УДК 629.113 *DOI:10.46960/62045_2021_2_4*

А.А. Петров[1], Н.А. Кузьмин[1], А.М. Грошев[2]

ОЦЕНКА ПОЛЕЗНОЙ ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

[1]Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
[2]Некоммерческое партнерство «Институт сертификации автомототехники»

Представлены особенности и возможности изотермической камеры для испытания транспортных средств и холодильного оборудования. Описано устройство камеры и используемое оборудование. Изложена методика проведения испытания по измерению полезной холодопроизводительности автомобильной холодильной установки. Приведены результаты ее экспериментальной оценки для изотермического фургона автомобиля.

***Ключевые слова*:** изотермическая камера, холодопроизводительность холодильного оборудования, изотермический фургон, калориметрическая камера.

С целью проверки эффективности холодильного оборудования, а также отнесения изотермического транспортного средства, оснащенного холодильной установкой, к тому или иному классу транспортного средства-рефрижератора, проводятся испытания по измерению полезной холодопроизводительности холодильной установки. Требования к оценке свойств изотермических фургонов устанавливает «Технический регламент по безопасности колесных транспортных средств (ТР ТС 018/2011)» [1]. Приложение 6. Пункт 1.23 «Требования к транспортным средствам-фургонам для перевозки пищевых продуктов». Дополнительные требования к транспортным средствам, эффективности работы холодильного оборудования, классификации специальных транспортных средств, а также методике проведения испытаний устанавливает «Соглашение о международных перевозках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих перевозок (СПС)», подписанное 1 сентября 1970 г. в Женеве [2]. Обзор проведенных ранее исследований представлен в работах [4-6].

Настоящие исследования проводились на испытательной станции ООО «Автокрейт» (далее – Станция), позволяющей проводить испытания изотермических транспортных средств, транспортных средств-ледников, транспортных средств-рефрижераторов или отапливаемых транспортных средств, длиной до 17 м и высотой до 4,5 м (рис. 1).

На Станции проводят следующие виды испытаний:

- измерение коэффициента теплопередачи изотермических транспортных средств;
- измерение полезной холодопроизводительности холодильного оборудования;
- проверку эффективности оборудования транспортных средств-ледников, рефрижераторов, отапливаемых транспортных средств;
- проверку эффективности системы отопления, вентиляции и кондиционирования транспортного средства;
- измерение качества теплоизоляции конструкции автомобиля скорой медицинской помощи (АСМП), согласно ГОСТ 33665-2015 [3].
- оценку качества термоизолирующих стенок изотермической цистерны, предназначенной для перевозки пищевых жидкостей.

1. Методика измерения полезной холодопроизводительности холодильного оборудования

1.1. Измерение проводится по методу внутреннего обогрева. Для измерения холодопроизводительности холодильная система устанавливается на тестовый фургон, коэффициент теплопередачи которого заранее известен. В качестве тестового фургона может выступать калориметрическая камера. Фургон устанавливается в изотермическую камеру, в которой поддерживается температура T_i=30 °С.

Рис. 1. Изотермическая камера с испытательным оборудованием и с установленным калориметром

Обогревательное устройство размещается:

а) внутри специального тестового теплоизолированного фургона (калориметра), на котором устанавливается измеряемая холодильная система (коэффициент теплопередачи калориметра измерен заранее в соответствии с «Методикой измерения коэффициента теплопередачи»; компрессор холодильной системы приводится в действие от электродвигателя);

б) внутри изотермического фургона, на котором установлена холодильная система.

В последнем случае для приведения в действие компрессора холодильной установки используется дополнительный электродвигатель, вынесенный за пределы подкапотного пространства автомобиля.

При одновременном включении холодильной системы и дополнительного нагревателя устанавливается тепловое равновесие между электрической мощностью обогревательного устройства (с присоединенным к нему вентилятором), холодопроизводительностью холодильной системы и количеством тепла, проникающего наружу через стенки фургона, причем выполняется соотношение:

$$W = U + K \cdot S \cdot (T_i - T_e) \quad (1)$$

где: W – холодопроизводительность холодильной системы, Вт;

U – мощность внутреннего нагревателя, Вт;

S=$\sqrt{S_i \cdot S_e}$ – средняя площадь поверхности калориметра (Si и Se внешняя и внутренняя поверхности);

К – коэффициент теплопередачи тестового или изотермического фургона, Вт/м^2·К;

T_i и T_e, °С – температура снаружи и внутри фургона.

1.2. Состав приборов и средств измерения представлен в табл. 1.

Таблица 1. Состав приборов и средств измерения

№	Наименование определяемых (измеряемых) характеристик (параметров)	Наименование средства измерений, марка	Метрологические характеристики
1	Измерение объемного потока воздуха, скорости и температуры воздуха	Измеритель комбинированный TESTO 417-2	Скорость потока (0,3-20) м/с Температура потока (0-50) °С (32-122) °F
2	Измерение температуры и влажности воздуха	Прибор комбинированный Testo 608-H1	Температура: от 0 °С до + 50 °С Относительная влажность: от 15 до 95 %
3	Измерение активной мощности в однофазных электрических цепях постоянного и переменного тока	Ваттметр Д5066	Номинальное напряжение: (0-150) В; Номинальный ток: 5А/10А
4	Неконтактное измерение пространственного распределения температуры поверхностей	Тепловизор инфракрасный Testo 875-2i	от -20 °С до +350 °С
5	Измерение температуры	Измеритель температуры многоканальный прецизионный Термоизмеритель ТМ-12м.4	от -50 °С до +200 °С
6	Измерение температуры	Измеритель температуры многоканальный прецизионный Термоизмеритель ТМ-12м.4	от -50 °С до +200 °С
7	Линейные размеры	Лазерный дальномер Leica Disto X3	расстояние: (0.05-150.00) м угол наклона (0-360) °
8	Линейные размеры	Измерительная рулетка BMI VARIO Rostfrei 3m	(0-3.00) м
9	Линейные размеры	Рулетка BMI VARIO Rostfrei 8m	(0-8.00) м
10	Измерение частоты вращения, скорости, расстояния	Тахометр TESTO 470	Частота вращения: оптический метод: (20 … 99999) об/мин
11	Определение избыточного давления в системах отопления, вентиляции и кондиционирования	Комплект измерительный «Смарт-зонд Testo 549i»	От 0 до 60 Бар
12	Измерение геометрических величин	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0.05	(0-125) мм

Рис. 2. Размещение в фургоне обогревателей и у датчиков измерения температуры

1.3. Испытание состоит из следующих двух основных частей: фазы охлаждения и последующего измерения полезной холодопроизводительности на трех повышающихся уровнях температуры.

1. Фаза охлаждения: исходная температура калориметрической камеры или фургона транспортного средства должна составлять 30 °С ± 1 °С. Затем она понижается до следующих температур: -25 °С для класса -20 °С, -13 °С для класса -10 °С или -2 °С для класса 0 °С.

2. Измерение полезной холодопроизводительности: на каждом уровне внутренней температуры.

Первое испытание продолжительностью не менее четырех часов на каждом температурном уровне проводится с термостатом (холодильной установки) для выравнивания теплопередачи между внутренней и наружной частями калориметрической камеры или транспортного средства. Во время этого испытания оценивается способность холодильной системы поддерживать пониженную температуру, заявленную изготовителем.

Второе испытание проводится с отключенным термостатом для измерения максимальной холодопроизводительности холодильной установки, при которой количество тепла, выделяемого оборудованием для внутреннего обогрева, позволяет поддерживать тепловой баланс на каждом температурном уровне. При этом:

- средняя температура воздуха снаружи калориметрической камеры должна составлять 30±0,5 °С;
- максимальная разница между температурами в самой теплой и самой холодной точках снаружи и внутри калориметрической не должна превышать 2 °С;
- внутри калориметрической камеры или изотермического кузова транспортного средства (на входе испарителя): три уровня температур в пределах от –25 °С до +12 °С в зависимости от технических характеристик установки; один из уровней должен равняться минимальной температуре, предписанной изготовителем для данного класса, с отклонением ±1 К;
- продолжительность второго испытания должна составлять не менее четырех часов;
- перед изменением температурного уровня производится разморозка вручную;
- если холодильная установка приводится в действие двигателем транспортного средства, испытание проводится как при минимальном, так и при номинальном числе оборотов компрессора, определенном изготовителем.

Скорость циркуляции воздуха по наружным поверхностям фургона должна находиться в пределах от 1 до 2 м/с в точках, удаленных на 100 мм от осей симметрии боковых стенок и крыши фургона.

Рис. 3. Схема установки холодильной системы и нагревателя на тестовый фургон

1.4. Измерение полезной холодопроизводительности автомобильной холодильной установки с помощью калориметра

1.4.1. Измеряемая холодильная система в соответствии со схемой, представленной на рис. 3, устанавливается в калориметр с коэффициентом теплопередачи К, измеренным заранее.

1.4.2. Калориметр устанавливается в измерительную камеру. Привод компрессора холодильной системы осуществляется от электродвигателя через ременную передачу.

1.4.3. В калориметре вместе с испарителем холодильной системы устанавливается электрический обогреватель. Мощность, потребляемая совместно нагревателем и вентиляторами может изменяться регулятором и измеряться с помощью измерителя мощности.

1.4.4. Калориметр и измерительная камера закрываются, включаются система стабилизации температуры в измерительной камере на уровне + 30 °С и измеряемая холодильная система.

1.4.5. Выполняется фаза понижения температуры в соответствии с п. 1.3.а.

1.4.6. После достижения соответствующей классу холодильной системы температуры воздуха в калориметре в соответствии с п. 1.3.а., термостат холодильной системы должен автоматически с заданным дифференциалом поддерживать заданную температуру в термостате в течение времени не менее 4 часов.

1.4.7. По завершении испытания по п. 1.3.а. с термостатом последний отключается, а на нагреватель и вентиляторы, установленные в фургоне, подается и поддерживается на заданном уровне электрическая мощность. Уровень мощности нагревателя и вентиляторов подбирается таким, чтобы температура воздуха в фургоне с одновременно включенными холодильной системой и нагревателем с вентиляторами установилась на уровне в соответствии с п. 1.3.а.

1.4.8. Результат измерений получают как среднее арифметическое показаний, полученных за период времени не менее, чем за 4 часа работы в установившимся режиме (без термостата) при числе измерений не менее 16, (мощность отопителя с вентилятором внутри фургона U в Ваттах и разность температур ΔT = Ti-Te в °С фиксируются с записью в протокол измерения не реже, чем один раз каждые 15 минут).

1.4.9. Вычисляют холодопроизводительность W холодильной системы по формуле:

$$W = U + K \cdot S \cdot \triangle T \qquad (2)$$

где: U – средняя мощность отопителя с вентиляторами, Вт;

K – коэффициент теплопередачи калориметра, Вт/м^2·К;

S = $\sqrt{Si \cdot Se}$ – средняя площадь поверхности тестового фургона, м^2;

ΔT – разность температур воздуха внутри и вне фургона, °С.

1.4.10. Вычисляют по формуле (2) холодопроизводительность холодильной системы.2.11. По результатам измерений оформляется протокол испытаний.

1.4.11. Методика измерения холодопроизводительности для уже установленной на автомобиль холодильной системы отличается от приведенной выше тем, что в качестве термостата используется изотермический фургон автомобиля.

1.4.12. Все данные, полученные в результате измерений, фиксируются в Протоколе испытаний.

2. Испытания

Были выполнены экспериментальные исследования холодильной установки изотермического фургона автомобиля *Газель Next* с целью оценки полезной холодопроизводительности. Результаты измерений представлены в табл. 2-5.

Расчет средней площади теплопередачи изотермического фургона

Площадь внешняя: S_e = 43,92 м^2

Площадь внутренняя: S_i = 40,18 м^2,

Площадь средняя $S = \sqrt{(S_i \cdot S_e)}$= 42,01 м^2

Расчет натекания тепла через стенки при средней температуре воздуха в фургоне T_i= -13,10°С, т.е. разности температур ΔT = 43,15°С составляет:

$$U_1 = K \cdot S \cdot \triangle T,$$

где: S = 42,01 – средняя площадь измерительного объемы, м^2;

К = 0,68 Вт/м^2·К - коэффициент теплопередачи измерительного объема;

Δ = T_i – T_e = -13,10 – 30,05 = 43,15 °С (абсолютное значение), где: T_i = -13,10 °С – средняя температура внутри фургона, °С, определяемая как среднее арифметическое температур, измеряемых в 12 точках, равномерно распределенных на входе воздуха в испаритель, за последние 6 часов измерения (табл. 2); T_e = 30,05 °С – средняя температура снаружи фургона, °С, определяемая как среднее арифметическое температур, измеряемых на расстоянии 100 мм от стенок в 12 точках за последние 6 часов измерения (табл. 3):

$$U_1 = 0{,}68 \cdot 42{,}01 \cdot 43{,}15 = 1233 \text{ Вт}$$

Округляя полученное значение до десятков, получаем U_1= 1230 Вт. Представленная холодильная установка, которая по паспорту должна обеспечивать температуру в фургоне -20 °С с полезным внутренним объемом кузова до 14 м^3, на предъявленном фургоне с К= 0,68 Вт/м^2 и полезным внутренним объемом кузова =15,83 м^3, обеспечивает -13,10 °С.

Таблица 2. Результаты испытаний

Температура воздуха в измерительном фургоне в каждом из 12 измерительных каналов													Средняя температура по 12 каналам, °С	Разброс температуры, °С	Мощность нагревателя и вентиляторов Вт
Номера измерительных каналов.															
Время	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
0ч 00 м	-13.09	-13.09	-13.06	-13.08	-13.09	-13.05	-13.04	-12.97	-13.07	-13.06	-13.2	-13.68	-13.12	0.71	0
0ч 15 м	-13.07	-13.05	-13.02	-13.06	-13.08	-13.01	-12.99	-12.91	-13.09	-13.08	-13.08	-13.67	-13.09	0.76	0
0ч 30 м	-13.03	-13.01	-12.99	-13.03	-13.06	-12.98	-12.96	-12.89	-13.06	-13.02	-13.04	-13.65	-13.06	0.76	0
0ч 45 м	-13.10	-13.08	-13.05	-13.09	-13.10	-13.05	-13.03	-12.97	-13.09	-13.07	-13.70	-13.70	-13.17	0.73	0
1ч 00 м	-12.99	-12.97	-12.95	-12.98	-12.98	-12.92	-12.90	-12.81	-12.97	-12.92	-12.93	-13.54	-12.99	0.73	0
1ч 15 м	-13.04	-13.01	-12.97	-13.05	-13.08	-12.94	-12.92	-12.82	-13.07	-13.05	-13.02	-13.53	-13.04	0.71	0
1ч 30 м	-13.04	-13.03	-13.00	-13.04	-13.05	-12.97	-12.95	-12.88	-13.05	-13.01	-12.98	-13.56	-13.05	0.68	0
1ч 45 м	-13.05	-13.04	-13.01	-13.05	-13.07	-12.98	-12.97	-12.93	-13.06	-13.03	-13.01	-13.63	-13.07	0.70	0
2ч 00 м	-13.12	-13.09	-13.07	-13.11	-13.11	-13.06	-13.05	-12.99	-13.09	-13.06	-13.08	-13.72	-13.13	0.73	0
2ч 15 м	-13.10	-13.09	-13.07	-13.08	-13.09	-13.04	-13.04	-12.99	-13.08	-13.04	-13.02	-13.68	-13.11	0.69	0
2ч 30 м	-13.06	-13.04	-13.02	-13.06	-13.06	-13.00	-12.96	-12.89	-13.05	-13.02	-12.99	-13.58	-13.06	0.69	0
2ч 45 м	-13.07	-13.05	-13.03	-13.05	-13.06	-13.01	-13.00	-12.92	-13.05	-13.01	-13.20	-13.64	-13.09	0.72	0
3ч 00 м	-13.04	-13.03	-13.01	-13.03	-13.04	-12.99	-12.98	-12.90	-13.04	-13.00	-13.02	-13.62	-13.06	0.72	0
3ч 15 м	-13.15	-13.12	-13.11	-13.16	-13.18	-13.09	-13.07	-13.00	-13.17	-13.16	-13.12	-13.76	-13.17	0.76	0
3ч 30 м	-12.94	-12.94	-12.92	-12.94	-12.95	-12.92	-12.90	-12.85	-12.93	-12.92	-12.89	-13.55	-12.97	0.70	0
3ч 45 м	-13.06	-13.03	-13.00	-13.05	-13.06	-12.96	-12.94	-12.86	-13.05	-13.01	-12.99	-13.57	-13.05	0.71	0
4ч 00 м	-13.13	-13.11	-13.09	-13.12	-13.13	-13.07	-13.05	-12.98	-13.11	-13.08	-13.10	-13.83	-13.15	0.85	0
4ч 15 м	-13.18	-13.16	-13.15	-13.19	-13.21	-13.13	-13.1	-13.01	-13.21	-13.17	-13.58	-13.77	-13.24	0.76	0
4ч 30 м	-12.96	-12.95	-12.92	-12.95	-12.96	-12.91	-12.88	-12.80	-12.94	-12.90	-12.91	-13.51	-12.97	0.71	0
4ч 45 м	-13.11	-13.09	-13.06	-13.11	-13.11	-13.05	-13.02	-12.95	-13.10	-13.08	-13.6	-13.71	-13.17	0.76	0
5ч 00 м	-13.23	-13.23	-13.21	-13.25	-13.25	-13.17	-13.14	-13.05	-13.25	-13.23	-13.22	-13.80	-13.25	0.75	0
5ч 15 м	-13.06	-13.04	-13.00	-13.07	-13.1	-12.98	-12.94	-12.82	-13.09	-13.06	-13.04	-13.57	-13.06	0.75	0
5ч 30 м	-13.05	-13.05	-13.03	-13.05	-13.06	-13.02	-13.01	-12.92	-13.05	-13.03	-13.02	-13.67	-13.08	0.75	0
5ч 45 м	-13.13	-13.11	-13.08	-13.12	-13.12	-13.08	-13.05	-13.00	-13.10	-13.06	-13.07	-13.73	-13.14	0.73	0
6ч 00 м	-13.07	-13.07	-13.05	-13.07	-13.08	-13.02	-13.00	-12.92	-13.07	-13.04	-13.02	-13.64	-13.09	0.72	0
Средняя температура в фургоне T_i = -13,10 °С														**Средняя мощность нагревателя и вентиляторов W = 0 Вт**	

Таблица 3. Результаты испытаний

Температура воздуха в измерительной камере в каждом из 12 измерительных каналов													Средняя температура по 12 каналам, °С	Разброс температуры, °С
Номера измерительных каналов.														
Время	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
0ч 00 м	29.84	29.28	29.88	30.35	30.86	30.36	29.81	30.68	30.13	29.76	30.25	29.09	30.02	1.77
0ч 15 м	30.17	29.44	30.14	30.48	30.74	30.61	29.84	30.93	30.39	29.78	30.38	29.26	30.18	1.67
0ч 30 м	29.93	29.41	29.92	30.39	31.24	30.55	30.06	30.72	30.26	30.03	30.29	29.34	30.18	1.90
0ч 45 м	30.14	29.54	30.19	30.43	30.22	30.59	29.69	30.88	30.41	29.62	30.33	29.33	30.11	1.55
1ч 00 м	29.72	29.2	29.77	30.24	30.18	30.40	29.74	30.64	30.05	29.63	30.14	29.03	29.90	1.61
1ч 15 м	30.06	29.39	30.06	30.55	30.32	30.54	29.63	30.89	30.35	29.6	30.45	29.23	30.09	1.66
1ч 30 м	29.71	29.19	29.79	30.24	30.79	30.32	29.73	30.53	29.92	29.59	30.14	29.07	29.92	1.72
1ч 45 м	29.72	29.20	29.73	30.19	31.08	30.43	29.84	30.55	30.11	29.77	30.09	29.10	29.98	1.98
2ч 00 м	29.83	29.24	29.65	30.32	30.38	30.87	30.81	30.54	30.75	30.58	30.22	29.14	30.19	1.73
2ч 15 м	29.86	29.41	29.88	30.37	31.13	30.52	29.99	30.60	30.27	29.89	30.27	29.25	30.12	1.88
2ч 30 м	29.77	29.24	29.82	30.28	31.00	30.40	29.84	30.54	30.12	29.69	30.18	29.13	30.00	1.87
2ч 45 м	29.88	29.41	29.88	30.07	30.84	30.27	29.53	30.57	30.24	29.56	29.97	29.37	29.97	1.47
3ч 00 м	29.87	29.32	29.91	30.42	30.9	30.43	29.92	30.75	30.19	29.86	30.32	29.17	30.09	1.73
3ч 15 м	29.79	29.18	29.65	30.28	30.34	30.99	30.39	30.51	30.63	29.97	30.18	29.94	30.15	1.81
3ч 30 м	29.69	29.22	29.79	30.21	30.92	30.36	29.81	30.52	29.95	29.74	30.11	29.12	29.95	1.80
3ч 45 м	29.72	29.16	29.75	30.15	31.08	30.34	29.84	30.53	30.06	29.70	30.05	29.10	29.96	1.98
4ч 00 м	30.03	29.41	30.10	30.44	30.49	30.51	29.6	30.82	30.28	29.50	30.34	29.14	30.06	1.68
4ч 15 м	29.76	29.35	29.85	30.33	30.86	30.47	29.91	30.52	30.05	29.86	30.23	29.19	30.03	1.67
4ч 30 м	29.79	29.26	29.83	30.28	30.81	30.39	29.79	30.66	30.12	29.72	30.18	29.11	30.00	1.70
4ч 45 м	30.06	29.41	30.04	30.35	30.50	30.54	29.61	30.73	30.42	29.49	30.25	29.23	30.05	1.50
5ч 00 м	29.87	29.37	29.9	30.38	31.01	30.52	30.02	30.69	30.26	29.94	30.28	29.25	30.12	1.76
5ч 15 м	29.84	29.47	29.84	30.12	30.69	30.36	29.73	30.48	30.26	29.75	30.02	29.46	30.00	1.23
5ч 30 м	30.02	29.41	30.02	30.50	30.82	30.6	29.98	30.86	30.38	29.95	30.4	29.27	30.18	1.59
5ч 45 м	29.79	29.31	29.70	30.27	30.32	31.07	30.75	30.43	30.51	30.43	30.17	29.16	30.16	1.91
6ч 00 м	29.78	29.23	29.78	30.25	30.82	30.38	29.80	30.51	30.11	29.57	30.15	29.13	29.96	1.69
Средняя температура в измерительной камере T_e = 30,05 °С														

Таблица 4. Результаты испытаний

Температура воздуха в измерительном фургоне в каждом из 12 измерительных каналов													Средняя температура по 12 каналам, °С	Разброс темпера-туры, °С	Мощность нагревателя и вентиляторов Вт
Номера измерительных каналов.															
Время	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
0ч 00 м	0.11	0.12	0.13	0.07	0.04	0.13	0.13	0.12	0.05	-0.02	0.17	0.14	0.10	0.19	1140
0ч 15 м	-0.07	-0.07	-0.05	-0.10	-0.13	-0.06	-0.05	-0.05	-0.11	-0.17	-0.02	-0.05	-0.08	0.15	1140
0ч 30 м	0.05	0.06	0.08	0.04	0.00	0.05	0.04	0.04	0.01	-0.05	0.11	0.08	0.04	0.16	1140
0ч 45 м	0.06	0.07	0.08	0.05	0.02	0.07	0.07	0.08	0.02	-0.04	0.12	0.09	0.06	0.16	1140
1ч 00 м	-0.04	-0.02	-0.01	-0.07	-0.09	-0.03	-0.02	-0.01	-0.08	-0.13	0.03	0.00	-0.04	0.16	1140
1ч 15 м	-0.04	-0.02	-0.01	-0.07	-0.11	-0.03	-0.04	-0.08	-0.11	-0.19	0.03	0.00	-0.06	0.22	1140
1ч 30 м	-0.10	-0.09	-0.07	-0.10	-0.12	-0.08	-0.1	-0.12	-0.11	-0.18	-0.04	-0.07	-0.10	0.14	1140
1ч 45 м	-0.06	-0.04	-0.04	-0.09	-0.12	-0.06	-0.07	-0.1	-0.14	-0.21	0.01	-0.02	-0.08	0.22	1140
2ч 00 м	-0.07	-0.05	-0.03	-0.07	-0.10	-0.06	-0.05	-0.07	-0.1	-0.18	0.00	-0.03	-0.07	0.18	1140
2ч 15 м	-0.09	-0.06	-0.04	-0.11	-0.14	-0.07	-0.08	-0.10	-0.15	-0.23	-0.01	-0.04	-0.09	0.22	1140
2ч 30 м	-0.09	-0.08	-0.05	-0.09	-0.13	-0.08	-0.08	-0.09	-0.11	-0.20	-0.03	-0.06	-0.09	0.17	1140
2ч 45 м	-0.03	0.00	0.00	-0.07	-0.11	-0.03	-0.04	-0.08	-0.10	-0.19	0.05	0.02	-0.05	0.24	1140
3ч 00 м	-0.02	-0.01	0.00	-0.06	-0.08	-0.02	-0.01	-0.02	-0.07	-0.14	0.04	0.01	-0.03	0.18	1140
3ч 15 м	-0.07	-0.05	-0.05	-0.10	-0.13	-0.07	-0.07	-0.10	-0.14	-0.23	0.00	-0.03	-0.09	0.23	1140
3ч 30 м	-0.10	-0.08	-0.06	-0.11	-0.15	-0.09	-0.09	-0.10	-0.15	-0.23	-0.03	-0.06	-0.10	0.20	1140
3ч 45 м	0.05	0.05	0.08	0.03	0.01	0.06	0.06	0.04	0.00	-0.09	0.10	0.07	0.04	0.19	1140
4ч 00 м	-0.06	-0.05	-0.05	-0.08	-0.12	-0.07	-0.08	-0.12	-0.15	-0.21	0.00	-0.03	-0.09	0.21	1140
4ч 15 м	-0.03	-0.01	0.00	-0.05	-0.08	-0.01	-0.01	-0.04	-0.08	-0.16	0.04	0.01	-0.04	0.20	1140
4ч 30 м	-0.09	-0.08	-0.06	-0.12	-0.14	-0.07	-0.06	-0.07	-0.13	-0.19	-0.03	-0.06	-0.09	0.16	1140
4ч 45 м	0.08	0.09	0.1	0.04	0.01	0.10	0.10	0.09	0.02	-0.03	0.14	0.11	0.07	0.17	1140
5ч 00 м	-0.04	-0.02	0.00	-0.07	-0.12	-0.03	-0.02	-0.07	-0.11	-0.17	0.03	0.00	-0.05	0.20	1140
5ч 15 м	-0.05	-0.05	-0.03	-0.07	-0.09	-0.04	-0.03	-0.06	-0.08	-0.15	0.00	-0.03	-0.06	0.15	1140
5ч 30 м	0.00	0.01	0.02	-0.04	-0.06	0.01	0.02	0.02	-0.05	-0.08	0.06	0.03	-0.01	0.14	1140
5ч 45 м	0.18	0.18	0.2	0.14	0.10	0.19	0.19	0.19	0.10	0.01	0.23	0.20	0.16	0.22	1140
6ч 00 м	0.01	0.03	0.05	-0.01	-0.04	0.01	0.01	0.00	-0.03	-0.10	0.08	0.05	0.01	0.18	1140
Средняя температура в фургоне T_i = -0,03 °С														**Средняя мощность нагревателя и вентиляторов W =1140 Вт**	

Таблица 5. Результаты испытаний

Температура воздуха в измерительной камере в каждом из 12 измерительных каналов													Средняя температура по 12 каналам, °С	Разброс температуры, °С
Номера измерительных каналов.														
Время	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
0ч 00 м	29.90	29.25	29.60	30.56	30.47	30.89	30.36	30.74	30.54	30.35	29.64	29.31	30.13	1.64
0ч 15 м	30.23	29.44	29.89	30.86	31.22	30.84	29.76	31.23	30.69	29.60	29.93	29.29	30.25	1.94
0ч 30 м	30.18	29.34	29.77	30.82	30.61	30.97	30.27	31.05	30.66	30.22	29.81	29.20	30.24	1.85
0ч 45 м	30.29	29.30	29.87	30.75	31.06	30.81	29.90	31.03	30.61	29.85	29.91	29.20	30.22	1.86
1ч 00 м	30.02	29.16	29.63	30.79	30.32	31.11	30.86	30.96	30.64	30.71	29.67	29.27	30.26	1.95
1ч 15 м	30.12	29.29	29.75	30.59	30.75	30.85	30.19	30.85	30.60	30.11	29.79	29.26	30.18	1.59
1ч 30 м	29.90	29.20	29.60	30.58	30.54	30.84	30.25	30.75	30.63	30.22	29.64	29.27	30.12	1.64
1ч 45 м	29.86	29.20	29.56	30.51	30.47	30.83	30.30	30.70	30.56	30.29	29.6	29.30	30.10	1.63
2ч 00 м	30.03	29.37	29.76	30.79	30.92	30.96	30.32	31.05	30.54	30.23	29.80	29.29	30.26	1.76
2ч 15 м	30.18	29.34	29.80	30.83	30.93	30.75	29.81	31.02	30.60	29.70	29.84	29.18	30.17	1.84
2ч 30 м	30.14	29.31	29.74	30.74	30.83	30.77	29.87	30.94	30.58	29.79	29.78	29.18	30.14	1.76
2ч 45 м	29.94	29.28	29.65	30.60	30.44	30.92	30.36	30.78	30.57	30.35	29.69	29.31	30.16	1.64
3ч 00 м	30.17	29.27	29.78	30.78	31.09	30.74	29.72	31.04	30.59	29.64	29.82	29.10	30.15	1.99
3ч 15 м	30.32	29.30	29.88	30.74	30.99	30.83	29.95	31.03	30.64	29.9	29.92	29.22	30.23	1.81
3ч 30 м	30.27	29.31	29.85	30.70	30.80	30.87	30.15	30.96	30.64	30.06	29.89	29.26	30.23	1.70
3ч 45 м	30.12	29.36	29.83	30.84	31.02	30.90	30.19	31.11	30.60	30.13	29.87	29.27	30.27	1.84
4ч 00 м	30.13	29.32	29.75	30.84	31.04	30.86	30.00	31.03	30.66	29.94	29.79	29.16	30.21	1.88
4ч 15 м	30.16	29.29	29.77	30.80	31.02	30.77	29.74	31.05	30.64	29.68	29.81	29.12	30.15	1.93
4ч 30 м	30.26	29.37	29.86	30.93	31.13	30.83	29.83	31.23	30.58	29.74	29.90	29.25	30.24	1.98
4ч 45 м	30.06	29.27	29.68	30.70	30.93	30.77	30.00	30.86	30.57	29.92	29.72	29.20	30.14	1.73
5ч 00 м	30.08	29.25	29.68	30.70	30.76	30.88	30.20	30.97	30.60	30.13	29.72	29.11	30.17	1.86
5ч 15 м	30.23	29.44	29.88	30.82	31.05	30.84	29.78	31.18	30.66	29.64	29.92	29.27	30.23	1.91
5ч 30 м	30.18	29.33	29.79	30.88	30.94	30.81	29.83	31.09	30.69	29.76	29.83	29.15	30.19	1.94
5ч 45 м	29.96	29.27	29.67	30.59	30.49	30.89	30.30	30.76	30.57	30.27	29.71	29.28	30.15	1.62
6ч 00 м	29.98	29.24	29.66	30.69	30.71	30.86	30.19	30.84	30.66	30.13	29.70	29.24	30.16	1.62
Средняя температура в измерительной камере T_e = 30,19 °С														

Расчет полезной холодопроизводительности холодильной системы при T_i = -13,10 °C

Полезная холодопроизводительность холодильной системы вычисляется как сумма стабилизированной мощности нагревателя совместно с вентиляторами, находящимися внутри измерительного объема вместе с холодильной системой U и мощность натекания тепла через стенки измерительного объема при получившейся после достижения теплового равновесия разности температур (U_1 = 1230 Вт)

$$W = U + U_1,$$

где: U= 0 Вт – средняя мощность, выделяемая при работе внутреннего обогревателя и вентиляторов (табл. 1);

$$W = 0 + 1230 = 1230 \text{ Вт}$$

Расчет натекания тепла через стенки при средней температуре воздуха в фургоне T_i = 0°C

Разность температур ΔT = 30,22 °C.

$$U_2 = K \cdot S \cdot \triangle T,$$

где: S = 42,01 – средняя площадь измерительного объемы, м^2;

К = 0,68 Вт/м^2·К – коэффициент теплопередачи измерительного объема;

$\Delta = T_i - T_e$ = -0,03 – 30,19 = 30,22°C (абсолютное значение), где:

T_i = -0,03°C – средняя температура внутри фургона, °C, определяемая как среднее арифметическое температур, измеряемых в 12 точках, равномерно распределенных на входе воздуха в испаритель, за последние 6 часов измерения (табл. 4);

T_e = 30,19°C – средняя температура снаружи фургона, °C, определяемая как среднее арифметическое температур, измеряемых на расстоянии 100 мм от стенок в 12 точках за последние 6 часов измерения (табл. 5);

$$U_2 = 0{,}68 \cdot 42{,}01 \cdot 30{,}22 = 863 \text{ Вт}$$

Округляя полученное значение до десятков, получаем U_2= 860 Вт.

Расчет полезной холодопроизводительности холодильной системы при T_i = 0°C

$$W = U + U_2,$$

где: U = 1140 Вт – средняя мощность, выделяемая при работе внутреннего обогревателя и вентиляторов (табл. 4);

$$W = 1140 + 860 = 2000 \text{ Вт}$$

Полезная холодопроизводительность холодильной системы при скорости вращения компрессора 1600 об/мин и внешней температуре +30,05 °C при – 13,10 °C = 1230 Вт.

Полезная холодопроизводительность холодильной системы при скорости вращения компрессора 1600 Об/мин и внешней температуре +30,19 °C при -0,03 °C = 2000 Вт

По результатам выполненных исследований установлено следующее.

1. Холодильная установка способна поддерживать максимально низкую среднюю температуру при средней наружной температуре +30 °C, на данном изотермическом фургоне, равную -13,10 °C.

2. Изотермический фургон автомобиля *Газель Next* может быть отнесен к транспортному средству-рефрижератору с нормальной изоляцией, имеющему такую холодильную установку, при которой температура внутри фургона может выбираться между +12 °С и -10 °С включительно (класс FNB по классификации СПС).

Выводы

Описаны характеристики и особенности изотермической камеры; представлены виды испытаний, которые можно проводить в климатической камере. Изложенная методика позволяет определять полезную холодопроизводительность холодильного оборудования. Соответственно, с известным коэффициентом теплопередачи изотермического фургона и величиной полезной холодопроизводительности, установленной на данном фургоне холодильной установки, методика позволяет отнести транспортное средство к тому или иному классу транспортного средства – рефрижератора, согласно классификации СПС.

Результаты данного исследования могут быть использованы в качестве справочного материала при оценке эффективности работы холодильного оборудования транспортного средства-рефрижератора.

Библиографический список

1. Технический регламент «О безопасности колесных транспортных средств» (ТР ТС 018/2011). Постановление правительства Российской Федерации №877 от 09.12.2011г. [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.tehexpert.org/images/doc/legts877.pdf (Дата обращения: 13.05.2021)
2. Соглашение о международных перевозках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих перевозок (СПС).1 сентября 1970 г., г. Женева, с изменениями по состоянию на 23сентября 2013 г. // [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://unece.org/DAM/trans/main/wp11/ATP_publication/2020/ECE_TRANS_290_Ru_web_protected.pdf (Дата обращения: 13.05.2021)
3. ГОСТ 33665-2015. Автомобили скорой медицинской помощи. Технические требования и методы испытаний [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/1200136413 (Дата обращения: 13.05.2021)
4. Испытательная станция НГТУ им. Р.Е. Алексеева [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://diman-nn.umi.ru/ (Дата обращения: 26.09.2021).
5. Мельников, В.А. Комплекс по оценке изотермических свойств фургонов и полезной холодопроизводительности транспортных холодильных систем [Текст] / А.А. Мустафьев, Б.А. Оболенский, А.С. Вашурин, А.М. Грошев, Г.А. Коникова, А.В. Тумасов // Журнал автомобильных инженеров. 2011. № 1(66). С. 30-32.
6. Петров, А.А. Испытательная станция проверки транспортных средств на соответствие требованиям СПС [Текст] / Б.А. Оболенский, М.Г. Корчажкин // Транспортные системы. 2017. №3(6). С. 12-20.