

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

Конев В.В.<sup>1</sup>, Закирзаков Г.Г.<sup>1</sup>, Райшев Д.В.<sup>1</sup>, Мерданов М.Ш.<sup>1</sup>, Саудаханов Р.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень, Россия (625000, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72), e-mail: [konev@tsogu.ru](mailto:konev@tsogu.ru)

Большой объем работ строительного-дорожного оборудования на северных территориях России осуществляется в зимний период. Вдали от стационарных баз (в полевых условиях) хранение машин между рабочими сменами проводится без гаражей. В этих условиях возникают трудности с запуском машины в работу. Изменяется тепловое состояние всех агрегатов машины. При этом авторами поставлена задача определения количества тепла, выделяемого во время рабочей смены агрегатами машины, и снижения интенсивности рассеивания тепла при стоянке с целью облегчения запуска машины в начале рабочей смены. Сохранение тепла агрегатов машины осуществляется с применением новой конструкции передвижного гаража для строительного-дорожного оборудования. Задача решается из расчета установившегося теплового баланса мобильного гаража с учетом суммы тепловыделений в гараж: от находящегося в кабине экипажа, двигателя, трансмиссии, узлов гидроборудования, электрооборудования, трубопровода охлаждающей жидкости, отопителей, а также тепловой мощности, отводимой из гаража в окружающую среду, тепловой энергии, отводимой из гаража за счет воздухообмена через теплоизолирующий материал. В результате расчета получены время охлаждения агрегатов машины в гараже при различной толщине теплоизолирующего материала и температуры окружающего воздуха.

Ключевые слова: тепловая подготовка, запуск машины, передвижной гараж, строительного-дорожного оборудования, хранение, тепловой расчет.

## MATHEMATICAL MODELING OF HEAT STATE ROAD CONSTRUCTION MACHINERY

Konev V.V.<sup>1</sup>, Zakirzakov G.G.<sup>1</sup>, Raishev D.V.<sup>1</sup>, Merdanov M.Sh.<sup>1</sup>, Saudahanov R.I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FGBOU VPO "Tyumen State Oil and Gas University", Tyumen, Russia (625000, st. Melnikaite 72), e-mail: [konev@tsogu.ru](mailto:konev@tsogu.ru)

Large amount of work road construction machinery in the northern territories of Russia is carried out in the winter. Away from fixed bases (in the field) storage machines between shifts is carried out without garages. Under these conditions, there are difficulties with starting the machine in operation. Changes the thermal state of all units of the machine. The authors also tasked with determining the amount of heat generated during the work shift units of the machine and reduce the intensity of heat dissipation when parking lot in order to facilitate the launch of the machine at the beginning of the work shift. Heat retention units of the machine is carried out using a new design of a mobile garage for road construction machinery. The problem is solved on the basis of steady heat balance mobile garage with the amount of heat generation in the garage from being in the cockpit, engine, transmission, hydraulic units, electrical equipment, piping coolant heaters, and heat dissipation from the garage into the environment, thermal energy withdrawn from the garage through the air through the heat insulating material. As a result of the calculation obtained during cooling units in the garage with different thickness insulating material and the ambient temperature.

Keywords: thermal preparation, running machines, mobile garage, construction machinery, storage, thermal design.

При строительстве нефтегазовых объектов, их обслуживании и ремонте [2] основные объемы работ в строительстве выполняются в зимний период, т.к. в летний период северные территории России при отсутствии дорог труднодоступны для строительного-дорожного оборудования (СДМ) [7].

В Западной Сибири средняя температура самого холодного месяца – января составляет – 25 °С [3]. Одной из основных проблем при эксплуатации СДМ является обеспечение теплового состояния всех агрегатов машины. Возникает необходимость проведения

тепловой подготовки (работа двигателей внутреннего сгорания, гидросистем, электрооборудования, микроклимат в кабине) [6]. Исследования по рассматриваемой проблеме содержат подходы по моделированию процессов изменения качества машин [3].

Тепловая подготовка машины к работе энергоемка и продолжительна по времени. Использование СДМ северного исполнения «ХЛ» не решает проблемы. При этом нужно учитывать удаленность объектов строительства от стационарных баз. Это затрудняет возможность применения электропрогрева, групповых систем прогрева машин, хранение машин в стационарных гаражах, а также возникают трудности с проведением ТО и Р [8-10]. Поэтому одним из вариантов решения указанной проблемы предложено разработать передвижной гараж для СДМ.

Гаражи, предлагаемые другими исследователями и разработчиками, предназначены для хранения малогабаритных транспортных средств. Использование конструкций таких гаражей для СДМ приводит к росту его материалоемкости, что затрудняет его эксплуатацию при большой длительности и трудоемкости сборки-разборки, транспортировки. Ранее предложенные гаражи не предназначены для использования в зимних условиях вдали от баз на нефтегазовых объектах. В ходе выполнения работы разработана конструкция гаража, основными преимуществами которого являются: мобильность (малый вес конструкции и наличие приспособлений для транспортирования), низкая себестоимость, быстрота сборки, простота конструкции, сохранение тепла во время ночной стоянки (8-16 часов) для обеспечения надежного пуска агрегатов машины в начале рабочей смены [5].

Эффективность конструкции предложенного гаража при использовании в условиях отрицательных температур определяется его теплотехническими характеристиками. Решение задачи теплового состояния ведется из условия достижения наибольшей эффективности конструкции гаража при наименьших затратах энергии [1].

В основу расчета времени охлаждения гаража при нахождении в ней машины в период межсменной стоянки положено соотношение между затратами тепловой энергии, полученной в результате сменной работы машины, и ограждающей конструкцией гаража.

Распределение энергии топлива  $\mathcal{E}_m$ , расходуемого при работе машины за смену, распределяется следующим образом. Схема распределения энергии топлива представлена на рис. 1. Основной ее поток  $\mathcal{E}_{m1}$  направляется к дизелю и преобразуется частично в механическую энергию коленчатого вала  $\mathcal{E}_3$ . Это полезная часть энергии  $\mathcal{E}_{m1}$ , реализуемая на рабочем органе при совершении им работы. Остальная ее часть либо от корпуса двигателя рассеивается в окружающее пространство ( $\mathcal{E}_{ad}$ ), либо теряется с выхлопными газами ( $\mathcal{E}_2$ ). К рабочему органу подводится не вся энергия  $\mathcal{E}_3$ , а только ее часть -  $\mathcal{E}_{po}$ . Остальная энергия

( $\mathcal{E}_{am}$ ) – рассеивается в атмосферу. Все эти показатели являются составляющими тепловой энергии, выделяемой в мобильный гараж.

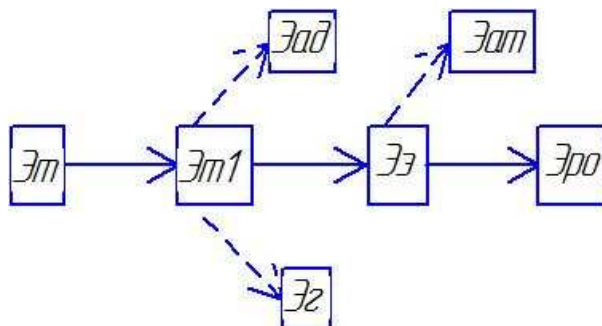


Рис. 1. Схема распределения энергии топлива.

При формировании теплового баланса гараж рассматривается как замкнутая камера, внутри которой находится источник тепла (СДМ). Установившийся тепловой баланс мобильного гаража описывается уравнением:

$$\sum_{i=1}^n Q_i - Q_{вн} + C_{рв} \cdot G_{вент} \cdot T_{вент} - C_{рв} G_{ВО} T_{ВО} = 0, \quad (1.1)$$

где

$$- \sum_{i=1}^n Q_i = Q_u + Q_{ов} + Q_{ТМ} + Q_{ГДР} + Q_{эл} + Q_{охл} + Q_{ОТ} - \text{сумма тепловыделений в}$$

гараж за 1 сек от находящегося в кабине экипажа, тепловыделений двигателя, трансмиссии, узлов гидрооборудования, электрооборудования, трубопровода охлаждающей жидкости, отопителей, кВт;

-  $Q_{вн}$  – тепловая мощность, отводимая из гаража в окружающую среду, кВт;

-  $C_{рв} \cdot G_{вент} \cdot T_{вент}$  – тепловая энергия, отводимая за 1 сек из гаража за счет воздухообмена через теплоизолирующий материал и вытяжную трубу, кВт;

-  $C_{рв} G_{ВО} T_{ВО} = 0$ , т.к. подогревающее устройство отсутствует.

Тепловыделения экипажа  $Q_u$ , находящегося в кабине, определяются по данным, приведенным в табл. 1.

Тепловыделения ДВС определяются по формуле:

$$Q_{ов} = \alpha \cdot F_{ов} \cdot (T_{ов} - T_{в.вн}), \quad (1.2)$$

где

-  $F_{ов}$  – площадь поверхности части корпуса двигателя, выходящей в гараж;

-  $T_{\partial\epsilon}$  - температура площади поверхности части корпуса двигателя, выходящей в гараж, (50...60 °С);

-  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи в кДж/(м<sup>2</sup>·°С), определяется по формуле:

$$\alpha = 35 + 0,25(T_{\partial\epsilon} - T_{в.вн}) \quad (1.3)$$

Таблица 1

Характеристика тепловыделений экипажа

Температура воздуха $T_{вн}$ в кабине, °С	20	21	22	23	25	25-35
Тепловыделения одного человека, кДж/ч:						
для человека в покое	419	398	368	368	352	335
для человека, занятого легкой работой	544	540	532	532	528	523
для человека, занятого средней работой	733	729	720	720	716	712

Тепловыделения трансмиссии  $Q_{тр}$  и гидрооборудования  $Q_{гдр}$  определяются по формулам [1; 6]:

$$Q_{тр} = \alpha \cdot F_{тр} \cdot (T_{тл} - T_{в.вн}), \quad (1.4)$$

$$Q_{гдр} = \alpha \cdot F_{гдр} \cdot (T_{гдр} - T_{в.вн}), \quad (1.5)$$

где

-  $F_{тр}$ ,  $F_{гдр}$  – площади поверхности частей трансмиссии и гидрооборудования, выходящих в гараж, м<sup>2</sup>;

-  $T_{тр}$  – температура поверхности трансмиссии (50...60 °С);

-  $T_{гдр}$  - температура поверхности гидрооборудования (150 °С).

Тепловыделения электрооборудования могут быть определены по формуле:

$$Q_{эл} = (1 - \eta) \cdot (N_{\partial} + N_{л}), \quad (1.6)$$

где

-  $N_{л}$  – суммарная мощность электроламп, установленных на СДМ, Вт;

-  $N_{\partial}$  – мощность, потребляемая электродвигателями, Вт;

-  $\eta$  – КПД электродвигателей.

Потери тепла через ограждающие конструкции гаража определяются по следующему уравнению теплопередачи:

$$Q_{вн} = K \cdot (T_{в.вн} - T_{в}) \cdot F_{зар}. \quad (1.7)$$

Рассчитав общее количество тепла, время охлаждения гаража определяется по формуле:

$$\tau = \frac{Q_{общ}}{\alpha \cdot F} \cdot \ln \frac{t_{нач.зар} - t_{возд}}{t_{кон.зар} - t_{возд}}. \quad (1.8)$$

Для толщины теплоизоляции  $\delta=0,02$  м (на примере минеральной ваты) время охлаждения при температурах -20, -40, -60 °С соответственно составит:

$$\tau = \frac{17,22 \cdot 10^3}{7,2 \cdot 108} \cdot \ln \frac{-5 - (-20)}{-10 - (-20)} = 8,7 \text{ ч},$$

$$\tau = \frac{17,22 \cdot 10^3}{7,2 \cdot 108} \cdot \ln \frac{-15 - (-40)}{-20 - (-40)} = 5 \text{ ч},$$

$$\tau = \frac{17,22 \cdot 10^3}{7,2 \cdot 108} \cdot \ln \frac{-30 - (-60)}{-35 - (-60)} = 3,5 \text{ ч}.$$

Для толщины теплоизоляции  $\delta=0,06$  м время охлаждения при температурах -20, -40, -60 °С соответственно составит:

$$\tau = \frac{17,22 \cdot 10^3}{5,1 \cdot 108} \cdot \ln \frac{-5 - (-20)}{-10 - (-20)} = 12,5 \text{ ч};$$

$$\tau = \frac{17,22 \cdot 10^3}{5,1 \cdot 108} \cdot \ln \frac{-15 - (-40)}{-20 - (-40)} = 7 \text{ ч};$$

$$\tau = \frac{17,22 \cdot 10^3}{5,1 \cdot 108} \cdot \ln \frac{-30 - (-60)}{-35 - (-60)} = 5,6 \text{ ч}.$$

Для толщины теплоизоляции  $\delta=0,1$  м время охлаждения при температурах -20, -40, -60 °С соответственно составит:

$$\tau = \frac{17,22 \cdot 10^3}{3,5 \cdot 108} \cdot \ln \frac{-5 - (-20)}{-10 - (-20)} = 18 \text{ ч};$$

$$\tau = \frac{17,22 \cdot 10^3}{3,5 \cdot 108} \cdot \ln \frac{-15 - (-40)}{-20 - (-40)} = 10 \text{ ч};$$

$$\tau = \frac{17,22 \cdot 10^3}{3,5 \cdot 108} \cdot \ln \frac{-30 - (-60)}{-35 - (-60)} = 8 \text{ ч}.$$

Результаты расчетов по охлаждению гаража представлены в табл. 2.

Анализ результатов расчетов показывает, что из условий межсменной стоянки СДМ (не менее 8 часов) толщина теплоизоляционного материала должна быть около 0,1 м.

Работоспособность конструкции гаража определяется прочностью металлоконструкции, параметрами теплоизоляционного материала, устойчивостью.

Таблица 2

Результаты расчетов по охлаждению гаража

Толщина теплоизоляции, $\delta$ (м)	Время охлаждения гаража, $\tau$ (ч) при температуре воздуха, $t_{воз}$ (°C)		
	-20	-40	-60
0,02	8,7	5	3,5
0,06	12,5	7	5,6
0,1	18	10	8

Экономический эффект предполагается достичь за счет сокращения расхода топлива на тепловую подготовку СДМ, повышения ее производительности за смену (т.к. уменьшается время тепловой подготовки), повышения надежности (снижение времени простоя машины в зонах ТО и Р). Экологический эффект достигается за счет снижения выбросов отработавших газов ДВС при подготовке СДМ к работе.

### Список литературы

1. Вашуркин И.О. Тепловая подготовка строительных машин в условиях сурового климата. – СПб. : Наука, 2005.
2. Иванов И.А. [Геотехнические проблемы трубопроводного транспорта](#) : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 131000 «Нефтегазовое дело» / И.А. Иванов, С.Я. Кушнир, С.А. Пульников ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Тюменский гос. нефтегазовый ун-т». - Тюмень, 2011.
3. Захаров Н.С. Моделирование процессов изменения качества автомобилей. - Тюмень : ТюмГНГУ, 1999. - 127 с.
4. Карнаухов Н.Н. Приспособление строительных машин к условиям Российского Севера и Сибири. - М. : Недра, 1994. - С. 352.

5. Конев В.В., Райшев Д.В., Саудаханов Р.И. Разработка конструкции гаража для строительного-дорожного машин, эксплуатируемых в условиях Севера // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. - URL: <http://www.science-education.ru/120-16672> (дата обращения: 26.12.2014).
6. Конев В.В., Карнаухов Н.Н., Гуляев Б.А., Бородин Д.М., Карнаухов М.М., Половников Е.В. Математическое моделирование тепловых процессов локального прогрева гидродвигателя [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 5. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/119-15076> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
7. Мерданов Ш.М., Спиричев М.Ю., Шаруха А.В., Егоров А.Л. [Технология строительства снеголедовых дорог](#) // [Современные проблемы науки и образования](#). - 2013. - [№ 5](#). - С. 112.
8. Созонов С.В. [и др.] Ремонт автотранспортной и специальной техники в полевых условиях [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. - 2014. - № 3. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2510> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
9. Мерданов Ш.М., Якубовский Ю.Я., Конев В.В., Карнаухов М.М. Исследование и разработка системы тепловой подготовки гидропривода строительного-дорожного машин // Строительные и дорожные машины. - 2013. - № 1. - С. 27-29.
10. Konev V., Merdanov Sh., Karnaukhov M. & Borodin D. Thermal preparation of the trailbuilder fluid drive / Energy Production and Management in the 21st Century - The Quest for Sustainable Energy, 2014, Vol. 1. - Southampton. WIT Press, 2014. - P. 697-706.

**Рецензенты:**

Якубовский Ю.Е., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Прикладная механика» ТюмГНГУ ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Карнаухов В.Н., д.т.н., профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.