

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛОИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ ГИДРОЛИНИИ В ГИДРОСИСТЕМЕ КАРЬЕРНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА

Аннотация: Основу парка карьерных гидравлических экскаваторов в республике Вьетнам составляет техника, приобретенная на вторичном рынке. Климатическое исполнение этих машин рассчитано на страны с умеренным и холодным климатом. Поэтому научно обоснованная модернизация гидравлических систем для обеспечения надежной продолжительной работы всего гидравлического оборудования становится актуальной задачей. Основываясь на термодинамической теории и поддержке программного обеспечения Matlab-Simulink 7.04, авторы рассмотрели процесс теплообмена рабочей жидкости гидропривода с окружающей средой через стенку гидролинии карьерного гидравлического экскаватора, построили математическую модель и выполнили анализ влияния температуры окружающей среды на интенсивность теплоотдачи рабочей жидкости в гидролиниях гидросистемы карьерных экскаваторов при эксплуатации в условиях повышенной температуры окружающей среды.

Ключевые слова: карьерный гидравлический экскаватор, теплоотдача, свободная конвекция, вынужденная конвекция, тепловое излучение, рабочая жидкость, гидролиния, гидросистема.

Информация о статье: принята 12 октября 2020 г.
DOI: 10.26730/1816-4528-2020-5-39-44

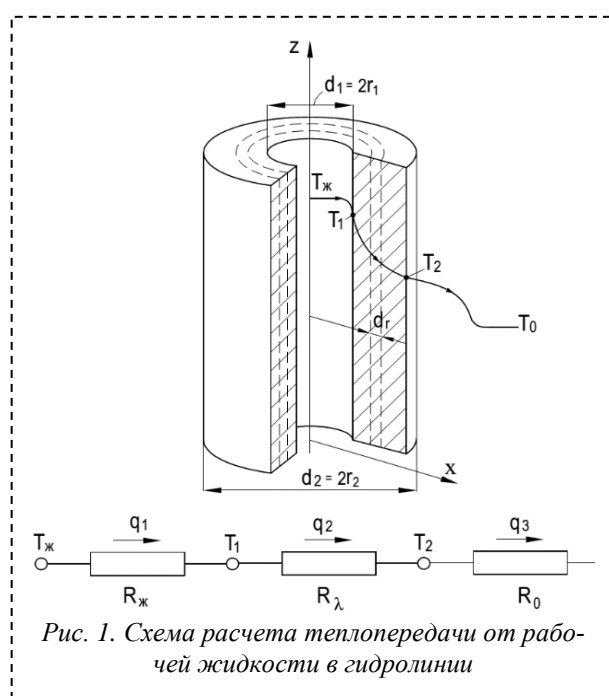
1. Введение

Силовой гидропривод современных карьерных гидравлических экскаваторов имеет довольно высокий коэффициент полезного действия, но учитывая мощность затрачиваемую гидравлической системой на выполнение работы потери мощности в абсолютных значениях составляют существенные величины. [1, 2, 3] Эти потери энергии преобразуются в тепло, которое поглощает рабочая жидкость гидравлической системы. В результате, в процессе эксплуатации гидросистемы температура рабочей жидкости (РЖ) очень быстро повышается и часто превышает значения рекомендованные производителем, особенно в странах с жарким климатом, таких как Вьетнам. Во многих исследованиях гидравлических систем ранее был сделан вывод о том, что более 80% отказов гидравлических систем связаны с тем, что температура рабочей жидкости слишком высока. [4, 5, 6 7] Выполненное авторами исследование интенсивности теплоотдачи гидравлических систем, может служить основой расчета для поддержания температуры рабочей жидкости гидропривода в оптимальном диапазоне рабочих температур. Результаты полученные авторами помогут продлить срок службы рабочей жидкости, уменьшить число отказов, повысить производительность оборудования, продлить срок службы оборудования гидросистем, снизить затраты на ремонт и повысить надежность карьерных гидравлических экскаваторов эксплуатируемых в тяжелых климатических условиях.

2. Методика расчета влияния температуры окружающей среды на теплоотдачу рабочих

жидкостей в однослойных гидравлических трубопроводах.

Тепло от рабочей жидкости передается в окружающую среду через все элементы гидравлической системы экскаватора. Скорость этого процесса зависит от многих факторов. Некоторые из них носят случайный характер, другие определены конструктивно. В данной статье авторы рассматривают только результаты исследования влияния



температуры окружающей среды (T_o , °C) на скорость процесса теплоотдачи рабочих жидкостей в однослойных трубах. Здесь необходимо заметить, что к понятию однослойных труб могут быть отнесены не только гидролинии, но и гильзы гидроцилиндров.

Процесс перехода тепла от рабочей жидкости в окружающую среду через стенку однослойной трубы в гидравлической системы карьерного экскаватора, можно разделить на три этапа: теплообмен между рабочей жидкостью и внутренней поверхностью трубы, теплопередача в стенке трубы и отдача тепла наружной поверхностью гидролинии в окружающую среду (рис. 1). Интенсивность транспорта тепла на всех тех этапах определяется физическими свойствами носителей тепла, формой их взаимодействия и внешними климатическими факторами [4, 6, 8]. Скорость процесса в целом определяется самым медленным из этапов, но чтобы выяснить на каком этапе процесса скорость передачи тепла наименьшая, чем в двух остальных необходим расчет всех трех этапов.

При разработке математической модели процесса теплообмена мы исходили из того, что гидравлическая система экскаватора находится в состоянии температурного равновесия с окружающей средой. Дополнительно нами было принято предположение, что параметры окружающей среды остаются стабильными длительное время. На основании этого допущения мы предполагаем следующее:

- процесс теплопроводности стабилен и количество тепла излучаемого в окружающую среду не меняется с течением времени;
- температура рабочей жидкости не изменяется по длине гидролинии и в течение рассматриваемого времени;
- коэффициенты теплопроводности стенки гидролинии, теплопроводности и объемного расширения рабочей жидкости не изменяются в пределах исследуемого температурного диапазона. [9]

Интенсивность вынужденного конвективного теплообмена рабочей жидкости с внутренней поверхностью гидролинии находится в прямой зависимости от разности температур потока и стенок трубы, теплопроводности стенок трубы, теплопроводности самой жидкости, а также от характера ее течения. Для определения интенсивности теплообмена в математической модели использована формула Ньютона - Рихмана [9, 10]:

$$Q_1 = \alpha_{ж} S_1 (T_{ж} - T_1), \quad (\text{Вт}) \quad (1)$$

где: $T_{ж}$ – температура рабочей жидкости, (°C); T_1 – температура на внутренней поверхности трубы, (°C); $\alpha_{ж}$ – коэффициент теплоотдачи рабочей жидкости, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; S_1 – площадь внутренней поверхности трубы, (м^2), которая определяется по формуле:

$$S_1 = \pi d_1 l \quad (2)$$

где: d_1 – внутренний диаметр трубы, (м); l – длина трубы, (м); $\alpha_{ж}$ – коэффициент теплоотдачи рабочей жидкости, который определяется через число Нуссельта, значение которого мы определяем, используя уравнение Диттуса-Болтера [9, 10, 11]:

$$Nu = \frac{\alpha_{ж} d_1}{\lambda_{ж}} \rightarrow \alpha_{ж} = Nu \frac{\lambda_{ж}}{d_1} \quad (3)$$

здесь: $\lambda_{ж}$ – коэффициент теплопроводности рабочей жидкости, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; d_1 – внутренний диаметр трубы, (м); Nu – число Нуссельта, зависит от характера движения потока следующим образом [8, 9]:

+ При ламинарном режиме и $l/d \geq 50$:

$$Nu = 0,15 \cdot Re^{0,33} Pr^{0,43} Gr^{0,1} \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0,25} \quad (4)$$

+ При ламинарном режиме и $l/d < 50$:

$$Nu = 0,15 \cdot Re^{0,33} Pr^{0,43} Gr^{0,1} \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0,25} \varepsilon_l \quad (5)$$

+ При турбулентном режиме и $l/d \geq 50$:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0,25} \quad (6)$$

+ При турбулентном режиме и $l/d < 50$:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0,25} \varepsilon'_l \quad (7)$$

где: Gr – число Грасгофа, которое определяется по формуле:

$$Gr = g \beta \Delta t \frac{L^3}{\nu^2}, \quad (8)$$

где L – характерный геометрический размер; β – температурный коэффициент объемного расширения рабочей жидкости (РЖ), ($1/\text{К}$); g – ускорение свободного падения, ($g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$); Δt – характерный температурный напор, (°C); ν – кинематический коэффициент вязкости РЖ, ($\text{м}^2/\text{с}$); $\varepsilon_l, \varepsilon'_l$ – коэффициенты учитывающие изменение среднего коэффициента теплоотдачи по длине трубы. Если $l/d \geq 50$, то $\varepsilon_l = 1$ (или $\varepsilon'_l = 1$), при $l/d < 50$ необходимо учитывать влияние теплового начального участка.

число Прандтля рабочей жидкости при температуре потока Pr ;

$$Pr = \frac{\mu c_p}{\lambda} \quad (9)$$

где: μ – динамический коэффициент вязкости РЖ, ($\text{Па} \cdot \text{с}$); c_p – удельная теплоемкость РЖ, ($\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{°C})$); λ – коэффициент теплопроводности РЖ, ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$); Pr_w – Число Прандтля рабочей жидкости при температуре пограничного слоя, Re – Число Рейнольдса:

Второй этап процесса перехода тепла от рабочей жидкости в окружающую среду через стенку однослойной трубы в гидравлической системе карьерного экскаватора определяется в первую очередь толщиной стенки, разницей температур и теплопроводностью материала. В математической модели для этого использована формула определения количества теплоты, проходящего в единицу времени через однородную стенку, согласно закону Фурье: [9, 10, 11]:

$$Q_2 = -\lambda \frac{dt}{dr} S = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{1}{2\pi\lambda L} \ln \left(\frac{d_2}{d_1} \right)}, \quad (\text{Вт}) \quad (10)$$

где: λ – коэффициент теплопроводности материала (постоянен для однородного материала, ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$). (например: сталь (45,5), мед (395), алюминий (210) и др. [10]); T_1, T_2 – температура

внутренней и внешней поверхности трубы, ($^{\circ}\text{C}$); d_1, d_2 – внутренний и внешний диаметр трубы, (м);

Пройдя через стенку трубы тепло переносится свободной конвекцией с наружной поверхности гидролинии в окружающий воздух. Интенсивность этого процесса определяется по формуле: [9, 10, 11].

$$Q_3 = \alpha_o S_2 (T_2 - T_o), \quad (\text{Вт}) \quad (11)$$

здесь: T_2 – температура внешней поверхности трубы, ($^{\circ}\text{C}$); T_o – температура окружающей среды, ($^{\circ}\text{C}$); S_2 – площадь внешней поверхности трубы, (м^2);

$$S_2 = \pi d_2 l \quad (12)$$

здесь: d_2 – внешний диаметр трубы, (м); l – длина трубы, (м);

Коэффициент теплоотдачи свободной конвекции α_o , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, [8, 9]:

$$\alpha_o = \frac{Nu_m \lambda_m}{L} \quad (13)$$

где: L – характерный размер трубы, (м). Для горизонтальных труб принят внутренний диаметр d_1 ; Nu_m – число Нуссельта при свободной конвекции [9, 10]:

+ Для горизонтальной трубы и $10^3 < Gr_m \cdot Pr_m < 10^8$

$$Nu_m = 0,5 (Gr_m \cdot Pr_m)^{0,25} \left(\frac{Pr_m}{Pr_w} \right)^{0,25} \quad (14)$$

+ Для вертикальной трубы и $10^3 < Gr_m \cdot Pr_m < 10^9$ (ламинарный режим)

$$Nu_m = 0,76 (Gr_m \cdot Pr_m)^{0,25} \left(\frac{Pr_m}{Pr_w} \right)^{0,25} \quad (15)$$

+ Для вертикальной трубы и $Gr_m \cdot Pr_m > 10^9$ (турбулентный режим)

$$Nu_m = 0,15 (Gr_m \cdot Pr_m)^{0,33} \left(\frac{Pr_m}{Pr_w} \right)^{0,25} \quad (16)$$

где: множитель $\left(\frac{Pr_m}{Pr_w} \right)^{0,25}$ представляет собой поправку, учитывающую зависимость физических свойств теплоносителя (в основном вязкости) от температуры. В общем случае, в зависимости от направления теплового потока эта поправка может быть как больше, так и меньше единицы; Gr_m – число Грасгофа:

$$Gr_m = g \beta \Delta t \frac{L^3}{\nu^2} \quad (17)$$

β – Температурный коэффициент объёмного расширения жидкости, ($1/\text{К}$), а для воздуха:

$$\beta = \frac{1}{(T_o + 273)} \quad (18)$$

Δt – характерный температурный напор между внешней поверхностью трубы и окружающей средой, ($^{\circ}\text{C}$);

$$\Delta t = T_2 - T_o \quad (19)$$

Незначительная часть тепла в виде излучения, испускается наружной поверхностью стенки трубы. Оно полностью поглощается окружающей средой. Эта часть тепла, может быть определена по закону Стефана-Больцмана [9, 10, 11]:

$$Q_r = \epsilon \sigma F_2 (T_2^4 - T_o^4), \quad (\text{Вт}) \quad (20)$$

где: ϵ – термозмиссионная способность. Значение ϵ изменяется в пределах от 0 до 1; σ – постоянная Стефана-Больцмана ($\sigma = 5,6697 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$).

Предположив, что в установившемся режиме работы гидросистемы карьерного гидравлического экскаватора, потери тепла при переходах между средами равны 0, можем записать следующее равенство [9, 10, 11]:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 + Q_r, \quad (\text{Вт}) \quad (21)$$

Следовательно, полное количество тепла, излучаемое участком гидролинии в окружающую среду в единицу времени определяется следующим образом:

$$Q = (Q_3 + Q_r), \quad (\text{Вт}) \quad (22)$$

3. Результаты моделирования с помощью программного обеспечения Matlab-Simulink

Программное обеспечение Matlab-Simulink дает инженеру-исследователю широкие возможности моделирования рабочих процессов, учета различных факторов влияния и обеспечивает хорошую сходимость результатов. [12, 13] Математическая многофакторная модель Matlab-Simulink 7.04 построена на основе уравнений, представленных выше (формулы 1-22).

Расчет теплоотдачи был выполнен на примере участка стальной гидравлической трубы в системе привода рукояти гидравлического экскаватора Komatsu PC-750-7. Рассмотренный участок гидролинии представляет собой стальную трубу с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 45,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C}}$, длина трубы $l = 7,5 \text{ м}$, внутренний диаметр $d_1 = 19,05 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, толщина стенки трубы $\delta = 3 \text{ мм}$. Объемный расход РЖ $0,002 \text{ м}^3/\text{с}$. Рабочая жидкость Shell Tellus 46: плотность $\rho = 872 \text{ кг}/\text{м}^3$, динамический коэффициент вязкости РЖ $\mu = 99 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$, коэффициент теплопроводности РЖ $\lambda_{ж} = 0,144 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$, коэффициент температуропроводности РЖ $a = 6,85 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, удельная теплоемкость РЖ $c_p = 1645 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$, температурный коэффициент объёмного расширения рабочей жидкости $\beta = 9,03 \cdot 10^{-4} 1/\text{К}$, температура окружающей среды $T_o = (10 \div 43)^{\circ}\text{C}$. Расчет выполнен для трех значений температуры РЖ $T_{ж} = (60, 70, 80)^{\circ}\text{C}$; Диапазон значений температуры окружающей среды выбран исходя из сезонных колебаний температуры в республике Вьетнам: от 10 до 42 $^{\circ}\text{C}$. [13, 14, 15]

Моделирование процесса теплоотдачи участка стальной гидравлической трубы в системе привода рукояти гидравлического экскаватора Komatsu PC-750-7 показал, что разница температур внутренней и внешней поверхностей гидролинии нелинейно убывает с ростом температуры окружающей среды для всех значений температуры рабочей жидкости (табл. 1). Как результат нелинейно убывает скорость теплопередачи на втором этапе рассмотренного процесса (табл. 2).

4. Заключение

– Данные таблицы 1 показывают, что при повышении температуры окружающей среды, температура внутренней и внешней поверхности гидролинии тоже повышаются. Таким образом

Таблица 1. Температуры окружающей среды, внутренней и внешней поверхности гидролинии

Температура РЖ $T_{ж}$, (°C)	Температура внутренней и внешней поверхности гидролинии, (°C)	Температура окружающей среды, (T_0 , °C)						
		10	20	25	30	35	40	42
60	T_1	59,91	59,93	59,95	59,96	59,97	59,97	59,98
	T_2	55,52	56,69	57,23	57,75	58,23	58,69	58,86
	$\Delta T_{60} = T_1 - T_2$	4,39	3,24	2,72	2,21	1,74	1,28	1,12
70	T_1	69,9	69,92	69,93	69,94	69,95	69,96	69,96
	T_2	64,33	65,58	66,17	66,74	67,27	67,78	67,97
	$\Delta T_{70} = T_1 - T_2$	5,57	4,34	3,76	3,2	2,68	2,18	1,99
80	T_1	79,88	79,90	79,91	79,92	79,93	79,94	79,95
	T_2	73,09	74,41	75,04	75,64	76,21	76,77	76,98
	$\Delta T_{80} = T_1 - T_2$	6,79	5,49	4,87	4,28	3,72	3,17	2,97

Таблица 2 Влияние температуры окружающей среды на теплоотдачу из гидролинии

Тепло излучения за время $t = 20(c)$, (Вт) при:	Температура окружающей среды, (T_0 , °C)						
	10	20	25	30	35	40	42
$T_{ж} = 60^{\circ}C$	2094	1536	1278	1035	809,3	598,7	519,3
$T_{ж} = 70^{\circ}C$	2652	2054	1774	1507	1258	1020	928
$T_{ж} = 80^{\circ}C$	3238	2603	2303	2016	1747	1486	1385

Данные таблиц 1 и 2 обобщены в виде диаграммы рис. 2.

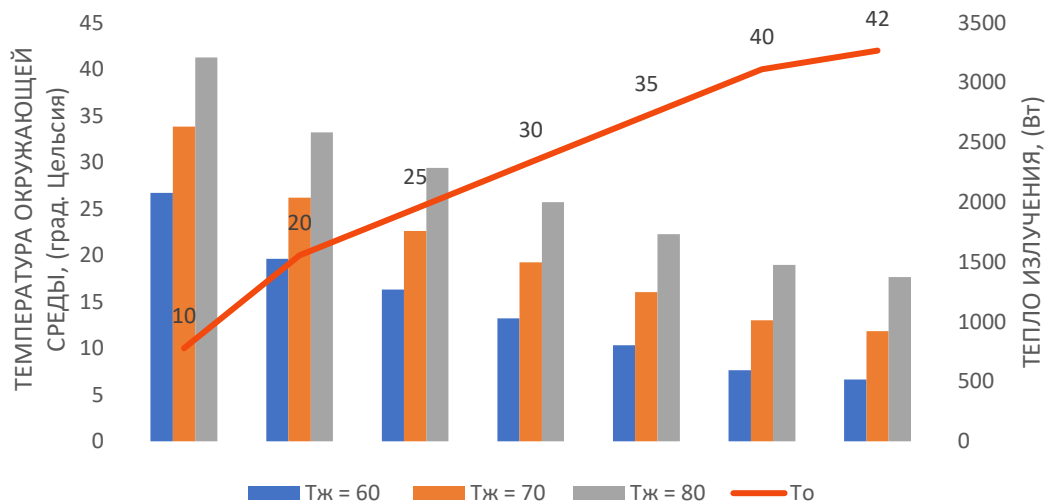


Рис. 2. Соотношение между температурой окружающей среды и теплом излучения рабочей жидкости в гидролинии

интенсивность теплоизлучения из внешней поверхности гидролинии в окружающую среду снижается, что приводит к снижению общего теплоизлучения рассматриваемого участка гидролинии;

- Из диаграммы (рис. 2) следует, что с ростом температуры окружающей среды, уменьшается угол наклона графика, что говорит о снижении скорости теплоотдачи рабочей жидкости из гидравлической трубы в окружающую среду;

- Таблица 2 и диаграмма (рис. 2) показывают, что тепло, излучаемое из участка гидравлической

трубы, быстро уменьшается с повышением температуры окружающей среды. Так например, когда температура окружающей среды увеличивается от $10^{\circ}C$ до $42^{\circ}C$, тепло излучения уменьшается в 4,03 раза при $T_{ж} = 60^{\circ}C$; 2,86 раза при $T_{ж} = 70^{\circ}C$; 2,34 раза при $T_{ж} = 80^{\circ}C$;

- Большинство эксплуатируемых во Вьетнаме гидравлических машин в целом и карьерные гидравлические экскаваторы в частности были разработаны для работы в странах с холодным или умеренным климатом и чтобы хорошо работать в странах с

тропическим климатом необходимо исследовать, рассчитать и совершенствовать систему охлаждения рабочей жидкости;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А., Шестаков В.С. Иванов И.Ю. Энергопотребление одноковшовых экскаваторов. М.: Горный журнал, 2018. № 1. – С.73-77.
2. Jungmeister, D.A. Korolev, R.I. Karlov, V.A. Improvement of shock system of hydraulic drill to increase drilling intensification. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2018 194(3),03 2006.
3. V.V.Gabov, D.A.Zadkov. Energy-saving modular units for selective coal cutting. Eurasian Mining 2016 №1 P 37-40.
4. Иванов С.Л., Иванова П.В., Асонов С.А. Индекс жесткости погоды как интегральный показатель влияния погодных условий на работоспособность карьерных экскаваторов//Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. №S38. С 559-568.
5. Velikanov V.S., Dyorina N.V., Antropova L.I., Zalavina T.Yu. About one of the factors determining the failure rate in the working equipment of mining excavators//Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol.1399(4). P044067 (1-8)
6. Шоль Н.Р., Бурмистров В.А., Тимохов Р.С. Зависимость теплофизических свойств жидкостей и материалов гидравлических приводов от

температуры//Белгород. Успехи современной науки и образования. 2017. №6. Т.2. с. 204-208.

7. Коваль П.В. Гидравлика и гидропривод горных машин. – М.: Машиностроение. 1979. – 319 с.

8. Сидорик Г.С. Экспериментальный стенд для исследования тепловых и аэродинамических процессов смешанно-конвективного теплообмена круглобразных труб и пучков// Труды БГТУ. 2018. серия 1. №1. с. 85-93.

9. Хоанг Т.Д. Теплопередача и Расчет теплообменника. «Научно-техническое издательство» Ханой 2001.

10. Михеев М.А, Михеева И.М. Основы теплопередачи. Издание второе, стереотипное. М., «Энергия» 1977.

11. Ibrahim Subhi Al-Natour B. Eng., M. Eng. Study of an open circuit hydraulic power system with compact cooler-reservoir unit. Scientific Studies and Research Centre Damascus-Syria. December 1992.

12. Нгуен Ф.К. Matlab and Simulink. «Научно-техническое издательство» Ханой 2004.

13. Великанов В.С. Усов И.Г., Абдрахманов А.А., Усов И.И. Моделирование и оптимизация режимов работы горных машин с использованием среды MATHLAB//Горный журнал. 2017. №12. С 78-81.

14. Catalog Komatsu 750LC-7, Komatsu 750LC-7.

15. Жуков Н.П. Гидравлический расчёт объёмного гидропривода с возвратно-поступательным движением выходного звена: методические указания. Тамбов: Издательство ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 32 с.

Aleksandr E. Krivenko, C. Sc. In Engineering, Associate Professor, **Quok K. Giang**, Postgraduate

NUST MISIS, 119049, Moscow, Russia, Leninsky av. 4

STUDY OF THE INFLUENCE OF AMBIENT TEMPERATURE ON THE INTENSITY OF HEAT RADIATION FROM A HYDROLINE IN A HYDRAULIC SYSTEM OF A MINING HYDRAULIC EXCAVATOR

Abstract: The majority of mining hydraulic excavators in the Republic of Vietnam is the equipment purchased on the secondary market. The climatic performance of these machines is designed for countries with temperate and cold climates. Therefore, scientifically based modernization of hydraulic systems to ensure reliable long-term operation of all hydraulic equipment becomes an urgent task. Based on the thermodynamic theory and support of the Matlab-Simulink 7.04 software, the authors considered the process of heat exchange of the working fluid of a hydraulic drive with the environment through the wall of the hydraulic line of a mining hydraulic excavator, built a mathematical model and analyzed the effect of ambient temperature on the intensity of heat transfer of the working fluid in hydraulic lines of the hydraulic system of mining excavators when operating at elevated ambient temperatures.

Keywords: mining hydraulic excavator, heat transfer, free convection, forced convection, heat radiation, working fluid, hydraulic line, hydraulic system.

Article info: received October 12, 2020

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-5-39-44

REFERENCES

1. Komissarov A.P., Lagunova J.A., Shestakov V.S., Ivanov I.J. Power consumption of single-bucket excavators. M.: Mining journal, 2018. No. 1. - P.73-77.

2. Jungmeister, D.A. Korolev, R.I. Karlov, V.A. Improvement of shock system of hydraulic drill to increase drilling intensification// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2018 194 (3). 03 2006.

3. V. V. Gabov, D. A. Zadkov. Energy-saving modular units for selective coal cutting//Eurasian Mining 2016. №1. P 37-40.

4. Ivanov S.L., Ivanova P.V., Asonov S.A. Weather severity index as an integral indicator of the influence of weather conditions on the performance of open-pit excavators//Gornyi informational-analytical bulletin. 2017. No. S38. 559-568.

5. Velikanov V.S., Dyorina N.V., Antropova L.I., Zalavina T.Yu. About one of the factors determining the failure rate in the working equipment of mining excavators // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol.1399 (4). P044067 (1-8)

6. Shol N.R., Burmistrov V.A., Timokhov R.S. Dependence of thermophysical properties of fluids and materials of hydraulic drives on temperature // Belgorod. The successes of modern science and education. 2017. No. 6. T.2. from. 204-208.

7. Koval P.V. Hydraulics and hydraulic drive of mining machines. - M.: Mechanical engineering. 1979. - 319 p.

8. Sidorik G.S. Test bench for studying thermal and aerodynamic processes of mixed-convective heat

transfer of round ribbed pipes and bundles // Proceedings of BSTU. 2018. series 1. No. 1. from. 85-93.

9. Hoang T.D. Heat transfer and heat transfer calculation. Science and Technology Publishing House Hanoi 2001.

10. Mikheev M.A., Mikheeva I.M. Heat Transfer Basics. Second edition, stereotyped. M.: "Energy" 1977.

11. Ibrahim Subhi Al-Natour B. Eng., M. Eng. Study of an open circuit hydraulic power system with compact cooler-reservoir unit. Scientific Studies and Research Center Damascus-Syria. December 1992.

12. Nguyen F.C. Matlab and Simulink. "Scientific and technical publishing house" Hanoi 2004.

13. Velikanov V.S. Usov I.G., Abdrakhmanov A.A., Usov I.I. Modeling and optimization of operating modes of mining machines using the MATHLAB environment // Mining Journal. 2017. No. 12. C 78-81.

14. Catalog Komatsu 750LC-7, Komatsu 750LC-7.

15. Zhukov N.P. Hydraulic calculation of a volumetric hydraulic drive with a reciprocating movement of the output link: guidelines. Tambov: Publishing house of GOU VPO TSTU, 2010. - 32 p.

Библиографическое описание статьи

Кривенко А.Е., Занг К.К. Исследование влияния температуры окружающей среды на интенсивность теплоизлучения из гидролинии в гидросистеме карьерного гидравлического экскаватора // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 5 (151). – С. 39-44.

Reference to article

Krivenko A.E., Giang Q.K. Study of the influence of ambient temperature on the intensity of heat radiation from a hydroline in a hydraulic system of a mining hydraulic excavator. Mining Equipment and Electromechanics, 2020, no.5 (151), pp. 39-44.