

Существует два способа (метода) теплотехнических расчетов: аналитический и графоаналитический. Для проектных целей используют аналитический метод.

При решении эксплуатационных и экономических задач изменчивость параметров внешней среды может существенно отразиться на результатах расчета и поэтому используется графоаналитический метод определения расхода холода. Суть этого метода заключается в графическом сопоставлении хладопроизводительности устройств охлаждения и всех теплопоступлений внутрь вагона в зависимости от времени суток и места его нахождения.

Графоаналитические расчеты позволяют определить усредненный расход холода на направлении в условиях наиболее приближенных к фактическим. При этом расход холода ставится в зависимость от изменяющейся температуры наружного воздуха, вида подвижного состава, заданной температуры внутри вагона.

Расчет заключается в определении теплопритоков  $Q$  в грузовой вагон и сопоставлении их с хладопроизводительностью холодильного оборудования, которым укомплектован рефрижераторный вагон. Этим балансом определяется возможность обеспечения необходимого температурного режима перевозки.

В рамках курсовой работы рассматривается расчет только теплопритоков. Исходные данные для расчета приведены в таблице 1. Вариант выбирается согласно порядковому номеру по списку группы.

Суммарный теплоприток  $Q$ , который должен поглощаться приборами охлаждения в грузовом вагоне определяется следующим образом, Вт:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6,$$

где  $Q_1$  – теплоприток, проходящий через ограждения грузового помещения вагона, Вт;

$Q_2$  – теплоприток, проходящий через неплотности в дверном проёме, местах установок холодильного оборудования, Вт;

$Q_3$  – теплоприток от действия солнечной радиации, Вт;

$Q_4$  – теплоприток вследствие работы электродвигателей вентиляторов-циркуляторов в грузовом помещении, Вт;

$Q_5$  – тепловой поток в грузовое помещение при оттаивании с помощью горячих паров хладагента снеговой шубы на испарителе. Вт;

$Q_6$  – теплоприток от охлаждаемых во время перевозки СПГ и тары, в которую они упакованы, Вт.

Теплоприток, проходящий через ограждения грузового помещения вагона, Вт:

$$Q_1 = F_p \cdot k_p (t_n - t_b),$$

где  $F_p$  – площадь ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>;

$k_p$  – коэффициент теплопередачи ограждения кузова, Вт/(м<sup>2</sup> °C);

$t_n, t_b$  – температуры наружного и внутреннего воздуха соответственно, °C.

Теплоприток, проходящий через неплотности в дверном проёме, местах установок холодильного оборудования, Вт:

$$Q_2 = V_{во} \cdot \rho \cdot (i_n - i_b),$$

где  $V_{во}$  – инфильтрация воздуха через неплотности кузова, м<sup>3</sup>/ч;

$\rho$  – плотность наружного воздуха при заданных температуре и влажности, кг/м<sup>3</sup> (принять  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>);

$i_n, i_b$  – энтальпии наружного и внутреннего воздуха соответственно, определяются по ID-диаграмме (рисунок 1), при известных  $t_n, \varphi_n$  и известных  $t_b, \varphi_b$  (принимается  $\varphi_b = 90\%$ ).

Инфильтрация воздуха через неплотности кузова, м<sup>3</sup>/ч:

$$V_{во} = 0,3V_{полн},$$

где  $V_{полн}$  – инфильтрация воздуха через двери вагона в открытом состоянии, м<sup>3</sup>/ч.

Теплоприток от действия солнечной радиации, Вт:

$$Q_3 = k_p \cdot F_c \cdot \Delta t_c \cdot \tau / 24,$$

где  $F_c$  – эффективная поверхность облучения (принять  $F_c = (0,35 \div 0,5)F_p$ );

$\tau$  – эффективная продолжительность периода облучения, ч;

$\Delta t_c$  – превышение температуры облученной поверхности вагона над температурой необлученной поверхности, °C (принять  $\Delta t_c = 22,3$  °C).

Теплоприток вследствие работы электродвигателей вентиляторов-циркуляторов в грузовом помещении, Вт:

$$Q_4 = N \cdot \tau_B / 24$$

где  $N$  – суммарная мощность электродвигателей, Вт;

$\tau_B$  – ожидаемое число часов работы вентиляторов-циркуляторов, ч/сут (принять  $\tau_B = 16$  ч/сут).

Тепловой поток в грузовое помещение при оттаивании с помощью горячих паров хладагента снеговой шубы на испарителе, Вт:

Поскольку интенсивность нарастания снеговой шубы прямо зависит от потока наружного воздуха, попадающего в вагон через неплотности кузова, можно принять:

$$Q_5 = 0,3Q_2$$

Теплоприток от охлаждаемых во время перевозки СПГ и тары, в которую они упакованы, Вт:

$$Q_6 = (g_G \cdot c_G + g_T \cdot c_T) \cdot (t_{ГН} - t_{ГК}) \tau_{охл} ,$$

где  $g_G, g_T$  – масса груза и тары в рассматриваемом вагоне соответственно (принять  $g_G = 190$  кг;  $g_T = 0,15g_G$ );

$c_G, c_T$  – теплоемкость груза и тары в рассматриваемом вагоне соответственно, кДж/(кг °C) (принять  $c_G = 2,47$  кДж/(кг °C);  $c_T = 2,85$  кДж/(кг °C) );

$t_{ГН}, t_{ГК}$  – начальная и конечная температуры груза по условиям перевозки, °C (принять  $t_{ГН} = 5$  °C;  $t_{ГК} = -5$  °C);

$\tau_{охл}$  – нормативная продолжительность охлаждения груза в груженом рейсе, ч (принять  $\tau_{охл} = 48$  ч).

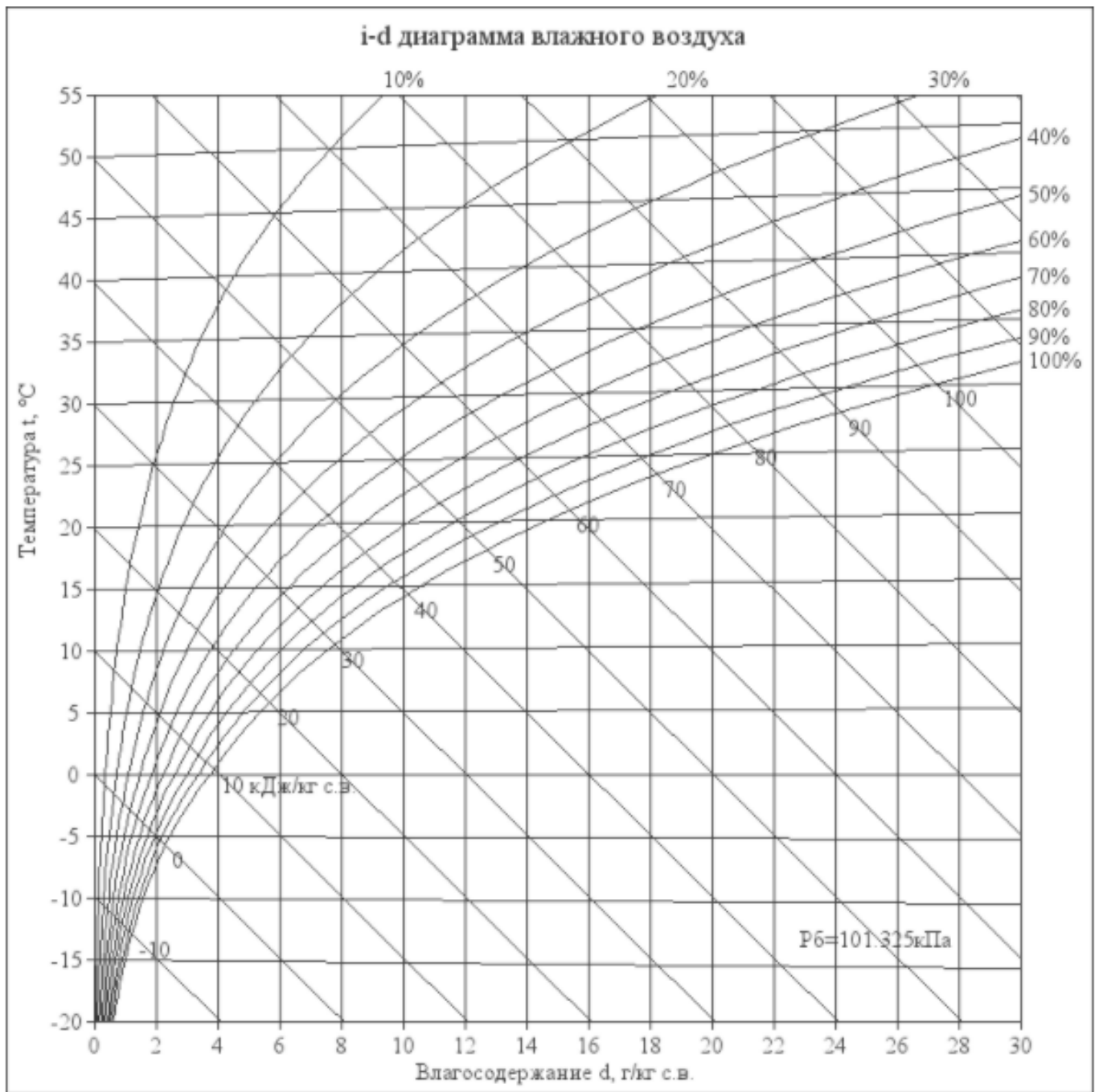


Рисунок 1 – ID-диаграмма

Таблица 1 - Исходные данные

Наименование показателя	№ варианта (по списку группы)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Площадь ограждающей конструкции $F_p$ , м <sup>2</sup>	0,47	0,41	0,43	0,41	0,45	0,38	0,38	0,47	0,41	0,41
Коэффициент теплопередачи ограждения кузова $k_p$ , Вт/(м <sup>2</sup> °C)	42	44	40	45	46	43	46	41	41	47
Температура наружного воздуха $t_n$ , °C	0	22	2	-7	-12	11	14	3	10	3
Температура внутреннего воздуха $t_v$ , °C	7	3	-14	-18	9	7	-6	-12	6	-9
Относительная влажность $\varphi_n$ , %	95	90	45	85	50	70	60	70	75	80
Инфильтрация воздуха через двери вагона в открытом состоянии $V_{полн}$ , м <sup>3</sup> /ч	115	137	138	141	134	144	123	120	116	126
Эффективная продолжительность периода облучения $\tau$ , ч	12	9	10	10	12	12	11	12	10	10
Суммарная мощность электродвигателей N, Вт	4900	3900	4500	4000	3900	3800	4400	4400	4400	4300

Продолжение таблицы 1

Наименование показателя	№ варианта (по списку группы)									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Площадь ограждающей конструкции $F_p$ , м <sup>2</sup>	0,43	0,47	0,46	0,38	0,38	0,38	0,44	0,44	0,47	0,43
Коэффициент теплопередачи ограждения кузова $k_p$ , Вт/(м <sup>2</sup> °C)	39	43	47	40	46	42	40	39	38	42
Температура наружного воздуха $t_n$ , °C	-17	7	13	6	-10	-23	0	-23	13	-6
Температура внутреннего воздуха $t_v$ , °C	-10	-9	0	-13	1	-1	-17	-10	-1	-15
Относительная влажность $\varphi_n$ , %	65	45	65	55	75	80	95	70	55	55
Инфильтрация воздуха через двери вагона в открытом состоянии $V_{полн}$ , м <sup>3</sup> /ч	138	138	140	132	134	144	117	133	125	141
Эффективная продолжительность периода облучения $\tau$ , ч	11	8	8	10	8	11	10	8	9	13
Суммарная мощность электродвигателей N, Вт	4200	4300	4800	4400	4600	4000	4100	4700	4300	4800

Продолжение таблицы 1

Наименование показателя	№ варианта (по списку группы)									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Площадь ограждающей конструкции $F_p$ , м <sup>2</sup>	0,39	0,46	0,43	0,41	0,47	0,46	0,43	0,39	0,40	0,43
Коэффициент теплопередачи ограждения кузова $k_p$ , Вт/(м <sup>2</sup> °C)	44	41	40	44	44	44	45	41	41	47
Температура наружного воздуха $t_n$ , °C	17	22	11	1	5	-11	-3	2	20	-12
Температура внутреннего воздуха $t_v$ , °C	-12	6	-3	2	8	-12	-18	11	-13	-9
Относительная влажность $\varphi_n$ , %	80	70	90	80	70	60	50	55	90	40
Инфильтрация воздуха через двери вагона в открытом состоянии $V_{полн}$ , м <sup>3</sup> /ч	119	127	124	132	130	125	134	140	137	130
Эффективная продолжительность периода облучения $\tau$ , ч	12	9	9	10	10	13	12	13	9	8
Суммарная мощность электродвигателей N, Вт	4600	4300	4500	4600	4400	4500	3800	3800	4700	4900

Продолжение таблицы 1

Наименование показателя	№ варианта (по списку группы)									
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Площадь ограждающей конструкции $F_p$ , м <sup>2</sup>	0,41	0,40	0,47	0,42	0,46	0,47	0,44	0,42	0,43	0,40
Коэффициент теплопередачи ограждения кузова $k_p$ , Вт/(м <sup>2</sup> °C)	46	43	41	48	47	38	39	45	45	45
Температура наружного воздуха $t_n$ , °C	-4	0	5	-13	-22	1	-24	-4	15	15
Температура внутреннего воздуха $t_v$ , °C	3	-11	4	2	-7	-3	-18	-8	-12	-13
Относительная влажность $\varphi_n$ , %	40	55	60	70	35	35	95	80	80	85
Инфильтрация воздуха через двери вагона в открытом состоянии $V_{полн}$ , м <sup>3</sup> /ч	118	136	138	138	119	133	125	129	143	127
Эффективная продолжительность периода облучения $\tau$ , ч	10	8	8	11	8	8	11	13	9	12
Суммарная мощность электродвигателей N, Вт	4200	4700	4500	4500	4700	4000	4100	4100	4200	4500