



## Тепловая подготовка гидропривода мобильных машин с использованием системы автоматического управления

*В.В. Конев, Д.М. Бородин, Е.В. Половников,  
Ш.М. Мерданов, Г.Г. Закирзаков*

*Тюменский индустриальный университет, Тюмень*

**Аннотация:** На территориях Севера России в связи с функционированием и развитием нефтегазового комплекса эксплуатируется большой парк гидрофицированных мобильных машин. Эксплуатация такой техники затруднительна в условиях низких отрицательных температур окружающего воздуха по причинам изменения теплового состояния агрегатов, элементов систем машин. Гидравлическая система в отличие от других систем машин распределена по всей машине, имеет большую протяженность, много элементов. Эффективность прогрева которых зависит от очередности, одновременности включения с учетом продолжительности и интенсивности прогрева каждого элемента. Данная задача решается путем автоматизации процесса тепловой подготовки гидропривода машин. Для этого разработана схема автоматизации процесса тепловой подготовки элементов гидропривода мобильной машины. Представлен алгоритм программы работы блока управления процессом тепловой подготовки. На примере прогрева рабочей жидкости выхлопными газами ДВС разработана функциональная схема автоматической системы управления процессом разогрева рабочей жидкости в гидробаке.

**Ключевые слова:** эксплуатация машин в условиях Севера, гидропривод машин, тепловая подготовка гидропривода, элементы гидропривода, автоматизация тепловой подготовки гидропривода, управление процессом тепловой подготовки, системы тепловой подготовки, прогрев гидроцилиндров, оптимизация процесса прогрева гидропривода, способы тепловой подготовки гидропривода, эксплуатация гидроприводов машин при низких отрицательных температурах окружающего воздуха.

Основными территориями по добыче углеводородных ресурсов являются Север и Крайний Север России. Природно-климатические условия данных территорий отличаются низкими температурами окружающего воздуха в зимний период. В летний период работы проводить техникой затруднительно. По причине дорожных условий работы техники [1].

На всех этапах создания и эксплуатации нефтегазопроводов, хранилищ используется подъемно-транспортная, строительная, дорожная техника. Основная часть мобильных машин оснащена гидравлическим приводом рабочих органов.

1. Гидроприводы машин содержат много элементов (исполнительных, управления, вспомогательных). Кроме этого гидроэлементы разнесены по

всей машине с большой протяженностью трубопроводов. Это затрудняет обеспечение их теплового состояния. При этом от тепловых режимов элементов гидропривода зависит их состояние, что влияет на производительность машин и их ресурс. В рекомендациях по эксплуатации строительно-дорожных машин при низких отрицательных температурах указывается на необходимость снижения нагрузок в начальный момент времени машины на 20 % (Свод правил по проектированию и строительству СП 12-104-2002 — «Механизация строительства. Эксплуатация строительных машин в зимний период» (одобрен постановлением Госстроя РФ от 27 февраля 2003 г. №25)).

В гидроприводах строительно-дорожных машин основными потребителями тепла являются гидробак и гидроцилиндры. Это связано с их объемами и массами. Данные элементы содержат основной объем рабочей жидкости гидросистемы машин. При этом, гидравлический бак имеет меньшую охлаждающую способность по сравнению с гидроцилиндрами. Также машины северного исполнения «ХЛ» оснащаются системами прогрева рабочей жидкости в гидробаке (поддержанию теплового состояния гидробака). К основным можно отнести: дросселирование, электропрогрев, прогрев выхлопными газами, включение циркуляции рабочей жидкости по малому замкнутому контуру [3]. Гидроцилиндры размещены на рабочем органе машины в непосредственном контакте с окружающим воздухом и не оснащаются средствами прогрева. В результате происходит изменение их теплового состояния, влияющего на их техническое состояние. Поэтому логично рассмотреть графики зависимостей изменения состояния гидроцилиндров.

При низких отрицательных температурах увеличиваются износы уплотнений [4,5]. Зависимость износа уплотнений гидроцилиндра от температуры представлена на рис. 1.

---

Анализ графика теплового состояния элементов гидропривода показывает, что оптимальной температурой является около  $+30^{\circ}\text{C}$ .

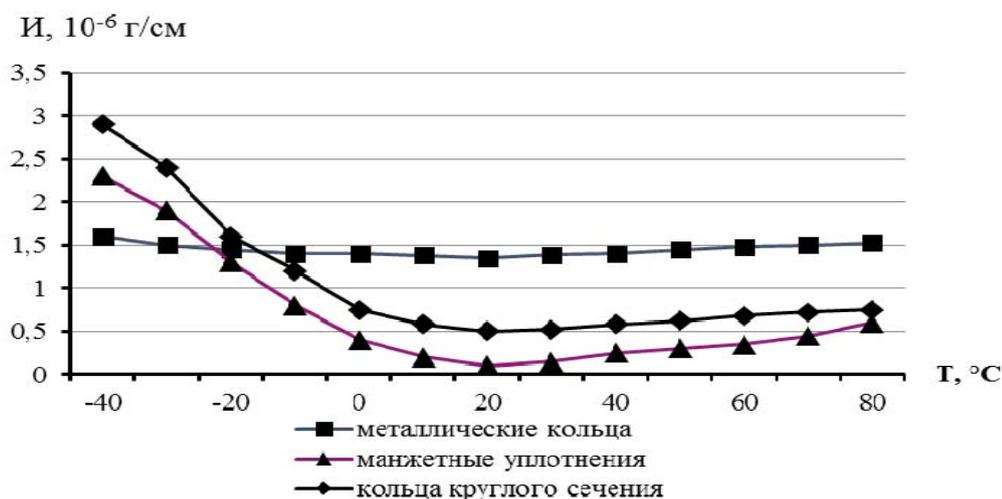


Рис. 1. – Зависимость износа уплотнений от температуры

Процесс изнашивания увеличивается с увеличением силы трения в зоне контакта подвижных элементов гидропривода. Для гидроцилиндра на рис. 2 представлен график зависимости силы трения и температуры в зоне контакта. По указанным данным наименьшая сила трения возникает при температуре  $+10^{\circ}\text{C}$ .

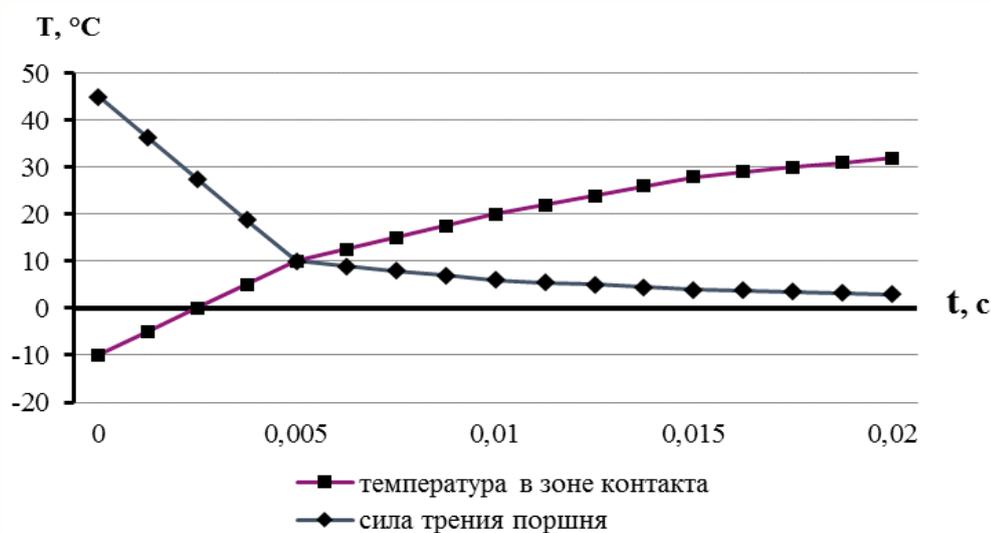


Рис. 2. – График зависимости силы трения и температуры

### в зоне контакта при движении гидроцилиндра

На практике прогрев гидроцилиндров перед рабочим процессом машины осуществляется приведением в движение рабочих органов гидроцилиндрами под небольшой нагрузкой. Происходит резкий «срыв» в контакте поршень-цилиндр. Поэтому предложен вариант прогрева гидроцилиндров без движения поршня. На рис. 3 представлена схема прогрева гидроцилиндра за счет циркуляции рабочей жидкости из гидробака [3].

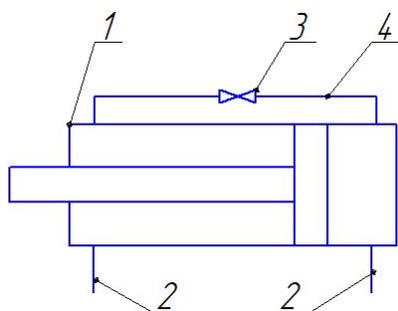


Рис. 3. – Гидроцилиндр с обводной гидролинией: 1 – гидроцилиндр; 2 – рукава высокого давления; 3 – двухпозиционный клапан; 4 обводная гидролиния

При использовании машинами систем тепловой подготовки гидропривода имеется много гидроцилиндров. К примеру, у одноковшовых экскаваторов пятой размерной группы на рабочий орган устанавливается 4 гидроцилиндра, на бульдозере с неповоротным отвалом с рыхлительным оборудованием 5 гидроцилиндров. При этом следует учитывать потерю тепла в трубопроводах, аппаратуре регулирования. Прогрев одновременным включением всех потребителей затруднен по причине ограниченности количества тепла в гидробаке.

Поэтому необходима система автоматизации процесса прогрева элементов гидросистемы машины. Автоматизация находит широкое применение во всех процессах управления [6,7], производства работ

строительно-дорожными машинами. К примеру, электрогидравлические системы «Автоплан», «Профиль», которые осуществляют автоматическое управление рабочими органами автогрейдера и бульдозера. Системы в гидроприводах одноковшовых экскаваторов «LS», «LUVD», «HIOS», позволяющие автоматизировать подачу рабочей в гидроцилиндры в зависимости от внешних нагрузок на рабочий орган.

Схема автоматизации процесса тепловой подготовки элементов гидропривода мобильной машины применительно к гидроцилиндрам бульдозера представлена на рис. 4.

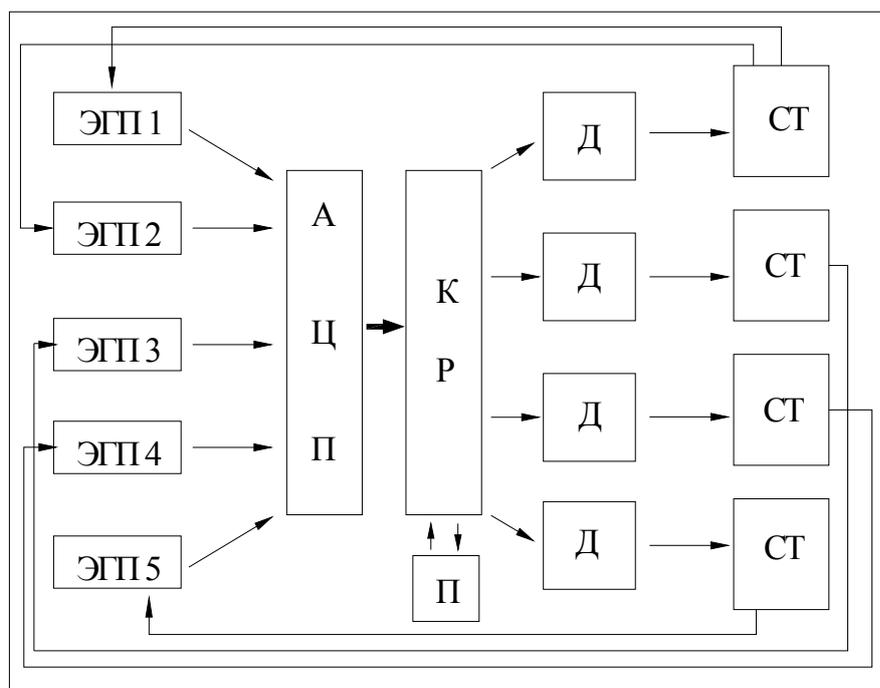


Рис. 4. – Схема автоматизации процесса тепловой подготовки элементов гидропривода мобильной машины: ЭГП1-ЭГП5- потребители тепла (гидроцилиндры); АЦП – аналого-цифровой преобразователь; КР – контроллер; П - ОЗУ; Д - драйверы; СТ- система тепловой подготовки элементов гидропривода

Автоматизация процесса тепловой подготовки элементов гидропривода позволяет оптимизировать расход тепловой энергии и время прогрева последовательным, одновременным включением систем прогрева потребителей тепла с учетом продолжительности и интенсивности прогрева. Это также позволяет снизить трудоемкость выполнения данных работ машинистом.

На прогреваемые элементы гидропривода устанавливаются датчики температуры [8-10], информация от которых передается в аналоговой форме в АЦП для преобразования в цифровую форму. Далее оцифрованная информация из АЦП поступает в контроллер [11].

В контроллере полученная информация обрабатывается и по результатам этого вырабатываются управляющие сигналы (УС). Сформированные УС на выходе контроллера сразу не способны напрямую управлять исполнительными элементами системы тепловой подготовки гидропривода. УС необходимо усилить, оптимизировать по форме и знаку. Для этого сигналы поступают на драйверы [12]. После проработки УС драйвером осуществляется управление процессом тепловой подготовки элементов гидропривода.

На рис. 5 представлен алгоритм программы работы блока управления процессом тепловой подготовки нескольких элементов (секций) гидропривода электронагревателями (саморегулирующими кабелями).

В расчетах оценки потребной мощности для прогрева 4 гидроцилиндров одноковшового экскаватора рассматривался кабель 95ВТХ2-ВР. В расчетах принималась характеристика потребляемого при  $-40^{\circ}\text{C}$ , которая составляет. Соответственно потребная мощность на одну секцию (гидроцилиндр) составит:

$$W = U \cdot I_k \cdot L_k, \text{Вт},$$

где  $U$  – рабочее напряжение (220 – 240 В);  $I_k$  - сила тока включения в кабеле, (0,703А/м);  $L_k$  - длина кабеля (таблица №1 - длина кабеля в зависимости от температуры и тока включения). По расчетам размеров гидроцилиндра для размещения на нем кабеля нагрева определена длина кабеля равная 35 м. Это соответствует данным таблицы №1.

Таблице №1

Длина кабеля в зависимости от температуры и тока включения

Тип	Температура включения, °С	Ток включения, А/м	230 В		
			15 А	20 А	30 А
95ВТХ	10	0,615	24	30	43
	-20	0,703	21	27	43
	-40	0,703	21	27	43

Определено, что мощность, при включении одновременно всех на прогрев гидроцилиндров составит около 22 кВт. Это значение имеет большую величину. Поэтому секции (в рассматриваемом случае 4 шт.) необходимо включать поочередно.

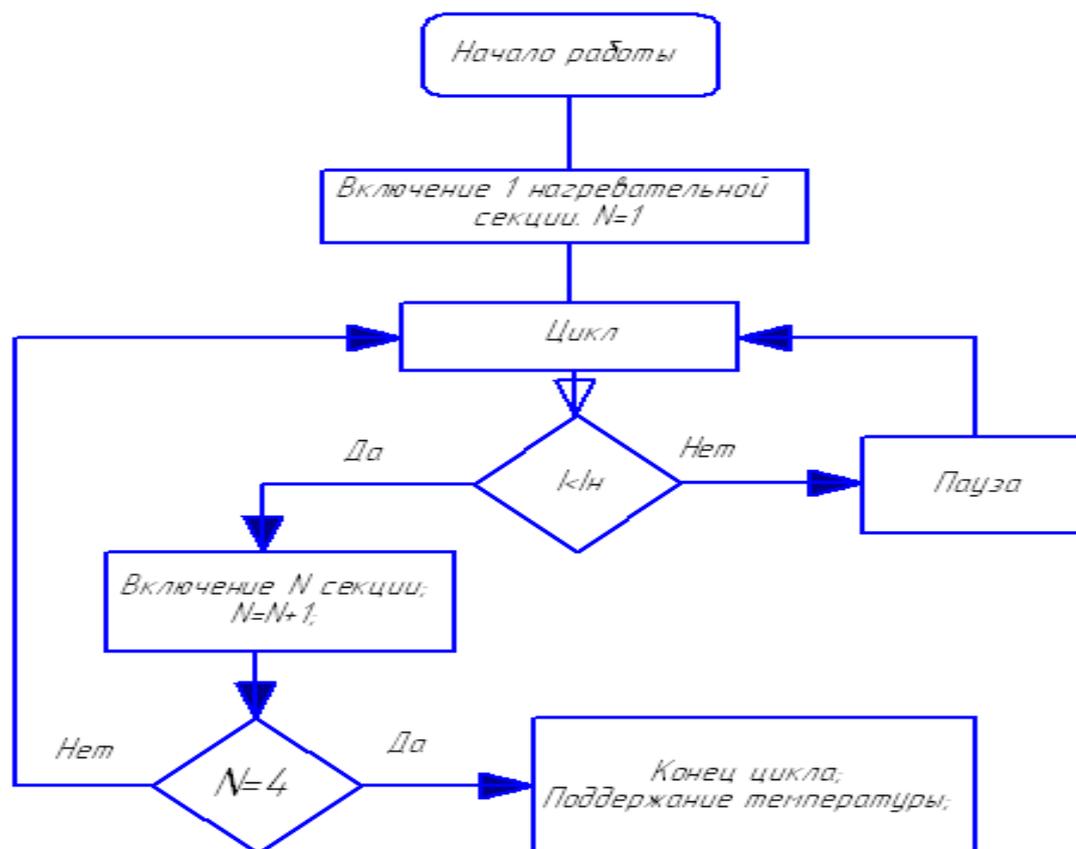


Рис. 5. – Алгоритм программы работы блока управления:

$I_n$  – нормальный ток;  $N$  – количество нагревательных элементов гидропривода (секций)

Таким образом, необходимую мощность на прогрев можно снизить примерно в 4 раза. При этом инвертор необходимо подбирать с запасом в 2 раза

При включении  $N$  нагревательной секции (от 1 до 4), на примере прогрева гидроцилиндров [3] одноковшового экскаватора пятой размерной группы, происходит скачок тока. По продолжительности определенного времени происходит стабилизация тока. После этого включается следующая нагревательная секция. Таким образом, происходит последовательное включение всех нагревательных секций.

На примере прогрева рабочей жидкости выхлопными газами ДВС на рис. 6 представлена функциональная схема автоматической системы управления процессом разогрева рабочей жидкости в гидробаке.

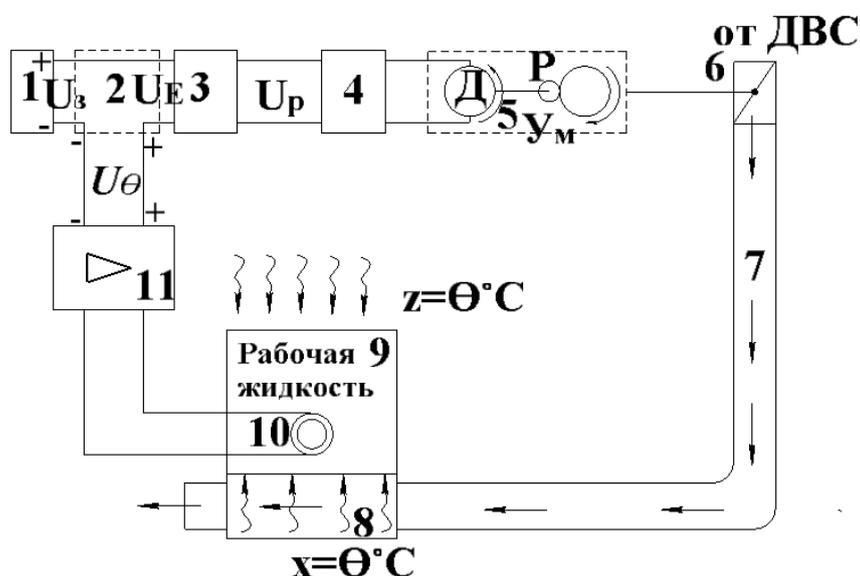


Рис. 6. – Функциональная схема автоматической системы управления процессом тепловой подготовки:  $\leftarrow$  — направление движения выхлопных газов ДВС,  $\leftarrow \sim$  — теплопередача

В представленной схеме реализуется способ прогрева элементов гидропривода за счет циркуляции рабочей жидкости по элементам в гидроприводе (см. рис. 3) машин от тепла рабочей жидкости в гидробаке. В результате гидробак будет охлаждаться. Поэтому необходимо регулирование прогрева гидробака в зависимости от переданного тепла элементам гидропривода.

Регулирование количества тепла, поступающего в теплообменник гидробака от максимального количества, вырабатываемого ДВС до минимального регулируется движением заслонки от максимального открытия до полного закрытия канала к гидробаку [13].

Напряжение ( $U_p$ ) на выходе драйвера (4) передается усилителю мощности (УМ). При этом напряжение ( $U_p$ ) на выходе драйвера (4)

пропорционально разности заданного контроллером (1) напряжения ( $U_3$ ) и напряжения ( $U_\theta$ ) пропорционального температуре рабочей жидкости в гидробаке. Температура в гидробаке (9) измеряется встроенным датчиком температуры (10). Температурный сигнал от термодатчика (10) в гидробаке (9) усиливается УС (11).

Заслонка (6) поворачивается в определенном направлении и на соответствующую величину посредством редуктора (Р) от электродвигателя (Д). Это происходит в случае изменения температуры рабочей жидкости относительно значения, которое задано контроллером (1). При этом компаратор (2) формирует сигнал рассогласования  $U_E$ , соответствующей величины и знака. В результате поворота заслонки (6) происходит изменение (регулирование) расхода выхлопных газов (7) ДВС и соответственно изменение количества подаваемого тепла (X) через газомасленный теплообменник (8) к гидробаку (9) с рабочей жидкостью. Учет влияние потерь тепла от рабочей жидкости в гидробаке в окружающую среду (Z) можно осуществить подключением датчика температуры на поверхности гидробка.

При практической реализации, система автоматизации процесса тепловой подготовки элементов гидропривода должна учитывать количество потребителей их теплоемкость.

Таким образом, предлагается автоматизировать процесс тепловой подготовки элементов гидропривода мобильных машин. Это позволит сократить время и количество энергии на тепловую подготовку гидропривода мобильных машин при низких отрицательных температурах окружающего воздуха.

### Литература



2. Вашуркин И.О. Тепловая подготовка строительных машин в условиях сурового климата. - СПб.: Наука, 2005. - 238 с.

3. Свод правил по проектированию и строительству СП 12-104-2002 — «Механизация строительства. Эксплуатация строительных машин в зимний период» (одобрен постановлением Госстроя РФ от 27 февраля 2003 г. №25).

4. 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. - pp. 697-706.

5. Салин А.С., Степанов М.А. Зависимость износа штока от факторов, его вызывающих // Механизация строительства. — 2016. — №11. — С. 35-38. URL: rucont.ru/efd/513417.

6. Оленев И.Б. Совершенствование процесса стабилизации температурного режима гидропривода строительных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02.- Красноярск, 2006. 141 с.

7. Лебедев К.Н. Автоматизированные системы управления технологическими процессами: Учебное пособие/ К.Н. Лебедев. – зерноград, ФГОУ ВПО АЧГАА, 2008. – 117 с.

8. Федотов А.В. Автоматизация управления в производственных системах: Учеб. пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2001. – 354 с.

9. Сидоренко В.С., Грищенко В.И., Ракуленко С.В., Полешкин М.С., Дымочкин Д.Д. Исследование гидравлического контура управления адаптивного гидропривода подачи инструмента мобильной буровой машины // Вестник Донского государственного технического университета, 2019, № 1, том 19. URL: doi.org/10.23947/1992-5980-2019-19-1-13-23.

10. Иосифов В.П. Имитационный подход к проблеме определения динамических характеристик средств измерений // Инженерный Вестник Дона, 2010, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2010/308/-5с.

---

11. Merdanov Sh., Konev V., Sozonov S., Experimental research planning heat training hydraulic motors: Scientific enquiry in the contemporary, world: theoretical basics and innovative approach, Vol. 5. - Technical Sciences. Research articles, B&M Publishing (San Francisco, California, USA) 2014. – pp.113-117.

12. Конев В.В., Обухов А.Г., Созонов С.В., Бородин Д.М., Половников Е.В. Разработка универсальной системы сбора данных с функциями управления на основе аналогово-цифрового преобразователя // Инженерный вестник Дона, 2015, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3156/.

13. Мельников А.А. Теория автоматического управления техническими объектами автомобилей и тракторов: Учеб. Пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.А. Мельников. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 280 с.

14. Костоглотов А.А. Оптимизация процессов управления гидроприводом с использованием методологии объединенного принципа максимума // Инженерный вестник Дона, 2014, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2292.

### References

1. Vashurkin I.O. Teplovaja podgotovka stroitel'nyh mashin v uslovijah surovogo klimata [Thermal preparation of construction vehicles in harsh climates]. SPb.: Nauka, 2005. 238 p.

2.

3. 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. - pp. 697-706.

4. Salin A.S. Mehanizacija stroitel'stva. 2016. №11. pp. 35-38. URL: rucont.ru/efd/513417.

5. Olenev I.B. Sovershenstvovanie processa stabilizacii temperaturnogo rezhima gidroprivoda stroitel'nyh mashin [Improving the process of stabilizing the temperature regime of hydraulic drive of construction vehicles]: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.02.02. Krasnojarsk, 2006. 141 p.

6. Lebedev K.N. Avtomatizirovannye sistemy upravlenija tehnologicheskimi processami [Automated process control systems]: Uchebnoe posobie. Zernograd, FGOU VPO AChGAA, 2008. 117 p.

7. Fedotov A.V. Avtomatizacija upravlenija v proizvodstvennyh sistemah [Automation management in production systems]: Ucheb. posobie. Omsk: Izd-vo OmGTU, 2001. 354 p.

8. Sidorenko V.S. Grishhenko V.I., Rakulenko S.V., Poleshkin M.S., Dymochkin D.D. Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta, 2019, № 1, tom 19. URL: [doi.org/10.23947/1992-5980-2019-19-1-13-23](https://doi.org/10.23947/1992-5980-2019-19-1-13-23).

9. Iosifov V.P. Inzhenernyj vestnik Dona, 2010, №4. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2010/308/-5s>.

10. Merdanov Sh., Konev V., Sozonov S., Experimental research planning heat training hydraulic motors: Scientific enquiry in the contemporary, world: theoretical basiss and innovative approach, Vol. 5. Technical Sciences. Research articles, B&M Publishing (San Francisco, California, USA) 2014. pp.113-117.

11. Konev V.V. Obuhov A.G., Sozonov S.V., Borodin D.M, Polovnikov E.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3156](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3156)

12. Mel'nikov A.A. Teorija avtomaticheskogo upravlenija tehničeskimi ob#ektami avtomobilej i traktorov [Theory of automatic control of technical objects of cars and tractors]: Ucheb. Posobie dlja stud. vyssh. ucheb. zavedenij. M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2003. 280 p.

13. Kostoglotov A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2292](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2292).

---