таким же образом осуществляется пересчет реальной относительной плотности в реальную истинную плотность. Только заданное значение реальной относительной плотности необходимо умножать на значение реальной плотности воды при соответствующей температуре.

Способы подсчета груза.

Масса является фундаментальной мерой для определения количества вещества. В международной системе мер и весов масса определяется в килограммах. Масса вещества не меняется с изменением состояния вещества или при изменении внешних условий. Определение количества груза может осуществляться путем расчетов или прямым взвешиванием (грузовиков, платформ, цистерн и пр). Существуют общепринятые правила, согласно которым осуществляется подсчет груза большинством сюрвейерских организаций. При подсчетах используются строго определенные методики подсчета и переводные коэффициенты. Использование различных методик в подсчете груза сюрвейером и грузовым помощником может привести к расхождению в количестве груза на борту судна. При подсчете количества груза на борту судна необходимо соблюдать одно правило :

**Все величины, используемые в расчетах (плотность и объём)
должны быть определены при одной и той же температуре**

Для определения плотности жидкости в настоящее время используются следующие методы:

- Определение плотности в лабораторных условиях с помощью специального герметичного денсиметра, который выдерживает давление до 15 бар и позволяет осуществлять измерение плотности груза при стандартной температуре $+15^\circ \text{C}$. Официальное наименование способа – **ASTM D 1657**. (Pressure Hydrometer)
- Расчет композитного состава смеси (используется для определения плотности пропана бутана и их смесей). Официальное наименование метода **ASTM D 2598**.
- Расчет плотности по формуле Фрэнсиса.



11. Замеры и подсчёт груза

- Метод расчета плотности **COSTALD (Corresponding State of Liquid Density)**.
- Определение фактической плотности в береговых емкостях при известной температуре груза.
- Расчет методом приведения объёма груза к объёму при стандартной температуре

Определение веса груза в воздухе

Весом тела называют силу, с которой тело, вследствие его притяжения к Земле, действует на горизонтальную опору или подвес.

$$P = m \cdot g$$

Поскольку на все тела, находящиеся в атмосфере Земли, действует выталкивающая сила Архимеда со стороны воздуха, то и вес тела, соответственно, будет меньше на величину выталкивающей силы воздуха. При стандартной процедуре вес тела определяется на основании сравнения весов уравновешивающий плечи весов стандартной массы (эталона) и массы данного тела с помощью рычажных или пружинных весов.

При подсчете количества сжиженных газов, погруженных на борт судна также используется понятие вес груза в воздухе, хотя в грузовом танке воздух отсутствует и груз поступает на борт «под пары».

Предположим, что имеется возможность произвести первоначальное взвешивание герметичной цистерны, заполненной парами груза с помощью рычажных весов и эталона. В таком случае определяется вес в воздухе цистерны и её содержимого (W_1). После заполнения цистерны сжиженным газом, произведем повторное взвешивание, в результате которого опять определим общий вес в воздухе цистерны и её содержимого (W_2). При заполнении цистерны сжиженным газом не происходит вытеснения воздуха грузом, поскольку весь объём цистерны был первоначально заполнен парами груза. Следовательно, разница весов цистерны до и после погрузки даст нам вес груза без учета воздействия Архимедовой силы со стороны воздуха. То есть разница в весе цистерны даст точное представление о массе погруженного груза. И это было бы так, если бы не воздействие Архимедовой силы на эталонный вес, уравновешивающий плечи весов

В качестве эталона веса используется бронза с плотностью 8000 кг/м³, плотность (ρ) воздуха при стандартных условиях (давлении 1013 мбар и температуре +20 °C) составляет 1,2 кг/м³. Поэтому для уравновешивания взвешиваемого количества груза M , потребуется дополнительно некоторое количество эталонного веса для компенсации Архимедовой силы.

$$V = \frac{M}{8000 \text{ кг/м}^3}$$

Дополнительная масса эталона составит :

$$M = V \times \rho = V \times 1,2 = 0,00015 M \text{ (кг)}$$

можно записать это выражение таким образом:

$$W_1 - W_2 = M + 0,00015 M \quad \text{или} \quad M = 0,99985 (W_1 - W_2)$$

11. Замеры и подсчёт груза



Коэффициент **0,99985** является универсальным и не зависит от типа весов, использованных при взвешивании, количества груза, от соотношения жидкостной и паровой фазы груза или от используемых единиц измерения при подсчете. Величина $1,00015 \cdot (\rho - 1,2)$ представляет собой переводной коэффициент между весом и объёмом (ρ - плотность груза). Этот коэффициент меняется в зависимости от плотности жидкости (Таблица 6).

Пересчет массы погруженного груза в вес в воздухе осуществляется с помощью переводных коэффициентов таблицы 56 ASTM

Детальная проверка таблиц ASTM 56 показывает, что переводные коэффициенты не следуют абсолютно точно вышеприведенным соотношениям, однако средняя величина для диапазона плотностей постоянна. Для получения плотности груза в воздухе при практических расчетах достаточно от величины стандартной плотности при 15°C (кг/м³) вычесть величину **1,1**. Погрешность при таких расчетах настолько мала, что ею можно пренебречь.

Таблица 6. Зависимость переводного коэффициента от плотности.

ρ кг/м³	$1,00015 \cdot (\rho - 1,2)$	$\rho - (1,00015 \cdot (\rho - 1,2))$
500	498,87	1,125
600	598,89	1,110
700	698,90	1,095
800	798,92	1,080
900	898,93	1,065
1.000	998,95	1,050
1.100	1.098,96	1,035

Таблица 7. ASTM 56.

ASTM 56 (short table)			
Density at 15°C (Kg/L)	Factor for converting Weight in Vacuo to Weight in Air	Density at 15°C (Kg/L)	Factor for converting Weight in Air to Weight in Vacuo
0,5000 to 0,5191	0,99775	0,5000 to 0,5201	1,00225
0,5192 to 0,5421	0,99785	0,5202 to 0,5432	1,00215
0,5422 to 0,5673	0,99795	0,5433 to 0,5684	1,00205
0,5674 to 0,5950	0,99805	0,5685 to 0,5960	1,00195
0,5951 to 0,6255	0,99815	0,5961 to 0,6265	1,00185
0,6256 to 0,6593	0,99825	0,6266 to 0,6603	1,00175
0,6594 to 0,6970	0,99835	0,6604 to 0,6980	1,00165
0,6971 to 0,7392	0,99845	0,6981 to 0,7402	1,00155
0,7393 to 0,7869	0,99855	0,7403 to 0,7879	1,00145
0,7870 to 0,8411	0,99865	0,7880 to 0,8421	1,00135
0,8412 to 0,9034	0,99875	0,8422 to 0,9044	1,00125
0,9035 to 0,9756	0,99885	0,9045 to 0,9766	1,00115
0,9757 to 1,0604	0,99895	0,9767 to 1,0614	1,00105
1,0605 to 1,1000	0,99905	1,0615 to 1,1000	1,00095



11. Замеры и подсчёт груза

Tank No			
Cargo grade			
1	100% Tank Volume	m ³	Из мерительных таблиц
2	Temperature Liquid (average)	°C	Замеры
3	Sounding gauge	m	Замеры
4	Correction for density	m	Из мерительных таблиц
5	Trim Correction	m	Из мерительных таблиц
6	List Correction	m	Из мерительных таблиц
7	Correction for gauge shrinkage	m	Из мерительных таблиц
8	Correction for vertical shrinkage of tank	m	Из мерительных таблиц
9	Corrected sounding	m	= (3+4+5+6+7+8)
10	Uncorrected tank Volume	m ³	Из мерительных таблиц
11	Shrinkage factor		Из мерительных таблиц
12	Corrected liquid volume	m ³	= 10 x 11
13	Volume reduction factor at 15°C		Таблицы ASTM 54
14	Volume at 15°C	m ³	= 12 x 13
15	Density at 15°C	т/м ³	Таблицы ASTM 21
16	Liquid mass (in vacuum)	т	= 13 x 14
17	Uncorrected Vapor Volume	m ³	= 1 - 10
18	Shrinkage factor		Из мерительных таблиц
19	Corrected vapor volume	m ³	= 17 x 18
20	Manometer Pressure	bar	Замеры
21	Atmospheric Pressure	bar	Замеры
22	Molecular Weight of Vapor	kg/kmol	Расчет
23	Temperature Vapor	°C	Замеры
24	Vapor Mass (in vacuum)	т	Формула
25	Total mass in tank	т	= 16 + 24

Рис. 3. Примерная форма Акта Судовых Замеров.

11. Замеры и подсчёт груза



Cargo tank number				
Total Capacity (m³)				
V A P O U R	P (Bar/Kg/m²) - Gauge			
	t vap. (°C)			
	Volume Product			
	Shrinkage factor			
	% of Product			
	Volume of Product at t vap.			
	ρ (Kg/m³) at t vap./P			
Vapour Kg				
L I Q U I D P H A S E	Temperature liq (°C)			
	Observed level (mm)			
	• Trim Correction			
	• Float Correction			
	• List Correction			
	• Tape Correction			
	• Other Correction			
	Corrected Level (mm)			
	Volume Product (m³)			
	Shrinkage Factor			
	Volume at t liq.			
	VCF (ASTM 54 - old)			
	V at 15°C (m³)			
ρ (Kg/m³) at t liq./15°C				
Liquid Kg				
Total Kg				
	Draft: Fwd:		List:	
	Aft:		Atm. Press.:	

Рис. 4. Примерная форма Акта Судовых Замеров.



11. Замеры и подсчёт груза

Для практических расчетов (в диапазоне плотностей от 0,5 кг/л до 0,7 кг/л) используется соотношение:
плотность в воздухе = плотность в вакууме – 1,1(кг/м³).

Определение общего количества груза в танке сводится к определению массы жидкой части груза и массы его газовой части. Сложность заключается в том, что эти массы должны быть определены при одинаковых условиях. На практике определение массы груза осуществляется двумя методами:

- Масса может быть определена приведением объёма к некоторой стандартной величине при температуре +15°C, с использованием специальных переводных коэффициентов из таблиц ASTM.
- Масса может быть определена по известной плотности и объёму при соответствующей температуре, а затем переведена в вес в воздухе с помощью таблиц.

С научной точки зрения использование реальной плотности при подсчете массы не является правильным. Однако на практике, очень многие грузоотправители используют реальную плотность в своих расчетах.

Расчеты с использованием известной фактической плотности .

Этот метод применяется в основном при перевозке чистых газов или продуктов с наличием незначительного количества примесей других газов в его составе. Точная плотность груза при данной температуре определяется терминалом на основании измерений фактической плотности груза в береговом резервуаре при помощи денсиметра. После чего плотность, определенная лабораторным путем, пересчитывается в плотность при стандартной температуре (15° С, 20 ° С и т.д.) или же рассчитываются поправки к плотности на каждый ° С изменения температуры в зависимости от того, какая методика подсчета используется.

Рассчитанный объём груза при данной температуре умножаем на известное значение плотности при той же температуре и получаем массу груза. Масса же газовой части рассчитывается умножением откорректированного объёма газовой фазы на плотность перегретых паров газа, которая выбирается из графика «плотность перегретых паров » или же из соответствующих таблиц. Этот метод применим в основном к таким газам, как аммиак, этилен, бутadiен и некоторым другим газам, которые не содержат примесей и для них могут быть произведены расчеты (графические или табличные) зависимости плотности и давления паров от температуры груза. Обычно отправитель предоставляет судну такие таблицы.

Метод ASTM D 1657.

Для определения плотности используется специальный прибор, представляющий из себя стеклянный или пластиковый цилиндр, способный при температуре +15°C выдерживать давление 15 бар. Внутри цилиндра располагается денсиметр. Жидкий газ закачивается в цилиндр через систему клапанов, после чего снимаются показания термометра и денсиметра. Плотность, определенную таким образом можно корректировать на заданную

11. Замеры и подсчёт груза



температуру, используя таблицы ASTM 53 В (для приведение полученной плотности к стандартной величине при +15°C) или 23 В (для приведения плотности к стандартной величине относительной плотности при 60/60F).

Метод ASTM D 2598.

Основан на определении плотности смеси газов на основе их хроматографического анализа. Хромографом определяется точный фракционный состав газа, после чего производится расчет процентного содержания в смеси каждого компонента и по формуле определяется относительная плотность каждого компонента и смеси в целом:

$$\text{Relative Density (60/60°F)} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Relative Density (60/60°F) compound}_i \times C_i}{100}$$

где C_i – концентрация компонента i , в объёме жидкости в %.

Ниже приведена таблица относительной плотности компонентов коммерческого пропана, который представляет из себя смесь целого ряда газов..

Относительная плотность компонентов	
Компонент	Относительная плотность при 60/60°F
Ethane	0,35619
Propane	0,50699
Propylene	0,52095
n-Butane	0,58401
i-Butane	0,56287

Таблица 8. Относительная плотность компонентов коммерческого пропана.

Определение плотности по формуле Фрэнсиса.

В общем случае плотность смеси углеводородов, находящихся при температуре кипения при атмосферном подсчитывается по формуле Фрэнсиса, которая определяет линейную зависимость плотности жидкости от её температуры. Правда использовать эту формулу можно только в нешироком диапазоне температур от +30°C до –60°C.

$$\rho = \frac{\sum x_i M_i}{\sum x_i V_i}$$

где ρ – плотность при $t^\circ\text{C}$ кг/м³;
 x_i – молярное содержание компонента;
 M_i – молярная масса компонента;
 V_i – молярный объём компонента.



11. Замеры и подсчёт груза

Для температурного диапазона от +30°C до –60°C молярный объём определяется по формуле:

$$V_i = \frac{M_i}{\{A - (B \times t) - [C : (E - t)]\}}$$

где t – температура смеси в °C,
A, B, C и E постоянные величины для каждого компонента, значения которых приведены в таблице ниже.

Таблица констант формулы Фрэнсиса.

Компонент	Молярный вес	Константы			
		A	B	C	E
Ethane	30,070	499,0	0,99	6.000	66
Propane	44,097	575	0,97	6.000	129
n-Butane	58,124	637,6	0,87	7.000	186
i-Butane	58,124	616,2	0,97	6.000	169
n-Pentane	72,151	676,2	0,87	7.000	231
i-Pentane	72,151	666,6	0,88	6.000	222

Таблица 9. Величины констант, используемых в формуле Фрэнсиса.

Самый простой способ рассчитать плотность смеси газов – предположить, что смесь идеальна. Это значит, что плотность определяется по массовым соотношениям молярных объёмов каждого компонента в отдельности. Метод ASTM D 2598 на таком предположении и основан, однако при таком расчете не принимается во внимание эффект смешивания различных молекул в жидкости. Когда LPG грузится в танк или выгружается из танка давление в танке будет или выше или же ниже давления насыщенных паров груза. И как раз изменение плотности за счет изменения давления не учитывается в способе ASTM D 2598

	Density Liquid	Saturated Vapour Pressure	Vapour Density Saturated	Critical Value & MM
LPG (C4 mix)	(1)	(1)	(2)	(9)
Ethylene	(3)	(3)	(3)	(3)
Propylene	(4)	(4)	(4)	(4)
1,3-Butadiene	(1)	(1)	(2)	(9)
Ammonia	(5)	(5)	(5)	(5)
VCM	(7)	(8)	(6)	(7)

- (1) a) Costald / Corresponding State Liquid Density / R.W. Hankinson, G.H. Thomson / Hydrocarbon processing / 09.1979
b) An improved correlation for densities of compressed liquids and liquid mixtures / R.W. Hankinson, G.H. Thomson, K.R. Brobst / AICME journal Vol. 28, No. 4 / 07.1982

11. Замеры и подсчёт груза



- (2) API Technical Data Book / 6.B1.1 / 1966(1979)
- (3) International Thermodynamic Table of the Fluid State, Ethylene (UIPAC) / S. Angus, B. Armstrong, K.M. de Reuck, W. Featherstone, M.R. Gibson / Butterworths London / 1972
- (4) International Thermodynamic Tables of Fluid State, Propylene (UIPAC) / S. Angus, B. Armstrong, K.M. de Reuck / Pergamon Press / 1980
- (5) VDI – Forsch Heft 596 / J. Ahrendts, H.D. Baehr
- (6) Redlich Kwong equation of state (cubic form): Applied Hydrocarbon Thermodynamics / Wagne C. Edmiwter / Volume II
- (7) Adapted Goodrich formula
- (8) Thermodynamic properties of vinyl Chloride monomer / British Chemical Engineering / Vol. 3 – 1958
- (9) Engineering Data Book / Gas Processors Suppliers Association (GPA), Section 16: 1970 with exemption of PC for LPG (C4 mix) where its value has been calculated by means of reference (1) b

Таблица 10. Рекомендованные варианты подсчета для различных грузов.

Подсчет количества груза по уравнению COSTALD.

Более сложный метод подсчета плотности жидкости называется Corresponding State of Liquid Density (сокращенно COSTALD). Этот способ применим как к расчетам плотности паров так и к жидкостям под давлением. Разница между значением плотности, замеренной гидрометром, и значением плотности, рассчитанной по этой формуле, не превышает 0,08%. Поскольку формула COSTALD очень громоздка и сложна, расчеты осуществляются компьютерным способом. Нет надобности приводить эту формулу в данном пособии, поскольку только сама формула и значения различных коэффициентов занимают 2 страницы машинописного текста.

Практически всегда в процессе подсчета количества груза возникает разница между количеством груза, погруженным на судно по судовым замерам и количеством груза, поступившем на судно из береговых емкостей (коносаментным количеством). Эта разница зависит от многих причин – и от точности измерения уровня жидкости и давления в береговых и судовых танках, и от длины берегового трубопровода (правильно ли учитывается его объём), и от способа подсчета груза и от многих других факторов.

Многие компании требуют вручения письма протеста на разницу между судовыми и береговыми замерами, если таковая составляет не менее 0,2% от коносаментного количества, некоторые компании требуют вручать такое письмо при разнице не менее 0,5%. Однако международные требования – 0,2%.

В рассматриваемом ниже примере сравниваются результаты подсчета груза различными способами:

Пример:

3	Средняя температура груза	-38,0°C
3	Средняя температура паров	-32,5°C
3	Давление в танке	0,22 bar (манометр)



11. Замеры и подсчёт груза

3	Исправленный уровень жидкого груза в танке	16.285 mm
3	Объём жидкого груза при заданной температуре	7050540 литров ^(*)
3	Общий паров при заданной температуре	329610 литров ^(*)

Pressure Hydrometer (ASTM D 1250)	From Composition	
	Costald	ASTM D2598
Density at 15°C	Liquid density at -38°C:	Relative density at 60/60
0,560 Kg/Litre	0,6207 Kg/Litre	0,5557 Kg/Litre
Volume at -38°C ^(*)		Volume at -38°C ^(*)
7.042.950 Litre		7.042.950 Litre
		Density at 15°C (ASTM 21)
		0,5564
Volume at 15°C (ASTM 54)	Volume at -38°C ^(*)	Volume at 15°C (ASTM 54)
7.789.503 Litre	7.042.950 Litre	7.789.503 Litre
Liquid mass (Kg)	Liquid mass (Kg)	Liquid mass (Kg)
4.362.122	4.371.559	4.334.079

^(*) Откорректированы за крен, дифферент и сжатие танка.

Как можно видеть, даже способ подсчета дает существенную разницу в количестве груза на борту.

Подсчет груза методом приведения объёма к стандартной температуре.

Этот метод основан на использовании таблиц ASTM 54 (Акт судовых замеров на рис 5). По откорректированному всеми поправками уровню груза из мерительных таблиц (приложение 1) выбирается объём жидкой фазы груза при

11. Замеры и подсчёт груза



фактической температуре. По заданной относительной плотности груза (15/15) из таблиц ASTM 21 (Приложение 1) простым интерполированием между ближайшими по величине значениями выбираем истинную плотность груза при 15° С. Поскольку точное значение массы груза можно получить используя значения плотности и объёма, определенные при одной и той же температуре, то возникает необходимость привести реальный объём жидкости в танке к стандартной температуре +15° С. Для приведения объёма используются таблицы ASTM 54 (Приложение 1 Volume Reduction Factor). Вход в таблицу осуществляется по значениям средней температуры груза и стандартной плотности при +15° С. Интерполируя между ближайшими по значению величинами поправок, выбираем коэффициент приведения заданного объёма к стандартному объёму при +15 ° С. Получив объём и плотность груза при стандартной температуре, определяем массу груза.

Расчет газовой фазы груза.

Масса паров в грузовом танке определяется также как и масса жидкой фазы груза – произведением плотности на объём. Самое важное, что необходимо запомнить раз и навсегда, и плотность и объём должны быть определены для одного и того же значения температуры. Для подсчета плотности паров используется основное уравнение газов:

$$pV = nRT \quad \text{или}$$

$$p \cdot V = \frac{m}{Mr} \cdot R \cdot T$$

где p – давление абсолютное (Па);
 V – объём (л);
 P_m – давление манометрическое
 n – число молей;
 m – масса (кг);
 Mr – молярная масса (кг/моль) ;
 R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/К);
 T – температура в градусах Кельвина.

Многие сюрвейерские организации для подсчета газовой фазы используют расчетное значение плотности газа:

$$\rho = \frac{288,15}{273,15 + t^{\circ}C} \times \frac{1,01325 + p_m(\text{bar})}{1,01325} \times \frac{Mr}{23,6451}$$

эта формула верна для идеальных газов. Для реальных же газов, формула примет иной вид:

$$\rho = \frac{288,15}{273,15 + t^{\circ}C} \times \frac{1,01325 + p_m(\text{bar})}{1,01325} \times \frac{Mr}{23,6451} \times \frac{1}{Z}$$



11. Замеры и подсчёт груза

где Z – фактор сжатия, который при нормальных условиях хранения и перевозки газов очень близок к 1.
Фактор сжатия является функцией от P_r и T_r , где:

$$Pr = \frac{\text{Абсолютное давление паров}}{\text{Абсолютное критическое давление}}$$
$$Tr = \frac{\text{Абсолютная температура паров}}{\text{Абсолютная критическая температура}}$$

В различных справочных пособиях значения фактора сжатия приводятся в графической форме в зависимости от температуры и давления.

Перевод процентных соотношений смесей в весовые или объёмные соотношения и наоборот.

Очень часто грузоотправитель предоставляет только процентное или молярное соотношение компонентов в смеси газов (пропан, бутан, этан и т.д.). Для того чтобы произвести точные расчеты давления и температуры смеси необходимо знать их весовое или объёмное соотношение. Для упрощения таких вычислений имеются специальные таблицы, значительно упрощающие такие расчеты (рис. 11 и рис. 12).

Таблица 11. Таблица (1) операций с переводными коэффициентами.

Известная величина	Действие	Номер колонки из таблицы (2)	Искомая величина
Объём газа	Умножить на	1	Вес
Объём газа	Умножить на	2	Объём жидкости
Вес	Разделить на	1	Объём газа
Вес	Разделить на	3	Объём жидкости
Объём жидкости	Разделить на	2	Объём газа
Объём жидкости	Умножить на	3	Вес

11. Замеры и подсчёт груза



Таблица 12. Таблица (2) переводных коэффициентов.

	Колонка 1	Колонка 2	Колонка 3
Название компонента	Молекулярный вес	Объём жидкости в ml при t 15,6°C (60 F) и 760 mm Hg	Относительная плотность при 60/60 F
Methane	16,04	0,00226	0,30
Ethane	30,07	0,003566	0,3562
Ethylene	28,05	0,0032	0,37
Propane	44,10	0,003675	0,5070
Propylene	42,08	0,003413	0,5210
Propadiene	40,06	0,00282	0,600
Methylacetylene	40,06	0,00273	0,621
n-Butane	58,12	0,004205	0,5840
i-Butane	58,12	0,004362	0,5629
1-Butene	56,11	0,003944	0,6011
trans-2-Butene	56,11	0,003887	0,6100
cis-2-Butene	56,11	0,003780	0,6272
1,2-Butadiene	54,09	0,00347	0,658
1,3-Butadiene	54,09	0,003643	0,6272
Ethylacetylene	54,09	0,00328	0,696
n-Pentane	72,15	0,004830	0,6311
i-Pentane	72,15	0,004879	0,6247
neo-Pentane	72,15	0,005108	0,5967
1-Pentene	70,13	0,004589	0,457
trans-2-Pentene	70,13	0,004537	0,6530
cis-2-Pentene	70,13	0,004482	0,6611
2-methyl-1-Butene	70,13	0,004519	0,6557
3-methyl-1-Butene	70,13	0,004684	0,6325
2-methyl-2-Butene	70,13	0,00447	0,663
Cyclopentane	70,13	0,003948	0,7505
Isoprene	68,12	0,004195	0,6861

Пример :

Грузоотправитель предоставил процентное молярное соотношение газовой смеси, состоящей из метана, пропана и этана. Необходимо определить весовое соотношение (%) газов в смеси.

Компонент	%-ный состав (в молях)	Вид операции	Колонка 1	Молярный состав
Метан	33,3	умножить	16,04	534,1
Этан	33,3	умножить	30,07	1.001,3
Пропан	33,4	умножить	44,09	1.472,6
Всего:	100,0		Всего:	3.008,0



11. Замеры и подсчёт груза

Коэффициент пересчета можно определить соотношением:

$$\text{Коэффициент} = \frac{100,00}{3008,00} = 0,03324$$

Умножив коэффициент пересчета на молярный состав каждого компонента, получаем весовое соотношение каждого компонента в смеси:

Компонент	Молярный состав		Коэффициент		Весовое соотношение (%)
Метан	534,1	x	0,03324	=	17,8
Этан	1.001,3	x	0,03324	=	33,3
Пропан	1.472,6	x	0,03324	=	48,9
Всего:					100,0

Подсчет линейной скорости потока жидкости.

Для предотвращения образования заряда статического электричества из-за свободного падения жидкости в танк и её разбрызгивания в начальный момент погрузки, необходимо обеспечить поступление груза с линейной скоростью потока не более чем 1 м/с. К сожалению, терминалы не оборудуются датчиками, фиксирующими линейную скорость потока. Все существующие динамические счетчики груза (Flowmeter) определяют лишь объёмные характеристики потока груза или же весовые. Поэтому определение объёмной или весовой интенсивности налива для грузов, аккумулирующих статическое электричество, лежит на грузовом помощнике. По международным требованиям, максимальная интенсивность налива, для такого рода грузов, также ограничена линейной скоростью потока в 7 м/с.

Расчеты объёмной скорости потока в трубопроводе по известной линейной его скорости весьма просты:

$$\text{Объём 1 погонного метра трубопровода} \cdot \text{скорость потока} \cdot 3600 = \text{м}^3/\text{час}.$$

И, наоборот, зная интенсивность налива в объёмных единицах, можно легко определить линейную скорость потока:

$$\text{м}^3/\text{час} : 3600 : \text{объём погонного метра трубопровода} = \text{скорость, м/с}$$

Существуют специальные таблицы для облегчения таких расчетов. Ниже приведена таблица объёмов одного погонного метра трубопровода в зависимости от диаметра.

11. Замеры и подсчёт груза



Таблица 13. Объём погонного метра трубопровода в зависимости от его диаметра.

Номинальный диаметр Дюймы	Внутренний диаметр, дюймы	Имп.Галлон на фут	Амер. Галлон на фут	Литр на метр	Баррель на милю
2	2,067	0,1451	0,1743	2,165	22
2,5	2,469	0,2071	0,2487	3,089	31
3	3,068	0,3198	0,3540	4,769	48
4	4,026	0,5507	0,6613	8,213	83
6	6,065	1,250	1,501	18,64	189
8	8,071	2,213	2,658	33,01	334
10	10,192	3,529	4,238	52,63	533
12	12,090	4,966	5,964	74,06	749
14	13,250	5,964	7,163	88,96	900
16	15,250	7,901	9,489	117,84	1.192
18	17,250	10,109	12,140	150,77	1.525
20	19,250	12,589	15,119	187,76	1.900
24	23,250	18,370	22,062	273,99	2.772

*Объём рассчитан по внутреннему диаметру трубопровода

Грузовая документация

Перевозка любого груза на судах должна сопровождаться оформлением необходимого пакета коммерческой документации.

При перевозке сжиженных газов такая документация должна включать:

Коносамент (Bill of Lading)

Это наиболее важный документ, подтверждающий получение груза судном. Обычно коносамент подписывается капитаном по поручению судовладельца и (или) фрахтователя и подтверждает количество груза, погруженного на борт танкера в соответствии с требованиями чартера, согласно которым груз должен быть доставлен в порт назначения в целости и сохранности.

Обычно выписывается 3 оригинала коносамента, каждый из которых должен быть подписан соответствующим образом и заверен судовой печатью. Один оригинал направляется отправителю, второй – перевозчику (судовладельцу или фрахтователю), а третий оригинал направляется получателю груза. Копии коносамента в необходимом количестве предоставляются капитану судна с отметкой «Cory» и «Non Negotiable». Выгрузка груза в порту назначения осуществляется после предъявления получателем оригинала коносамента. Помимо того, что коносамент подтверждает количество груза на борту, он является ещё и платежным документом. До того момента, пока получатель не предъявит оригинал коносамента, или же не подтвердит своё право на груз гарантийным письмом (Letter of Indemnity), капитан не имеет права выгружать доставленный груз.



11. Замеры и подсчёт груза

Сертификат качества (Certificate of Quality)

В этом документе указывается спецификация на груз, его состав, качество, физические и химические свойства груза. Сертификат предоставляется терминалом по поручению грузоотправителя или же независимой сюрвейерской организацией. На основании сертификата о качестве груза капитан подписывает коносамент.

Сертификат количества (Certificate of Quantity)

Этот документ подтверждает количество груза, принятого на борт и выдается представителем терминала по поручению грузоотправителя. Сертификат обычно заверяется независимым сюрвейером. Сертификат количества позволяет капитану определить правильно ли указано количество груза в коносаменте. Тем не менее количество груза, указанное в коносаменте, всегда имеет приоритетность по сравнению с другими грузовыми документами.

Сертификат о происхождении (Certificate of Origin)

Такой сертификат выдается производителем груза или же грузоотправителем. В нем указывается страна происхождения груза. Сертификат должен быть обязательно подписан таможенной службой порта отгрузки. В некоторых странах такой документ может быть затребован государственными органами, контролирующими экспорт/импорт товаров. Также как и сертификаты на качество и количество груза, этот документ не является дополнением или приложением к коносаменту.

Акт учета стояночного времени (Time Sheet)

Детальная запись о времени, затраченном судном на стояночные операции в порту (погрузки или выгрузки) готовится обычно судном, хотя в некоторых случаях грузоотправитель может независимо от судна вести учет стояночного времени в порту. Судовой агент согласовывает акт учета стояночного времени с представителями терминала для того, чтобы представить судовладельцу и грузоотправителю уже согласованный документ, в котором указаны все основные моменты, касающиеся проведения грузовых операций, задержки, ожидания и пр. Акт позволяет распределить затраты на обработку судна в порту между участниками чартера.

Грузовой манифест (Cargo Manifest)

Манифест на груз обычно готовится судовым агентом или капитаном судна. В манифесте указываются :

- Тип груза;
- Порт погрузки;
- Номер груза по ИМО;
- Порт выгрузки;
- Количество каждого груза на борту согласно коносамента;

11. Замеры и подсчёт груза



- Размещение груза по танкам;
- Фрахтователь судна;
- Отправитель груза;
- Получатель груза;

Манифест предъявляется по требованию портовых властей или таможенных властей в порту выгрузки.

Дополнительные грузовые документы.

Помимо основных коммерческих документов, перечисленных выше, имеется целый ряд документов, которые регламентируют грузовые операции. Так наличие перед погрузкой сертификата о готовности танков (Certificate of Tank Fitness или Tank Inspection Certificate Before Loading) является обязательным условием, подтверждающим готовность судна к приему груза. Также как и наличие сертификата об инспекции танков после выгрузки (Tank Inspection Certificate After Discharge или Tank Empty Certificate) подтверждает полную выгрузку груза. Если при подсчете груза в порту погрузки возникают расхождения в количестве груза на борту более чем в 0,5 %, для защиты интересов судовладельца судно должно подготовить акт о расхождении в количестве груза (Letter of Cargo Discrepancy или Cargo Discrepancy Certificate) и вручить его представителю терминала.



12. Подготовка грузовых танков

Общие положения.

Несмотря на то, что имеются стандартные процедуры по подготовке грузовых танков из-под одного груза под другой (см. таблицу «Руководство по смене грузов»), они могут быть изменены по требованию фрахтователя. Очевидно, что для подготовки грузовых танков, соответствующих трубопроводов и систем требуется достаточно много времени. В большинстве случаев такая подготовка осуществляется на переходе судна море, на якоре или же у свободного причала.

Окончательная же подготовка танков (продувка азотом и продувка парами груза), как правило, проводится у причала. И от того, насколько правильно, четко и быстро будут проведены все вышеперечисленные процедуры по подготовке танков, зависят, в конечном итоге, расходы, которые понесет судовладелец в порту погрузки.

Инертизация.

Инертизация – это операция замещения взрывоопасной атмосферы грузового танка инертным газом.

В качестве инертного газа может использоваться азот или же ИГ, производимый судовой установкой ИГ. То, какой газ можно использовать для инертизации танков определяется требованиями фрахтователя в отношении минимального содержания кислорода в атмосфере танка, точки росы, совместимостью груза и инертного газа, используемого для продувки и т.д. и т.п. В английской же терминологии для обозначения операций по замещению атмосферы танка азотом или инертным газом, используется термин **PURGING**. Операция же по замещению атмосферы танка сначала инертным газом или азотом, а затем чистым воздухом, называется **GASFREEDING**.

Азот.

Азот является химически неактивным (инертным) газом. В химические реакции с некоторыми элементами он может вступать только при высоких давлениях и температурах в присутствии катализатора. Поэтому можно с уверенностью сказать, что в нормальных условиях азот не вступает в реакцию с грузами, перевозимыми на газовозах.

Азот, получаемый в промышленных целях, содержит в своем составе не более 5 ppm кислорода, а его точка росы, составляющая обычно -67°C , соответствует содержанию паров воды в газе не более 4 ppm по объему.

Инертный газ.

Этот термин обычно используется в том случае, если подразумевается инертный газ (ИГ), полученный в судовой установке. По своему качеству и составу ИГ значительно уступает азоту. Поскольку в судовых условиях ИГ получают сжиганием топлива в специальной установке, то в его составе присутствуют и механические примеси, и сажа, и пары воды, и углекислый газ,



12. Подготовка грузовых танков

и многие другие продукты сгорания топлива. Точка росы ИГ колеблется от +5°C до -60°C, а содержание кислорода от 0,1% до 5% по объёму.

Требования к атмосфере танков при смене груза.

Как уже упоминалось выше, атмосфера танка перед погрузкой того или иного груза должна соответствовать «Руководство по смене грузов» (Changing Grades Guidelines).

1. Содержание кислорода в атмосфере танка – (Oxygen content) всегда стоит на первом месте, поскольку содержание кислорода определяет взрывоопасность атмосферы. При содержании кислорода в атмосфере танка ниже 10,8%, воспламенение взрывоопасной смеси не происходит даже при наличии открытого источника огня. А в таблице содержание кислорода указано в размерах от 0,3 до 0,1%. Такое содержание кислорода в атмосфере танка требуется в соответствии с коммерческой договоренностью фрахтователей при перевозке химических газов. Такое низкое содержание кислорода необходимо для обеспечения необходимого качества груза. Особенно это относится к продуктам, подверженным полимеризации.
2. Точка росы – (Dew Point) – температура при которой в проверяемой атмосфере начинается конденсация паров воды. Или можно сказать, что точка росы определяет содержание воды в атмосфере. Чем выше температура точки росы, тем большая концентрация воды находится в атмосфере. Измерение точки росы производится по двум причинам. Во-первых, при погрузке грузов с температурой ниже нуля, в танках может образоваться лед, который вызовет блокирование трубопроводов и систем. Во-вторых, при перевозке химически чистых продуктов, максимальное содержание воды в них строго лимитировано.
3. Присутствие предыдущего груза – (Last Cargo Contents) фрахтователями строго лимитируется присутствие следов предыдущего груза в атмосфере танка после его продувки азотом. При смене некоторых грузов, например, после аммиака, под погрузку следующего груза, например VCM, требуется производить даже замену масла в компрессорах, для того чтобы избежать порчи груза.
4. Содержание углекислого и угарного газа – проверка атмосферы танка на содержание таких газов в атмосфере танка очень важна перед погрузкой полимеризующихся грузов и этилена, содержание CO и CO₂ не должно превышать концентрации, указанные в спецификации для данных грузов.



12. Подготовка грузовых танков

Руководство по смене грузов											
Следующий груз											
	Butane	Butadie ne	Butylen e	C4- raffinad e	Ethylen e	Propane	Propyle ne	Propyle ne Oxide	Propane Propyle ne mix	Vinyl Chloride	C4- crude
O ₂ Content	<0,5%	<0,2%	<0,3%	<0,3%	<0,3%	<0,5%	<0,3%	<0,1%	<0,3%	<0,1%	<0,3%
Dew point	<-10° C	<-10 ° C	<-10° C	<-10° C	<-50° C	<-40° C	<-25° C	<-40° C	<-40° C	<-20° C	<-10° C
Предыдущий груз											
Ammonia	Погрузка груза после аммиака требует соблюдения специальных требований, предъявляемых грузоотправителем										
Butane		N ₂ <5%	N ₂ ,I <5%	ET	V, N ₂	S	V, N ₂	V, N ₂	ET	V, N ₂	ET
Butadiene	ET		N ₂ ,I <25%	N ₂ ,I <25%	V, N ₂	ET	V, N ₂	V, N ₂	V, N ₂	V, N ₂	ET
Butylene	ET	N ₂ <5%		ET	V, N ₂	ET	V, N ₂	V, N ₂	V, N ₂	V, N ₂	ET
C4-raffinate	ET	N ₂ <5%	N ₂ ,I <25%		V, N ₂	ET	V, N ₂	V, N ₂	V, N ₂	V, N ₂	ET
Ethylene	S Heat	N ₂ <5%	N ₂ ,I <5%	S		S	N ₂ <3000 ppm	V, N ₂	ET Heat	N ₂ <1000 ppm	S Heat
Propane	ET	N ₂ <5%	N ₂ ,I <5%	ET	N ₂ <1000 ppm		N ₂ <5%	V, N ₂	ET	N ₂ <1000 ppm	S
Propylene	ET	N ₂ <5%	N ₂ ,I <5%	ET	N ₂ <1000 ppm	ET		V, N ₂	ET	N ₂ <1000 ppm	S
Propylene Oxide	W,V, N ₂ ,I	W,V, N ₂	W,V, N ₂ ,I	W,V, N ₂ ,I	W,V, N ₂	W,V, N ₂ ,I	W,V, N ₂		W,V, N ₂	W,V, N ₂	W,V, N ₂
Propane Propylene mix	ET	N ₂ <5%	N ₂ ,I <5%	ET	V, N ₂	S	N ₂ <25%	V, N ₂		N ₂ <1000 ppm	S
Vinyl Chloride	V, N ₂ ,I	V, N ₂	V, N ₂ ,I	V, N ₂ ,I	V, N ₂	V, N ₂ ,I	V, N ₂	V, N ₂	V, N ₂		V, N ₂
Propane & Butane mix	S	N ₂ <5%	N ₂ ,I <5%	ET	V, N ₂	ET	V, N ₂	V, N ₂	S	V, N ₂	
C3 / C4	ET		N ₂ ,I	ET	V, N ₂	S	V, N ₂	V, N ₂	V, N ₂	V, N ₂	

Рис. 1 Руководство по смене грузов.

Буквенные обозначения	Расшифровка
W	Water wash (мойка водой)
V	Visual inspection (Визуальная инспекция)
N ₂	Nitrogen only (Для инерттизации использовать ТОЛЬКО азот)
N ₂ ,I	Nitrogen or Inert Gas (для инерттизации используется азот или инертный газ)
LF(ET)	Liquid free (Empty Tank) (Пустой танк. Осушен настолько, насколько это можно осуществить грузовыми насосами)
S	Standard Requirements(Стандартные требования - танки и трубопроводы свободны от жидкого груза, давление в танках не превышает 0,5 бар - манометрического.



12. Подготовка грузовых танков

Примечание:

1. Первые две строки относятся только к следующему грузу. Верхняя строка определяет допустимое содержание кислорода в атмосфере танков перед погрузкой. Нижняя строка указывает допустимую температуру точки росы атмосферы танка в °С
2. Перед любой инертизацией танка температура у днища танка не должна быть ниже 0°C.
3. Грузовой танк не следует открывать для визуальной инспекции до тех пор, пока его температура не сравняется с температурой окружающей среды
4. Продувка азотом после перевозки C₂ или C₃ под погрузку этилена или пропилена является достаточной только тогда, когда атмосфера танков не будет содержать паров C₄ и тяжелее, а также будет содержать паров воды не более, чем указано в кодексе.

Методы замены атмосферы танка.

Существует два основных способа или метода замены атмосферы танка:

- Метод замещения или Displacement Method;
- Метод разбавления атмосферы танка или Dilution Method.

Метод замещения.

Этот метод основан на разности плотностей газа, находящегося в танке и газа, подаваемого в танк (рис. 2). Для достижения желаемого эффекта всегда следует придерживаться следующих рекомендаций:

- При продувке танков азотом следует создать четкое разделение слоя азота и более тяжелых паров груза.
- Следует избегать резких изменений в скорости подачи азота в танк, так как это может привести к разрушению разделительного слоя.
- Используйте азот с температурой в диапазоне +50°C +70°C.
- Всегда подавайте легкий газ в верхнюю часть танка.
- Начинайте продувку с малой интенсивностью во избежание турбуленции (200-300 м³/час).
- Скорость подачи азота плавно увеличивайте до необходимого уровня только после того, как убедитесь, что в танке образовался «поршень».
- Для продувки предпочтительнее использовать верхнюю и нижнюю распределительную магистраль (Distribution Lines).
- Если таковых нет, используйте газовую и жидкостную магистрали соответственно.
- **НИКОГДА** не используйте верхний распыл для подачи газа в танк (значительная турбуленция потока за счет сопел распыла).
- Держите избыточное давление в танке не выше 100 миллибар.

Следует помнить, что эффект «поршня» не может продолжаться долгое время из-за диффузии газов, поэтому при возобновлении продувки танков после остановки, следует считать, что атмосфера в танке однородная. Метод замещения атмосферы танка считается весьма эффективным. А поскольку плотности большинства коммерческих газов значительно выше плотности



12. Подготовка грузовых танков

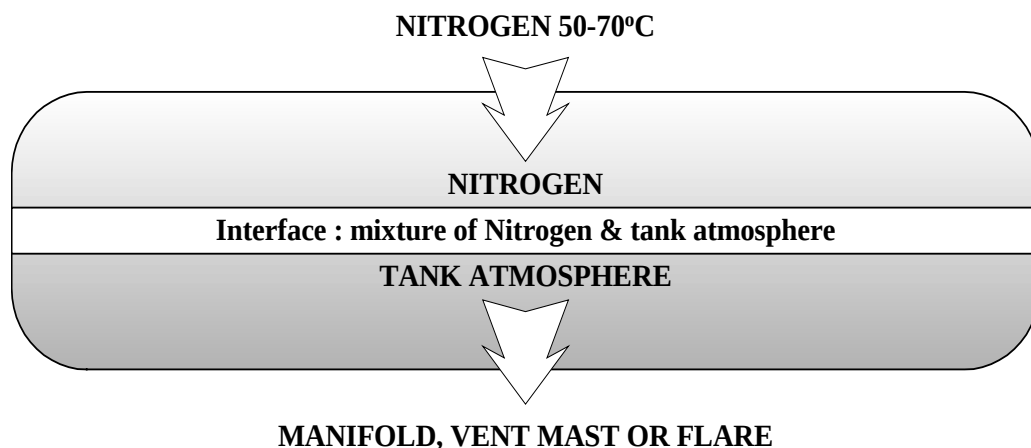


Рис. 2. Метод замещения атмосферы танка.

азота, то этот метод можно использовать довольно широко. Что касается Аммиака и Этилена, плотности которых сопоставимы с плотностью азота, то здесь можно использовать разность температур, поскольку пары в танке находятся при относительно низкой температуре (особенно этилен), то подав в верхнюю часть танка теплый 50-70°C азот, можно достичь хорошего результата. Самое важное при таком способе продувки танка – не спешить в начальный момент и создать в танке хороший «поршень». Схема продувки танков инертным газом выглядит, как показано на рисунке 2. При использовании метода замещения атмосферы, можно использовать конструктивные особенности газозовов и производить такую операцию одновременно по всем танкам (если есть необходимость).

Продувка танков каскадом.

Продувка каскадом означает, что танки продуваются друг за другом, атмосфера одного танка вытесняется в другой танк и т.д. (рис. 3).

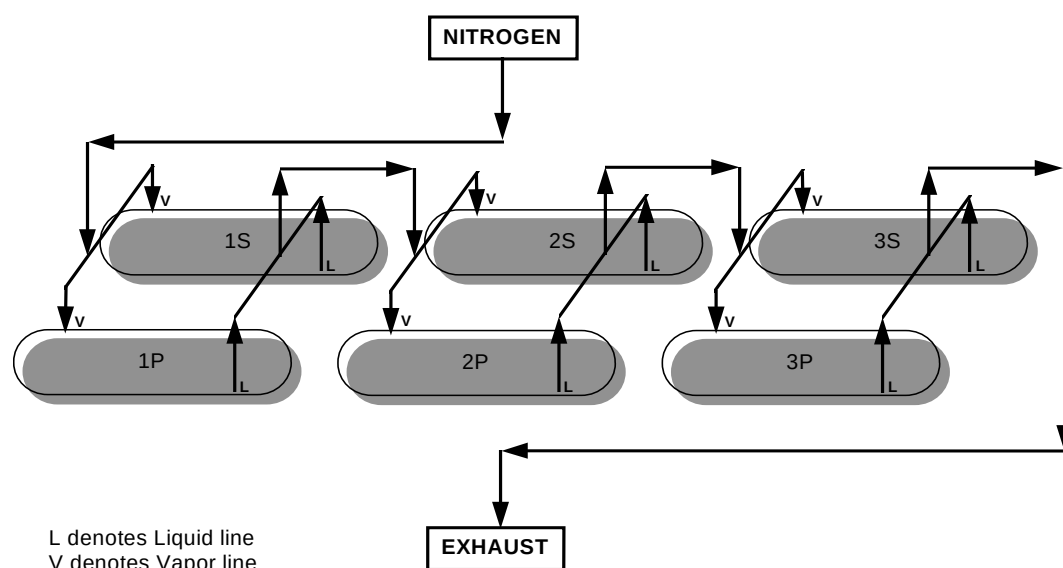


Рис. 3. Продувка танков каскадом.



12. Подготовка грузовых танков

При продувке каскадом азот подается в верхнюю часть танка, а затем отводится из нижней части этого танка в верхнюю часть второго танка и т.д. Такая процедура позволяет значительно сэкономить общее количество азота, требуемое для полной продувки всех грузовых танков.

Продувку каскадом ВСЕГДА следует начинать с танка меньшего объема.

Продувка танков каскадом – наиболее эффективная схема продувки, если в начальный момент был образован хороший «поршень», то на полную смену объема танка обычно требуется 1,1-1,3 объема азота.

Полу-каскадная схема продувки.

Очень часто грузовая система судна не позволяет соединить все танки последовательно. В таком случае можно использовать, так называемый полу-каскадный метод продувки. Обычно, грузовая система газовоза разделена на 2 отдельные системы, что позволяет производить продувку каскадом одной группы танков последовательно, а второй группы в параллель (рис. 4). В нашем случае одна система содержит танки 2л/б и 2 п/б в одной группе и танки 1 (п/б л/б) и 3 (п/б и л/б) во второй группе. Группы включены в систему параллельно, но танки второй группы продуваются каскадом.

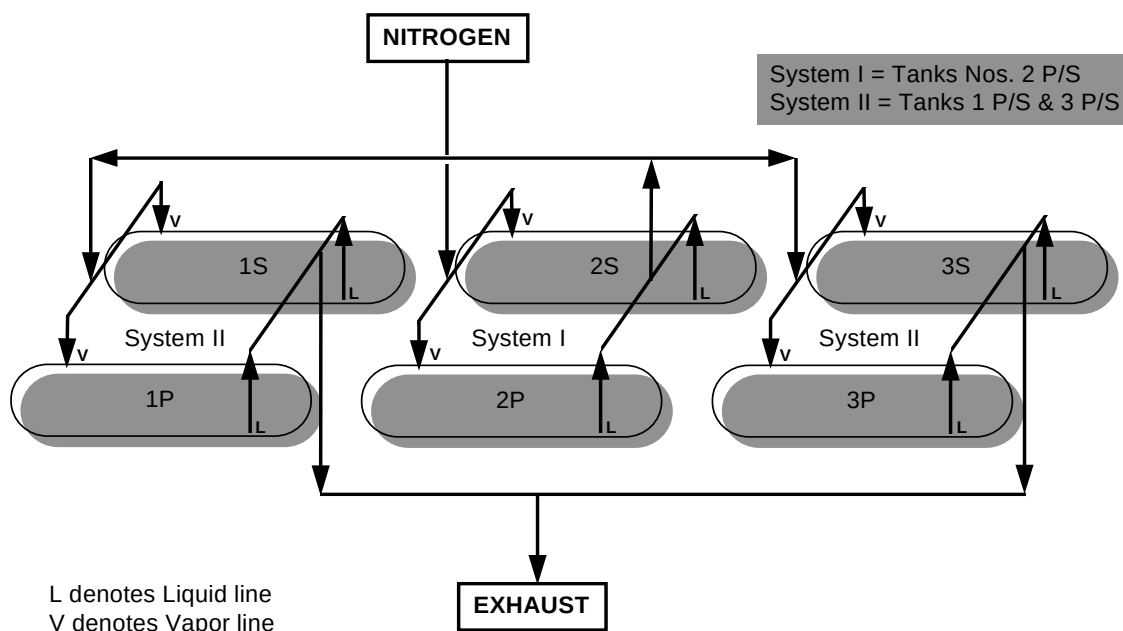


Рис. 4. Полу-каскадная схема продувки танков.

По временному показателю такая схема продувки работает достаточно хорошо, поскольку можно значительно увеличить скорость подаваемого азота, но расход азота в этом случае также значительно повышается.

Продувка в параллель.



12. Подготовка грузовых танков

Если нет возможности соединить танки последовательно, то схема продувки приобретет вид, представленный на рисунке 5.

В этом случае азот подается одновременно во все танки по газовой магистрали, отвод атмосферы танка на вентиляционную колонну или же в береговой газоотвод осуществляется по жидкостной магистрали также одновременно со всех танков. Основной недостаток такого способа – значительный расход азота на продувку танков, однако, высокая скорость подачи азота в танки позволяет уменьшить общее время продувки танков.

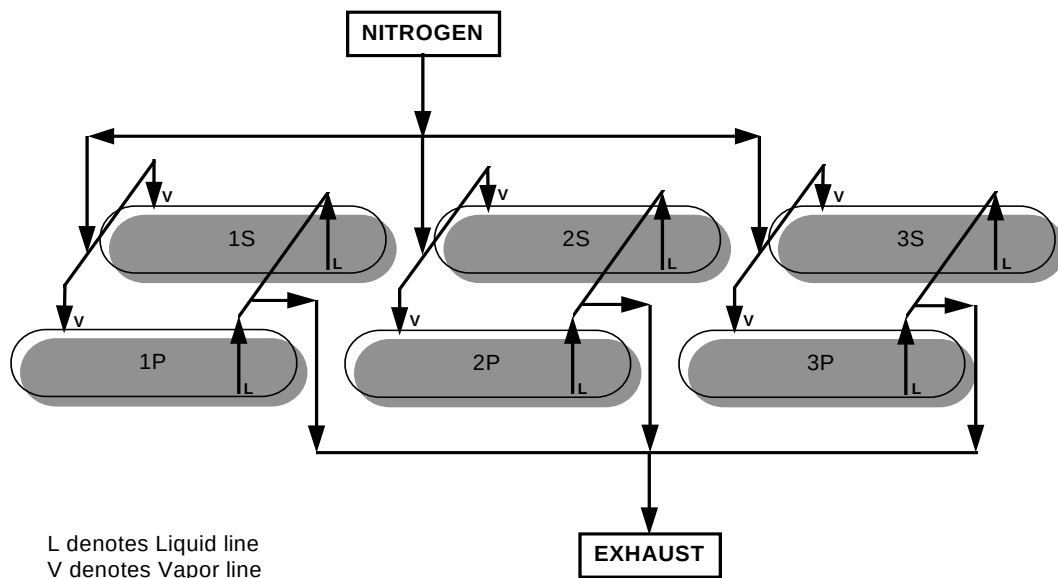


Рис. 5. Продувка танков в параллель.

Метод разбавления атмосферы (Dilution Method).

Разбавление атмосферы (рис. 6) танка производится подачей азота в танк с высокой скоростью, что способствует равномерному перемешиванию (разбавлению) атмосферы танка с азотом. При смене атмосферы танка методом разбавления, следует придерживаться следующих практических рекомендаций:

- Азот должен поступать в танк с температурой $+50^{\circ}\text{C} - +70^{\circ}\text{C}$.
- Более тяжелый газ всегда должен поступать в танк сверху, легкий газ следует подавать вниз танка.
- Продувку следует начинать с максимальной подачей азота для обеспечения лучшего перемешивания атмосферы танка.
- Используйте грузовые магистрали для подачи азота и отвода газовой смеси.
- Верхний распыл используется только в том случае, если его пропускная способность достаточно высока.
- Держите избыточное давление в танках не более 100 миллибар.
- Предполагайте значительный расход азота.



12. Подготовка грузовых танков

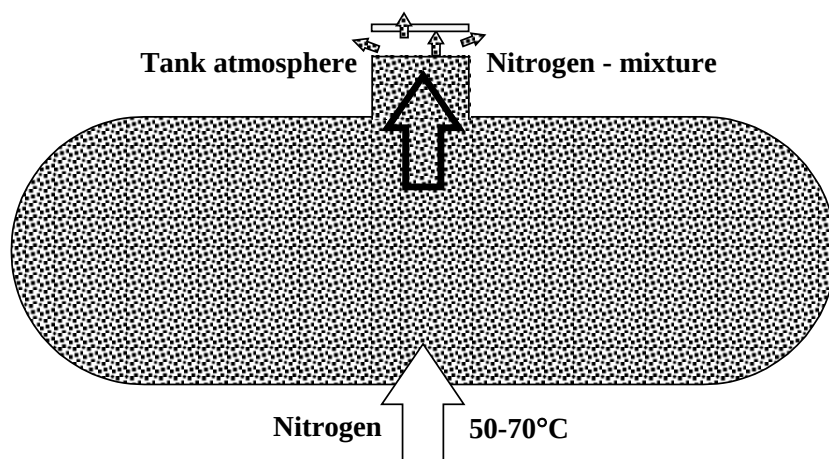


Рис. 6. Метод разбавления атмосферы танка.

Основная задача при использовании этого метода – обеспечить как можно более полное перемешивание атмосферы танка с подаваемым газом. Это достигается довольно легко подачей азота в нижнюю часть танков с высокой скоростью. Отвод смеси осуществляется из верхней части танка по газовой магистрали. Следите за тем, чтобы давление в танке было незначительным. Если вы производите инертизацию танков, то можно держать открытыми горловины грузовых танков. Это позволит более равномерно производить перемешивание атмосферы танка с азотом.

Такой способ применим только тогда, когда сокращение времени стоянки судна в порту доминирует над затратами на азот.

Некоторые практические рекомендации.

Поскольку проверка готовности танков производится сюрвейером их визуальным осмотром, то танки перед началом инспекции должны быть подготовлены ко входу в них сюрвейера. Обычно горловины танков укладываются на деревянные подушки толщиной 2-3см и удерживаются на месте с помощью 4-х болтов. Такая подготовка позволяет обеспечить минимальное давление в танке в процессе продувки, легкость проверки состояния атмосферы танка и облегчит процесс смены атмосферы в танке.

Подача азота обычно осуществляется со скоростью 4.000 – 5.000 м³/час. Подача в танк азота с высокой температурой обеспечит быстрое перемешивание атмосферы и позволит сэкономить азот (с повышением температуры объем газа увеличивается).

Горловины танков можно устанавливать на штатное место незадолго до окончания продувки, когда содержание кислорода в атмосфере танка будет на несколько сотен ppm выше того, что требует грузоотправитель.

Будьте осторожны! В момент установки горловин на штатные места резко возрастает скорость потока в газоотводе и на выходе из пробоотборников.



12. Подготовка грузовых танков

Разбавление повторяемой опрессовкой танков.

На судах полунапорного типа можно использовать процесс повторяемой опрессовки танков. В этом случае инертный газ нагнетается в танки с использованием грузовых компрессоров. Затем следует сброс избыточного давления из танка на вентиляционную мачту.

Повторение такой операции позволяет ускорить процесс обмена объёмов танка. Например, для снижения концентрации кислорода в танке до 5% при обычном разбавлении газов потребуются произвести около 2-х смен объёмов танка, а при использовании метода опрессовки танков за два объёма содержание кислорода в атмосфере танка может стать гораздо меньше 5%.

При этом было обнаружено, что смена атмосферы происходит быстрее при частом повторении опрессовки танка на небольшое избыточное давление, нежели чем при создании большого давления в танке.

Разбавление повторным вакуумированием танков.

Такой тип продувки танков также используется только для танков типа «С». Однако это во многом зависит от конструктивных особенностей танков и установочного давления на предохранительных клапанах (по вакууму). Обычно установка таких клапанов позволяет производить вакуумирование от 30 до 70%.

Инертизация методом разбавления может дать хороший результат в случае повторяемого вакуумирования танка, с последующей подачей в танк инертного газа. Например, каждое вакуумирование танка на 50%, наполовину снижает содержание кислорода в атмосфере танка за каждый вакуумный цикл. Конечно, при этом часть кислорода в танке будет замещаться кислородом, содержащемся в инертном газе. Вакуум в танке можно создать или использованием грузовых компрессоров, или установкой специального газового эжектора на грузовом трубопроводе.

Пожалуй, из всех видов смены атмосферы в танке методом разбавления, вакуумирование танков является наиболее эффективным и экономичным, поскольку позволяет уменьшить количество используемого инертного газа. Однако по времени, которое требуется для удовлетворительной смены атмосферы в танке, вакуумирование менее эффективно, чем опрессовка, из-за низкой производительности компрессоров при работе на вакуум и недостаточной скорости подачи инертного газа в танк после вакуумирования.

Предупреждение:

**В настоящее время процедура вакуумирования танков используется довольно редко и может привести к полной остановке систем и механизмов из-за срабатывания аварийной остановки по вакууму в танках.
Повторный запуск всего оборудования – дело долгое и хлопотное.**

Для расчета количества вакуумных циклов (n) при разбавлении атмосферы этим способом пользуются зависимостью:

$$n = \frac{\ln C_{TP} - \ln C_H}{\ln k}$$



12. Подготовка грузовых танков

где $k = \frac{P_n}{P_k}$ – коэффициент разряжения (сжатия),

P_n – первоначальное (абсолютное) давление в танке перед вакуумированием или опрессовкой (абсолютное давление = атмосферное + манометрическое),
 P_k – конечное давление цикла (абсолютное) в танке после опрессовки или вакуумирования.

$C_{тр}$ – требуемая концентрация газа в атмосфере танка.

C_n – начальная концентрация газа в атмосфере танка

Пример:

Судно вместимостью 8.000 м³ после визуальной инспекции танков имеет в танках воздух с содержанием кислорода (C_n) 21% по объёму. Рабочие компрессора могут создать в танках вакуум 50% (-0,5 бара манометрическое давление или же 0,5 бара абсолютное давление). По окончании продувки танков азотом атмосфера в танках должна содержать кислорода не более ($C_{тр}$) 1 % от объёма танка. Определить, какое количество вакуумных циклов вам необходимо произвести и какое количество азота вы при этом используете?

Решение:

$$n = \frac{\ln 1 - \ln 21_n}{\ln \frac{1,0}{0,5}} = \frac{0 - 3,04}{0,69} = 4,41$$

Для того, чтобы достичь 1% содержания кислорода в атмосфере танка, необходимо произвести 4,5 вакуумных цикла.

Поскольку степень вакуумирования составляет 50%, то за каждый вакуумный цикл будет происходить смена 50 % объёма танка (в нашем случае 4000 м³). Соответственно за 4,5 цикла будет израсходовано:

$$4,5 \times 4000 = 18000 \text{ м}^3 \text{ азота}$$

Эту задачу можно решить "шаг за шагом", используя соотношение

$$C_k(\%) = \frac{P_n}{P_k} \times C_n(\%)$$

Где C_n - концентрация газа в начале каждого цикла, а C_k - концентрация газа в конце каждого цикла.

То есть в нашем случае за первый вакуумный цикл концентрацию кислорода можно снизить до:

$$(0,5/1,0) \cdot 21\% = 10,5\%,$$

За второй цикл, соответственно:

$$(0,5/1,0) \cdot 10,5\% = 5,25\%.$$



12. Подготовка грузовых танков

За третий цикл:

$$(0,5/1,0) \cdot 5,25\% = 2,63\%$$

За четвертый:

$$(0,5/1,0) \cdot 2,63\% = 1,31\% \text{ и т.д.}$$

расход азота за 4 цикла составит:

$$8.000\text{м}^3 \cdot 50\% = 4.000\text{м}^3 \cdot 4 = 16000 \text{ м}^3$$

Непрерывное разбавление.

Смена атмосферы в танке может быть также произведена методом непрерывного разбавления. К сожалению, только такой процесс применим для судов с танками типа «А», которые имеют очень ограниченные величины избыточного давления (250 мбар) и вакуума (3 мбар) в танке.

Для процесса разбавления абсолютно не имеет значения, в каком месте танка подается азот и где происходит сброс смеси в атмосферу. Поэтому наиболее эффективно работает вариант, когда инертный газ с большой скоростью подается по газовой магистрали в нижнюю часть танка, а сброс смеси газов осуществляется через газовую магистраль танка в его верхней части. Для танков типа «С» такой метод можно улучшить, отсасывая смесь газов из танка с помощью компрессоров и поддерживая небольшой вакуум в танке.

Инертизацию танков разбавлением можно также производить последовательно, перепуская газ из одного танка в другой, но это значительно снижает скорость разбавления и, соответственно, увеличивает время, поэтому лучший вариант – продувка в параллель.

Можно долго рассуждать о преимуществах того или иного вида смены атмосферы в танке, поскольку это во многом зависит от конструктивных и технологических особенностей каждого судна. Как бы то ни было, очень важным мероприятием при любой продувке танка является регулярный контроль за атмосферой в танке и продувка всех систем и механизмов.

Расчет времени инертизации танков.

Если мы имеем в танке однородную газовую среду (пары груза, азот, инертный газ, воздух), то количество обменов атмосферы танка, необходимое для полной смены его газовой среды, можно рассчитать по следующей формуле:

$$n = \ln \frac{C_n}{C_k}$$

где n – количество обменов объёма;
 $\ln$ – натуральный логарифм;
 C_n – процентное содержание кислорода до инертизации /вентиляции;



12. Подготовка грузовых танков

Ск – процентное содержание кислорода после инертизации/вентиляции.

Пример:

Содержание кислорода в танке объемом 4.000м³ до начала инертизации – 21% по объёму. Необходимо продуть танк до содержания кислорода 3% по объёму.

Ответ:

Отношение процентного содержания кислорода до и после инертизации будет равно 7. Натуральный логарифм числа 7 составляет 1,95, то есть необходимо произвести 2 полных обмена атмосферы танка, чтобы содержание кислорода в нем понизилось до 3% процентов. Эта формула дает правильный результат в случае однородной смеси газов в танке, однако, если сработает «эффект поршня», то число обменов будет меньше.

Вышеуказанная формула хороша, если для инертизации используется азот. То есть содержание кислорода в продувочном газе принято равным «0». Что же произойдет, если мы будем продувать атмосферу танка с помощью инертного газа, который содержит некоторое количество кислорода. В таком случае вышеуказанная формула примет вид:

$$n = \ln \frac{C_n - O_2^{иг}}{C_k - O_2^{иг}}$$

где $O_2^{иг}$ – содержание кислорода в инертном газе.

Эта же формула может использоваться для расчета числа обменов объёма при вентиляции танков воздухом.

Ниже приведены значения натуральных логарифмов для некоторых чисел.

Число	Натуральный логарифм	Число	Натуральный логарифм
5	1,609	15	2,708
6	1,792	16	2,773
7	1,946	17	2,833
8	2,079	18	2,890
9	2,197	19	2,944
10	2,303	20	2,996
11	2,398	30	3,401
12	2,485	40	3,689
13	2,565	50	3,910
14	2,639	60	4,094

Для более низких концентраций кислорода в атмосфере можно использовать приведенный ниже график (рис. 8) зависимости соотношения первоначальной концентрации кислорода к требуемой его концентрации в танке



12. Подготовка грузовых танков

от числа смен объёмов атмосферы танка. На практике расход азота будет несколько выше, чем рассчитанный вышеописанным методом.

Для практического применения этой формулы рекомендуется к расчетной величине количества смен объёмов добавлять еще 10% от этого количества.

Для нашего примера величина необходимого количества смен объёмов составляет 1,95, на практике же необходимо увеличить это количество на 10%:

$1,95 + 0,20 = 2,15$, то есть расход азота будет выше на 10%.

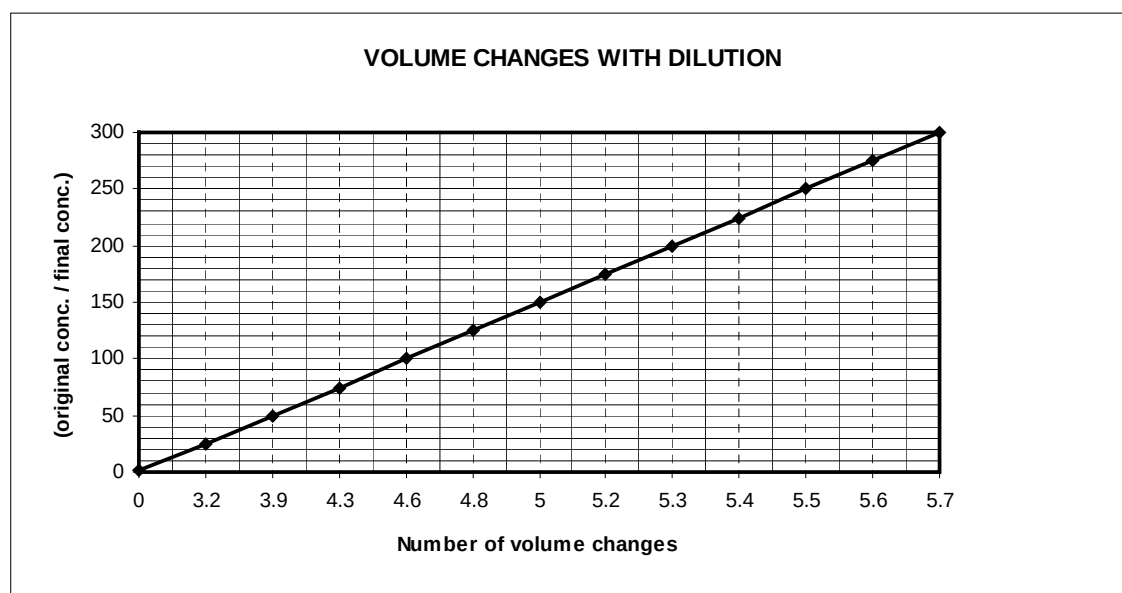


Рис. 8. Зависимость количества смен объёмов от соотношения начального и конечного содержания кислорода в танке.

Дегазация танков.

Дегазация грузовых танков – это замещение атмосферы танка чистым воздухом. Однако прежде чем подать воздух в танк, его необходимо продуть инертным газом (см. выше). После того, как замеры атмосферы в танке покажут нам содержание паров груза ниже нижнего предела взрываемости, можно считать, что продувка танков инертным газом завершена и можно начинать дегазацию (или вентилиацию) грузовых танков.

Важно помнить, что вентилиацию танков воздухом мы можем произвести наиболее эффективно только в том случае, если температура танков выше точки росы воздуха.

Для вентилиации танков можно использовать установку сухого воздуха, специальные воздуходувки, бловеры установки инертного газа, грузовые компрессоры. Во время вентилиации необходимо также производить замеры



12. Подготовка грузовых танков

состава атмосферы танка с тем, чтобы избежать возникновения взрывоопасных концентраций.

В случае дегазации танков после аммиака мы не можем использовать инертный газ, поскольку аммиак вступает в реакцию с углекислым газом с образованием карбонатов и карбомидов аммония, образующих в танке белый налет. Зачастую, при продувке танков после аммиака, напрямую используется воздух, поскольку воспламенение взрывоопасной концентрации аммиака требует подвода значительной энергии. Однако такая операция не является действительно безопасной. Поэтому благоразумнее использовать азот для продувки танков, который не вступает в реакцию с аммиаком.

Организация процесса продувки.

Во-первых, очень важным является вопрос регулярного контроля за состоянием атмосферы в танке. После начала продувки танков рекомендуется примерно через 10–15 минут произвести замеры содержания кислорода в атмосфере танка по всем возможным уровням (верх, средний уровень, нижняя часть). Такая операция позволит Вам уже в начальный момент определить правильно ли идет процесс, если вы обнаружите, что изменения атмосферы танка не происходит, то необходимо **НЕМЕДЛЕННО** остановить процедуру продувки и ещё раз проверить систему трубопроводов и клапанов.

В процессе продувки методом замещения все осушительные клапана и все пробоотборники, включая пробоотборники на грузовых насосах, должны быть все время открыты, до тех пор, пока вы не убедитесь, что в точках отбора проб атмосфера соответствует заданным параметрам.

Во-вторых, необходимо производить регулярные проверки азота или ИГ, подаваемых в танк на входе в магистраль. Очень важно, чтобы азот на судовом манифолде соответствовал принятым стандартам – содержание кислорода должно быть не более 5 ppm, а точка росы не должна превышать -65°C . Когда продувка танков осуществляется азотом, подаваемым с грузовиков, и когда для нагрева азота используется паровой подогреватель, такие проверки необходимо производить намного чаще, поскольку протечки в системе парового нагревателя могут привести к печальным последствиям и дополнительным затратам.

В-третьих, в процессе продувки необходимо обеспечить продувку всех систем и трубопроводов и компрессоров. Желаемый результат достигается приотдачей глухих фланцев и опрессовкой и продувкой системы трубопроводов перед началом продувки танков. Опрессовка систем с последующим резким сбросом давления через клапана, фланцы и продувочные пробки позволит Вам очистить трубопроводы и системы от влаги и остатков предыдущего груза.

Запомните! Просушка азотом грузовых танков и систем будет продолжаться бесконечно долго, если в танке или трубопроводе присутствует даже незначительное количество свободной воды.

В-четвертых, никогда не рассчитывайте, какое количество азота вам потребуется для продувки танков, если помимо содержания кислорода в атмосфере танка, фрахтователь устанавливает жесткие требования относительно точки росы атмосферы танка. Когда требования фрахтователя по подготовке танков включают требования к точке росы атмосферы танка, то единственный способ минимизировать проблемы, которые могут возникнуть, это тщательная



12. Подготовка грузовых танков

продувка систем и трубопроводов судовым сухим воздухом и их осушка перед началом продувки танков азотом.

Не забывайте о том, что ни воздух, ни инертный газ, подаваемые в танк не должны иметь температуру выше, чем температура танка.

Несколько сэкономленных минут при нагреве танка, приведут к потере многих часов в процессе его осушки.

В-пятых, после перевозки Аммиака или VCM необходимо сменить масло в компрессорах, если следующий груз будет Propylene или же Butadiene.

Нарушение этого требования может привести к порче груза.

В-шестых, как уже указывалось выше, не допускайте при продувке повышения давления в танке более 100 миллибар. Давление выше 100 мбар разрушает «поршень» в танке и сводит к нулю все усилия при продувке танков методом замещения.

И, наконец, последнее. Такие грузы, как Ethylene и Propylene имеют в спецификации жесткие требования относительно максимального содержания CO_2 и CO , поэтому использование судовой установки ИГ при перевозке данных грузов нежелательно.

Для определения количества азота, необходимого для продувки танков можно использовать следующие соотношения:

1. 1 литр жидкого азота (-196°C) = 0,8086 кг = 691 литру газообразного азота при $+15^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении.
2. 1 кг жидкого азота = 855 литрам газообразного азота при $+15^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении.

Подготовка танков под погрузку.

Подготовка танков к погрузке подразумевает две последовательные операции:

- Продувка танка парами груза.
- Захолаживание танка до необходимой температуры.

Продувка парами груза (Gassing Up) следует незамедлительно после продувки танка азотом до необходимой кондиции. Назначение операции – замещение атмосферы танка, содержащий азот, парами груза для обеспечения работоспособности компрессорной установки. Обычно, максимальное содержание азота в танке перед запуском компрессорной установки не должно превышать 2% по объёму, однако эта величина не является абсолютной и зависит от типа компрессорной установки и типа груза.

Захолаживание танка также незамедлительно следует за продувкой танка парами груза. Процесс включает в себя постепенное охлаждение материала, из которого изготовлен танк, до необходимой температуры. Захолаживание должно обеспечить необходимую скорость охлаждения танка в соответствии с требованиями завода-изготовителя. Захолаживание производится подачей жидкого груза на верхний распыл танка.

Способы продувки танков парами груза.



12. Подготовка грузовых танков

Продувка танков парами груза довольно легкая операция. Большинство паров, перевозимых грузов, значительно тяжелее азота (исключая Аммиак и Этилен). Поэтому, логически выглядит очевидным, подавать тяжелые пары груза на низ танка. Для судов среднего размера (до 15.000 м³) продувку парами целесообразнее производить в параллель (рис. 9), так как, для продувки судна такой вместимости, использование каскадной схемы продувки приведет к значительным временным потерям, потому что после продувки систему необходимо будет настроить на параллельную погрузку.

Продувка в параллель также позволяет, при значительной интенсивности подачи паров в танки, удерживать минимальное давление внутри танков, чем достигается наиболее полное использование эффекта «поршня».

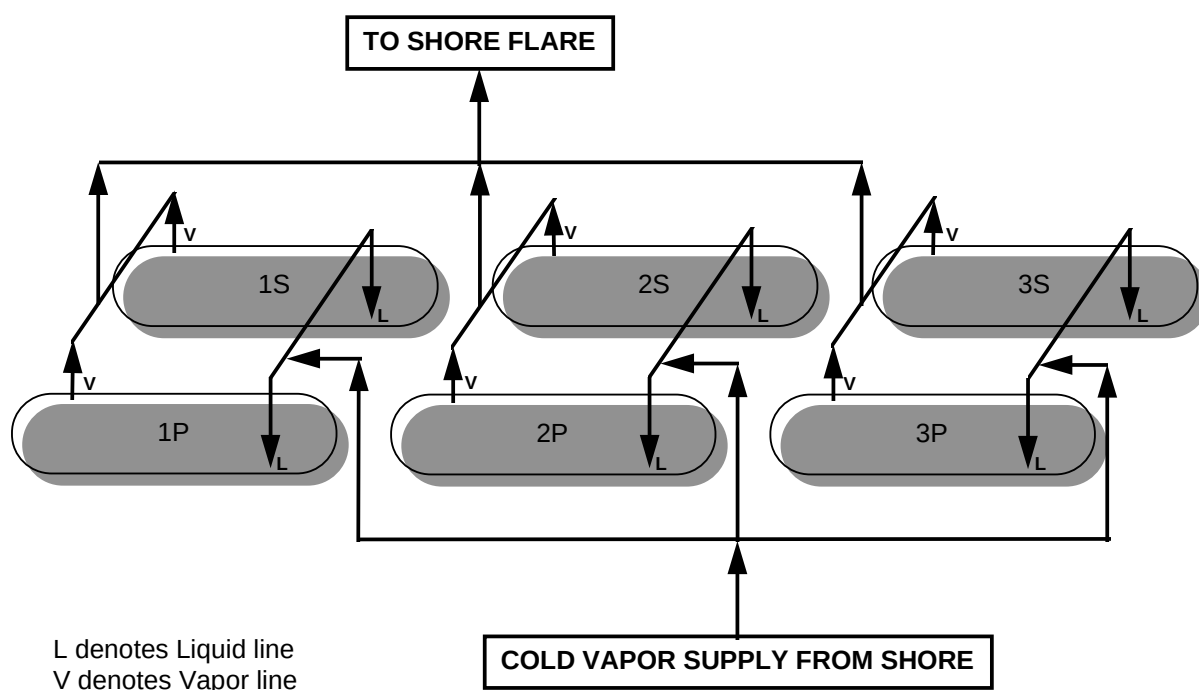


Рис. 9. Продувка танков в параллель парами тяжелых грузов.

Скорость подачи паров регулируется терминалом, поскольку она не должна превышать максимальную производительность берегового газоотвода. Для большинства промышленных газов интенсивность их подачи в танки при продувке составляет 1.000-1.500 м³/час. Максимальная же производительность берегового инсинератора (факела) составляет около 4.000 м³/час.

Следующий фактор, который ограничивает продувку с использованием берегового «факела» – это возможность увеличения дымообразования на факеле по следующим причинам:

- Жидкий груз достигает поверхности горения (необходимо предотвращать такие ситуации).
- Неполное сгорание паров из-за недостаточной подачи воздуха на факел.
- Сжигание непредельных углеводородов дает гораздо больше дыма, чем предельных при одном и том же количестве.

Поэтому, в реальной жизни, при максимальной пропускной способности факела 1.500 м³/час, скорость продувки составит 300–500 м³/час. Если продувка парами идет правильно, то на факел подается лишь смесь паров и азота в самый



12. Подготовка грузовых танков

конечный момент продувки. Примерно 75% объема танков будет содержать чистый азот, поэтому сброс давления из танка можно осуществлять в атмосферу, однако этот вопрос должен быть детально обсужден с представителями терминала перед продувкой.

Сброс азота в атмосферу позволяет судну не зависеть от производительности берегового газоотвода, и снижение скорости продувки необходимо только на заключительном этапе, когда начинают сбрасывать смесь из танка на факел (этот этап занимает 1-1,5 часа). Использование факела только в тот момент, когда обнаружится присутствие паров углеводородов в куполе танка, позволяет закончить продувку значительно быстрее.

Продувка танков парами легких газов (Этилен и Аммиак).

Пары Этилена имеют примерно такую же плотность, что и пары азота. Поэтому продувка танков парами Этилена требует гораздо большего количества груза, нежели продувка парами LPG. Если подача Этилена с берега осуществляется в виде паров, то используется береговой компрессор. В этом случае, большинство паров, отводимых с судна в береговой газоотвод, сжижается повторно. Так как в этом случае существует возможность подогреть пары Этилена перед их подачей на судно, то и плотность паров может быть несколько ниже, чем плотность более холодного азота в грузовых танках. В этом случае продувка осуществляется каскадом по схеме «сверху-вниз».

Этот метод может быть оптимизирован, когда концентрация паров этилена в первом танке достигнет 100%. После этого, можно начинать подачу этилена в сжиженном виде на верхний распыл танка. Интенсивность подачи жидкого этилена должна быть незначительной, с тем, чтобы обеспечить полное испарение груза внутри танка и его постепенное захлаживание. В это же время система должна быть перестроена таким образом, чтобы холодные пары этилена (температура паров ниже температуры азота в танках) подавались по схеме «снизу – вверх». По достижении 100%-ной концентрации паров Этилена в следующем танке, также начинается подача жидкого груза на верхний распыл этого танка и производится его захлаживание и т. д. (рис 10).

Поскольку продувка танков парами осуществляется одновременно с их захлаживанием, то такая операция позволяет вам значительно сэкономить время.

При продувке танков парами этилена, присутствие его паров на выходе из танка, обнаруживается очень и очень быстро, поэтому возникает необходимость сброса атмосферы танка на факел через несколько минут после начала продувки.

Если же терминал может подавать только жидкий груз на судовой манифолд, то для получения горячих паров можно использовать палубный подогреватель(рис. 11).



12. Подготовка грузовых танков

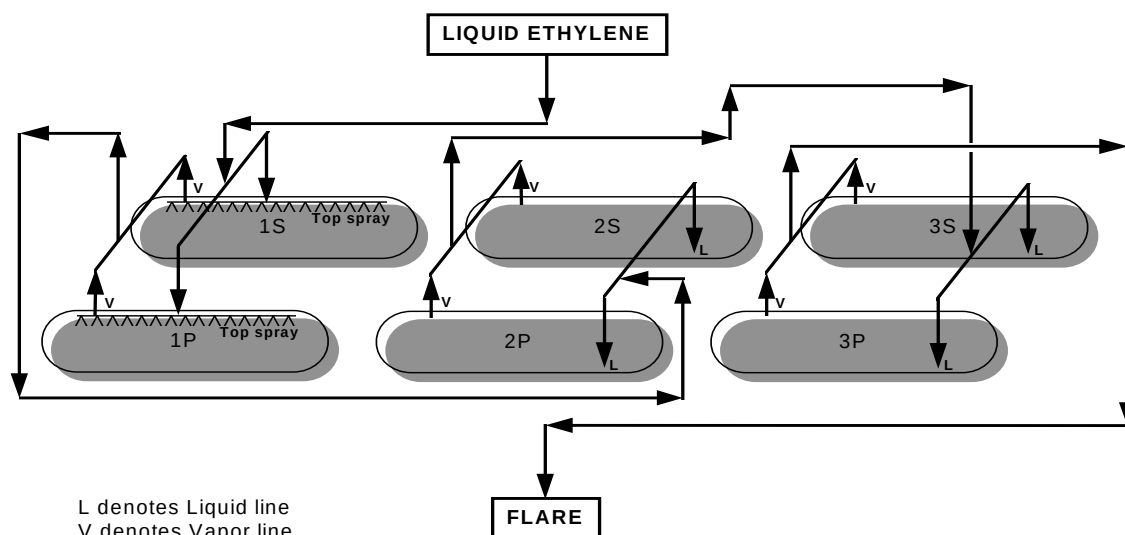


Рис. 10. Продувка танков каскадом с использованием жидкого Этилена.

Продувка танка парами тяжелых грузов.

Продувка танков парами LPG обычно производится в судовых условиях с использованием груза из дек-танка. Вместимость танка такова, что он позволяет хранить на борту при нормальной температуре 20-30 тонн груза. Этот груз называется охлаждающий агент или Heel.

Если же вам предстоит погрузить охлаждающий агент в порту, поскольку судно не имеет запаса груза в дек-танке то вам необходимо предварительно продуть грузовой танк (самого маленького объёма) и, затем малой интенсивностью, с одновременным захолаживанием танка, произвести погрузку необходимого количества груза.

В процессе использования охлаждающего агента для продувки и захолаживания остальных танков могут быть использованы или судовые компрессора, или же танк с грузом может быть использован как испаритель. Для этого грузовым насосом жидкий груз подается на верхний распыл танка, а образующиеся при этом пары перепускаются по каскадной системе в остальные танки по схеме «снизу-вверх».

Использование грузового конденсатора или испарителя при продувке танков.

При продувке танков парами груза, когда терминал может подавать на судовой манифолд лишь жидкий груз, возникает необходимость использования некоторых дополнительных систем газоваза. Если суда оборудованы паровыми испарителями, то их можно использовать для испарения жидкого груза. В некоторых случаях для этих целей можно использовать многоцелевой грузовой конденсатор-теплообменник, в котором нагрев груза производится проточной забортной водой. Скорость подачи жидкого груза через такой теплообменник не превышает 3-5 тонн в час.

Можно также в качестве испарителя и обычный грузовой подогреватель, если на нем установлен невозвратный клапан на линии нагнетания.



12. Подготовка грузовых танков

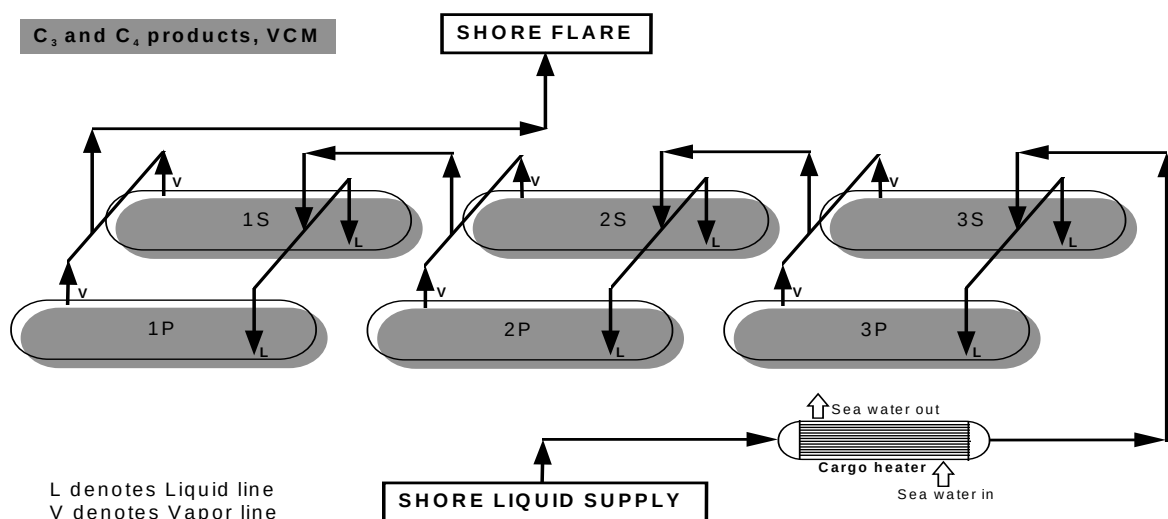


Рис. 11. Продувка танков каскадом с использованием жидкого груза.

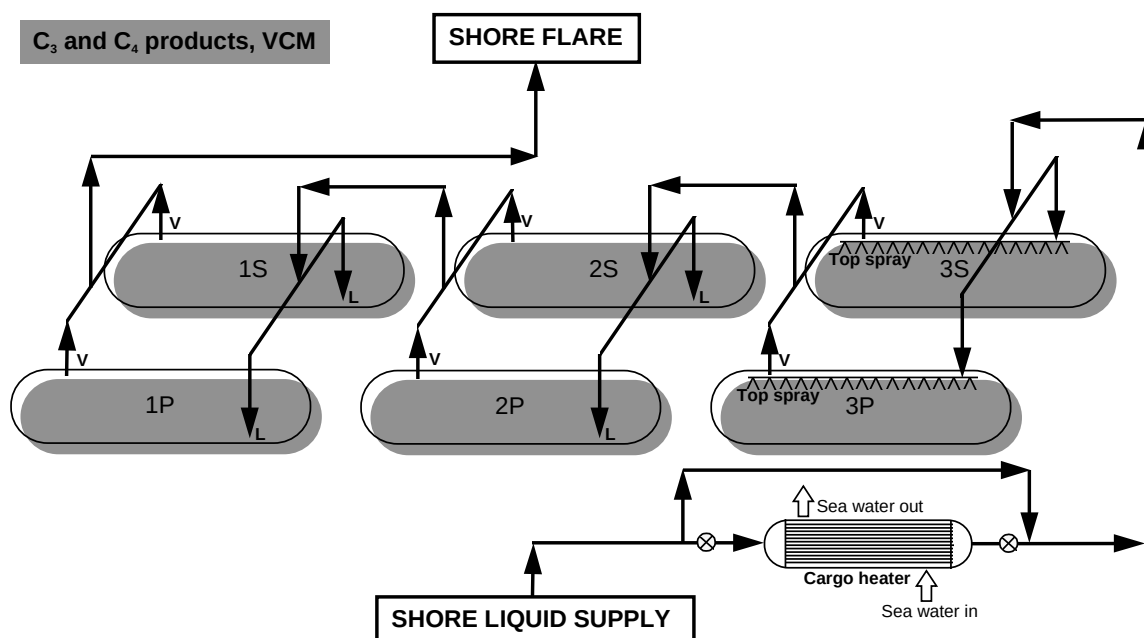


Рис. 12. Захолаживание танков каскадом с использованием жидкого груза.

Продувка и захолаживание танков жидким этиленом.

Этилен по своей природе разительно отличается от Пропилена, пропана или же C4 (смесь углеводородов, в молекулах которых содержится 4 атома углерода). Это очень легкий продукт с низкой температурой кипения (-103°C), поэтому процесс его захолаживания довольно сложен. Поскольку все грузовое оборудование, такое как подогреватель груза, обычно рассчитано на температуры до -50°C , продувка танков парами этилена осуществляется подачей жидкого этилена на верхний распыл танка прямо на азот. Поэтому самый эффективный способ продувки танков для такого груза – продувка и одновременное захолаживание танков каскадом. Поскольку разность в плотностях между азотом и этиленом при таком способе подготовки танков отсутствует, то и разделения газа на слои внутри танка не будет. Поэтому метод



12. Подготовка грузовых танков

замещения атмосферы в данном случае неприемлем. Как следствие, большой расход этилена при продувке. Обычно потери при продувке судна вместимостью до 8.000 м³ составляют около 15 тонн и выше.

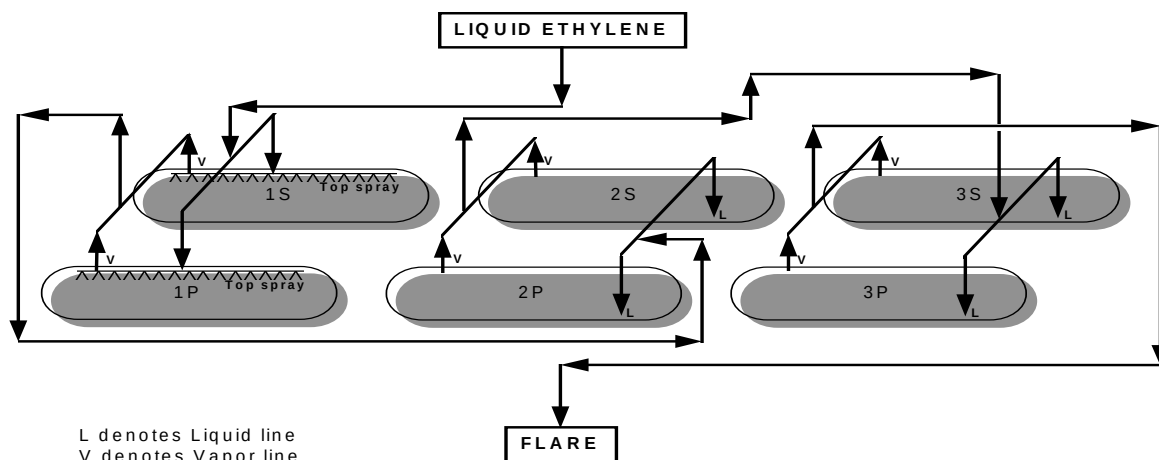


Рис. 13. Захолаживание и продувка танков жидким этиленом

Расчет времени захолаживания танков.

В этом параграфе мы произведем практические расчеты времени захолаживания танков жидким этиленом и рассчитаем количество этилена, которое нам потребуется для этой операции. Прежде всего сделаем несколько основных предположений:

- Приток тепла в систему грузовых танков извне предположим постоянным на период всего захолаживания и равным 50% от расчетного значения при погрузке этилена с температурой -103°C .
- Средняя температура воздуха составляет $+45^{\circ}\text{C}$ (наихудшие условия).
- Температура забортной воды $+32^{\circ}\text{C}$ (наихудшие условия).
- Температура пространства, окружающего танки (Void spaces), в верхней части составляет $+41^{\circ}\text{C}$, а в нижней $+28^{\circ}\text{C}$ (в танке находится этилен с температурой -104°C).
- Суточное колебание температур составляет 15°C (разница между дневной и ночной температурами).
- Давление паров в танке в процессе продувки удерживается в пределах 1,25 бар (абсолютное давление) для обеспечения наиболее оптимального режима испарения этилена.
- Максимально допустимая скорость захолаживания танка $10^{\circ}\text{C}/\text{час}$ (требование завода-изготовителя).

Учитывая суточное колебание температуры в 15°C , мы можем вычесть половину этого значения от предполагаемой температуры Void Space в верхней его части (температура в нижней части зависит от температуры забортной воды, а её суточные колебания приняты незначительными). То есть температура составит $+34^{\circ}\text{C}$. В таком случае средняя температура изоляции определится как $\frac{1}{2}$ от абсолютного значения разницы между средней температурой Void Space и температурой груза в танке:

$$\frac{(45^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}) + 32^{\circ}\text{C}}{2} = +35^{\circ}\text{C}$$



12. Подготовка грузовых танков

Первоначальная температура (перед началом захлаживания) составит среднее арифметическое от суммы дневной температуры воздуха за вычетом половины значения суточного колебания температуры и температуры заборной воды:

$$\left(\frac{(34^{\circ}\text{C} + 28^{\circ}\text{C})}{2} - 104^{\circ}\text{C} \right) \cdot \frac{1}{2} = +37^{\circ}\text{C}$$

Теперь можно рассчитать минимально возможное время захлаживания. Температура атмосферы танка $+35^{\circ}\text{C}$, температура груза -104°C , следовательно:

$$\text{Время захлаживания} = \frac{104 + 35}{10} = 14 \text{ часов}$$

Это минимально возможное время захлаживания, т.е. нижний предел. Следующий этап – определение средней температуры паров этилена в процессе захлаживания. Практика показывает, что, обычно температура паров на выходе из танка примерно на 10°C ниже, чем температура танка. Рассмотрим самый неблагоприятный вариант, и разницу температур примем равной 20°C . В таком случае температура паров в начале процедуры будет равна:

$$+35^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} = +15^{\circ}\text{C}$$

на окончание же захлаживания, температура паров этилена составит:

$$-104^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C} = -84^{\circ}\text{C}$$

следовательно, средняя температура паров этилена составит:

$$\frac{15^{\circ}\text{C} + (-84^{\circ}\text{C})}{2} = -35^{\circ}\text{C}$$

удельная теплота парообразования для этилена при давлении 1,25 бара и температуре -102°C составляет 477 кДж/кг , а при -35°C – 561 кДж/кг .

Следовательно, на испарение в танке каждого килограмма жидкого этилена, из общей теплоты материала танка и его изоляции будет затрачено 561 кДж.

Теперь необходимо определить подвод теплоты в танк в единицу времени через его изоляцию. Величину этой теплоты снимаем с графика по температуре груза, температуре воздуха и заборной воды (график составляется заводом-изготовителем для каждого судна).

Пусть в нашем случае для всех танков эта величина составила:

$$Q_{\text{вн}} = 148950 \text{ кДж/час}$$



12. Подготовка грузовых танков

Далее нужно определить, какое количество теплоты необходимо удалить из материала танка (сталь – удельная теплоемкость = 0,47 кДж/(кг К), вес 900 тонн, разность температур: $t_1 = +35^\circ\text{C}$, $t_2 = -104^\circ\text{C}$, $\Delta T = 139^\circ\text{C}$)

$$Q_t = m \cdot c \cdot \Delta T = 0,47 \cdot 900000 \cdot 139 = 58797000 \text{ кДж}$$

и из изоляции танка (полиуретановая пена с теплоемкостью 1,25 кДж/кг, вес изоляции 46068 кг, разница температур для изоляции на момент начала погрузки составит: $t_1 = 39^\circ\text{C}$, $t_2 = -37^\circ\text{C}$, $\Delta T = 78^\circ\text{C}$)

$$Q_i = m \cdot c \cdot \Delta T = 46068 \cdot 1,25 \cdot 78 = 4491630 \text{ кДж.}$$

При условии, что за 14 часов поток тепла извне составит:

$$Q_{\text{вн}} = 148950 \cdot 14 = 2085300 \text{ кДж,}$$

то общее количество теплоты, которое необходимо удалить получится равным:

$$Q = Q_t + Q_i + Q_{\text{вн}} = 2085300 + 4491630 + 58797000 = 65373930 \text{ кДж}$$

Зная удельную теплоту парообразования этилена, мы можем определить его количество, необходимое для захлаживания (отвода теплоты за счет испарения) :

$$m = Q/r = 65373930 : 561 = 116.531 \text{ кг этилена} = \mathbf{116, 5 \text{ т.}}$$

Если полученное количество этилена разделить на время захлаживания, то мы получим общую производительность подачи сжиженного этилена:

$$116,5 : 14 = 8,323 \text{ тонн/час}$$

Исходя из таких расчетов, Определяем интенсивность подачи сжиженного этилена при захлаживании танков.

Смена груза и условия предъявления судна под погрузку.

Широкий спектр грузов, которые могут перевозиться на газовозах, требует выполнения определенных процедур по подготовке грузовых танков перед погрузкой следующего груза. Предъявление судна под погрузку химических грузов или газов, в большинстве случаев, представляет из себя проверку представителем фрахтователя или же независимым инспектором грузовых помещений, систем и трубопроводов, на пригодность их к транспортировке груза, который предстоит принять на борт. Чаще всего такая проверка является визуальным осмотром грузовых систем, танков и трубопроводов на предмет чистоты поверхностей, отсутствия свободной воды, влаги, следов предыдущего груза и пр..

С одной стороны, из-за специфики конструкции газовозов, подготовка судна к визуальной инспекции процедура довольно специфичная, весьма дорогостоящая, и на многих терминалах проведение визуальной инспекции грузовых танков просто-напросто запрещено.

А с другой стороны, лишь небольшое количество грузов, перевозимых на газовозах, требуют визуальной инспекции танков перед погрузкой, например,



12. Подготовка грузовых танков

Этилен, Пропилен, Винил Хлорид Мономер, Пропилен Оксид и некоторые другие.

Поэтому, при подготовке танков под визуальную инспекцию, процесс смены атмосферы танков перерастает в процедуру, которая называется смена груза или «Changing of Grades», или же сокращенно – **“COG”**.

После подготовки танков и систем в соответствии с требованиями фрахтователя, фрахтователь или отправитель груза должны убедиться в выполнении требований, предъявленных к судну. Иначе говоря, судно должно предъявить грузовые помещения и системы. Прибытие судна в порт погрузки, обычно оговаривается в Чартере в разделе под названием **“PRESENTATION CLAUSE”**- или же “Условия предъявления судна под погрузку”.

Общие требования по смене груза.

Перевозка сжиженных газов значительно отличается от перевозки остальных жидких грузов. Главное отличие, прежде всего, в том, что груз перевозится в герметичных емкостях. Газ перевозится в жидком состоянии в напорных, полунпорных или же рефрижераторных танках, пространство над жидкостью содержит 100% паров груза.

Полная выгрузка сжиженного газа невозможна в силу его физических свойств. Жидкая фаза груза, обычно полностью выгружается, исключая лишь незначительную часть, которая может оставаться в виде неоткачиваемых остатков в кормовой части танка, в колодцах и трубопроводах.

Однако, все свободное пространство танка будет заполнено парами груза, общее количество которых, в массовом соотношении, будет составлять довольно приличную часть от общего количества груза.

Количество паров груза после выгрузки жидкой его фазы изменяется от случая к случаю. Прежде всего, оно зависит от размеров грузового танка, конструкции грузовой системы, температуры паров в танке после окончания выгрузки, возможности продувки газового пространства танка в береговую систему и пр.

Например, после выгрузки сжиженного пропилена при температуре – 10° С из грузовых танков газовой полунапорного типа общей вместимостью 8.000 м³, пары груза по окончании выгрузки не выгружались в береговые емкости.

Состояние танков после выгрузки было следующим:

- | | |
|-------------------------------|----------|
| • Температура | -10° С |
| • Давление | 3,2 бара |
| • Остаток жидкой фазы груза | 1 т |
| • Количество оставшихся паров | 68,5 т |

При вышеперечисленных условиях общее количество груза, оставшегося на борту составит 69,5 тонн. Коносаментное же количество груза на борту (с учетом полной вместимости судна) составляло 4380000 тонн пропилена. Остаток груза 69,5 т в грузовых танках после выгрузки пропилена **составляет 1,59 %, что в 3 раза превышает допустимую разницу в 0,5% между судовыми замерами и коносаментным количеством.**



12. Подготовка грузовых танков

Требования к подготовке судна под погрузку

После выгрузки груза судно может быть предъявлено для:

- Перевозки того же самого груза (***DEDICATED TRADE***),
- Перевозки подобного (сходного) груза (***COMPATIBLE TRADE***),
- Перевозки другого типа груза (***CHANGING OF GRADE***).

Рассмотрим каждый из перечисленных случаев более подробно.

Перевозка того же самого груза. (DEDICATED TRADE)

Когда судно перевозит из рейса в рейс тот же самый груз, то не предполагается никаких дополнительных операций по предъявлению судна в порту погрузки. Грузовые танки, в таком случае, должны быть предъявлены в порту погрузки точно в таком же состоянии, как и после выгрузки груза в порту выгрузки. Никаких дополнительных операций по подготовке или очистке танков не требуется.

Даже в случае перевозки одного груза, фрахтователь или отправитель требует документального подтверждения того, что судно прибыло в порт погрузки в полном соответствии с его требованиями. Поэтому в условия чартера на перевозку одного и того же груза могут быть включены следующие требования:

- Танки/трубопроводы свободны от жидкой фазы груза,
- Давление в танках не должно превышать бар(манометрическое).
- Танки должны быть нагреты до температуры° С .
- Танки должны быть охлаждены до температуры ... ° С.
- Танки находятся под парами предыдущего груза, и т.д. и т.п.
-

Перевозка совместимого груза. (COMPATIBLE TRADE)

Так называемые подобные грузы, совместимы с предыдущим грузом и не теряют своего качества при смешивании с парами и/или жидкими остатками предыдущего груза.

Примером таких грузов могут служить Пропан, Бутан, Этан и их смеси, используемые для бытовых нужд. Так, смена груза с Бутана на Пропан, не требует выполнения каких либо сложных операций по подготовке грузовых танков и систем. В большинстве случаев погрузка следующего груза может осуществляться «под пары» предыдущего груза.

Однако, даже при перевозке таких совместимых грузов, существует потенциальный риск порчи груза из-за того, что остатки предыдущего груза превышают некоторые допустимые пределы и снижают качество перевозимого груза. Так, даже простейшая подготовка танков под перевозку совместимых грузов, может превратиться в ночной кошмар при выгрузке.



12. Подготовка грузовых танков

Для наглядности рассмотрим пример:

После выгрузки пропилена – сырца (Propylene Chemical Grade), судно предъявлено под погрузку того же пропилена, но предназначенного для производства полимеров (Propylene Polymer Grade). Первый вид груза содержит **85% Пропилена и 15% Пропана**, во втором же виде груза **содержание Пропилена не должно быть менее 99,5 % по весу** (см. паспортные характеристики грузов).

Перед началом погрузки соотношение пропилена было следующим:

- В судовых танках - 85,0 % по весу
- В береговом танке – 99,7 % по весу

Количество Пропилена, заявленного к погрузке - 4700 тонн.

Для расчетов будем использовать данные из предыдущего примера:

Общее количество остатков груза на борту судна составляет 69,5 тонн.

Количество примесей (пропана) в этом случае можно определить как:

$$69,5 \text{ т} \times 15\% = 10,425 \text{ т}$$

Количество примесей же в береговом танке будет равно:

$$4700 \text{ т} \times 0,3\% = 14,100 \text{ т}$$

Суммируя полученные значения, определим общее количество примесей в грузе Пропилена после его погрузки на борт:

$$10,425 \text{ т} + 14,100 \text{ т} = 24,525 \text{ т}.$$

Поскольку количество груза на борту после погрузки будет равно 4770 т (груз + остатки в грузовых танках), то весовое процентное соотношение примесей в грузе в процентном отношении составит:

$$(24,525 \text{ т} : 4770 \text{ т}) \times 100\% = 0.51\%.$$

То есть, вышеприведенные расчеты показывают, что после погрузки под пары Технического Пропилена, груз Полимерного Пропилена не будет соответствовать спецификации (99,5 % содержание Пропилена), иными словами, груз будет испорчен.

Такие расчеты рекомендуется производить при любом сомнении в отношении того, будет ли выполнено требование по сохранности груза при его погрузке под пары или на остатки предыдущего груза.

Приведенный выше пример наглядно иллюстрирует опасность порчи груза из-за большого количества паров предыдущего груза в танках. При определении процедур, необходимых для подготовки грузовых танков, всегда следует уменьшать количество предыдущего груза на борту выпариванием остатков и стравливанием избыточного давления.

Полная смена груза. (CHANGING OF GRADE).

Подготовка танков при полной смене груза, когда не допускается присутствие в танке следов предыдущего груза, требует повышенного внимания всех участников операции и наличия определенного опыта. Смена груза из-под



12. Подготовка грузовых танков

Бутадиена 1,3 под Винил Хлорид Мономер, из-под Аммиака под Пропан или же из-под Изопрена под Этилен представляет собой довольно сложную процедуру и требует особого внимания и значительных трудозатрат при подготовке танков.

Смена груза должна производиться под контролем персонала, имеющего достаточный опыт в обработке подобных грузов и знающего специфику подготовки танков под тот или иной груз. Необходимо также планировать временные затраты на смену груза. При подготовке танков, в таких случаях, не следует экономить на времени, поскольку затраты, которые может понести судовладелец в случае порчи груза при недостаточной подготовке грузовых танков и систем, будут несоизмеримо выше расходов на дополнительную подготовку танков перед погрузкой.

Прежде чем определить основные этапы подготовки танков, необходимо определить является ли последующий груз совместимым с предыдущим. Если грузы несовместимы, следует помнить, что, будучи смешаны даже в незначительном количестве, они могут образовывать высокотоксичные или взрывоопасные газы, или вызывать коррозию и разрушение грузовых танков или систем..

Только в том случае, если 3 предыдущих груза, перевозимых в грузовых танках, предназначенных под погрузку следующего груза, являются химически совместимыми, можно планировать подготовку танков. Ярким примером несовместимых грузов, наиболее часто перевозимых на газовозах, являются Пропилен Оксид и Аммиак.

Мойка танков.

Мойка танков на газовозе - это не рутинная операция. На сегодняшний день, большинство газовозов не предназначены и не оборудованы достаточным образом для проведения моечных операций.

Лишь незначительная часть комбинированных судов газовозов-химовозов, предназначенных для перевозки как сжиженных газов так и химических веществ наливом, сконструированы и оборудованы таким образом, что могут в полном объеме осуществлять мойку танков.

Однако перевозка некоторых видов химических веществ, попадающих под определение ИМО «сжиженный газ», таких как Изопрен и Пропилен Оксид, на газовозах всех типов, зачастую вызывает необходимость мойки танков даже на необорудованных специальными системами судах.

Поскольку мойка грузовых танков на газовозах вызывает значительные трудозатраты и требует определенного времени, все операции по мойке танков должны быть четко спланированы.

При составлении технологической карты мойки танков, необходимо учитывать следующие факторы:

- Свойства предыдущего груза, количество его остатков в танках и трубопроводах;
- Спецификацию и особые свойства груза, который предстоит грузить;
- Совместимость предыдущего груза с последующим и максимально допустимое наличие примесей в последнем;
- Отсутствие дополнительных загрязнителей, таких как масло, ингибиторы, потемнение переборок танка и пр.



12. Подготовка грузовых танков

В общем случае весь процесс мойки танков можно разделить на несколько этапов:

- Машинная мойка танка (если есть такая возможность);
- Ручная домывка танка с использованием чистящих агентов или растворителей;
- Заключительная обработка поверхности танка пресной водой и промывка трубопроводов;
- Удаление из танка и систем свободной воды;
- Вентиляция и осушка танков и систем.

Машинная мойка танков



Как правило, машинная мойка танков на газовозе осуществляется переносными моечными машинками с использованием пресной воды или же моечного раствора. Моечный раствор готовится заранее в специальной цистерне, и по мере надобности подается в грузовой танк или же непосредственно на моечную машинку.

Моечный раствор может быть также нанесен на поверхность танка и непосредственно перед началом машинной мойки танка пресной водой. Моечная машинка опускается в танк через горловину и крепится на растяжках внутри танка в нужном положении, таким образом, чтобы омывались все переборки танка. Для того чтобы правильно установить моечную машинку или определить их необходимое количество, нужно знать длину горизонтального выброса водяной струи из сопла машинки в зависимости от давления воды в системе. Для этого используются паспортные данные на моечную машинку, где указаны все необходимые сведения, в числе и продолжительность цикла машинки (время завершения полного оборота машинки в горизонтальной плоскости). Для большинства переносных моечных машинок, которые используются на газовозах, цикл составляет 18-20 минут, расход воды 20-22 м³/час, а выброс струи при давлении 8 бар – 10-12 метров. В процессе мойки необходимо постоянно откачивать воду, поступающую в танк, с тем, чтобы днище танка также омывалось водой под давлением.

Ручная мойка танков.

В том случае, когда нет необходимости в полной мойке танков (лишь незначительное загрязнение танка) или же судно не имеет должного оборудования для полноценной машинной мойки, а также когда остатки груза, масла, ингибитора, полимеров не были удалены в процессе машинной мойки, производится замывка танков вручную. Для замывки танков вручную обычно



используются бочечные насосы высокого давления (Grago Pumps), с помощью которых поверхность танка можно обработать **по всей поверхности** как чистой пресной водой, так и различного рода чистящими агентами или растворителями. Очень часто для удаления следов ингибитора используется Methanol, но также и некоторые другие жидкости, не



12. Подготовка грузовых танков

аккумулирующие статическое электричество, могут быть использованы для очистки поверхности танков. Довольно часто используются Acetone, Butyl Cellosolve. В некоторых случаях применяют слабые растворы щелочей или кислот, например Caustic Soda или Phosphoric Acid. При использовании различных чистящих агентов или растворителей всегда необходимо учитывать их совместимость как с предыдущим грузом так и с последующим. Также необходимо самым строгим образом соблюдать правила по входу в закрытые помещения, каковыми являются грузовые танки, и использовать все необходимые средства индивидуальной защиты при работе с растворителями и моющими растворами.

В некоторых случаях возникает необходимость использования специального оборудования, создающего давление струи гораздо выше, чем бочечный насос, так называемые гидравлические бластеры. Такой инструмент способен создать давление в струе жидкости до 2000 – 2500 бар. Однако такое давление создается лишь на небольшом расстоянии от сопла – 10-20 см, поэтому для удаления следов предыдущего груза, полимерной пленки и пр. в верхней части танка, возникает необходимость в использовании подвесных беседок, лесов, лестниц и т.д. Все эти мероприятия значительно увеличивают трудозатраты и время, необходимое на подготовку танков.

Заключительная обработка поверхности танка.

После того как моющие операции с использованием растворителей или моющих растворов закончены, необходимо очень тщательно промыть внутреннюю поверхность танка и трубопроводов пресной водой, особенно если использовался растворитель, несовместимый с последующим грузом. Заключительную обработку танка лучше всего производить пресной водой с низким содержанием хлоридов (дистиллят). Скатывание поверхности танка пресной водой можно производить как моющими машинками, так и вручную.

Удаление свободной воды.

Обычно, перед тем как начинать просушку танка, необходимо удалить из танка всю свободную воду, которая может скопиться на днище танка, в грузовом насосе, в трубопроводах, клапанах и системах. Удаление воды производится или её откачкой переносными насосами или же осушением систем через специальные сливные или осушительные пробки.

Не забывайте о шаровых клапанах, которые имеют специальные осушительные пробки в нижней части клапана.

Обязательно, после удаления свободной воды из грузового танка, произвести тщательную визуальную инспекцию танка и всех систем, на предмет обнаружения свободной воды. Чем тщательнее будет произведена проверка, тем меньше времени вы затратите на окончательную осушку танка.

Осушка и вентиляция.



12. Подготовка грузовых танков

Все сжиженные газы очень легко испортить при наличии в танках или системах свободной воды или даже влаги (усиленное формирование гидратов при насыщении газа парами воды). Погрузка же во влажный танк газов с низкой температурой кипения, может привести к образованию льда в насосах и трубопроводах, с последующей их блокировкой или же повреждением. Поэтому перед погрузкой сжиженных газов, поверхность танков, все системы и атмосфера танка должны быть свободными от следов влаги. В толковании ИМО понятия «сухой танк» используется значение температуры точки росы атмосферы танка равное -45°C . Поэтому для окончательной просушки танков используется установка сухого воздуха или же система осушки установки инертного газа.

Визуальная инспекция грузовых танков.

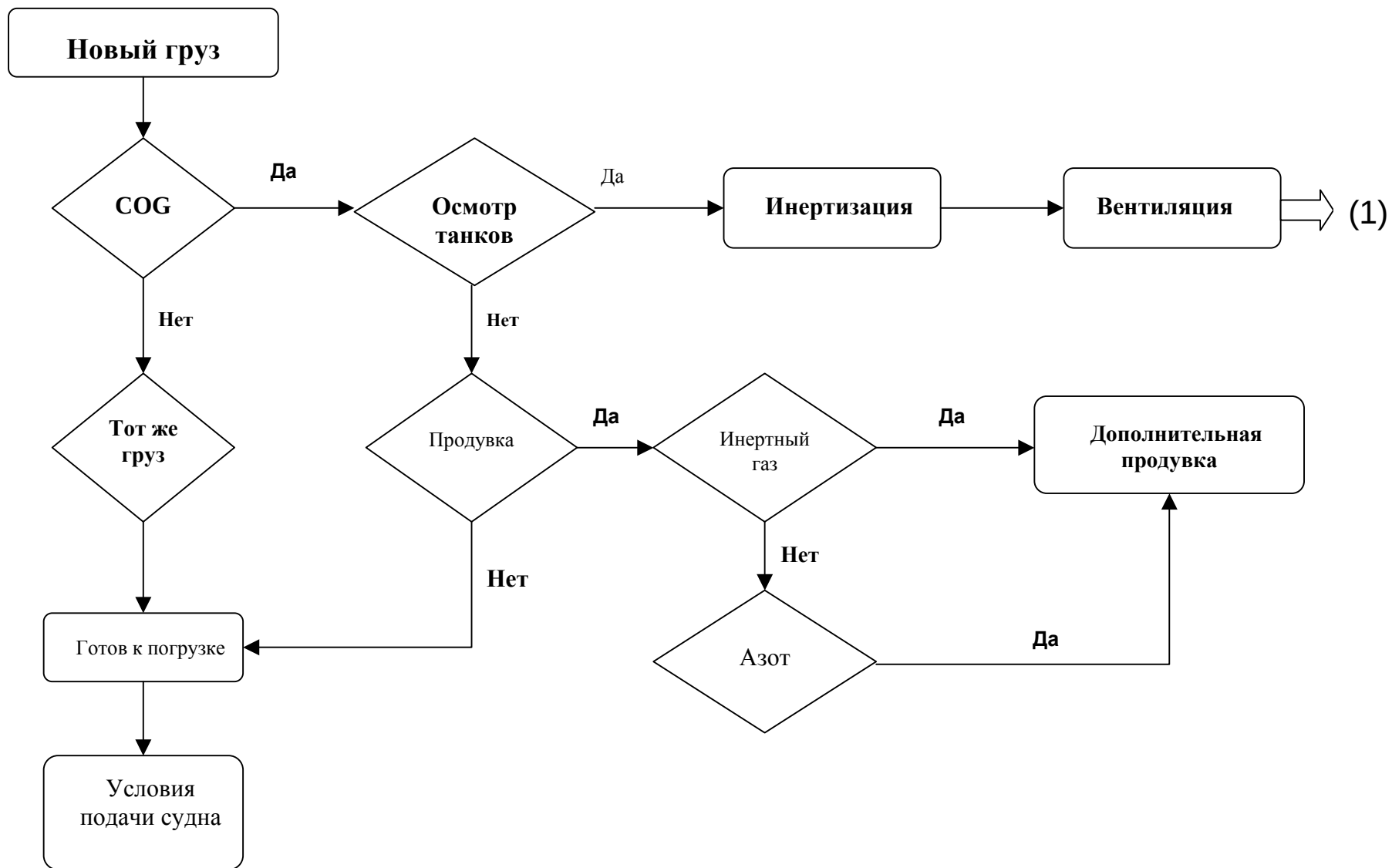
В том случае, если перед погрузкой того или иного груза требуется проведение визуальной инспекции, атмосфера танков, трубопроводов и систем должна находиться по «дыхательным» воздухом, что означает следующее:

- Содержание кислорода в атмосфере танков не ниже 21% по объёму;
- Содержание паров предыдущего груза находится в пределах ниже ПДК;
- Содержание СО и токсичных веществ, также находится в пределах ниже ПДК.

Ниже приведены технологические карты подготовки грузовых танков при различных условиях предъявления судна под погрузку.

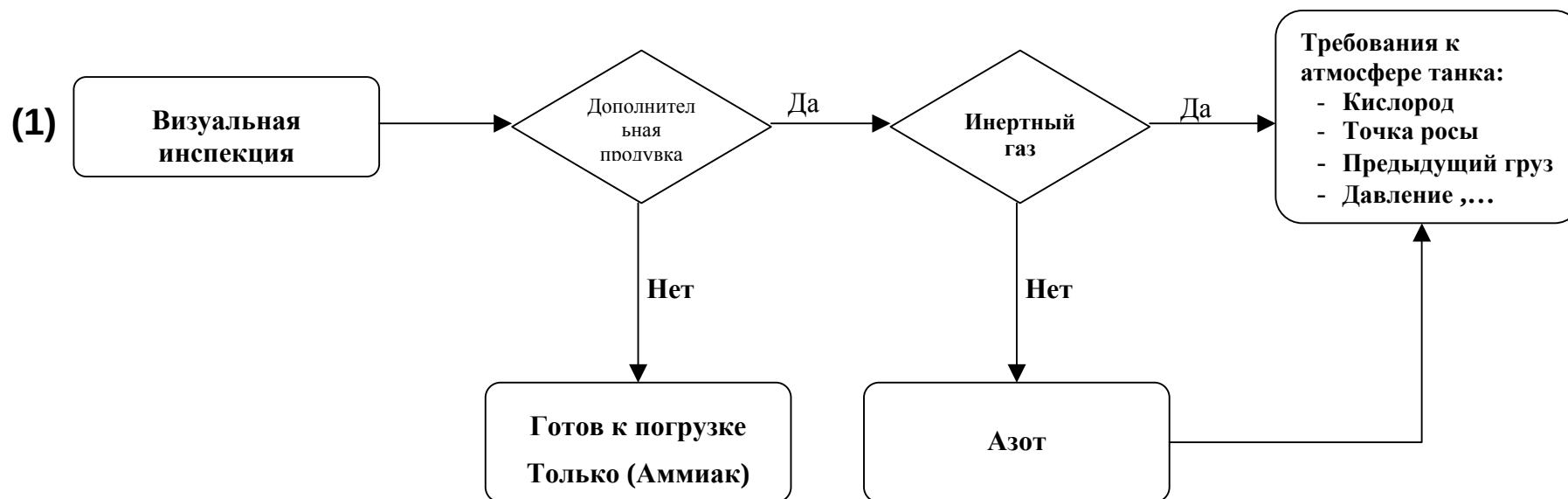


12. Подготовка грузовых танков



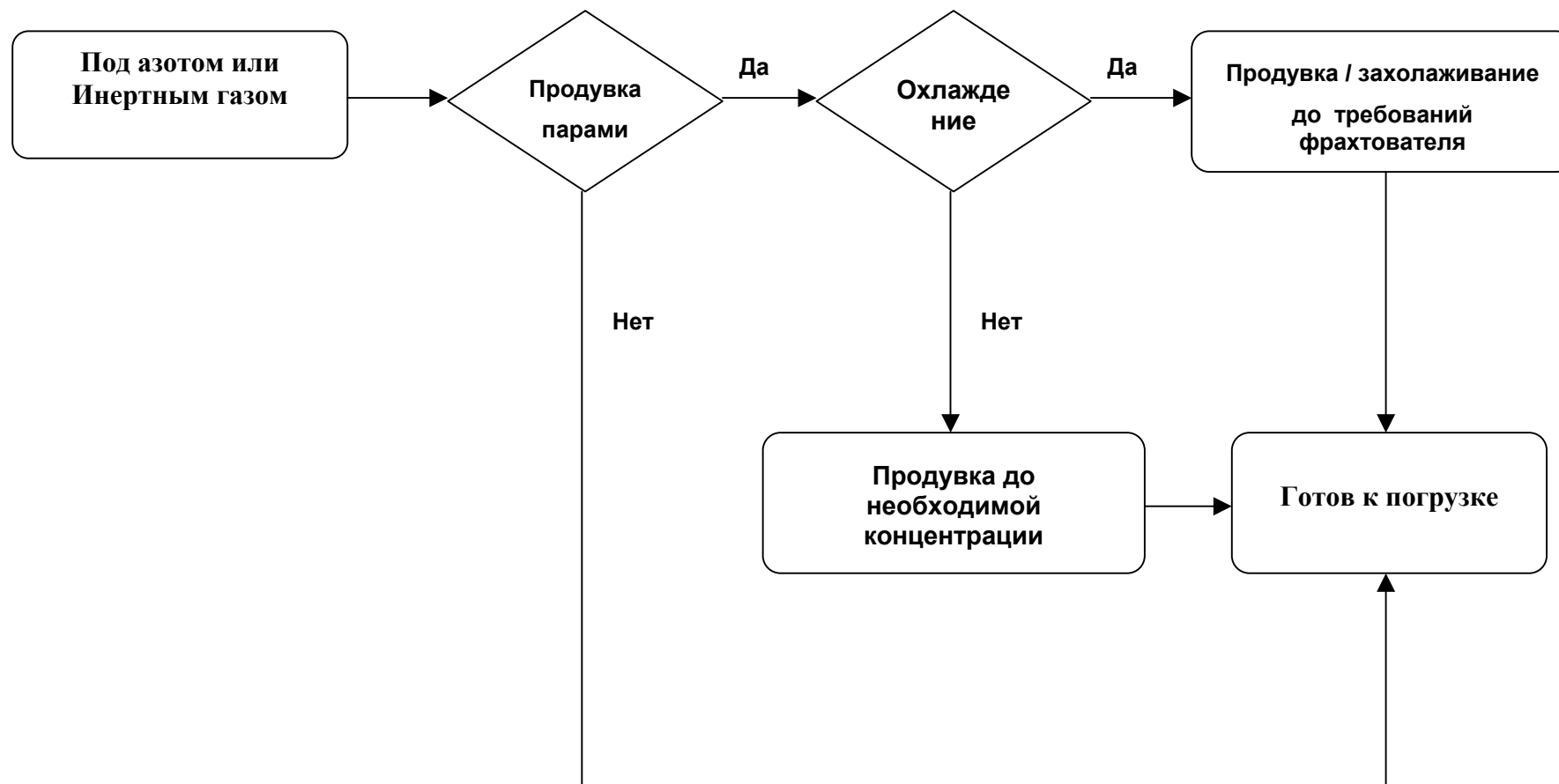


12. Подготовка грузовых танков





12. Подготовка грузовых танков





Введение.

Как показывают статистические исследования, большая часть аварий на морском флоте (более 75%) происходит по вине человека. Это и нарушения технологического процесса, пренебрежение правилами техники безопасности, ошибки в принятии решений и т.д. и т.п.

Однако если у экипажа выработать определенный стереотип поведения в экстремальных ситуациях, четко определить его действия, то многих аварийных ситуаций можно избежать или свести к минимуму последствия таких ситуаций. Планирование действий экипажа в аварийных ситуациях предназначено прежде всего для обеспечения готовности судового экипажа к эффективным действиям в чрезвычайных ситуациях. Основная цель планов аварийных мероприятий заключается в том, чтобы дать четкие указания экипажу в отношении мер, которые должны быть предприняты в чрезвычайных ситуациях или в вероятных чрезвычайных ситуациях.

Ещё одной целью такого планирования является обеспечение своевременности и адекватности действий экипажа с учетом масштаба и характера происшествия, для предотвращения угрозы или опасного развития ситуации.

Главной целью в предотвращении чрезвычайных ситуаций и в готовности к действию в таких ситуациях должно быть создание и внедрение действенной и эффективной системы, которая позволит минимизировать риск для человеческой жизни, морской среды и имущества. Наиболее важной частью аварийного планирования является обучение и подготовка экипажа к действиям в чрезвычайных ситуациях для выработки у людей уверенности и осмысленности действий в таких ситуациях.

Обучение и подготовка экипажа должны осуществляться через регулярные промежутки времени. Должна быть обеспечена регистрация всех производимых на борту тренировок и учений. Можно выделить семь основных направлений в подготовке экипажа к действиям в чрезвычайных ситуациях:

- Пожар.
- Повреждение судна.
- Загрязнение окружающей среды.
- Угроза безопасности судна и его экипажу (пиратство, терроризм).
- Несчастные случаи с судовым персоналом.
- Инциденты с грузом.
- Аварийная помощь другим судам.

Подавляющее большинство чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть на борту судна, попадает под приведенную выше классификацию. Так например «Повреждения судна» могут иметь подразделение на дальнейшие виды ситуаций, которые могут потребовать принятия дополнительных мер:

- Столкновение.
- Посадка на мель.
- Штормовые повреждения.
- Повреждения корпуса и конструкций и т.д.

Во всех случаях приоритет должны иметь действия, направленные на защиту человеческой жизни, окружающей среды и имущества. Такие действия называются первоначальными, которые являются общими для всех судов, независимо от типа судна и перевозимого на них груза и эти действия должны



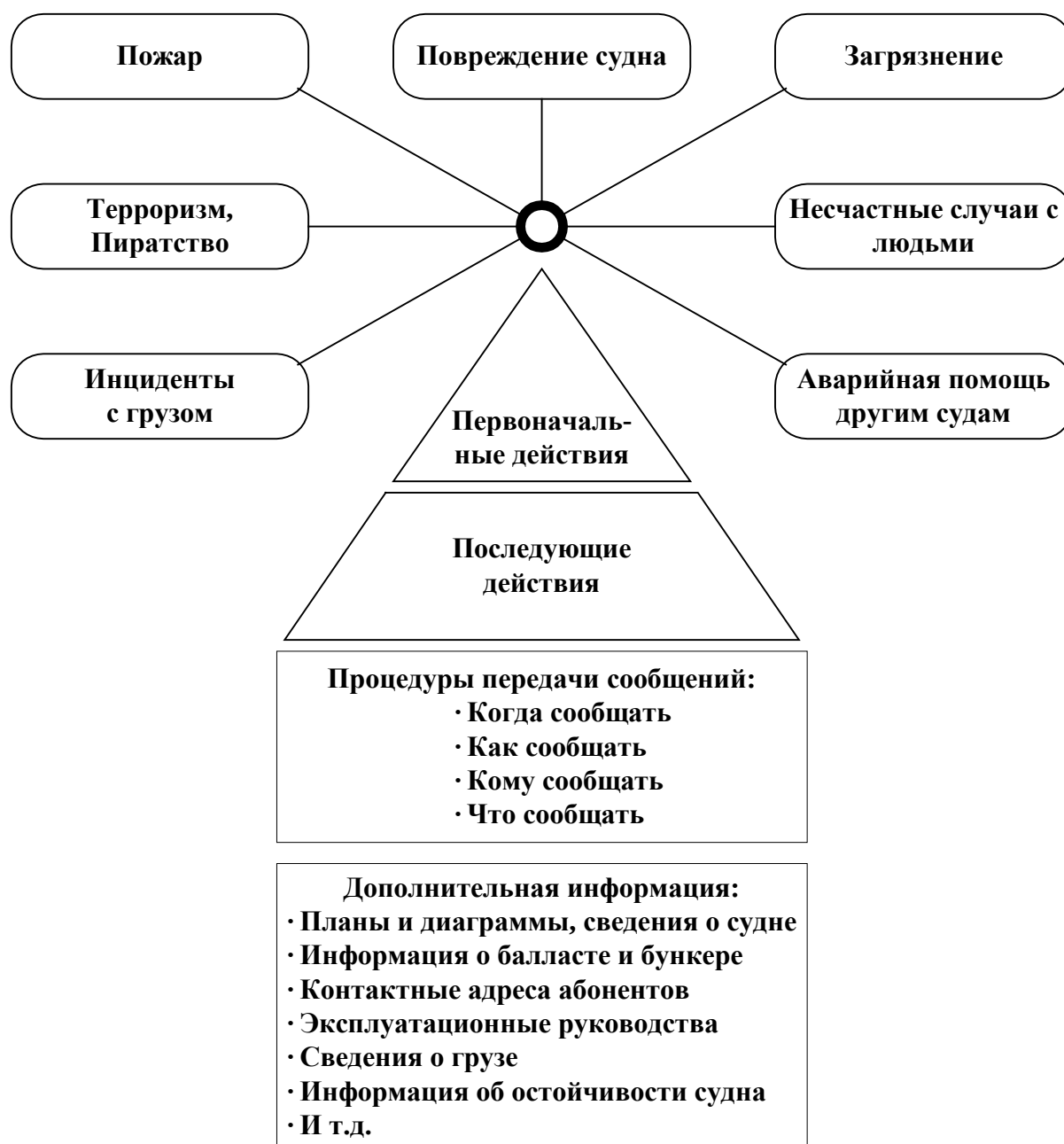
13. Аварийные мероприятия на газовозах

полностью приниматься во внимание при разработке процедур, связанных с последующими действиями.

В планах должно также быть оговорена последовательность оповещения береговых служб о возникновении на борту чрезвычайной ситуации, при этом должны учитываться интересы:

- Судна.
- Прибрежного государства.
- Порта.

Структурная система аварийного планирования



13. Аварийные мероприятия на газовозах



Схема действий в чрезвычайных ситуациях





13. Аварийные мероприятия на газовозах

Международная Конвенция по Спасению Человеческой Жизни на Море (СОЛАС–74) предусматривает минимальный перечень тревог и учений, которые должны проводиться на борту судна. При составлении аварийного расписания и плана тревог и учений следует учитывать как международные требования, так и национальные требования, и также и требования судовладельца.

При планировании действий экипажа в экстремальных ситуациях необходимо учитывать специфические, конструктивные особенности и возможности судна, расположение средств пожаротушения, степень подготовленности офицеров и рядового состава. Судовой аварийный план по действиям в чрезвычайных ситуациях должен быть реальным, практичным и легким для исполнения.

Аварийное расписание составляется с учетом международных и национальных требований. Прежде всего в нем должны быть указаны все виды сигналов тревог, которые используются на судне, места сбора экипажа или аварийных групп по тревоге, местонахождение по тревоге каждого члена экипажа и краткое описание его действий в по каждому виду тревог.

Минимальный необходимый перечень обязанностей, которые должны быть указаны в расписании – следующий:

- Закрытие водонепроницаемых переборок и дверей, клапанов шпигатов, иллюминаторов, световых люков и других подобных отверстий на судна;
- Пополнение снабжения в спасательных шлюпках;
- Подготовка и спуск на воду спасательных средств;
- Общую подготовку спасательных средств;
- Сбор экипажа;
- Использование средств связи;
- Комплектование аварийных партий по борьбе с пожаром;
- Специальные обязанности, связанные с использованием противопожарного оборудования и систем.

В аварийном расписании должны быть указаны лица командного состава, ответственные за обеспечение того, чтобы противопожарные и аварийно спасательные средства содержались в рабочем состоянии и были готовы к немедленному использованию. Необходимо также указать заместителей лиц, занятых в наиболее ответственных операциях и, которые могут быть выведены из строя, учитывая при этом, что различные аварийные ситуации могут потребовать действий различного характера.

Расписание по тревогам должно быть составлено до выхода судна в море. Если происходят какие-либо изменения в составе экипажа, то изменение судового расписания по тревогам должно производиться **НЕМЕДЛЕННО**. Форма расписания по тревогам, используемая на судах – обычно стандартной формы и зависит от того, под каким флагом плавают судно.

Рассмотрим основные виды аварийного планирования.

Организация борьбы с пожарами.

«Учения по борьбе с пожарами должны проводиться таким образом, чтобы должное внимание уделялось на регулярность их проведения при различных аварийных ситуациях, которые могут возникнуть в зависимости от вида судна и груза...» – СОЛАС 74\95.

13. Аварийные мероприятия на газовозах



Каждое учение по борьбе с пожаром должно включать:

- Прибытие к месту сбора и подготовку к выполнению обязанностей согласно расписания по тревогам.
- Пуск пожарного насоса с использованием по меньшей мере 2-х стволов.
- Проверка снаряжения пожарного и другого спасательного снаряжения.
- Проверка соответствующего оборудования и связи.
- Проверка работы водонепроницаемых дверей, пожарных заслонок и т.д.
- Проверка мер и устройств, необходимых для последующего оставления судна.

Наиболее важным при планировании противопожарных мероприятий является учет всех возможных очагов возникновения пожара, средств пожаротушения, которые можно использовать в данном месте и возможные пути эвакуации. Поскольку танкер делится на противопожарные зоны, то более целесообразно планировать учения по ликвидации пожара в каждой зоне.

Можно выделить несколько основных видов пожарных учений:

- Борьба с пожаром на грузовой палубе;
- Борьба с пожаром в районе манифолдов;
- Борьба с пожаром в компрессорном помещении;
- Борьба с пожаром в помещениях полубака;
- Борьба с пожаром в жилых помещениях;
- Борьба с пожаром на камбузе;
- Борьба с пожаром в машинном отделении.

Частота проведения пожарных учений и их чередование должны быть такими, чтобы выработать у экипажа определенный стереотип действий по каждому виду тревог. Согласно СОЛАС–74, каждый член экипажа в течении месяца должен принять участие, как минимум, в одной пожарной тревоге и, как минимум, в одной тревоге по оставлению судна. Однако такие требования не удовлетворяют многим национальным правилам, где предусматривается проведение подобного вида тревог раз в две недели, а то и еженедельно.

Кроме того, каждый член экипажа должен уметь пользоваться всеми средствами пожаротушения, имеющимися на судне и знать его расположение. Все противопожарное оборудование может быть в рабочем состоянии, но не быть использованным во время пожара, если экипаж не знает, как им пользоваться, или же при обнаружении опасности все бегут к спасательным плавсредствам

Такое зачастую случается при формальном проведении тревог. Очень часто можно слышать высказывания, типа: «зачем тратить попусту время, и тушить пожар на танкере. Гораздо проще сбросить спасательный плот и покинуть опасное судно». При этом говорящий предполагает, что проделывать такую операцию он будет после сытного обеда, во время ясного солнечного дня, когда температура воздуха не ниже 25°C, а вода уже прогрелась до +28°C. Кроме всего предполагается, что на плот он будет спускаться по парадному трапу, а до Гавайских островов максимум 1 миля.

Однако реальная картина выглядит несколько иначе: Темная ночь в Норвежском море зимой, судно еле удерживается против волны, Задымление такое, что найти выход к спасательным средствам очень трудно. Наконец, добравшись до спасательного плота, он обнаруживает, что сбросить его можно только с противоположного борта, начинается перекачивание плота через различные углы и палубные конструкции. Наконец, сбросив плот в воду и



13. Аварийные мероприятия на газовозах

спрыгнув с борта судна сам, он обнаруживает, что плота поблизости нет, единственное, что он может разглядеть в темноте – это кормовой огонь удаляющегося судна. И только тогда, крича о помощи и глотая морскую воду, перемешанную с мазутом, он понимает, что его товарищи, оставшиеся на борту судна, находятся в безопасности, а он остался один посреди моря.

Поэтому уровень подготовки экипажа и его знания во многом определяют частоту и виды проведения тревог. Совсем не обязательно привлекать к учениям весь экипаж. В первую очередь необходимо проводить учения с наиболее слабо подготовленными, с тем, чтобы поднять уровень их подготовки до приемлемого уровня. При этом важно учитывать то, что офицеры и экипаж должны получить максимум тренировок по практическому использованию различных средств пожаротушения. Вот почему на танкерах предусматриваются ежемесячные учения по практическому использованию экипажем переносных огнетушителей, запуску аварийного пожарного насоса и аварийного дизельгенератора.

Знание судна, его систем, расположения и видов противопожарного оборудования – еще один немаловажный фактор в подготовке экипажа. Капитан должен быть уверен, что все вновь прибывшие члены экипажа не только ознакомились со своими обязанностями, но и получили инструктаж по расположению и правилам пользования основными средствами спасения и пожаротушения.

Помимо расположения и правил пользования судовыми противопожарными средствами все члены экипажа должны знать возможности этих средств. Например, на сколько времени хватает пены при работе одного монитора или двух, сколько пожарных рожков можно использовать при работе только одного пожарного насоса и т.д.

Очень важно по окончании учений производить их разбор, объясняя членам экипажа, какие их действия были правильными, а какие – нет.

Оперативные планы по борьбе с пожарами.

Каждое учение по тушению пожаров на судне должно проводиться в соответствии с оперативными планами по борьбе с пожарами. Оперативные планы разрабатываются компанией на основании особенностей каждого судна. Тем не менее последовательность действий при тушении пожара должна быть единой для всех однотипных судов. При составлении оперативных планов перечень действий должен включать но не ограничиваться:

- Объявление сигнала тревоги;
- Отключение вентиляции в зоне пожара;
- Использование переносных огнетушителей и противопожарных покрывал;
- Обесточивание очага пожара;
- Использование стационарных систем тушения ;
- Охлаждение смежных с очагом пожара переборок;
- Использование объёмных систем тушения;
- Отсоединение береговых погрузочных средств;
- Взаимодействие с береговыми пожарными командами;
- Приготовление спасательных средств к оставлению судна;
- Поиск и спасение членов экипажа.

13. Аварийные мероприятия на газовозах



Но самое важное при тушении пожара – это чтобы экипаж верил в правильность действий командира в экстремальных ситуациях.

Тушение пожаров в помещениях надстройки.

Рассмотрим основные компоненты тактики тушения пожара на борту судна. В общем случае, все действия по тушению пожара на борту судна можно охарактеризовать следующими операциями:

- Спасание пострадавших;
- Предотвращение распространения пожара;
- Локализация пожара;
- Тушение;
- Вентиляция помещения.

Спасание пострадавших.

Спасание жизни и эвакуация пострадавших в безопасное место – наиболее важное и первостепенное мероприятие. Причем спасание и эвакуация пострадавших из очень простого действия может перерасти в довольно сложную операцию. Первоначальная оценка ситуации должна производиться очень быстро и необходимо получить ответ на следующие вопросы:

- Остался ли кто-нибудь из членов экипажа в районе возникновения пожара?
- Угрожает ли пожар жизни оставшихся?
- Нужна ли их немедленная эвакуация?
- Возможность того, что оставшиеся все ещё живы?
- Сколько человек необходимо эвакуировать?
- Достаточно ли людей в аварийной партии для спасания пострадавших?
- Есть ли необходимое медицинское оборудование для оказания помощи?
- Достаточно ли оборудования и персонала, чтобы успешно закончить спасание?
- Есть ли достаточно опытные члены экипажа для спасания?
- Опасность для персонала, участвующего в спасании.

При проведении спасательных операций зачастую возникает необходимость локальных операций по тушению пожара, чтобы обеспечить безопасный вход и выход аварийной партии и пострадавших. Поэтому проблема спасания жизни пострадавших может потребовать дополнительного персонала, средств пожаротушения.

Лица, участвующие в спасании должны быть тренированы должным образом. Как минимум они должны уметь оказать первую медицинскую помощь, пользоваться реанимационным оборудованием, уметь использовать дыхательный аппарат сжатого воздуха.

При планировании учений, следует всегда включать эвакуацию пострадавших и оказание первой медицинской помощи.

Предотвращение распространения пожара.

Включает в себя охлаждение переборок помещений, смежных с очагом пожара. Пожар распространяется по судну передачей чрезмерного нагрева,



13. Аварийные мероприятия на газовозах

радиацией или же прямым контактом пламени. Обычные горючие материалы требуют нагрева более 149 градусов для воспламенения и горения, т.е. выше температуры кипения воды. Поэтому, наличие температуры, достаточной для возникновения пожара в смежном помещении, можно определить по тому, возникает ли пар на охлаждаемой переборке или нет. Охлаждение переборок следует производить до прекращения возникновения пара.

Локализация пожара.

При тушении пожара все усилия должны быть направлены на удержание пожара в помещении или районе его возникновения и предотвращению его распространения по судну.

Следует помнить, что пожар, возникший на нижнем уровне, гораздо труднее погасить, чем тот, который возник на верхнем уровне, поскольку распространение пожара вниз, обычно (но не всегда) происходит гораздо медленнее, чем его распространение по горизонтальному уровню и вверх.

Тушение пожара.

Прежде всего, необходимо установить, что же горит, т.е. материал горения:

- Твердое вещество;
- Горючая жидкость;
- Взрывоопасная жидкость;
- Огнеопасные газы;
- Электропроводка;
- Металлы.

и выбрать соответствующий способ тушения.

От того, где находится очаг пожара (жилые помещения, машинное отделение и т.д.) зависит выбор тактики тушения пожара.

По окончании тушения пожара производится осмотр и устранение скрытых очагов пожара.

Вентиляция.

Заключительный этап в тушении пожара – вентиляция помещения. Вентиляция предназначена, прежде всего, для удаления из атмосферы помещения горючих и токсичных газов, возникших при пожаре, а также для удаления дыма и снижения температуры. Однако следует помнить, что при поступлении свежего воздуха возникает опасность повторного воспламенения горючих материалов.

Помимо перечисленных видов пожарных учений на танкере должны быть предусмотрены отдельные учения по:

- Использованию дыхательных аппаратов в условиях задымления;
- Использованию средств по спасению пострадавших из закрытых помещений и грузовых танков;

13. Аварийные мероприятия на газовозах



- Применению реанимационного оборудования и эвакуации пострадавших;
- Использованию индивидуальных дыхательных аппаратов для эвакуации.

Инциденты с грузом

Пожалуй, довольно специфическим и немаловажным для танкеров является планирование мероприятий по борьбе с протечками груза, аварийными выбросами газа. Руководство операциями по борьбе с выбросами газа и протечками груза целиком и полностью лежит на старших офицерах. Должны быть разработаны планы, учитывающие возможные случаи возникновения таких ситуаций. Рекомендованный перечень ситуаций, которые должны рассматриваться при составлении аварийных планов следующий:

При грузовых операциях:

- Течь в грузовой магистрали.
- Переполнение танка.
- Течь грузового танка, топливного танка или течь в корпусе.
- Обесточивание судна при проведении погрузки/выгрузки.

В непредвиденных случаях:

- Посадка на мель.
- Касание грунта.
- Столкновение.
- Пожар и взрыв.
- Повреждение корпуса.
- Чрезмерный крен.

При выходе из строя судового оборудования:

- Выход из строя рулевого устройства.
- Выход из строя главного двигателя.

Операции с грузом.

Обычно план по аварийным мероприятиям разрабатывается судовладельцем и остается лишь выполнять его требования. Рассмотрим основные виды учений по борьбе с разливом груза, которые должны проводиться на борту судна. К таким видам относятся разливы, которые могут возникнуть при грузовых операциях в порту из-за:

- Повреждения грузового трубопровода;
- Обрыва берегового шланга;
- Переполнения судового танка;
- Обесточивания во время грузовых операций;
- Подвижки судна относительно причала.

При возникновении вышеуказанных ситуаций необходимо также выработать определенный стереотип поведения экипажа и его четкие действия. Прежде всего, эти действия должны в себя включать:



13. Аварийные мероприятия на газовозах

- Остановку всех грузовых операций;
- Объявление общесудовой тревоги;
- Оповещение экипажа;
- Остановку заборной вентиляции;
- Герметизацию жилых и служебных помещений.

После чего к работе приступает судовая аварийная партия, основные действия которой:

- Локализация выброса газа (протечки);
- Предотвращение возникновения пожара;
- Ликвидация последствий выброса.

Необходимо помнить о безопасности персонала, производящего работы в зоне разлива. Все работы должны производиться в защитной одежде и с использованием дыхательных аппаратов.

Основные пути локализации выброса газа:

- Сброс давления в грузовой магистрали, открытием пустого танка;
- Стравливание избыточного давления из грузового танка, открытием клапана на газоотводе.

Грузовые операции не возобновляются до тех пор, пока все разлитые продукты не будут убраны, грузовая палуба надлежащим образом очищена, а береговые власти дадут разрешение на продолжение грузовых операций.

Четкие действия экипажа в случае обесточивания, также помогут избежать разливов груза:

- Немедленно активируется система аварийной остановки «судно-берег»;
- Все грузовые клапана ставятся в положение «закрыто»;
- Пускатели всех грузовых насосов ставятся в положение «выключено».

После восстановления электропитания, грузовые операции не возобновляются до тех пор, пока не будет проверена работоспособность всех грузовых систем и механизмов.

Подвижка судна у причала

Довольно часто возникает ситуация, когда судно теряет один или несколько швартовных концов в результате погодных условий, при близком прохождении другого судна, или в результате самоотдачи береговых швартовных крюков. При возникновении таких ситуаций необходимо:

- Прекратить все грузовые операции;
- Объявить общесудовую тревогу;
- Подготовить главный двигатель к работе (во время грузовых операций главный двигатель должен быть в режиме постоянной готовности);
- Подготовить якоря к отдаче (необходимо учитывать невозможность отдачи якорей из-за наличия подводных трубопроводов);
- Приготовить дополнительные швартовные концы к подаче на берег;
- Предупредить портовые власти о случившемся, затребовать дополнительную помощь.

Грузовые операции возобновляются только в случае надежной повторной швартовки, составления всех необходимых документов и ликвидации последствий разлива, если таковой случился.

13. Аварийные мероприятия на газовозах



Это лишь небольшой перечень ситуаций, которые могут возникнуть в порту при проведении грузовых операций. Однако существует еще и переход морем где также могут возникнуть различные непредвиденные обстоятельства.

Посадка на мель.

Если судно жестко село на мель и не имеет возможности маневрировать, то капитан должен убедиться прежде всего в том, что исключены все возможные источники образования открытого огня и приняты все меры для предотвращения попадания горючих газов в машинное отделение и помещения надстройки. Должно быть точно определено местоположение судна, получена необходимая информация о глубинах, течениях, грунте и величине приливов в данном месте. Необходимо проверить состояние корпуса судна и обнаружение возможных повреждений.

После чего необходимо оповестить судовладельца о случившемся. Если в результате посадки на мель произошла утечка топлива или груза (представляющего опасность для окружающей среды) оповещение делается в соответствии с международными требованиями.

Следующие этапы:

- Визуальная инспекция насколько это возможно внутренних и внешних конструкций судна.
- Произвести замеры глубин вокруг судна.
- Произвести замеры уровней груза и балласта.
- Произвести проверку на наличие воды всех коффердамов и трюмных пространств.
- Определить осадку судна и произвести необходимые расчеты для снятия судна с мели.
- Определить возможные опасности для судна и экипажа, в том числе возможность разрушения корпуса из-за погодных условий.
- Опасность для здоровья экипажа и окружающей среды из-за опасных концентраций газа.
- Опасность возникновения пожара при подвижке судна.

После чего принимаются меры для самостоятельного снятия судна с мели (если, конечно это возможно).

Касание грунта

В том случае, если судно испытывает необычную вибрацию корпуса или тряску, необычное движение судна или возникло изменение в режиме работы главного двигателя, можно предположить, что судно коснулось грунта. В таком случае возникает необходимость установить: получило ли судно повреждения корпуса и есть ли его водотечность. В случае касания судна необходимо выполнить следующее:

- Остановить главный двигатель, если есть такая возможность. И проверить любые отклонения в снижении скорости (надо помнить, что касание грунта обычно происходит в стесненных водах).
- Точно определить местоположение судна (лучше использовать визуальные пеленга).
- Проверить положение на карте и сравнить имеющиеся глубины.



13. Аварийные мероприятия на газовозах

- Запросить совет лоцмана, если таковой имеется на борту.
- Проверить, нет ли за судном следов топлива из бункерных танков.
- Произвести замеры во всех грузовых и балластных танках.
- Произвести, насколько это возможно визуальный осмотр внутренних и внешних конструкций судна.
- Произвести замеры всех топливных и вспомогательных танков.
- Проверить на водотечность все трюмные пространства и коффердамы.
- Проверить осадки судна.

После чего определяются все дальнейшие действия экипажа и необходимость оповещения береговых служб.

Столкновение.

После того как произошло столкновение с другим судном или каким-либо объектом, прежде всего, необходимо определить степень повреждений, которое получило судно. После чего определяются дальнейшие действия по спасанию судна и экипажа. Основное правило: объявление судовой тревоги – первоочередно!!!

После столкновения необходимо определить следующее:

- Повреждены ли какие либо танки ниже ватерлинии?
- Имеет ли столкнувшееся судно бульб?
- Если да, то предполагаются повреждения судна ниже ватерлинии.
- Произошло ли загрязнение моря грузом или бункером и насколько оно велико?
- Неподвижны ли суда после столкновения и имеет ли место сцепление судов?
- Если да, то более разумно оставить судно неподвижным.
- Если есть возможность расцепить суда, то не приведет ли такое расцепление к увеличению опасности пожара или разлива груза.
- Имеется ли опасность возникновения пожара и его распространения на другое судно.
- Будут ли суда представлять угрозу для судоходства, если они останутся в данной позиции?
- Имеется ли возможность затопления одного из судов после расцепления?
- Если принято решение о рассоединении судов:
 - Расположить судно таким образом, чтобы уменьшить попадание газов в вентиляцию.
 - Остановить всю вспомогательную вентиляцию.
 - Изолировать по возможности поврежденные танки.

Далее производится проверка повреждений корпуса и определяется водотечность всех танков, отсеков и коффердамов.

Аварийная перекачка груза с судна на судно.

В случае, если возникла необходимость в аварийной перекачке груза с судна на судно, необходимо руководствоваться «Кодексом по перекачке сжиженных газов с судна на судно». Основные моменты, которые должны быть соблюдены при перекачке груза с судна на судно следующие:

- Якорная стоянка должна быть безопасной.

13. Аварийные мероприятия на газовозах



- Кранцевая защита должна быть достаточной.
- Грузовые шланги для перекачки должны быть достаточной длины и одобренного типа.
- Должна быть установлена надежная связь между судами.
- Возможность перекачки груза судовыми насосами, если необходимо подготовка погружного аварийного насоса.
- Требуется ли помощь буксиров.
- Обеспечивается ли остойчивость и прочность судна в процессе перекачки.

Полный перечень мероприятий по перекачке груза с судна на судно вы можете найти в «кодексе...». Самое важное при аварийной перекачке – не усугубить и без того плачевное состояние судна после столкновения или посадки на мель.

Подготовка экипажа к оставлению судна.

И, наконец, когда все возможные меры по сохранению судна приняты, но ситуация такова, что дальнейшее пребывание на борту судна ведет к прямой угрозе жизни экипажа, капитаном принимается решение об оставлении судна.

Поскольку ситуации могут возникнуть самые разнообразные, то подготовку экипажа к оставлению судна надо осуществлять таким образом, чтобы спуск любых спасательных средств мог самостоятельно осуществить любой член экипажа.

Однако одно дело – спустить шлюпку или спасательный плот на воду и, совсем другое – правильно использовать спасательное оборудование, чтобы спастись. Поэтому, одновременно с обучением экипажа спуску спасательных шлюпок и плотов, необходимо проводить учения по использованию спасательного оборудования и инвентаря.

Согласно международным требованиям, такие учения должны производиться одновременно с проведением тревог по оставлению судна, но не реже одного раза в течение двух месяцев, однако, как показывает практика, такого количества учений по использованию спасательных средств и оборудования, недостаточно. Учения по оставлению судна должны проводиться, насколько это практически возможно, так, как если бы существовала реальная аварийная ситуация, а не в виде увеселительной прогулки на шлюпочную палубу.

Каждое учение по оставлению судна должно в себя включать:

- Объявление тревоги и вызов экипажа к местам сбора с помощью громкоговорящей связи с указанием порядка оставления судна.
- Прибытие к местам сбора и подготовку к выполнению обязанностей согласно судового расписания.
- Проверку того, чтобы все члены экипажа были одеты соответствующим образом.
- Проверку того, чтобы спасательные жилеты были правильно надеты.
- Приспускание, по меньшей мере одной спасательной шлюпки после того, как будут произведены все необходимые приготовления для её спуска на воду.
- Пуск и работу двигателя шлюпок.
- Работу шлюп балок.



13. Аварийные мероприятия на газовозах

- Поиск и спасение «недостающих» членов экипажа.
- Инструктаж по использованию радиооборудования для спасательных средств.

Насколько это практически возможно, во время каждого учения необходимо приспускать поочередно различные спасательные шлюпки. Не реже чем один раз в 3 месяца каждая спасательная шлюпка с расписанной на ней командой должна спускаться на воду и маневрировать на воде.

Несколько другие требования существуют для шлюпок свободного падения. Такая шлюпка должна спускаться на воду методом свободного падения с укомплектованной командой не реже чем 1 раз в 6 месяцев. Однако в тех случаях, когда это практически невозможно, срок может быть продлен до 12 месяцев, при условии, что будут приняты меры для организации моделирования ситуации спуска шлюпки на воду не реже, чем раз в 6 месяцев.

Во время каждого учения по оставлению судна необходимо проверять работу аварийного освещения мест посадки в шлюпки. Регистрация проводимых учений и тревог производится в судовом журнале с описанием основных моментов учений или тревог. Если проведение учения не производилось в полном объеме, то в судовом журнале должна быть указана причина сокращенного проведения учений.

Помимо учений на судне должна находиться литература, по использованию средств, имеющихся на судне, так называемая «ПАПКА СОЛАС». Согласно рекомендациям СОЛАС–74 руководство по оставлению судна может состоять из нескольких буклетов, содержащих изложенные в легкодоступной форме инструкции и информацию, касательно имеющихся на судне спасательных средств и правилам их использования.

Подробно должны быть отражены следующие вопросы:

- Надевание спасательных жилетов и гидрокостюмов;
- Выход к назначенным местам сбора;
- Посадка в спасательные средства, их спуск на воду и отход от борта;
- Спуск, производимый со спасательных средств;
- Разобшение со спусковыми устройствами;
- Освещение районов спуска;
- Методы защиты и использование защитных устройств в районе спуска;
- Использование всего спасательного оборудования;
- Использование всех средств обнаружения;
- Использование плавучих якорей;
- Использование двигателя;
- Подъем спасательных шлюпок;
- Опасность переохлаждения и необходимость иметь теплую одежду;
- Сохранение жизни в спасательных средствах.

Может возникнуть естественный вопрос: «А когда же работать? Если практически все время приходится тратить на проведение тревог и учений». Однако работа танкера складывается из **БЕЗОПАСНОГО** осуществления ряда экстремальных операций, связанных с его эксплуатацией (мойка, дегазация, погрузка, выгрузка, перекачка груза). Поэтому проведение учений и тревог является неотъемлемой частью обеспечения этой безопасности и хотим мы того или нет, а поддерживать экипаж в постоянной готовности к **ПРАВИЛЬНЫМ** действиям в экстремальных ситуациях мы просто обязаны.

13. Аварийные мероприятия на газовозах



Помимо проведения всех видов тревог и учений, поддержание аварийно-спасательных средств в надлежащем техническом состоянии, также является неотъемлемой частью обеспечения безопасности на танкере. Техническое состояние аварийно-спасательного имущества обеспечивается регулярными инспекциями и необходимыми проверками. Такие проверки и инспекции должны проводиться еженедельно и ежемесячно.

Еженедельные проверки включают в себя:

- Визуальный осмотр аварийно-спасательных средств;
- Проверка комплектации;
- Заряд аккумуляторов и батарей;
- Проверку работы и смазку пожарных захлопок и заслонок;
- Проверку в работе (не менее 3 минут) двигателей спасательных шлюпок;
- Проверку судовой авральной сигнализации;
- Проверку работы предупредительной сигнализации средств объёмного тушения.

В судовой журнал производится запись о совершенной еженедельной или ежемесячной проверке аварийно-спасательного имущества и инвентаря.

Все аварийно-спасательное имущество должно быть надлежащим образом сертифицировано и освидетельствовано. Сертифичирование и освидетельствование аварийно-спасательного оборудования и инвентаря производится классификационными организациями на ежегодной основе.



14.Словарь терминов и сокращений

Air lock – Воздушный шлюз. Герметичное помещение небольшого размера, которое предназначено для поддержания разности давлений между взрывобезопасной зоной и грузовой палубой.

Alcohol Resistant Foam- Пена, устойчивая в воздействию спиртов. Используется в качестве основного тушащего агента на химовозах.

Approved equipment - Оборудование, изготовленное и проверенное в соответствии с требованиями Администрации или классификационного сообщества и имеющее сертификат одобренного типа на использование во взрывоопасной атмосфере.

APBS – Accident Prevention on Board Ships at Sea and in Port – Публикация Международной Организации Труда «Предотвращение несчастных случаев на судах, находящихся в море и в порту».

Auto-ignition temperature - Температура самовоспламенения. Наименьшая температура, при которой твердое вещество, жидкость или газ, способны воспламениться без наличия открытого источника пламени.

Ball Valve – Шаровый клапан. Используется в качестве основного вида клапанов на всех жидкостных и газовых трубопроводах газовоза.

BCH – Code for the Construction and Equipment of Ship Carrying Dangerous Chemicals in Bulk – Кодекс постройки и оборудования судов, перевозящих опасные химические грузы наливом. Применяется к химовозам, построенным до 1986 года, а также к переоборудованным и комбинированным танкерам.

BLEVE – Boiling Liquid Expanded Vapor Explosion – Взрыв паров, выделенных кипящей жидкостью. Применяется при классификации пожарной опасности сжиженных газов, перевозимых в сосудах под давлением.

Boil-off - Выпар. Пары груза, которые образуются над поверхностью жидкости, в процессе транспортировки и хранения сжиженного газа.

Booster pump - Бустерный насос. Насос, предназначенный для повышения давления в трубопроводе в процессе выгрузки. Устанавливается на грузовой палубе танкера и подключается последовательно с основными грузовыми насосами.

Bulk cargo – Груз перевозимый наливом или навалом.

Boiling point - Температура кипения. Температура, при которой давление насыщенных паров жидкости эквивалентно внешнему давлению, действующему на поверхность жидкости. Температура кипения меняется с изменением внешнего давления. Температура кипения при атмосферном давлении – самая низкая температура, при которой давление насыщенных паров жидкости равно атмосферному давлению (т.е. при перевозке жидкости в открытом сосуде).

Bonding - Электрическое соединение металлических объектов для обеспечения токопроводности всех участков.



14.Словарь терминов и сокращений

Brittle fracture - Хрупкий излом. Разрушение материала, которое происходит из-за потери прочностных характеристик и разрушения его кристаллической структуры, вследствие воздействия низких температур.

CABA- Compressed Air Breathing Apparatus - Дыхательный аппарат сжатого воздуха.

Canister Type Breathing Apparatus – Противогаз со сменным фильтрующим элементом (противогазной коробкой), предназначенный для использования в атмосфере с содержанием кислорода не менее 21% и незначительными концентрациями токсичных или вредных для здоровья веществ. Осуществляет очистку атмосферы путем поглощения вредных и токсичных веществ фильтрующим элементом. Для каждого состава газовой среды необходимо использовать строго определенный тип фильтрующего элемента.

Cargo area - Район грузовых операций (грузовая палуба). Часть судна, по всей его ширине, расположенная над грузовыми танками, включая компрессорные, насосные и другие отделения, а также коффердамы, ограничивающие пространства вокруг грузовых танков. Трюма, расположенные в носовой или кормовой оконечностях танкера, не включаются в определение «Район грузовых операций».

Cargo Conditioning - Обработка груза. Процесс транспортировки груза на борту судна без чрезмерных потерь, поддержание в танках необходимого давления и температуры.

Cargo Containment System – Грузосодержащая система танкера. Включает в себя грузовые танки, первичные и вторичные барьеры, изоляцию танков, межбарьерные пространства и конструкции крепления танков.

Cargo Operation - Грузовая операция. Любая операция с грузом на борту танкера, включая внутрисудовую перекачку груза, повторное сжижение, дегазацию и вентиляцию грузовых танков.

Cargo Transfer - Перекачка груза. С судна на берег, с судна на судно и с берега на судно.

Cavitation - Кавитация. Явление кавитации возникает на импеллере центробежного насоса при падении давления на всасывающей части насоса ниже давления насыщенных паров перекачиваемой жидкости. В результате вскипания жидкости образуются пузырьки пара, которые, затем, с повышением давления на нагнетательной части импеллера, схлопываются. Это приводит к значительному росту давления в зоне схлопывания пузырьков, что вызывает разрушение материала импеллера.

CDI – Chemical Distribution Institute. Институт стандартов транспортировки опасных химических веществ. (Лондон). Независимая организация, осуществляющая инспектирование химовозов и газовозов на соответствие существующим международным правилам, кодексам, промышленным и производственным стандартам, применяемым к специализированным судам. Инспекцию CDI заказывает или фрахтователь, или судовладелец. Такого рода инспекция не является обязательной, однако в последнее время получила широкое распространение.



14.Словарь терминов и сокращений

CEPIC – European Chemical Industry Council - Европейский Совет Химической Индустрии

CFC – Chloro/Fluoro Compound - Хлоро или Фторо содержащие соединения. В основном используются в качестве тушащих агентов в станциях объёмного тушения.

CFR – Code of Federal Regulation (USCG) - Кодекс Федеральных Правил. Сборник Федеральных Правил США, применительно к транспорту. Составлен Береговой Охраной и Департаментом Транспорта США.

COF – Certificate of Fitness - Сертификат о Соответствии. Свидетельство, удостоверяющее пригодность конструкции и оборудования судна для перевозки химических грузов или сжиженных газов в соответствии с Кодексами ИМО.

COG – Changing of Grade - Смена груза. Данный термин используется, если планируется перевозка груза, несовместимого с предыдущим. Процедура смены груза включает в себя, но не ограничивается, следующие операции : Дегазация, вентиляция, мойка танков, инертизация, продувка парами, захолаживание.

Certified Gas Free - Освидетельствованный как газобезопасный. Танк или любое другое помещение на судне следует считать свободным от наличия в нем вредных или токсичных веществ только в том случае, если атмосфера в нем была проверена откалиброванными приборами по контролю за составом атмосферы, был выдан соответствующий сертификат, контроль атмосферы помещения осуществляется на регулярной основе.

Chemical Absorbtion Detector - Прибор, используемый для обнаружения токсичных или взрывоопасных газов. Основан на принципе избирательных химических реакций между веществом сенсора и измеряемым компонентом.

Cofferdam - Коффердам. Изолирующее пространство между двумя стальными переборками или палубами. Такое пространство может быть также балластным танком или же межбарьерным пространством.

Combustible Gas Detector - Детектор взрывоопасных газов. В общем случае действие такого прибора основано на измерении концентраций углеводородов в процентах от нижнего предела взрываемости. Не существует прибора, позволяющего измерять концентрации всех взрывоопасных газов. Каждый такой прибор калибруется на какой-либо один газ или смесь газов.

Compatibility - Химическая совместимость грузов. Иными словами, возможность двух и более химических соединений находиться в близком и продолжительном контакте без образования новых веществ.

Compatible Trade - Перевозка совместимого груза. После перевозки одного груза предполагается перевозка нового груза, совместимого с предыдущим. При таких условиях допускаются лишь ограниченное количество остатков предыдущего груза.

Conditioning of Cargo Tanks - Подготовка грузовых танков под требуемые условия. Подразумевается выполнение требований по содержанию кислорода в атмосфере танка, наличию различных примесей (CO_2), концентрации паров груза в атмосфере



14.Словарь терминов и сокращений

танка перед погрузкой (обычно не менее 98% от объема танка), температуре точки росы, температуре танка.

Coefficient of Cubical Expansion - Увеличение объема при увеличении температуры тела или вещества на 1 °C

Crossover - Манифолд. Трубопровод, расположенный поперек судна от борта до борта в средней части судна. Предназначен для подсоединения береговых погрузочно-разгрузочных устройств.

Closed Gauging System - Система для производства замеров параметров груза «закрытым способом». Такая система исключает проникновение паров груза в атмосферу при производстве замеров груза и отборе проб.

CLC – Certificate on Civil Liability for Oil Pollution Damage - Сертификат о гражданской ответственности за ущерб, нанесенный при загрязнении моря нефтью. Выдается государством флага судна. Обычно предусматривает внесение государством флага определенных страховых взносов, на основании чего выдается сертификат.

Dangerous Cargo Endorsement - Подтверждение к диплому на право обработки опасных грузов. В зависимости от должности и степени ответственности персонала, определяются следующие виды подтверждений: танкераман – минимальная ответственность, ассистент – персонал непосредственно принимающий участие в грузовых операциях, ответственное лицо – персонал несущий непосредственную ответственность за проведение грузовых операций и соблюдение мер безопасности при обработке груза.

D/B – Double Bottom – Танки двойного дна

Deepwell Pump - Насос погружного типа, установленный в колодце грузового танка. Привод насоса располагается на грузовой палубе.

Density – Плотность. Этот термин применяется для определения массы единицы объема вещества в вакууме.

Dedicated Trade – Перевозка одного и того же груза. Допускается погрузка следующего груза поверх остатков предыдущего.

Dewpoint – Точка росы. Температура при которой происходит конденсация паров воды, содержащихся в атмосфере танка. Чем ниже точка росы, тем меньшее количество влаги образуется при охлаждении танка. Точка росы характеризует сухость атмосферы танка. По требованиям ИМО понятие «Сухой танк» подразумевает, что точка росы атмосферы танка находится ниже –45° C.

DOC – Document of Compliance - Документ о соответствии. Выдается судовладельцу классификационным сообществом после сертификации на соответствие Международному Кодексу Управления Безопасностью (ISM Code).

Drop line – Погрузочный трубопровод, который предназначен для приема груза на танкерах, оборудованных погружными грузовыми насосами центробежного типа,



14.Словарь терминов и сокращений

позволяющий осуществлять погрузку в обход грузового насоса. Такой трубопровод входит в танк в верхней его части и оканчивается непосредственно у днища танка.

Drop Pressure Calculation – Расчет падения давления в системе газоотвода судна, при использовании берегового газоотвода для отвода паров из грузовых танков судна. Такой расчет позволяет определить максимальную допустимую скорость поступления груза в танк, при которой, пропускная способность судового и берегового газоотводов обеспечит отвод паров из танка, и давление в танке не превысит 80% от давления срабатывания предохранительного клапана на грузовом танке.

Drain Cock- Осушительный клапан.

Drain Pan - Поддон, установленный в месте подсоединения береговых трубопроводов к судовым трубопроводам.

Explosion Proof/ Flame Proof Enclosure - Взрывобезопасная/ пламезащитная защита. При возникновении пламени или взрыва внутри агрегата, защищенного таким образом, не произойдет дальнейшего распространения пламени во взрывоопасную зону, вследствие прочности и герметичности кожуха.

EGC – Code for Existing Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk – Кодекс для существующих судов, перевозящих сжиженные газы наливом.

ESD – Emergency Shut- Down System – Система аварийной остановки. Обеспечивает аварийную остановку всех грузовых устройств танкера и закрытие клапанов на жидкостных трубопроводах судна. Кнопки аварийной остановки должны быть расположены во всех узловых точках грузовой палубы, на мостике и в ПУГО.

Enclosed Space – Закрытое помещение. Любое помещение на судне, которое имеет хотя бы одну из 3-х, перечисленных ниже, характеристик:

- Помещение имеет недостаточные по размеру отверстия для входа и выхода.
- В помещении отсутствует или является недостаточной естественная вентиляция.
- Помещение не предназначено для продолжительной рабочей деятельности.

Enclosed Space Entry Permit - Разрешение на вход в закрытое помещение. Подписывается ответственным лицом. Срок действия не должен превышать 8 часов.

Ex- meter – Эксплозиметр. Общее название приборов, предназначенных для определения содержания взрывоопасных газов в атмосфере.

Explosive - Взрывоопасный

Flame screen – Пламезадерживающий экран (сетка). Устанавливается на вентиляционных отверстиях помещений для предотвращения проникновения искр в помещение. Такой экран позволяет газу свободно проходить через него и способен ЛИШЬ НА НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ устоять воздействию пламени.



14.Словарь терминов и сокращений

Flame Arrester - Пламегаситель. Устройство, устанавливаемое на вентиляционных каналах, не позволяющее пламени проникнуть во внутрь вентилируемых помещений.

Filling Limit – Предел заполнения танка. Процентное выражение объёма заполнения танка жидким грузом с учетом объёмного расширения груза при изменении его температуры. Для все типов танкеров максимальный предел заполнения танков определен в 98%. На газовозах предел заполнения танка зависит от давления срабатывания предохранительных клапанов на грузовых танках.

Flammable - Огнеопасный. Отличие взрыва от воспламенения в том, что при взрыве весь объём или вся масса вещества сгорают за промежуток времени до 5 секунд. При воспламенении же, время сгорания более 5 секунд.

Flammable Range - Пределы воспламенения. Промежуток между Нижним и Верхним Пределами Воспламенения.

Flash Point – Температура вспышки. Наименьшая температура, при которой происходит воспламенение паровоздушной смеси при наличии источника открытого пламени.

FMC – Certificate of Financial Responsibility (US) – Сертификат о финансовой ответственности за загрязнение моря (США)

Gas Codes - Общее название кодексов, постройки и оборудования судов, перевозящих сжиженные газы наливом.

Gas-Dangerous Space or Zone - Газосодержащее пространство или зона. Помещение или участок палубы судна, где наиболее вероятно скопление взрывоопасных или токсичных паров груза.

“Gascope” - Традиционное название приборов, которые позволяют определять процентное содержание паров груза в атмосфере помещения.

Gas Freeing – Дегазация. Замена токсичной, взрывоопасной или инертной атмосферы танка дыхательным воздухом.

Gas Safe – Газобезопасный. Пространство или помещение, не представляющее пожарной или токсичной опасности и защищенное от проникновения взрывоопасных или токсичных паров внутрь помещения.

Hard Arm - Грузовое устройство терминала, имеющее жесткую сочлененную конструкцию, предназначенное для подсоединения к судовому манифолду. (Стендер, чиксан)

Heat of Fusion - Теплота плавления. Количество теплоты, необходимое для перехода вещества из твердого состояния в жидкое при постоянной температуре.

Heat of Vaporisation - Теплота парообразования. Количество теплоты, необходимое для перехода вещества из жидкого состояния в газообразное при постоянной температуре.



14.Словарь терминов и сокращений

High Level Alarm – Сигнализация о предельном заполнении танка. Независимая система, имеющая звуковую и световую сигнализацию, для оповещения персонала о предельном заполнении танка. Различают сигнализацию «высокого уровня» груза в танке (95%) и сигнализацию «переполнения танка» (98%).

Hold Space - Трюмное пространство. Пространство, образованное судовыми конструкциями, в котором располагаются грузосодержащая система (грузовой танк, барьеры, изоляция, крепеж танка)

Hot Work – Горячие работы. Любые работы, в результате которых происходит образование пламени или искр, чрезмерный нагрев материала, которые могут привести к воспламенению горючих веществ, относятся к категории «горячие работы». К таким работам можно отнести: Сварочные, паяльные работы, использование обрезающего, сверлильного, шлифовального инструмента, пескоструйного инструмента и оборудования с приводом, осуществляемым двигателями внутреннего сгорания и пр.

Hot Work Permit – Разрешение на проведение горячих работ. Специальное разрешение, подписанное капитаном, лицом, ответственным за проведение данных работ, лицом, ответственным за обеспечение безопасности в зоне проведения работ, а также лицом, непосредственно выполняющим данную работу. Срок действия разрешения не должен превышать 8 часов.

Hydrates - Гидраты. Кристаллическое вещество, белого или серовато-белого цвета, похожее на снег, образованное молекулами воды и молекулами углеводородов, при определенных условиях.

Hydrate Inhibitors – Ингибитор гидратов. Вещества, приостанавливающие образование гидратов. Обычно используется метанол, изопропиловый спирт или этанол.

IACS - International Association of Classification Societies – Международная ассоциация классификационных сообществ.

IAPH - International Association of Ports and Harbours - Международная ассоциация портов и гаваней.

IBC – International Code for the Construction and Equipment of Ship Carrying Dangerous Chemicals in Bulk - Международный кодекс постройки и оборудования судов, перевозящих опасные химические грузы наливом. Применяется к новым химовозам, построенным после 1986 года

ICS – International Chamber of Shipping - Международная Палата Судостроения

IGC- International Code for the Construction and Equipment of Ship Carrying Liquefied Gases in Bulk - Международный кодекс постройки и оборудования судов, перевозящих сжиженные газы наливом.

IMO – International Maritime Organization - Международная Морская Организация

ILO – International Labour Organization - Международная Организация Труда



14.Словарь терминов и сокращений

IOPP – International Oil Pollution Prevention Certificate - Международный Сертификат по Предотвращению Загрязнения Нефтью.

IG - Inert Gas – Инертный газ. Смесь газов или отдельный газ, не вступающий в химическую реакцию с углеводородами и не поддерживающий процесс горения. Обычно этот термин применяется к смеси газов, полученных в судовой установке инертного газа.

IGS – Inert Gas System - Система инертного газа. Судовая система предназначенная для получения инертного газа, его охлаждения и очистки и подачи к потребителю.

Inerting – Инертизация. Процесс замещения атмосферы танка инертным газом.

Interbarrier Space – Межбарьерное пространство. Пространство между первичным и вторичным барьером грузосодержащей системы, независимо от того полностью или нет оно заполнено изоляционным материалом.

INTERTANCO- International Association of Independent Tanker Owners - Международная ассоциация независимых владельцев танкеров.

Inhibitor – Ингибитор. Вещество, замедляющее или останавливающее химическую реакцию

Incendive spark - Воспламеняющая искра. Искра или искровой разряд, несущие достаточно энергии для воспламенения взрывоопасной смеси.

Insulating Flange - Изолирующий фланец. Изолирующее устройство, предназначенное для установки между металлическими фланцевыми соединениями. С целью предотвращения электрического контакта между этими соединениями. Устанавливается между судовыми и береговыми трубопроводами и устройствами.

Intrinsically Safe - Конструктивно безопасный. Термин применяется к электрическому оборудованию и устройствам, которые по своему конструктивному исполнению не могут привести к выделению электрической или тепловой энергии, достаточной для воспламенения взрывоопасных смесей, как при нормальных условиях эксплуатации, так и при возникновении в них неисправностей. Обычно оборудование такого типа управляет цепями с напряжением менее 12 вольт и силой тока менее 5 милли Ампер.

ISGOTT - International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals -= Международный кодекс по безопасности на нефтяных танкерах и терминалах.

Liquefied Gas - Сжиженный газ. Жидкое вещество, которое при температуре +37,8° C, имеет давление насыщенных паров более 2,8 кг/см².

Loading Line - Погрузочный трубопровод. Трубопровод или система трубопроводов, предназначенная для подачи груза в грузовые танки.

LNG – Liquefied Natural Gas – Сжиженный природный газ. Газ, добываемый на газовых месторождениях и состоящий более чем на 98% из метана. В состав



14.Словарь терминов и сокращений

природного газа входят также пары воды, углекислый газ и другие неорганические соединения.

LFL - Lower Flammable Limit - Нижний предел воспламенения. Наименьшая концентрация паров углеводородов, при которой возможно воспламенение паровоздушной смеси при наличии источника открытого пламени.

LEL – Lower Explosive Limit - Нижний предел взрываемости. Наименьшая концентрация паров углеводородов, при которой возможна вспышка паровоздушной смеси при наличии источника открытого пламени.

LPG – Liquefied Petroleum Gas – Сжиженный нефтяной газ. Термин применяется для характеристики газов, полученных при переработке сырой нефти, таких как пропан, пропилен, нормальный бутан, изо-бутан и бутилен.

LEG- Liquefied Ethylene Gas – Сжиженный этилен. «Холодный газ».

LOC – Letter of Compliance (USA) - Письмо о соответствии. Выдается Береговой Охраной США, после проверки танкера на соответствие требованиям Федеральных Правил США.

LSA – Life Saving Appliances - Аварийно спасательное оборудование. Термин используется для обозначения инвентаря, оборудования и устройств, предназначенных для спасения человеческой жизни на судне.

MARVS – Maximum Allowable Relief Valve Setting – Максимальное установочное давление срабатывания предохранительного клапана. Обычно определяется как 90% от построечного давления танка, т.е. от того давления, которое танк может выдержать конструктивно. Минимальное давление срабатывания предохранительного клапана ИМО определяет в 0,35 бара. Существуют также требования Береговой Охраны США по установке давления срабатывания предохранительных клапанов. Это давления обычно ниже MARVS, и меняется в зависимости от типа газозовозов. MARVS регламентирует максимальное количество груза к перевозке.

Methanol Injection – Инжекция метанола. Введение метанола в узловые точки грузовой системы газозовоза для предотвращения образования гидратов.

Measuring Point – Точка замера. Конструктивно предусмотренное устройство, предназначенное для обеспечения замеров параметров груза, отбора проб и контроля состава атмосферы танка.

Molar Volume - Молярный объем. Объем, занимаемый единицей молекулярной массы вещества при определенных условиях. При нормальных условиях (давление 1 бар и температура 0° C) молярный объем составляет 0,0224 м³/г моль.

Mole Fraction - Молярный состав. Количество молей любого из компонентов газовой смеси по отношению к общему количеству молей смеси.



14.Словарь терминов и сокращений

NGL – Natural Gas Liquid - Природный газовый конденсат. Получают в виде попутного продукта при добыче природного газа. Представляет смесь этана, пропана, бутана, пентана и пентана плюс.

NLS Certificate- Noxious Liquid Substances Certificate - Сертификат на перевозку вредных жидких веществ. Выдается танкерам, занимающимися только перевозками химических грузов категории D.

OCIMF – Oil Companies International Marine Forum – Международный Морской Форум Нефтяных Компаний.

Odoriser – Пахучий агент. Иначе его называют Stench агентом. Обладает сильным резким запахом. В очень незначительных количествах вводится в состав сжиженных газов для более легкого обнаружения незначительных утечек газа в атмосферу. Обычно в качестве такого агента используется Этил Меркаптан.

Oil Seal – Масляный затвор. Устанавливается в дополнение к механическому сальнику или иному виду уплотнений. Основное его назначение – не допустить проникновения паров груза в газобезопасные зоны. Давление в масляном затворе всегда должно быть выше, чем давление в газосодержащих зонах.

Oxygen Analyser - Кислородомер. Прибор, предназначенный для определения процентного содержания кислорода в атмосфере помещения.

Oxygen Deficient Atmosphere Атмосфера с недостаточным содержанием кислорода. То есть, атмосфера. В которой содержание кислорода ниже 21% по объёму.

P&A – Procedures and Arrangement Manual - Инструкция по организации процедур и использованию устройств танкера. Основной руководящий документ по организации грузовых операций, подготовке и использованию грузовых систем.

P&I – Protection and Indemnity Club - Клуб по защите и возмещению ущерба. Страховой фонд, занимающийся страхованием судов и грузов от рисков, возникающих в процессе перевозки грузов морем, а также оказывающий юридические услуги членам клуба.

Peroxide – Пероксиды. Перекиси. Химические соединения, имеющие химические связи не только между каким-либо элементом и кислородом, но и между 2-мя атомами кислорода, возникающие при взаимодействии различных веществ с кислородом. Перекиси высокоактивные окислители и сами по себе представляют взрывоопасные вещества. Наличие перекисей в грузе может привести к возникновению нежелательных реакций в грузе (самоокисление, полимеризация и пр.) и его порче.

P.I.C. – Person In Charge – Ответственное лицо. Лицо командного состава, вовлеченное в грузовые операции и несущее непосредственную ответственность за проведение грузовых операций и соблюдение мер безопасности при обработке груза.

Polymerisation - Полимеризация. Процесс соединения одинаковых молекул (мономеров) в более крупные молекулярные соединения (макромолекулы) без выделения простых веществ.



14. Словарь терминов и сокращений

Presentation Clause - Условия предъявления. Оговорка в чартере об условиях предъявления судна под погрузку. Оговаривается состояние атмосферы танка, содержание кислорода, точка росы, наличие остатков предыдущего груза, время подачи судна и пр.

Primary Barrier – Первичный барьер. Внутренняя непрерывная оболочка грузосодержащей системы, предназначенная для хранения груза. Термин используется в том случае, если грузосодержащая система имеет также и вторичный барьер.

Purging - Продувка. Замещение существующей атмосферы танка и систем азотом или парами груза, подлежащего погрузке.

Purge Drum – Продувочный сосуд. Сосуд под давлением, предназначенный для отделения из паров груза несжимаемых газов (инертного газа или азота).

Relative Liquid Density – Относительная плотность жидкости. Безразмерная величина, выражающая отношение массы единицы объема данной жидкости при определенной температуре к массе единицы объема пресной воды, взятой также при определенной температуре.

Relative Vapor Density -Относительная плотность паров. Безразмерная величина, выражающая отношение массы единицы объема газа при определенной температуре к массе единицы объема воздуха при той же температуре.

Restricted Gauging - Система, предназначенная для замеров параметров груза, допускающая лишь частичное проникновение паров груза в атмосферу. Устройство такого типа представляет из себя мерительную трубку, закрывающуюся клапаном или пробкой.

Reliquefaction - Повторное сжижение. Процесс сжижения выпара груза для обеспечения сохранной перевозки данного груза.

Responsible Officer – Ответственный офицер. Лицо командного состава, несущее непосредственную ответственность за выполнение какой-либо судовой операции.

Rollover - Переворачивание. Процесс нарушения равновесия двух слоев жидкости, имеющих разные температуры. Для сжиженных газов феномен инверсии плотности (верхний слой груза, как более холодный, будет иметь плотность большую, нежели глубинные слои груза) вызывает резкое перемешивание груза в танке, что может привести к срабатыванию предохранительных клапанов или же к разрушению танка. Опасность переворачивания возникает при разности температур между слоями груза 5-7 ° C.

Sacrificial Anode – Саморазрушающийся анод. Основан на использовании высокоактивно корродирующего металла для защиты менее активного металла от коррозии. Например цинковые аноды, помещенные в электролит (морскую воду) за счет гальванического воздействия, значительно снижают коррозию прилегающих к аноду участков корпуса судна.



14.Словарь терминов и сокращений

Saturated Vapor Pressure – Давление насыщенных паров. Давление, при котором для данной температуры пары и жидкость находятся в динамическом равновесии. Для каждой жидкости давление насыщенных паров будет максимально возможным давлением паров при заданной температуре.

Sampling Point - Точка отбора проб. Устройство, предназначенное для отбора проб груза из танка, а также для контроля атмосферы в танке.

Secondary Barrier – Вторичный барьер. Оболочка непроницаемая для жидкого груза, предназначенная для временного удержания внутри грузосодержащей системы протечек груза через первичный барьер, с тем, чтобы не допустить охлаждения материала корпуса судна ниже безопасной температуры. Безопасная эксплуатация корабельной стали предусмотрена до температуры не ниже -10°C .

SIGTTO – Society of International Gas Tanker and Terminal Operators Limited - Общество Международных Газовозов (перевозчиков газов) и Операторов Терминалов.

Span Gas – Спан-газ. Калибровочный газ. Газ с известным процентным составом каждого компонента, предназначенный для калибровки приборов по контролю атмосферы.

Slip Tube - Один из видов устройств для ограниченных замеров уровня груза на газовозах напорного и полунпорного типа. Представляет из себя откалиброванную по высоте разлива груза в танке мерительную трубку скользящего типа с клапаном на участке, находящимся над танком. При открытом клапане, можно довольно точно определить границу раздела жидкость- газ.

Sloshing – Всплёскивание. Разбрызгивание и всплёскивание груза внутри танка, которое происходит при динамическом движении судна и частичном заполнении танка, а также при свободном падении жидкости в танк. Такое явление приводит к увеличению электростатического заряда внутри танка и к повреждениям внутренних конструкций танка, возникающим из-за гидравлических ударов.

SMC – Safety Management Certificate - Сертификат на соответствие Международному Кодексу Управления Безопасностью. Выдается соответствующим классификационным сообществом после освидетельствования судна на соответствие МКУБ.

Specific Gravity - Удельный Вес. Безразмерная величина, выражающая отношение веса единицы объёма вещества при определенной температуре к весу единицы объёма пресной воды при той же самой или же другой заданной температуре.

Spontaneous Combustion - Самовозгорание. Самопроизвольное возгорание материала, которое происходит вследствие чрезмерного нагрева материала из-за окислительной реакции, возникающей в нем при определенных условиях без воздействия открытого пламени.

Spray Line - Распыл. Верхний или нижний трубопровод в танке, оборудованный специальными соплами и позволяющий производить разбрызгивание груза.

SOPEP – Shipboard Oil Pollution Emergency Plan – Судовой план мероприятий по борьбе с разливами нефти.



14.Словарь терминов и сокращений

Sounding - Взлив. Расстояние от нижней точки танка до поверхности жидкости. Термин используется при определении высоты уровня груза в танке.

Stripping Line - Зачистной трубопровод. Трубопровод малого диаметра, предназначенный для более полной выгрузки груза. Приемное отверстие трубопровода располагается в непосредственной близости от днища танка или же в колодце танка.

Submerged Pump - Полнопогружной насос. Термин применяется к погружным насосам моноблочного типа (привод насоса и сам насос располагаются в одном блоке), установленным на днище грузового танка.

Surge Pressure - Гидравлический удар. Явление скачкообразного повышения давления в трубопроводе при резком изменении скорости потока жидкости. Удар может привести к повреждению трубопроводов и систем. Носит колебательный затухающий характер.

Surge Drum - Расширитель. Сосуд, предназначенный для гашения гидравлических ударов, возникающих в трубопроводах и системах.

Systemic Poison - Системный яд. Токсин, способный, при проникновении в кровеносную систему, поражать весь организм в целом.

TLV – Threshold Limit Value – ПДК. Предельно Допустимая Концентрация. Означает максимальную концентрацию токсина в воздухе, которая, при воздействии на человеческий организм в течение 8 часового рабочего дня при 40 часовой рабочей неделе, не оказывает вредного воздействия. TLV основывается на использовании TWA (Time Weighted Average), так называемой средневзвешенной продолжительности воздействия и может быть дополнена TLV –STEL (Short Time Exposure Limit) – допустимым краткосрочным воздействием (обычно 15 или 30 минут).

Tank Cover - Покрытие танка. Независимая конструкция, предназначенная для предотвращения грузосодержащей системы от механических повреждений в месте выхода купола танка на грузовую палубу и для обеспечения непроницаемости палубы.

Tank Dome -Купол танка. Верхняя часть танка, выходящая на грузовую палубу, в которой расположены все трубопроводы и системы контроля.

Tank Access Hatch - Горловина танка. Горловина танка соответствующего размера, предназначенная для обеспечения доступа персонала внутрь танка, расположенная на куполе танка.

Tank Skirt - Юбка танка. Вертикальная цилиндрическая конструкция, установленная на палубе двойного дна, предназначенная для крепления сферических танков в их экваториальной части.

TSG – Tanker Safety Guide - Кодекс безопасности на танкерах. Существуют отдельные кодексы по безопасности на нефтяных танкерах, химовозах и газовозах.



14.Словарь терминов и сокращений

UFL – Upper Flammable Limit – ВПВ. Верхний Предел Воспламенения. Максимальная концентрация паров углеводородов, при которой ещё возможно воспламенение паровоздушной смеси в присутствии источника открытого пламени.

UEL – Upper Explosive Limit – ВПВ. Верхний Предел Взрываемо сти. Максимальная концентрация паров углеводородов, при которой ещё возможна вспышка паровоздушной смеси в присутствии источника открытого пламени.

USCG – United States Coast Guard - Береговая Охрана США.

UMS – Unmanned Machinery Space – Безвахтенное обслуживание машинного отделения.

Ullage – Пустота. Расстояние между верхней замерной точкой танка и уровнем жидкости. Используется при определении уровня жидкости в танке.

Vapor Lock - Газовый затвор. Система, предназначенная для предотвращения проникновения паров груза в атмосферу. Представляет из себя шаровой клапан с фланцевыми соединениями, включенный в мерительную трубку танка.

Venting - Вентиляция. Процедура замены атмосферы танка дыхательным воздухом.

Void Space - Ограничивающее пространство. Замкнутое помещение вокруг грузосодержащей системы танка дополнительно к трюмному помещению. Под данное определение не попадают балластные и топливные танки, грузовые и насосные помещения или помещения компрессоров, а также любые другие пространства и помещения используемые персоналом в процессе нормальной эксплуатации танкера.

VRS – Vapor Recovery System/**VCS**- Vapor Control System - Система контролируемого газоотвода. Используется для предотвращения выброса паров груза в атмосферу в процессе грузовых операций танкера. Избыточное давление из грузовых танков может отводиться как в береговые емкости, так и в систему утилизации. (факел, инсинератор)

Water Fog – Водяной туман. Мелкодисперсная вода, получаемая в результате подачи воды под большим давлением через специальное сопло с малым сечением.

Water Spray System - Система орошения. Специальная система танкеров, предназначенная для охлаждения конструкций грузовой палубы в начальный момент возникновения пожара, для рассеивания выброса токсичных или взрывоопасных паров, для защиты жилых и служебных помещений от температурного воздействия в случае пожара или разлива груза.

Water Resistant - Устойчивый к воздействию воды.

Water Proof – Защищенный от воздействия воды.

Water White Standard - Стандарт подготовки грузовых танков «Под Питьевую Воду». Обычно это означает очень строгую визуальную инспекцию. Предполагается



14.Словарь терминов и сокращений

отсутствие не только следов предыдущего груза, но и его запаха и изменений цвета покрытия танка или металла танка вследствие воздействия предыдущего груза.

Wall Wash Standard - Отбор смывок с переборок танка для контроля качества его подготовки. Определяется наличие свободных хлоридов, органических хлоридов, углеводов, присутствие следов ингибиторов и различных примесей, которые могут испортить груз, подлежащий к погрузке. Обычно отбор смывок производится с помощью метанола, этанола, ацетона и некоторых кислот.

Washing Gun - Моечная машинка. Стационарное или переносное устройство, предназначенное для мойки грузовых танков.

WHO – World Health Organization - Всемирная Организация Здравоохранения.

15. Приложение

Сжиженные и химические газы, включенные в IGC кодекс.

Перечень минимальных требований по транспортировке:

<i>a</i> Product name	<i>b</i> UN number	<i>c</i> Ship type	<i>d</i> Independent tank type C required	<i>e</i> Control of vapour space within cargo tanks	<i>f</i> Vapour detection	<i>g</i> Gauging type	<i>h</i> MFAG table no.	<i>i</i> Special requirements (See IGC Code)
Acetaldehyde	1089	2G/ 2PG	—	Inert	F + T	C	300	14.4.3, 14.4.4, 17.4.1, 17.6.1
Ammonia, anhydrous	1005	2G/ 2PG	—	—	T	C	725	14.4.2, 14.4.3, 14.4.4, 17.2.1, 17.13
Butadiene	1010	2G/ 2PG	—	—	F	R	310	17.2.2, 17.4.2, 17.4.3, 17.6, 17.8
Butane	1011	2G/ 2PG	—	—	F	R	310	
Butane-propane mixtures	1011/ 1978	2G/ 2PG	—	—	F	R	310	
Butylenes	1012	2G/ 2PG	—	—	F	R	310	
Chlorine	1017	1G	Yes	Dry	T	I	740	14.4, 17.3.2, 17.4.1, 17.5, 17.7, 17.9, 17.14
Diethyl ether*	1155	2G/ 2PG	—	Inert	F + T	C	330	14.4.2, 14.4.3, 17.2.6, 17.3.1, 17.61, 17.10, 17.11, 17.15
Dimethylamine	1032	2G/ 2PG	—	—	F + T	C	320	14.4.2, 14.4.3, 14.4.4, 17.2.1
Ethane	1961	2G	—	—	F	R	310	
Ethyl chloride	1037	2G/ 2PG	—	—	F + T	R	340	
Ethylene	1038	2G	—	—	F	R	310	
Ethylene oxide	1040	1G	Yes	Inert	F + T	C	365	14.4.2, 14.4.3, 14.4.4, 14.4.6, 17.2.2, 17.3.2, 17.4.1, 17.5, 17.6.1, 17.16
Ethylene oxide-propylene oxide mixtures with ethylene oxide content of not more than 30% by weight*	2983	2G/ 2PG	—	Inert	F + T	C	365	14.4.3, 17.3.1, 17.4.1, 17.6.1, 17.10, 17.11, 17.20
Isoprene*	1218	2G/ 2PG	—	—	F	R	310	14.4.3, 17.8, 17.10, 17.12
Isopropylamine*	1221	2G/ 2PG	—	—	F + T	C	320	14.4.2, 14.4.3, 17.2.4, 17.10, 17.11, 17.12, 17.17
Methane (LNG)	1972	2G	—	—	F	C	620	
Methyl acetylene-propadiene mixtures	1060	2G/ 2PG	—	—	F	R	310	17.18
Methyl bromide	1062	1G	Yes	—	F + T	C	345	14.4, 17.2.3, 17.3.2, 17.4.1, 17.5, 17.9
Methyl chloride	1063	2G/ 2PG	—	—	F + T	C	340	17.2.3

15. Приложение

Перечень минимальных требований по транспортировке (продолжение):

<i>a</i> <i>Product name</i>	<i>b</i> <i>UN number</i>	<i>c</i> <i>Ship type</i>	<i>d</i> <i>Independent tank type C required</i>	<i>e</i> <i>Control of vapour space within cargo tanks</i>	<i>f</i> <i>Vapour detection</i>	<i>g</i> <i>Gauging type</i>	<i>h</i> <i>MFAG table no.</i>	<i>i</i> <i>Special requirements (See IGC Code)</i>
Monoethylamine *	1036	2G/2PG	—	—	F + T	C	320	14.4.2, 14.4.3, 14.4.4, 17.2.1, 17.3.1, 17.10, 17.11, 17.12, 17.17
Nitrogen	2040	3G	—	—	O	C	620	17.19
Pentanes (all isomers) *	1265	2G/2PG	—	—	F	R	310	14.4.4, 17.10, 17.12
Pentene (all isomers) *	1265	2G/2PG	—	—	F	R	310	14.4.4, 17.10, 17.12
Propane	1978	2G/2PG	—	—	F	R	310	
Propylene	1077	2G/PG	—	—	F	R	310	
Propylene oxide *	1280	2G/2PG	—	Inert	F + T	C	365	14.4.3, 17.3.1, 17.4.1, 17.6.1, 17.10, 17.11, 17.20
Refrigerant gases (see notes)	—	3G	—	—	—	R	350	
Sulphur dioxide	1079	1G	Yes	Dry	T	C	635	14.4, 17.3.2, 17.4.1, 17.5, 17.7, 17.9
Vinyl chloride	1086	2G/2PG	—	—	F + T	C	340	14.4.2, 14.4.3, 17.2.2, 17.2.3, 17.3.1, 17.6, 17.21
Vinyl ethyl ether *	1302	2G/2PG	—	Inert	F + T	C	330	14.4.2, 14.4.3, 17.2.2, 17.3.1, 17.6.1, 17.8, 17.10, 17.11, 17.15
Vinylidene chloride *	1303	2G/2PG	—	Inert	F + T	R	340	14.4.2, 14.4.3, 17.2.5, 17.6.1, 17.8, 17.10, 17.11

Разъяснения к перечню:

UN number		Номер ООН согласно таблицы в 19 разделе данного кодекса
Vapor detection	F	Контроль атмосферы на наличие взрывоопасных паров
Контроль атмосферы	T	Контроль атмосферы на наличие токсичных паров
	O	Контроль атмосферы на содержание кислорода
	F+T	Контроль на наличие взрывоопасных и токсичных паров
Gauging type	I	Непрямой способ замеров груза (п.13.2.2.1. IGC)
Разрешенный тип замеров	C	Непрямой или закрытый способ замера
	R	Непрямой, закрытый или ограниченный способ замера.

15. Приложение

Определение коэффициента объёмного расширения Таблица 54 в ASTM

Table 54
0,500-0,510 Volume Reduction to 15°C. ASTM-IP
-46 to 0°C.

Observed Temper- ature, °C.	* Density 15°C.			Observed Temper- ature, °C.	* Density 15°C.						
	0,500	0,505	0,510		0,500	0,505	0,510				
	Factor for Reducing Volume to 15°C.				Factor for Reducing Volume to 15°C.						
-50,0	—	—	—	—	1,108	2	1,106	3	1,103		
-49,5	—	—	—	—	1,107	2	1,105	3	1,102		
-49,0	—	—	—	—	1,106	3	1,103	2	1,101		
-48,5	—	—	—	—	1,104	2	1,102	3	1,099		
-48,0	—	—	—	—	1,103	2	1,101	3	1,098		
-47,5	—	—	—	—	1,102	2	1,100	3	1,097		
-47,0	—	—	—	—	1,101	3	1,098	2	1,096		
-46,5	—	—	—	—	1,100	3	1,097	2	1,095		
-46,0	1,160	4	1,156	3	1,153	1,098	2	1,096	2	1,094	
-45,5	1,159	4	1,155	3	1,152	1,097	3	1,094	1	1,093	
-45,0	1,157	3	1,154	4	1,150	1,096	3	1,093	1	1,092	
-44,5	1,156	3	1,153	4	1,149	1,095	3	1,092	2	1,090	
-44,0	1,155	4	1,151	3	1,148	1,093	2	1,091	2	1,089	
-43,5	1,154	4	1,150	3	1,147	1,092	2	1,090	2	1,088	
-43,0	1,153	4	1,149	3	1,146	1,091	3	1,088	1	1,087	
-42,5	1,152	4	1,148	3	1,145	1,090	3	1,087	1	1,086	
-42,0	1,150	3	1,147	4	1,143	1,089	3	1,086	2	1,084	
-41,5	1,149	3	1,146	4	1,142	1,087	2	1,085	2	1,083	
-41,0	1,148	3	1,145	4	1,141	1,086	2	1,084	2	1,082	
-40,5	1,147	3	1,144	4	1,140	1,085	3	1,082	1	1,081	
-40,0	1,146	3	1,143	4	1,139	1,084	3	1,081	1	1,080	
-39,5	1,145	3	1,142	4	1,138	1,082	2	1,080	2	1,078	
-39,0	1,143	3	1,140	3	1,137	1,081	2	1,079	2	1,077	
-38,5	1,142	3	1,139	3	1,136	1,080	2	1,078	2	1,076	
-38,0	1,141	3	1,138	4	1,134	1,079	2	1,077	2	1,075	
-37,5	1,140	3	1,137	4	1,133	1,077	2	1,075	1	1,074	
-37,0	1,139	3	1,136	4	1,132	1,076	2	1,074	2	1,072	
-36,5	1,138	3	1,135	4	1,131	1,075	2	1,073	2	1,071	
-36,0	1,136	3	1,133	3	1,130	1,074	2	1,072	2	1,070	
-35,5	1,135	3	1,132	3	1,129	1,072	1	1,071	2	1,069	
-35,0	1,134	3	1,131	3	1,128	1,071	1	1,070	2	1,068	
-34,5	1,133	3	1,130	3	1,127	1,070	2	1,068	2	1,066	
-34,0	1,131	3	1,128	3	1,125	1,068	1	1,067	2	1,065	
-33,5	1,130	3	1,127	3	1,124	1,067	1	1,066	2	1,064	
-33,0	1,129	3	1,126	3	1,123	1,066	1	1,065	2	1,063	
-32,5	1,128	3	1,125	3	1,122	1,065	2	1,063	2	1,061	
-32,0	1,126	3	1,123	3	1,120	1,063	1	1,062	2	1,060	
-31,5	1,125	3	1,122	3	1,119	1,062	1	1,061	2	1,059	
-31,0	1,124	3	1,121	3	1,118	1,061	1	1,060	2	1,058	
-30,5	1,123	3	1,120	3	1,117	1,059	1	1,058	2	1,056	
-30,0	1,121	3	1,118	3	1,115	1,058	1	1,057	2	1,055	
-29,5	1,120	3	1,117	3	1,114	1,057	1	1,056	2	1,054	
-29,0	1,119	3	1,116	3	1,113	1,055	1	1,054	2	1,052	
-28,5	1,117	2	1,115	3	1,112	1,054	1	1,053	2	1,051	
-28,0	1,116	3	1,113	3	1,110	1,052	1	1,051	1	1,050	
-27,5	1,115	3	1,112	3	1,109	1,051	1	1,050	2	1,048	
-27,0	1,113	2	1,111	3	1,108	1,050	1	1,049	2	1,047	
-26,5	1,112	2	1,110	3	1,107	1,048	1	1,047	1	1,046	
-26,0	1,111	3	1,108	3	1,105	1,047	1	1,046	2	1,044	
-25,5	1,109	2	1,107	3	1,104	1,046	1	1,045	2	1,043	
-25,0	1,108	2	1,106	3	1,103	0	1,044	1	1,043	1	1,042

15. Приложение

Таблицы для перевода удельного веса в стандартную плотность при 15 ° C или API при 60 ° F и наоборот.

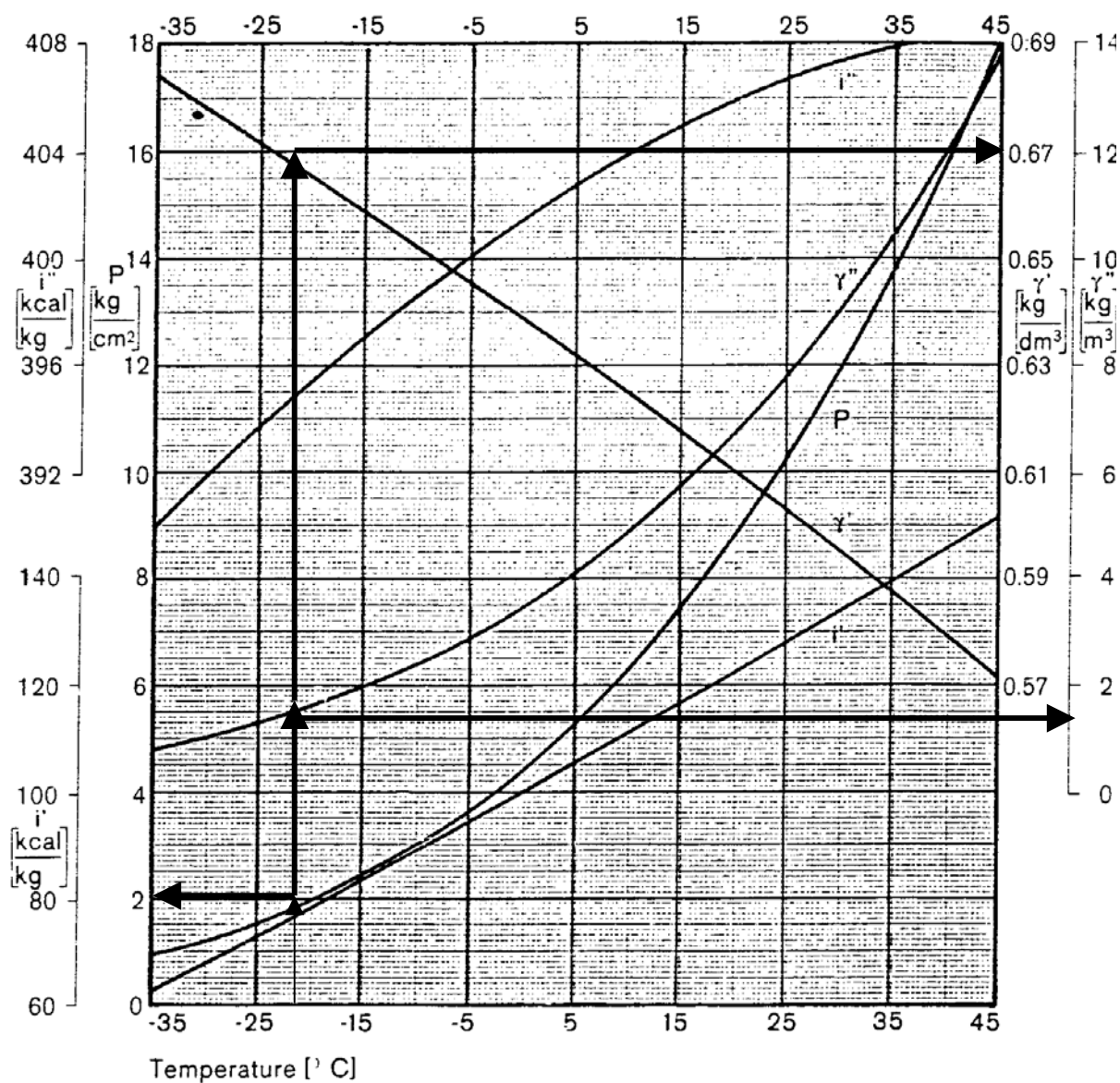
Table 21

0,500-0,650 Specific Gravity to API Gravity and to Density * ASTM—IP

Specific Gravity 60,60°F.	API Gravity 60°F.	Density * 15°C.	Specific Gravity 60,60°F.	API Gravity 60°F.	Density * 15°C.	Specific Gravity 60,60°F.	API Gravity 60°F.	Density * 15°C.
0,500	—	0,5004	0,550	—	0,5502	0,600	—	0,6000
0,501	—	0,5014	0,551	—	0,5512	0,601	—	0,6010
0,502	—	0,5023	0,552	—	0,5522	0,602	—	0,6020
0,503	—	0,5033	0,553	—	0,5532	0,603	—	0,6030
0,504	—	0,5043	0,554	—	0,5541	0,604	—	0,6040
0,505	—	0,5053	0,555	—	0,5551	0,605	—	0,6050
0,506	—	0,5063	0,556	—	0,5561	0,606	—	0,6060
0,507	—	0,5073	0,557	—	0,5571	0,607	—	0,6070
0,508	—	0,5083	0,558	—	0,5581	0,608	—	0,6080
0,509	—	0,5093	0,559	—	0,5591	0,609	—	0,6090
0,510	—	0,5103	0,560	—	0,5601	0,610	—	0,6100
0,511	—	0,5113	0,561	—	0,5611	0,611	—	0,6110
0,512	—	0,5123	0,562	—	0,5621	0,612	99,71	0,6120
0,513	—	0,5133	0,563	—	0,5631	0,613	99,33	0,6130
0,514	—	0,5143	0,564	—	0,5641	0,614	98,96	0,6140
0,515	—	0,5153	0,565	—	0,5651	0,615	98,58	0,6150
0,516	—	0,5163	0,566	—	0,5661	0,616	98,21	0,6160
0,517	—	0,5173	0,567	—	0,5671	0,617	97,84	0,6170
0,518	—	0,5183	0,568	—	0,5681	0,618	97,46	0,6180
0,519	—	0,5193	0,569	—	0,5691	0,619	97,09	0,6190
0,520	—	0,5203	0,570	—	0,5701	0,620	96,73	0,6200
0,521	—	0,5213	0,571	—	0,5711	0,621	96,36	0,6210
0,522	—	0,5223	0,572	—	0,5721	0,622	95,99	0,6220
0,523	—	0,5233	0,573	—	0,5731	0,623	95,63	0,6230
0,524	—	0,5243	0,574	—	0,5741	0,624	95,26	0,6240
0,525	—	0,5253	0,575	—	0,5751	0,625	94,90	0,6249
0,526	—	0,5262	0,576	—	0,5761	0,626	94,54	0,6259
0,527	—	0,5272	0,577	—	0,5771	0,627	94,18	0,6269
0,528	—	0,5282	0,578	—	0,5781	0,628	93,82	0,6279
0,529	—	0,5292	0,579	—	0,5791	0,629	93,46	0,6289
0,530	—	0,5302	0,580	—	0,5801	0,630	93,10	0,6299
0,531	—	0,5312	0,581	—	0,5811	0,631	92,75	0,6309
0,532	—	0,5322	0,582	—	0,5821	0,632	92,39	0,6319
0,533	—	0,5332	0,583	—	0,5831	0,633	92,04	0,6329
0,534	—	0,5342	0,584	—	0,5841	0,634	91,69	0,6339
0,535	—	0,5352	0,585	—	0,5850	0,635	91,33	0,6349
0,536	—	0,5362	0,586	—	0,5860	0,636	90,98	0,6359
0,537	—	0,5372	0,587	—	0,5870	0,637	90,64	0,6369
0,538	—	0,5382	0,588	—	0,5880	0,638	90,29	0,6379
0,539	—	0,5392	0,589	—	0,5890	0,639	89,94	0,6389
0,540	—	0,5402	0,590	—	0,5900	0,640	89,59	0,6399
0,541	—	0,5412	0,591	—	0,5910	0,641	89,25	0,6409
0,542	—	0,5422	0,592	—	0,5920	0,642	88,90	0,6419
0,543	—	0,5432	0,593	—	0,5930	0,643	88,56	0,6429
0,544	—	0,5442	0,594	—	0,5940	0,644	88,22	0,6439
0,545	—	0,5452	0,595	—	0,5950	0,645	87,88	0,6449
0,546	—	0,5462	0,596	—	0,5960	0,646	87,54	0,6459
0,547	—	0,5472	0,597	—	0,5970	0,647	87,20	0,6469
0,548	—	0,5482	0,598	—	0,5980	0,648	86,86	0,6479
0,549	—	0,5492	0,599	—	0,5990	0,649	86,53	0,6489
0,550	—	0,5502	0,600	—	0,6000	0,650	86,19	0,6499

15. Приложение

Термодинамические параметры аммиака (жидкая фаза и насыщенный пар)



γ' - плотность жидкости

γ'' - плотность насыщенных паров

P - давление насыщенных паров (абсолютное)

15. Приложение

Термодинамические характеристики аммиака (жидкая фаза и насыщенные пары)

Температура.	Давление паров	Плотность kg/m3		Энтальпия kcal/kg			Скрытая теплота парообразования	Температура.	Давление паров	Плотность kg/m3		Энтальпия kcal/kg		Скрытая теплота парообразования
		Пары	Жидкость	Пары	Жидкость	kcal/kg				Пары	Жидкость	Пары	Жидкость	
-39	0,747	0,678	688,8	388,49	57,82	330,67		3	4,798	3,834	634,5	402,30	103,32	298,98
-38	0,793	0,712	687,5	388,88	58,88	330,00		4	4,975	3,969	633,1	402,55	104,43	298,13
-37	0,841	0,748	686,3	389,27	59,94	329,34		5	5,157	4,108	631,7	402,80	105,54	297,26
-36	0,885	0,785	685,1	389,65	61,01	328,64		6	5,345	4,250	630,3	403,04	106,65	296,39
-35	0,932	0,823	683,9	390,03	62,08	327,95		7	5,538	4,396	628,9	403,27	107,76	295,51
-34	0,981	0,863	682,6	390,41	63,15	327,26		8	5,736	4,546	627,5	403,50	108,87	294,63
-33	1,031	0,905	681,4	390,79	64,21	326,58		9	5,940	4,700	626,1	403,73	109,99	293,74
-32	1,084	0,948	680,1	391,17	65,28	325,89		10	6,150	4,859	624,7	403,95	111,11	292,84
-31	1,139	0,992	678,9	391,54	66,35	325,19		11	6,365	5,022	623,3	404,17	112,23	291,94
-30	1,195	1,038	677,7	391,91	67,42	324,49		12	6,585	5,189	621,8	404,38	113,35	291,03
-29	1,254	1,086	676,4	392,28	68,49	323,79		13	6,812	5,361	620,4	404,59	114,47	290,12
-28	1,316	1,126	675,2	392,64	69,56	323,08		14	7,044	5,537	619,0	404,79	115,59	289,20
-27	1,380	1,188	673,9	393,00	70,63	322,37		15	7,284	5,718	617,5	404,99	116,72	288,27
-26	1,447	1,242	672,6	393,36	71,71	321,65		16	7,529	5,904	616,1	405,19	117,85	287,34
-25	1,516	1,297	671,4	393,72	72,78	320,94		17	7,780	5,094	614,6	405,38	118,98	286,40
-24	1,588	1,354	670,1	394,07	73,86	320,21		18	8,038	6,289	613,3	405,57	120,11	285,46
-23	1,662	1,413	668,8	394,42	74,93	319,49		19	8,301	6,489	611,7	405,75	121,24	284,51
-22	1,740	1,474	667,6	394,77	76,01	318,76		20	8,572	6,694	610,3	405,93	122,38	283,55
-21	1,820	1,538	666,3	395,12	77,09	318,03		21	8,850	6,904	608,8	406,10	123,52	282,58
-20	1,903	1,604	665,0	395,46	78,17	317,29		22	9,143	7,119	607,3	406,27	124,66	281,61
-19	1,988	1,672	663,7	395,80	79,25	316,55		23	9,426	7,339	605,8	406,43	125,80	280,63
-18	2,076	1,742	662,4	396,13	80,33	315,80		24	9,723	7,564	604,3	406,59	126,94	279,65
-17	2,166	1,814	661,1	396,46	81,41	315,05		25	10,027	7,795	602,8	406,75	128,09	278,66
-16	2,264	1,889	659,8	396,79	82,50	314,29		26	10,340	8,031	601,3	406,89	129,24	277,65
-15	2,364	1,966	658,5	397,12	83,59	313,53		27	10,660	8,273	599,8	407,03	130,39	276,64
-14	2,465	2,046	657,2	397,44	84,68	312,76		28	10,988	8,521	598,3	407,17	131,54	275,63
-13	2,570	2,128	655,9	397,75	85,76	311,99		29	11,323	8,775	596,8	407,30	132,69	274,61
-12	2,679	2,213	654,6	398,06	86,85	311,21		30	11,665	9,034	595,2	407,43	133,84	273,59
-11	2,792	2,300	653,3	398,37	87,94	310,43		31	12,015	9,300	593,7	407,55	135,00	272,55
-10	2,909	2,390	652,0	398,67	89,09	309,64		32	12,373	9,573	592,1	407,67	136,16	271,51
-9	3,029	2,483	650,7	398,97	90,12	308,85		33	12,740	9,852	590,6	407,78	137,32	270,46
-8	3,154	2,570	649,3	399,27	91,21	308,06		34	13,116	10,138	589,0	407,88	138,48	269,40
-7	3,282	2,678	648,0	399,56	92,30	307,25		35	13,499	10,431	587,5	407,97	139,65	268,32
-6	3,414	2,779	646,7	399,85	93,40	306,45		36	13,891	10,731	585,9	408,06	140,82	267,24
-5	3,549	2,883	645,3	400,14	94,50	305,64		37	14,291	11,038	584,3	408,15	141,99	266,16
-4	3,688	2,991	644,0	400,42	95,59	304,83		38	14,700	11,353	582,7	408,23	143,16	265,07
-3	3,833	3,102	642,6	400,70	96,69	304,01		39	15,117	11,675	581,1	408,30	144,34	263,96
-2	3,982	3,216	641,3	400,98	97,79	303,19		40	15,544	12,005	579,5	408,37	145,52	262,85
-1	4,136	3,332	639,9	401,25	98,89	302,36		41	15,980	12,340	577,9	408,43	146,70	261,73
0	4,294	3,452	638,6	401,52	100,00	301,52		42	16,423	12,690	576,2	408,49	147,88	260,61
1	4,457	3,576	637,2	401,78	101,10	300,68		43	16,878	13,040	574,6	408,54	149,06	259,48
2	4,625	3,703	635,8	402,04	102,21	299,83		44	17,340	13,400	572,9	408,58	150,24	258,34

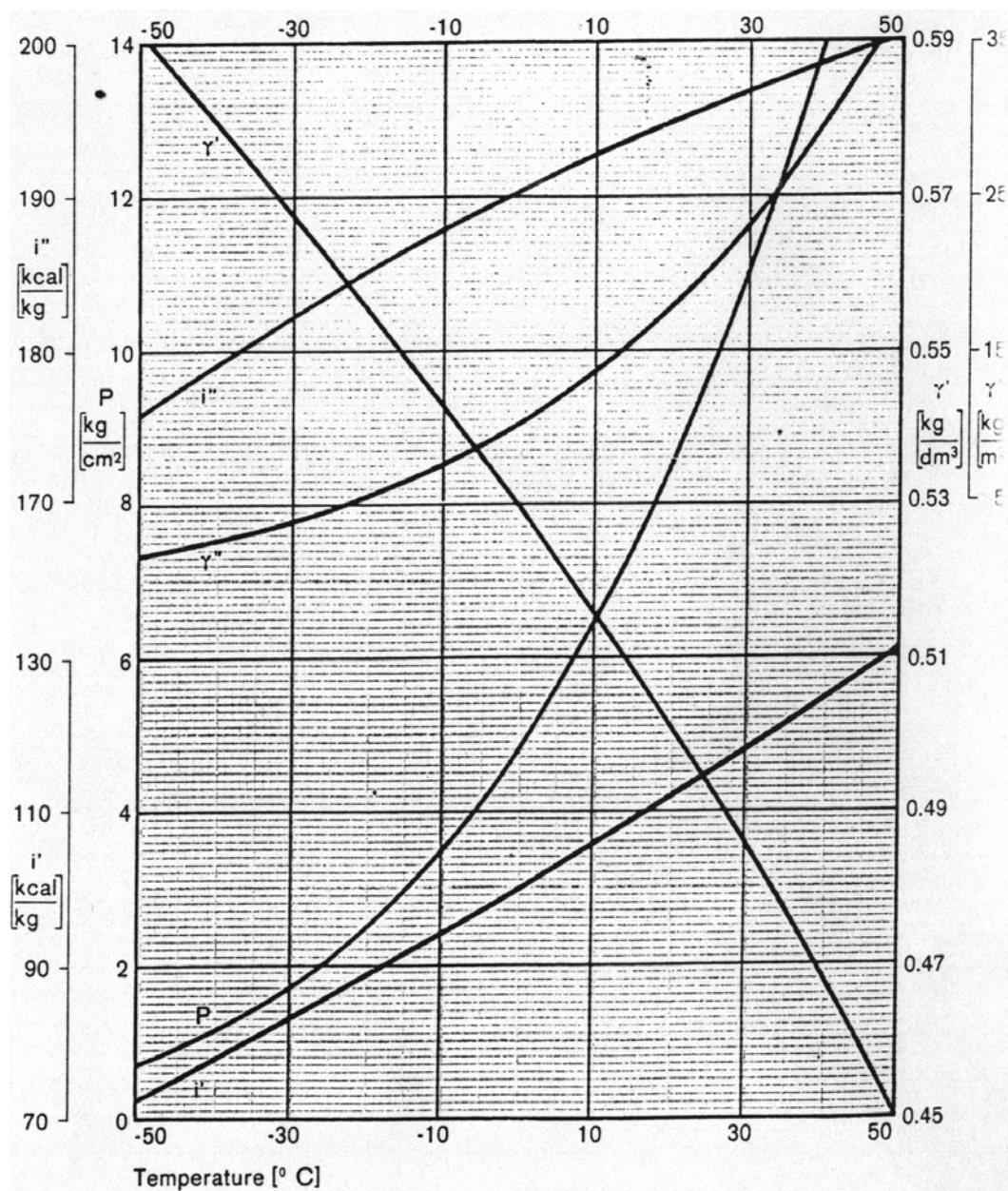
15. Приложение

Термодинамические характеристики аммиака (перегретый пар)

Температура	Давление											
	P = 1.0 bar		P = 1.1 bar		P = 1.5 bar		P = 2.0 bar		P = 5.0 bar		P = 15.0 bar	
	Удельный объём	Энтальпия	Удельный объём	Энтальпия	Удельный объём	Энтальпия	Удельный объём	Энтальпия	Удельный объём	Энтальпия	Удельный объём	Энтальпия
С°	1/м ³	ккал/кг	1/м ³	ккал/кг	1/м ³	ккал/кг	1/м ³	ккал/кг	1/м ³	ккал/кг	1/м ³	ккал/кг
-30	1,159	393,6	1,065	393,2	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0
-20	1,212	398,8	1,109	398,5	0,799	397,7	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0
-10	1,265	404,0	1,155	403,8	0,833	403,0	0,621	401,8	0,000	0,0	0,000	0,0
0	1,317	409,2	1,200	409,1	0,867	408,3	0,647	407,2	0,000	0,0	0,000	0,0
10	1,368	414,5	1,245	414,3	0,901	413,6	0,673	412,6	0,258	406,8	0,000	0,0
20	1,418	419,8	1,290	419,5	0,935	418,9	0,699	418,0	0,270	412,9	0,000	0,0
30	1,468	425,0	1,335	424,7	0,969	424,2	0,725	423,4	0,282	418,9	0,000	0,0
40	1,519	430,2	1,380	429,9	1,003	429,5	0,751	428,8	0,293	424,8	0,087	409,7
50	1,569	435,4	1,425	435,1	1,037	434,8	0,777	434,1	0,304	430,6	0,092	417,7
60	1,619	440,6	1,470	440,3	1,071	440,1	0,803	439,4	0,315	436,3	0,097	425,1
70	1,669	445,8	1,515	445,6	1,105	445,4	0,829	444,7	0,326	441,9	0,101	432,0
80	1,718	451,0	1,560	450,9	1,139	450,7	0,854	450,1	0,337	447,5	0,105	438,6
90	1,767	456,2	1,605	456,1	1,173	456,0	0,879	455,5	0,348	453,1	0,109	451,3
100	1,817	461,5	1,650	461,4	1,207	461,6	0,904	460,9	0,358	458,7	0,113	437,0
110	1,867	466,8	1,965	466,7	1,241	466,6	0,929	466,3	0,368	464,3	0,117	457,5
120	1,918	472,1	1,740	472,0	1,275	471,9	0,954	471,7	0,378	469,9	0,121	463,6
130	1,968	477,4	1,785	477,3	1,309	477,2	0,979	477,0	0,388	475,5	0,124	469,7
140	2,018	482,7	1,880	482,6	1,348	482,5	1,004	482,3	0,398	481,1	0,128	475,8
150	2,068	488,0	1,875	487,9	1,377	487,8	1,030	487,6	0,408	486,7	0,132	481,9
160	2,119	493,3	1,920	493,2	1,411	493,1	1,055	492,9	0,418	492,3	0,135	487,9
170	2,169	498,6	1,965	498,5	1,445	498,3	1,080	498,2	0,428	497,9	0,139	493,9

15. Приложение

Термодинамические параметры пропана (жидкая фаза и насыщенный пар)



15. Приложение

Термодинамические параметры пропана (Жидкая фаза и насыщенный пар)

Температура.	Давление паров	Плотность kg/m3		Энтальпия kcal/kg		Скрытая теплота парообразования kcal/kg	Температура.	Давление паров	Плотность kg/m3		Энтальпия kcal/kg		Скрытая теплота парообразования kcal/kg
		Пары	Жидкость	Пары	Жидкость				Пары	Жидкость	Пары	Жидкость	
'C.	bars						'C.	bars					
-50	0,70	1,72	591,7	175,9	72,7	103,2	0	4,67	10,27	529,9	190,4	100,0	90,4
-49	0,74	1,80	590,5	176,1	73,2	102,9	1	4,82	10,60	528,6	190,7	100,6	90,1
-48	0,78	1,88	589,3	176,4	73,7	102,7	2	4,97	10,90	528,7	190,9	101,1	89,8
-47	0,82	1,96	588,2	176,7	74,2	102,5	3	5,13	11,20	527,3	191,1	101,7	89,4
-46	0,86	2,05	587,0	177,0	74,7	102,3	4	5,29	11,50	526,0	191,4	102,3	89,1
-45	0,90	2,14	585,8	177,3	75,3	102,0	5	5,45	11,80	524,6	191,6	102,9	88,7
-44	0,95	2,24	584,6	177,6	75,8	101,8	6	5,61	12,20	523,3	191,8	103,4	88,4
-43	0,99	2,34	583,4	178,0	76,4	101,6	7	5,78	12,50	522,0	192,0	104,0	88,0
-42	1,04	2,43	582,2	178,3	76,9	101,4	8	5,96	12,90	520,7	192,3	104,6	87,7
-41	1,09	2,53	581,0	178,6	77,4	101,2	9	6,14	13,30	519,4	192,5	105,2	87,3
-40	1,13	2,63	579,7	178,9	78,0	100,9	10	6,32	13,70	518,1	192,7	105,8	86,9
-39	1,18	2,73	578,5	179,2	78,5	100,7	11	6,51	14,10	516,8	193,0	106,4	86,6
-38	1,22	2,83	577,3	179,6	79,1	100,5	12	6,70	14,40	515,4	193,2	107,0	86,2
-37	1,27	2,93	576,1	179,9	79,6	100,3	13	6,90	14,80	513,9	193,4	107,6	85,9
-36	1,32	3,04	574,9	180,3	80,2	100,1	14	7,10	15,20	512,5	193,7	108,2	85,5
-35	1,37	3,15	573,7	180,6	80,7	99,9	15	7,31	15,60	511,0	193,9	108,8	85,1
-34	1,43	3,28	572,5	180,9	81,2	99,7	16	7,52	16,10	509,5	194,1	109,3	84,8
-33	1,49	3,41	571,4	181,3	81,8	99,5	17	7,73	16,50	508,0	194,3	109,9	84,4
-32	1,55	3,54	570,2	181,6	82,3	99,3	18	7,94	16,90	506,5	194,5	110,5	84,0
-31	1,61	3,68	569,1	181,9	82,8	99,1	19	8,16	17,40	505,0	194,7	111,1	83,6
-30	1,67	3,82	567,9	182,3	83,4	98,9	20	8,38	17,80	503,5	194,9	111,7	83,2
-29	1,74	3,97	566,7	182,6	84,0	98,6	21	8,61	18,30	502,0	195,1	112,3	82,8
-28	1,81	4,12	565,5	182,9	84,5	98,4	22	8,84	18,80	500,5	195,3	112,9	82,4
-27	1,88	4,27	564,2	183,3	85,1	98,2	23	9,08	19,20	499,0	195,5	113,5	82,0
-26	1,95	4,42	563,0	183,6	85,6	98,0	24	9,32	19,70	497,5	195,7	114,1	81,6
-25	2,02	4,59	561,8	183,9	86,1	97,7	25	9,56	20,20	496,0	195,9	114,7	81,2
-24	2,10	4,77	560,6	184,2	86,7	97,5	26	9,80	20,70	494,4	196,1	115,3	80,8
-23	2,18	4,95	559,5	184,4	87,2	97,2	27	10,05	21,30	492,9	196,3	115,9	80,4
-22	2,26	5,13	558,3	184,7	87,8	96,9	28	10,30	21,80	491,4	196,5	116,5	80,0
-21	2,34	5,31	557,1	185,0	88,3	96,7	29	10,55	22,40	489,9	196,7	117,1	79,6
-20	2,42	5,49	555,9	185,2	88,8	96,4	30	10,80	23,00	488,3	196,9	117,8	79,1
-19	2,51	5,67	554,6	185,5	89,4	96,1	31	11,10	23,60	486,6	197,1	118,4	78,7
-18	2,60	5,84	553,4	185,8	89,9	95,9	32	11,40	24,20	484,8	197,3	119,1	78,2
-17	2,70	6,02	552,1	186,0	90,4	95,6	33	11,65	24,80	482,9	197,4	119,7	77,7
-16	2,80	6,21	550,8	186,3	91,0	95,3	34	11,95	25,40	481,1	197,6	120,4	77,2
-15	2,90	6,41	549,5	186,6	91,5	95,1	35	12,25	26,00	479,2	197,8	121,1	76,7
-14	3,00	6,62	548,2	186,9	92,1	94,8	36	12,55	26,70	477,4	198,0	121,7	76,3
-13	3,10	6,85	546,9	187,2	92,6	94,5	37	12,85	27,30	475,6	198,2	122,4	75,8
-12	3,20	7,09	545,6	187,4	93,2	94,2	38	13,20	28,00	473,8	198,3	123,0	75,3
-11	3,31	7,33	544,3	187,7	93,7	94,0	39	13,50	28,70	472,0	198,5	123,7	74,8
-10	3,42	7,58	542,9	188,0	94,3	93,7	40	13,85	29,50	470,0	198,7	124,4	74,3
-9	3,53	7,82	541,6	188,2	94,8	93,4	41	14,15	30,20	468,4	198,9	125,1	73,8
-8	3,65	8,06	540,3	188,5	95,4	93,1	42	14,50	30,90	466,5	199,0	125,8	73,2
-7	3,76	8,30	539,0	188,7	95,9	92,8	43	14,80	31,60	464,7	199,2	126,5	72,7
-6	3,88	8,55	537,7	188,9	96,5	92,4	44	15,15	32,40	462,8	199,4	127,2	72,2
-5	4,00	8,81	536,4	189,2	97,1	92,1	45	15,50	33,10	460,9	199,6	127,9	71,7
-4	4,13	9,09	535,1	189,4	97,6	91,8	46	15,85	33,90	459,1	199,7	128,5	71,2
-3	4,26	9,38	533,8	189,7	98,2	91,5	47	16,20	34,70	457,2	199,9	129,2	70,7
-2	4,39	9,67	532,5	189,9	98,8	91,2	48	16,55	35,60	455,4	200,0	129,8	70,2
-1	4,53	9,97	531,2	190,2	99,4	90,8	49	16,95	36,50	453,7	200,2	130,5	69,7

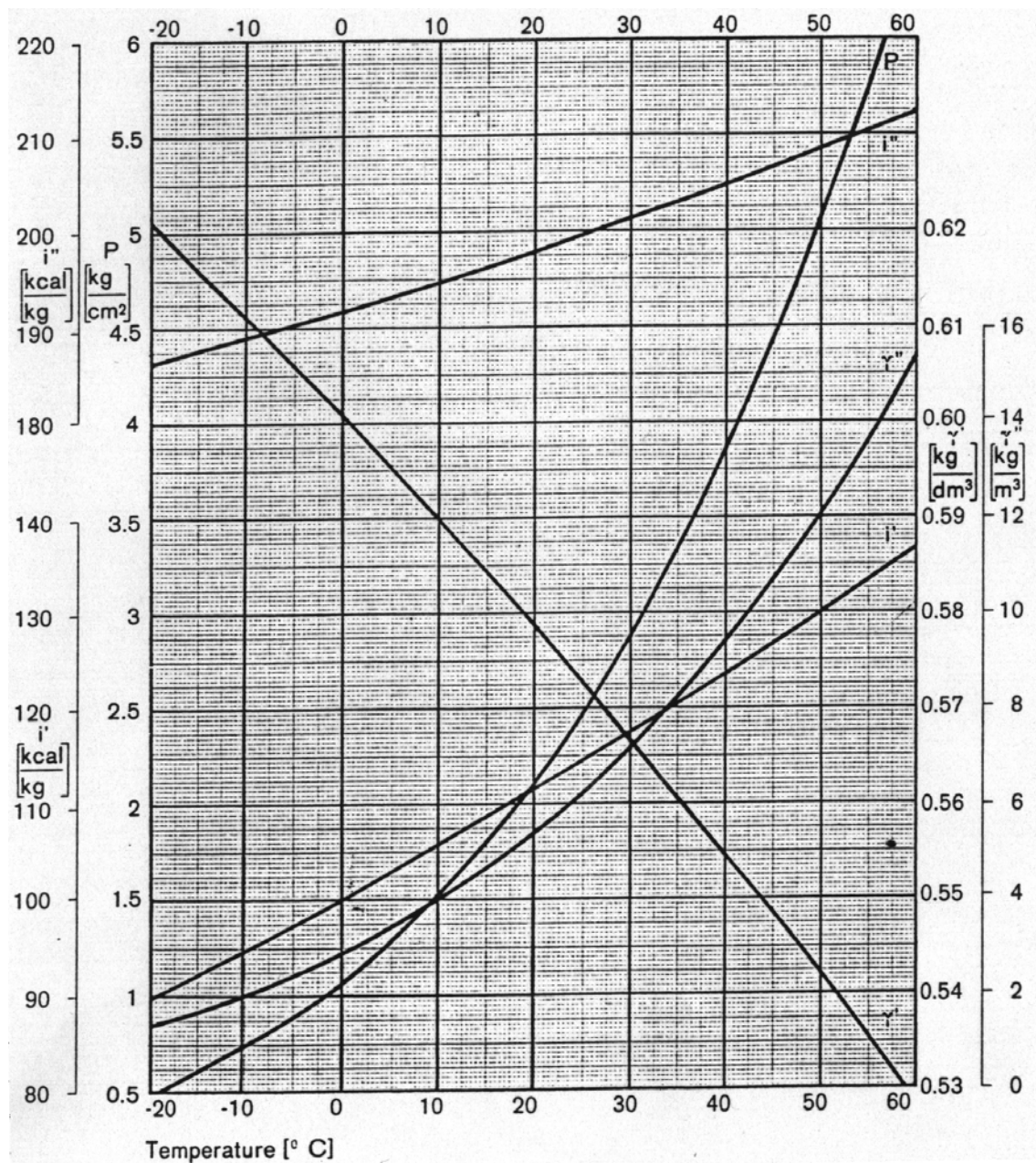
15. Приложение

Термодинамические параметры пропана (перегретый пар)

Температура	Давление											
	P = 1.0 bar		P = 1.1 bar		P = 1.5 bar		P = 2.0 bar		P = 5.0 bar		P = 15.0 bar	
	Удельный объём	Энтальпия	Удельный объём	Энтальпия	Удельный объём	Энтальпия	Удельный объём	Энтальпия	Удельный объём	Энтальпия	Удельный объём	Энтальпия
С°	1/м ³	ккал/кг	1/м ³	ккал/кг	1/м ³	ккал/кг	1/м ³	ккал/кг	1/м ³	ккал/кг	1/м ³	ккал/кг
-40	0,430	179,1	0,391	179,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0
-30	0,447	182,7	0,410	182,6	0,293	182,5	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0
-20	0,461	186,3	0,429	185,2	0,305	186,1	0,222	186,0	0,000	0,0	0,000	0,0
-10	0,482	190,1	0,448	190,0	0,317	189,8	0,232	189,8	0,000	0,0	0,000	0,0
0	0,500	193,9	0,467	193,8	0,329	193,6	0,242	193,6	0,000	0,0	0,000	0,0
10	0,520	197,9	0,486	197,8	0,341	197,6	0,252	197,5	0,094	194,1	0,000	0,0
20	0,540	201,9	0,505	201,8	0,351	201,6	0,262	201,5	0,098	198,6	0,000	0,0
30	0,561	206,1	0,524	206,0	0,366	205,8	0,272	205,7	0,102	203,1	0,000	0,0
40	0,582	210,3	0,543	210,2	0,379	210,1	0,282	210,0	0,106	207,6	0,000	0,0
50	0,604	214,7	0,562	214,6	0,392	214,3	0,292	214,2	0,110	212,1	0,032	202,7
60	0,626	219,1	0,581	213,9	0,405	218,6	0,302	218,5	0,114	216,6	0,033	208,0
70	0,649	223,5	0,600	223,3	0,418	223,0	0,312	222,9	0,118	221,1	0,034	213,3
80	0,672	227,9	0,619	227,7	0,431	227,4	0,323	227,3	0,123	225,6	0,036	218,7
90	0,695	232,4	0,638	232,1	0,444	231,9	0,334	231,7	0,128	230,3	0,038	224,1
100	0,719	236,9	0,658	236,5	0,457	236,4	0,345	235,2	0,133	234,9	0,040	229,5
110	0,743	241,4	0,678	241,0	0,470	240,9	0,356	240,7	0,138	239,5	0,042	234,9
120	0,767	245,9	0,698	245,5	0,483	245,5	0,367	245,5	0,143	244,1	0,044	240,3
130	0,791	250,4	0,718	249,9	0,496	249,8	0,378	249,6	0,148	248,7	0,046	245,7
140	0,815	254,9	0,738	254,3	0,509	254,3	0,389	254,1	0,153	253,3	0,048	251,1
150	0,839	259,4	0,758	258,8	0,522	258,8	0,400	258,6	0,158	258,0	0,050	256,5
160	0,863	263,9	0,778	263,3	0,535	263,3	0,411	263,1	0,163	262,7	0,052	261,9
170	0,887	268,4	0,798	267,8	0,548	267,8	0,422	267,5	0,168	267,4	0,054	267,3

15. Приложение

Термодинамические параметры н-бутана (жидкая фаза и насыщенный пар)



15. Приложение

Термодинамические параметры н-бутана (жидкая фаза и насыщенный пар)

Температура.	Давление паров	Плотность kg/m ³		Энтальпия kcal/kg		Средняя теплота парообразования	Температура.	Давление паров	Плотность kg/m ³		Энтальпия kcal/kg		Средняя теплота парообразования
		Пары	Жидкость	Пары	Жидкость				Пары	Жидкость	Пары	Жидкость	
°C.	bars					kcal/kg	°C.	bars					kcal/kg
-49	0,10	0,53	651,0	142,4	39,4	103,0	1	1,06	2,92	599,0	158,4	66,9	91,5
-48	0,11	0,54	650,0	142,7	40,0	102,7	2	1,10	3,01	598,0	158,7	67,5	91,2
-47	0,11	0,54	649,0	143,0	40,5	102,5	3	1,14	3,11	597,0	159,1	68,1	91,0
-46	0,12	0,57	648,0	143,4	41,1	102,3	4	1,19	3,22	596,0	159,4	68,6	90,8
-45	0,12	0,58	647,0	143,7	41,6	102,1	5	1,24	3,33	595,0	159,8	69,2	90,6
-44	0,13	0,59	646,0	144,0	42,2	101,8	6	1,29	3,44	594,0	160,1	69,7	90,4
-43	0,14	0,61	645,0	144,3	42,7	101,6	7	1,34	3,54	593,0	160,4	70,2	90,2
-42	0,15	0,63	644,0	144,7	43,3	101,4	8	1,39	3,65	592,0	160,8	70,8	90,0
-41	0,16	0,65	643,0	145,0	43,8	101,2	9	1,44	3,76	591,0	161,1	71,3	89,8
-40	0,17	0,67	642,0	145,3	44,4	100,9	10	1,49	3,88	590,0	161,4	71,8	89,6
-39	0,18	0,69	641,0	145,6	44,9	100,7	11	1,54	4,00	589,0	161,7	72,4	89,3
-38	0,19	0,72	640,0	145,9	45,5	100,4	12	1,60	4,13	588,0	162,0	72,9	89,1
-37	0,20	0,74	639,0	146,3	46,1	100,2	13	1,66	4,27	587,0	162,4	73,5	88,9
-36	0,21	0,77	638,0	146,6	46,6	100,0	14	1,72	4,41	586,0	162,7	74,1	88,6
-35	0,22	0,80	637,0	146,9	47,1	99,8	15	1,78	4,55	584,5	163,0	74,6	88,4
-34	0,23	0,83	635,0	147,2	47,7	99,5	16	1,84	4,70	583,5	163,3	75,1	88,2
-33	0,24	0,86	634,0	147,5	48,2	99,3	17	1,90	4,85	582,5	163,6	75,6	88,0
-32	0,25	0,89	633,0	147,9	48,8	99,1	18	1,97	5,00	581,5	164,0	76,2	87,8
-31	0,26	0,91	632,0	148,2	49,3	98,9	19	2,03	5,15	580,5	164,3	76,7	87,6
-30	0,28	0,95	631,0	148,5	49,9	98,6	20	2,10	5,31	579,0	164,6	77,3	87,3
-29	0,30	0,99	630,0	148,8	50,4	98,4	21	2,16	5,47	578,0	164,9	77,8	87,1
-28	0,31	1,02	629,0	149,1	50,9	98,2	22	2,24	5,65	577,0	165,2	78,4	86,8
-27	0,32	1,06	628,0	149,5	51,5	98,0	23	2,31	5,82	576,0	165,5	78,9	86,6
-26	0,34	1,09	627,0	149,8	52,1	97,7	24	2,38	5,99	575,0	165,9	79,5	86,4
-25	0,36	1,13	626,0	150,1	52,6	97,5	25	2,46	6,17	573,5	166,2	80,0	86,2
-24	0,38	1,17	625,0	150,4	53,2	97,2	26	2,53	6,36	572,5	166,5	80,6	85,9
-23	0,39	1,21	624,0	150,7	53,7	97,0	27	2,61	6,55	571,5	166,8	81,1	85,7
-22	0,41	1,25	623,0	151,1	54,3	96,8	28	2,69	6,74	570,0	167,2	81,7	85,5
-21	0,43	1,29	622,0	151,4	54,8	96,6	29	2,77	6,94	569,0	167,5	82,2	85,3
-20	0,45	1,34	620,0	151,7	55,4	96,3	30	2,86	7,15	567,5	167,8	82,8	85,0
-19	0,47	1,38	619,0	152,0	55,9	96,1	31	2,95	7,35	566,5	168,1	83,3	84,8
-18	0,49	1,43	618,0	152,3	56,5	95,8	32	3,04	7,55	565,0	168,4	83,9	84,5
-17	0,51	1,47	617,0	152,7	57,0	95,7	33	3,13	7,76	564,0	168,8	84,5	84,3
-16	0,53	1,52	616,0	153,0	57,5	95,5	34	3,22	7,98	562,5	169,1	85,0	84,1
-15	0,56	1,59	615,0	153,3	58,0	95,3	35	3,32	8,20	561,5	169,4	85,5	83,9
-14	0,58	1,65	614,0	153,6	58,6	95,0	36	3,42	8,43	560,0	169,7	86,1	83,6
-13	0,61	1,72	613,0	153,9	59,1	94,8	37	3,52	8,66	558,5	170,0	86,6	83,4
-12	0,63	1,80	612,0	154,3	59,7	94,6	38	3,62	8,90	557,0	170,4	87,2	83,2
-11	0,66	1,88	611,0	154,6	60,3	94,3	39	3,72	9,15	556,0	170,7	87,7	83,0
-10	0,69	1,96	610,0	154,9	60,9	94,0	40	3,82	9,39	555,0	171,0	88,3	82,7
-9	0,72	2,04	609,0	155,2	61,4	93,8	41	3,92	9,63	554,0	171,3	88,8	82,5
-8	0,75	2,12	608,0	155,5	62,0	93,5	42	4,03	9,88	552,5	171,7	89,4	82,3
-7	0,78	2,21	607,0	155,9	62,6	93,3	43	4,14	10,15	551,5	172,0	89,9	82,1
-6	0,81	2,29	606,0	156,2	63,1	93,1	44	4,26	10,41	550,0	172,3	90,4	81,9
-5	0,84	2,37	605,0	156,5	63,6	92,9	45	4,38	10,67	549,0	172,6	91,0	81,6
-4	0,87	2,46	604,0	156,8	64,2	92,6	46	4,51	10,95	547,5	172,9	91,6	81,3
-3	0,91	2,55	603,0	157,1	64,7	92,4	47	4,64	11,21	546,5	173,2	92,1	81,1
-2	0,94	2,64	602,0	157,5	65,3	92,2	48	4,78	11,49	545,0	173,6	92,7	80,9
-1	0,98	2,73	601,0	157,8	65,8	92,0	49	4,92	11,77	543,5	173,9	93,3	80,6
0	1,02	2,83	600,0	158,1	66,4	91,7	50	5,06	12,07	542,0	174,2	93,8	80,4

15. Приложение

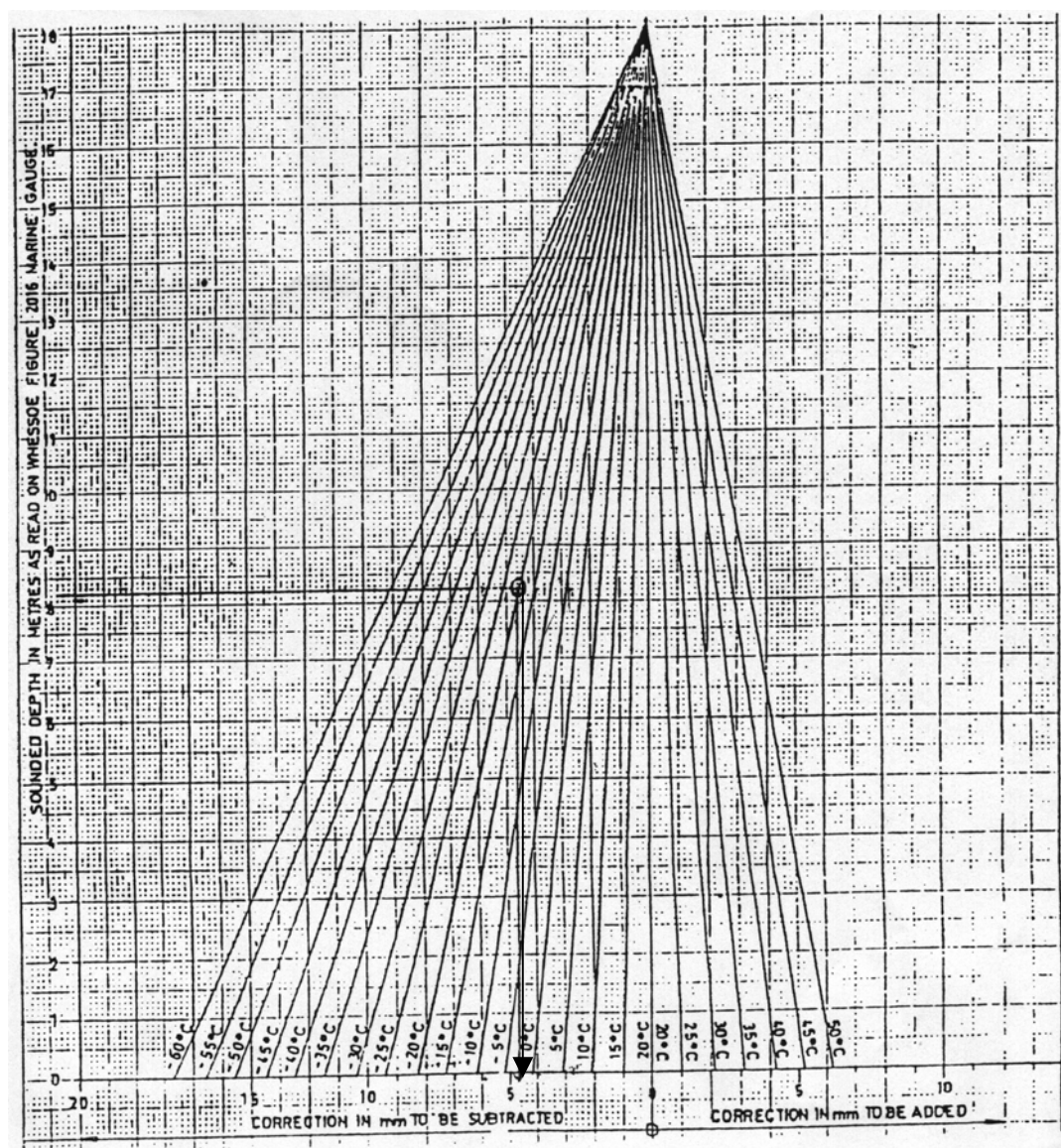
Термодинамические параметры н-бутана (перегретый пар)

Температура	Давление											
	P = 1.0 bar		P = 1.1 bar		P = 1.5 bar		P = 2.0 bar		P = 5.0 bar		P = 15.0 bar	
	Удельный объём	Энтальпия	Удельный объём	Энтальпия	Удельный объём	Энтальпия	Удельный объём	Энтальпия	Удельный объём	Энтальпия	Удельный объём	Энтальпия
С°	1/м ³	ккал/кг	1/м ³	ккал/кг	1/м ³	ккал/кг	1/м ³	ккал/кг	1/м ³	ккал/кг	1/м ³	ккал/кг
0	0,371	158,1	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0
10	0,388	162,2	0,346	161,9	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0
20	0,405	166,3	0,362	166,1	0,266	165,4	0,197	164,8	0,000	0,0	0,000	0,0
30	0,422	170,5	0,378	170,3	0,277	169,6	0,206	169,0	0,000	0,0	0,000	0,0
40	0,439	174,7	0,394	174,5	0,288	173,8	0,215	173,2	0,000	0,0	0,000	0,0
50	0,455	179,0	0,410	178,9	0,298	178,2	0,224	177,6	0,085	174,1	0,000	0,0
60	0,471	183,3	0,425	183,3	0,308	182,6	0,232	182,0	0,087	178,9	0,000	0,0
70	0,487	187,8	0,440	187,8	0,318	187,2	0,240	186,6	0,090	183,7	0,000	0,0
80	0,503	192,3	0,455	192,3	0,328	191,8	0,248	191,2	0,093	188,6	0,000	0,0
90	0,517	197,0	0,470	197,0	0,338	196,6	0,256	196,0	0,096	193,5	0,000	0,0
100	0,531	201,7	0,484	201,7	0,348	201,4	0,264	200,8	0,099	198,5	0,027	190,3
110	0,545	206,4	0,498	206,4	0,358	206,2	0,271	205,8	0,103	203,5	0,029	196,1
120	0,557	211,1	0,511	211,1	0,368	211,0	0,278	210,8	0,107	208,6	0,030	201,9
130	0,569	215,8	0,524	215,8	0,378	215,8	0,285	215,8	0,111	213,7	0,032	207,8
140	0,581	220,8	0,537	220,8	0,388	220,8	0,291	220,8	0,114	218,9	0,033	213,7
150	0,593	225,8	0,549	225,8	0,398	225,8	0,297	225,8	0,118	224,1	0,034	219,7
160	0,605	230,8	0,564	230,8	0,407	230,8	0,308	230,8	0,122	229,3	0,035	225,7
170	0,617	235,8	0,573	235,8	0,416	235,8	0,309	235,8	0,126	234,5	0,036	231,7

15. Приложение

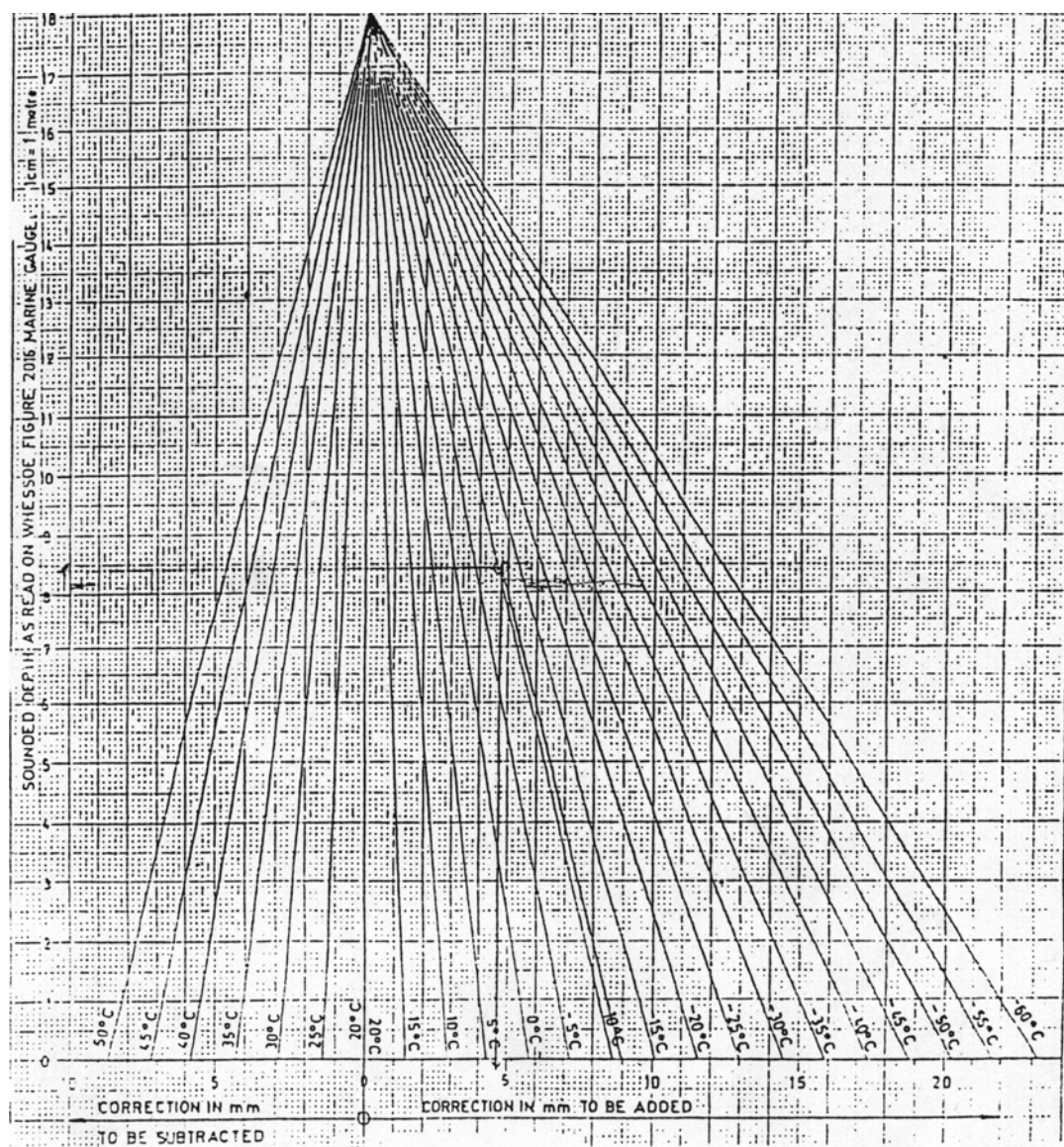
Поправки к уровню за счет вертикального сжатия танка.

вход в график осуществляется по температуре жидкости и по уровню груза в танке



15. Приложение

Поправки к уровню за сжатие ленты мерительного устройства.
Вход в график осуществляется по температуре газовой фазы груза и
уровню груза в танке.



15. Приложение

Мерительные (гидростатические) таблицы грузового танка

TRIM AFT METER	-0,50	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00
SOUNDING IN METER	CAPACITY					
	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
8,350	769,89	769,02	768,14	767,24	766,33	765,40
8,360	770,58	769,72	768,84	767,94	767,04	766,11
8,370	771,27	770,41	769,53	768,64	767,74	766,81
8,380	771,95	771,09	770,22	769,34	768,43	767,51
8,390	772,63	771,78	770,91	770,03	769,13	768,21
8,400	773,30	772,46	771,59	770,71	769,82	768,91
8,410	773,97	773,13	772,27	771,40	770,50	769,60
8,420	774,64	773,80	772,95	772,08	771,19	770,28
8,430	775,31	774,47	773,62	772,75	771,87	770,97
8,440	775,97	775,14	774,29	773,42	772,54	771,65
8,450	776,63	775,80	774,95	774,09	773,21	772,32
8,460	777,28	776,46	775,61	774,76	773,88	772,99
8,470	777,93	777,11	776,27	775,42	774,55	773,66
8,480	778,58	777,76	776,93	776,08	775,21	774,33
8,490	779,22	778,41	777,58	776,73	775,87	774,99
8,500	779,86	779,05	778,22	777,38	776,52	775,64
8,510	780,49	779,69	778,87	778,03	777,17	776,29
8,520	781,13	780,32	779,51	778,67	777,81	776,94
8,530	781,75	780,96	780,14	779,31	778,45	777,58
8,540	782,38	781,58	780,77	779,94	779,09	778,22
8,550	783,00	782,21	781,40	780,57	779,72	778,85
8,560	783,61	782,83	782,02	781,19	780,35	779,48
8,570	784,22	783,44	782,64	781,81	780,97	780,11
8,580	784,83	784,05	783,25	782,43	781,59	780,73
8,590	785,43	784,65	783,85	783,04	782,20	781,34
8,600	786,02	785,25	784,46	783,64	782,81	781,86
8,610	786,62	785,85	785,06	784,24	783,41	782,56
8,620	787,20	786,44	785,65	784,84	784,01	783,17
8,630	787,78	787,02	786,24	785,43	784,61	783,77
8,640	788,36	787,60	786,82	786,02	785,20	784,36
8,650	788,93	788,16	787,40	786,61	785,79	784,95
8,660	789,49	788,75	787,98	787,18	786,37	785,54
8,670	790,05	789,31	788,55	787,76	786,95	786,13
8,680	790,61	789,87	789,11	788,33	787,53	786,71
8,690	791,16	790,43	789,67	788,90	788,10	787,28

15. Приложение

Поправка к поплавковому мерительному устройству за плотность груза

