

УДК 621.22.01

doi: 10.18698/0536-1044-2021-5-9-16

Повышение работоспособности гидропривода транспортного средства повышенной проходимости в условиях низких температур

М.В. Цветков, А.А. Никитин

Политехнический институт ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Improving the Performance of the Hydraulic Drive of an All-Terrain Vehicle in Low Temperature Conditions

M.V. Tsvetkov, A.A. Nikitin

Polytechnic Institute, Siberian Federal University

В настоящее время 70 % российских населенных пунктов, в которых проживают 9 млн человек, не имеют связи с транспортной системой страны по автомобильным дорогам с твердым покрытием, особенно северные районы, где температура окружающей среды в зимний период достигает -50°C . На автомобильный транспорт приходится наибольшее количество перевозимых грузов. Одной из машин такого типа является транспортное средство повышенной проходимости Трэкол, предназначенное для передвижения по дорогам со слабонесущей поверхностью, по снегу, болоту и почвенному покрову оттаявшей тайги. Анализ опыта эксплуатации этого транспортного средства показал недостаточную надежность его трансмиссии. Для повышения этого показателя механическая трансмиссия заменена на гидравлическую с учетом основных недостатков, связанных с поддержанием чистоты рабочей жидкости. Разработана система регулирования температуры рабочей жидкости в гидроприводе транспортного средства повышенной проходимости. Предложена конструкция фильтра рабочей жидкости, позволяющая улавливать в ней не только загрязнения, но и влагу благодаря использованию в качестве фильтрующего элемента материала марки ТПВФ (поливинилформаль).

Ключевые слова: гидромотор хода, подогрев масла, транспортное средство повышенной проходимости, надежность трансмиссии, гидравлическое масло, температура масла

Currently, 70 % of Russian localities with a population of 9 million people are not connected to the transport system of the country by paved roads, especially in the northern regions, where the ambient temperature in winter does not rise above -50°C . Road transport accounts for the largest number of transported goods. One of the vehicles of this type is an all-terrain vehicle Trackol, designed to move on roads with a weak surface: on snow, swamp and soil cover of thawed taiga. The analysis of the vehicle Trackol operation has shown insufficient reliability of its transmission. Analysis of using the vehicle Trackol showed insufficient reliability of its transmission. To improve the situation the mechanical transmission has been replaced with a hydraulic one, taking into account the main disadvantages associated with maintaining the cleanliness of the working fluid. A system for regulating the temperature of the working fluid in the hydraulic drive of an all-terrain vehicle has been developed. The design of the working fluid filter is proposed, allowing capturing not only dirt, but also moisture due to the use of polyvinylformal of the TPVF brand as the filter element material.

Keywords: travel motor, heating working fluid, all-terrain vehicle, transmission reliability, hydraulic oil, working fluid temperature

Согласно статистическим данным, на автомобильный транспорт приходится наибольшее количество грузоперевозок. Однако 70 % российских населенных пунктов, в которых проживают 9 млн человек, не имеют связи с транспортной системой страны по автомобильным дорогам с твердым покрытием, особенно северные районы, где температура окружающей среды в зимний период достигает $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Вследствие этого в таких районах получили распространение транспортные средства повышенной проходимости, одним из которых является вездеход Трэкол, предназначенный для передвижения по дорогам со слабонесущей поверхностью, по снегу, болоту и почвенному покрову оттаявшей тайги.

Опыт эксплуатации вездехода Трэкол и других транспортных средств повышенной проходимости показывает, что наибольшее число отказов их гидропривода происходит в зимний период. Причем эти отказы носят кардинальный характер, так как разрушаются приводы насосов, гидромоторов, рукава высокого давления, трубопроводы, гидрораспределители и уплотнительные устройства гидроцилиндров и шарнирных соединений. Эти наблюдения позволили установить, что более 30 % отказов связаны с гидроприводом.

Для устранения влияния низкой температуры на основные параметры гидропривода и автомобиля в целом исследована работа валочно-трелевочной машины ЛЗ-235 в заводских и эксплуатационных условиях. В качестве рабочей жидкости (РЖ) использовано моторное

масло М-8В₂ (ГОСТ 8581-78). Исследования проведены в диапазоне температур масла $t = -40 \dots 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1].

Полученные экспериментальные зависимости производительности, продолжительности цикла, объемного коэффициента полезного действия (КПД) насоса, силы трения уплотнений гидроцилиндров и мощности привода валочно-трелевочной машины ЛЗ-235 от температуры и вязкости РЖ приведены на рис. 1 [2].

Как видно из рис. 1, все исследуемые параметры машины ЛЗ-235 зависят от температуры и вязкости РЖ. В диапазоне температур РЖ $t = 0 \dots 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ указанные параметры имеют оптимальные значения. Следовательно, если искусственно поддерживать температуру в пределах нормы, можно значительно повысить работоспособность гидропривода машин повышенной проходимости [3].

Установлено, что оптимальная температура РЖ $t_{\text{опт}} \geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Если температура РЖ меньше этого значения, то объемный КПД и моторесурс гидропривода снижаются, а потребление топлива увеличивается [4].

Для разогрева РЖ применяют различные технические средства, среди которых наиболее эффективными являются дроссельные устройства, системы разомкнуто-замкнутой циркуляции и разогрева отработавшими газами двигателя внутреннего сгорания (ДВС) [5].

Для лесозаготовительных машин, где фактор времени разогрева РЖ вторичен, на фоне снижения негативных последствий быстрого разогрева (износа насосов и уплотнений) предпочти-

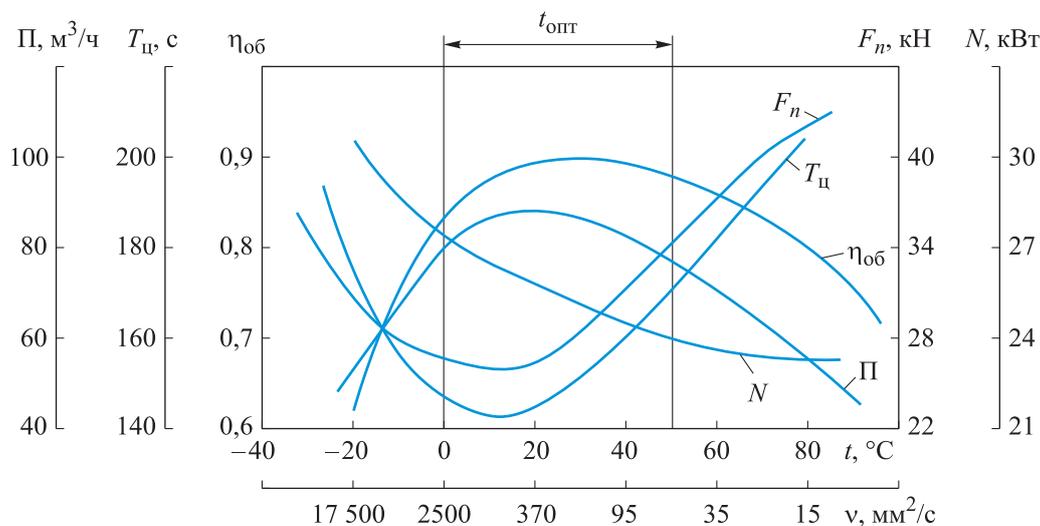


Рис. 1. Экспериментальные зависимости производительности Π , продолжительности цикла $T_{\text{ц}}$, объемного КПД $\eta_{\text{об}}$, силы трения уплотнений гидроцилиндров F_n и мощности привода N машины ЛЗ-235 от температуры t и вязкости ν РЖ

тельнее использовать щадящий нагревательный режим. Такой режим можно обеспечить, разогревая РЖ отработавшими газами ДВС в течение 15...25 мин при температуре окружающей среды -35°C и ниже. Время разогрева вписывается в регламентную продолжительность подготовительных работ машины [6, 7].

В этом случае применение специальных низкотемпературных сортов гидравлических масел и уплотнений лишь частично устраняет трудности, возникающие при эксплуатации [8]. От состояния насоса (от давления во входной гидролинии) зависит работа гидропривода. Недостаточное давление во всасывающей гидролинии, определяемое ее длиной и повышенной вязкостью РЖ при низкой температуре, приводит к нестабильной работе всей системы.

Согласно данным эксплуатационников, гидроагрегаты имеют следующий ресурс, мото­часы: аксиально-поршневой насос — 16 100; гидромотор хода — 24 800; гидромотор поворота — 15 000; гидрораспределитель — 40 000; масляный радиатор — 24 000; ротоуплотнение — 22 000 [9].

На основе результатов исследования разработана система регулирования температуры РЖ в гидроприводе транспортного средства повышенной проходимости, схема которой показана на рис. 2.

Принцип действия такой системы заключается в следующем. Для регулирования температуры РЖ выхлопная труба 4 ДВС снабжена неподвижной 3 и поворотной 5 заслонками. При

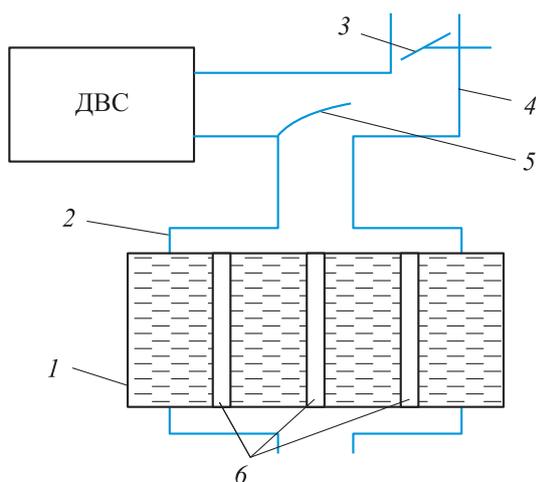


Рис. 2. Схема системы регулирования температуры РЖ в гидроприводе транспортного средства повышенной проходимости:

1 и 6 — гидробак и его трубы; 2 — коллектор;
3 и 5 — неподвижная и поворотная заслонки;
4 — выхлопная труба

закрытой поворотной заслонке (в зимний период) отработавшие газы обтекают неподвижную заслонку и, проходя через группу труб 6 гидробака 1, разогревают РЖ до оптимальной температуры.

При открытой поворотной заслонке (летний период) под неподвижной заслонкой создается разрежение, и атмосферный воздух по трубам гидробака устремляется в выхлопную трубу. Происходит охлаждение РЖ. Промежуточное положение поворотной заслонки обеспечивает регулирование температурного режима [10].

Для автоматического регулирования в гидробак устанавливают сильфонный датчик, подвижный элемент которого связан с поворотной заслонкой и управляет ее положением в зависимости от температуры РЖ.

Низкая температура оказывает существенное влияние на интенсивность абразивного износа металлических деталей гидрооборудования. Это объясняется тем, что в зимний период часть потока РЖ проходит через предохранительный клапан фильтра, не фильтруясь, а абразивные частицы легче удерживаются во взвешенном состоянии и транспортируются по гидросистеме.

Для сравнения на рис. 3 показаны зависимости температуры РЖ от времени ее разогрева τ при отсутствии и наличии системы регулирования РЖ в гидроприводе.

Параллельное существование нескольких классификаций загрязнений жидких технологических сред объясняется сложностью и разнообразием качественных показателей. Но их объединяет принятие классов загрязнений

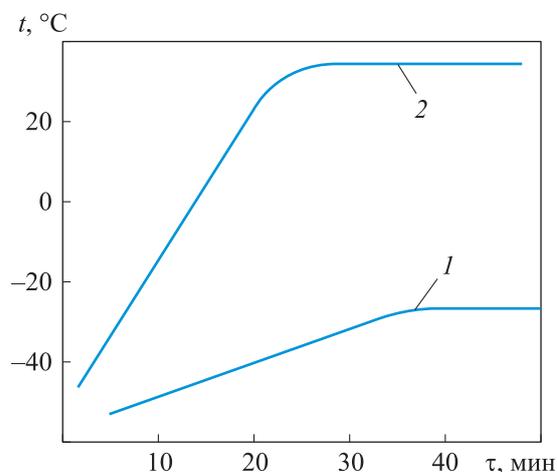


Рис. 3. Зависимости температуры РЖ t от времени ее разогрева τ при отсутствии (1) и наличии (2) системы регулирования РЖ в гидроприводе

Классификации загрязнителей РЖ, принятые в разных стандартах

Стандарт	Размер частиц загрязнителя, мкм	Гранулометрический состав (содержание) загрязнителя, %
ГОСТ 17216–2001	5...10	64,20
	10...25	32,10
	25...50	3,20
	50...100	0,40
	100...200	0,10
NAS-1638	5...15	82,30
	15...25	14,50
	25...50	2,63
	50...100	0,49
	100...200	0,08
ISO-4406	5...15	87,00; 93,60; 96,80; 98,40
	Более 15	13,0; 6,4; 3,2; 1,6

в соответствии с гранулометрическим составом загрязнителя. Это значит, что загрязняющие примеси, классифицируемые по качеству, могут отличаться друг от друга лишь по дисперсному составу (количественно).

Классификации загрязнителей РЖ, принятые в разных стандартах (см. таблицу), существенно различаются по требованиям к допустимым показателям примесей. Это обусловлено учетом физических свойств, условий появления, а также динамикой изменения загрязнителей для каждого конкретного вида техники.

Гидропривод, эксплуатируемый при отрицательной температуре, недостаточно эффективен. В настоящее время существует три способа повышения его эффективности. Первым способом является поддержание эксплуатационных качеств РЖ, их контроль и своевременная замена РЖ. Второй способ заключается в оптимизации теплового режима РЖ в гидросистеме. Третий способ, называемый теплым стартом (без нагрузки на ДВС и трансмиссию в целом), состоит в обеспечении предварительного подогрева масла без включения гидропривода [11].

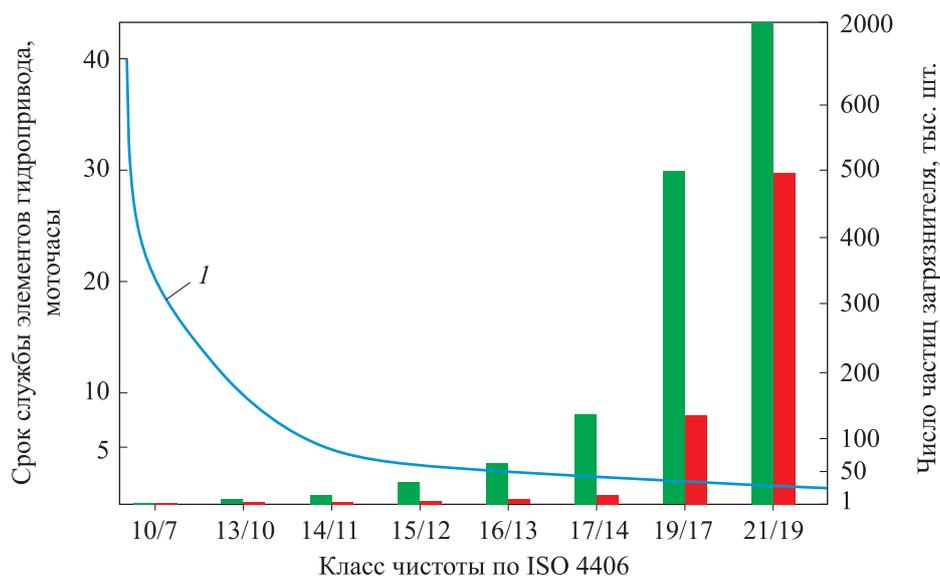


Рис. 4. Зависимость срока службы элементов гидропривода от числа частиц загрязнителя (на 100 мл РЖ) при наличии (■) и отсутствии (■) фильтрующего элемента

Использование эффективной системы фильтрации позволяет значительно сократить затраты на обслуживание гидросистем.

В ходе экспериментального исследования испытывали элементы гидропривода, изменяя удерживающую способность контрольного фильтра, а следовательно, и чистоту РЖ на экспериментальном стенде. Результаты исследования влияния числа частиц загрязнителя на срок службы элементов гидропривода приведены на рис. 4. Здесь показано только максимальное число частиц каждого класса. Анализ рис. 4 свидетельствует о том, что чем тоньше фильтрация, тем чище РЖ и тем больше относительный срок службы элементов гидропривода.

Вредное влияние влаги, которая может попасть в гидросистему из воздуха вследствие конденсации или проникновения в РЖ водного раствора смазочно-охлаждающей жидкости, пагубно сказывается на РЖ. Влага в РЖ недопустима и устраняется из нее с помощью фильтров. Также конденсат присутствует в РЖ из-за разности температур.

При нагревании РЖ температура повышается и становится выше, чем у окружающей среды. Следовательно, на внутренней части трубопровода образуются капельки влаги (конденсат), которые попадают в РЖ и разносятся по всей системе, меняя свойства РЖ в худшую сторону на молекулярном уровне [1, 2, 6, 8, 11–15].

Для эффективной фильтрации РЖ разработан фильтр (рис. 5), позволяющий улавливать не только загрязнения, но и влагу благодаря использованию материала марки ТПВФ (поливинилформаль) в качестве фильтрующего элемента [16–19]. Этот материал, обладающий высокой поглощающей способностью, никогда не применялся в фильтре очистки масла гидропривода. Линия 1 показывает поглощаемость влаги фильтра.

Литература

- [1] Lyu L., Chen Z. Development of pump and valves combined hydraulic system for both high tracking precision and high energy efficiency. *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 2019, vol. 66, no. 9, pp. 7189–7198, doi: <https://doi.org/10.1109/TIE.2018.2875666>
- [2] Semenov S., Kulakov D. Mathematical modeling of the mechanisms of volumetric hydraulic machines. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2019, vol. 492, art. 012042, doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/492/1/012042>
- [3] Panchenko A., Voloshina A., Kiurchev S., Titova O., Onopreychuk D., Safoniuk I., Pashchenko V., Radionov H., Golubok M. Development of the universal model of mechatronic

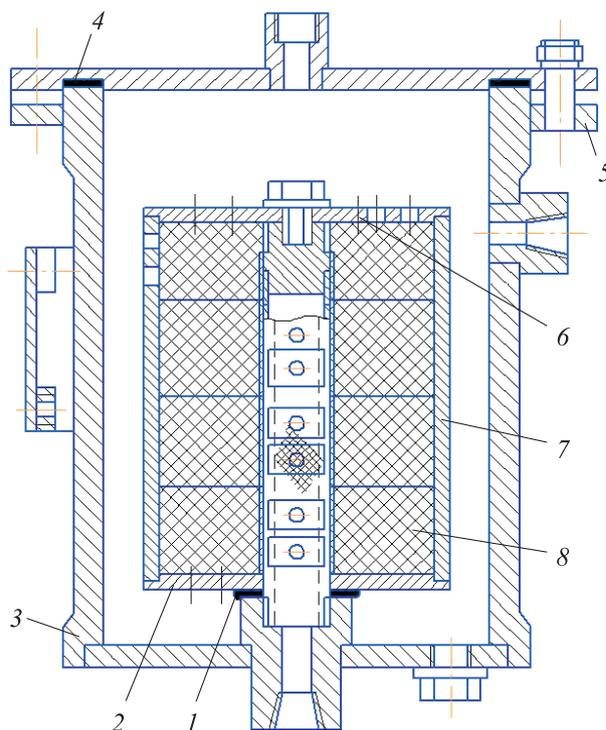


Рис. 5. Конструктивная схема фильтра:

1, 4 — прокладки; 2, 6 — диски; 3 — корпус; 5 — крышка; 7 — стакан; 8 — ячейка фильтра

При использовании предложенного фильтрующего элемента, позволяющего поддерживать чистоту РЖ, срок службы гидравлических компонентов будет экономически эффективным.

Выводы

1. Проведено исследование концентрации воды, разделяющей ее с гидравлическим маслом.
2. Предложен фильтрующий элемент для фильтрации жидких и газообразных сред от примесей, содержащихся в воде, и от механических примесей, позволяющий поддерживать чистоту гидравлических масел, что повышает срок использования гидрооборудования.

- system with a hydraulic drive. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018, vol. 4, no. 7, pp. 51–60.
- [4] Иванов А.М., Кристальный С.Р., Попов Н.В., Спинов А.Р. *Испытания колесных транспортных средств*. Москва, МАДИ, 2018. 124 с.
- [5] Vaezi M., Deldar M., Izadian A. Hydraulic wind power plants: a nonlinear model of low wind speed operation. *Trans. Control Syst. Technol.*, 2016, vol. 24, no. 5, pp. 1696–1704, doi: <https://doi.org/10.1109/TCST.2015.2508964>
- [6] Vaezi M., Deldar M., Izadian A. Control of hydraulic wind power transfer system under wind and load disturbances. *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 2018, vol. 54, no. 4, pp. 3596–3603, doi: <https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2813970>
- [7] Liu Z., Yang G., Wei L., Yue D. Variable speed and constant frequency control of hydraulic wind turbine with energy storage system. *Adv. Mech. Eng.*, 2017, vol. 9, no. 8, doi: <https://doi.org/10.1177%2F1687814017715195>
- [8] ГОСТ 17479.3–85. *Масла гидравлические. Классификация и обозначение*. Москва, Стандартинформ, 2011. 9 с.
- [9] Лозовецкий В.В. *Гидро- и пневмосистемы транспортно-технологических машин*. Санкт-Петербург, Лань, 2012. 554 с.
- [10] Доценко А.И., Буяновский И.А. *Основы триботехники*. Москва, Инфра-М, 2017. 336 с.
- [11] Каверзин С.В., Лебедев В.П., Сорокин Е.А. *Обеспечение работоспособности гидравлического привода при низких температурах*. Красноярск, Изд-во Краснояр. ун-та, 1997. 240 с.
- [12] *Программа подбора компонентов мультипликационной гидравлической системы для установок на основе ВИЭ*. Свид. РФ о гос. рег. прогн. для ЭВМ 2017612983.
- [13] Ветрогенератор «Бриз-5000». *electrosfera.ru: веб-сайт*. URL: <http://electrosfera.ru/%D0%B2%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80-%D0%B1%D1%80%D0%B8%D0%B7-5-%D0%BA%D0%B2%D1%82/> (дата обращения 15 декабря 2020).
- [14] *Генератор переменного тока Месс Alte S15W-45*. URL: http://meccalte-russia.ru/catalog/3000-s/месс_alte_s15w-45/ (дата обращения 15 декабря 2020).
- [15] Никитин О.Ф. *Рабочие жидкости гидроприводов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 152 с.
- [16] Гринчар Н.Г., Зайцева Н.А. *Основы гидропривода машин*. Ч. 2. Москва, УМЦ ЖДТ, 2016. 565 с.
- [17] Каверзин С.В. *Курсовое и дипломное проектирование по гидроприводу самоходных машин*. Красноярск, Офсет, 1997. 384 с.
- [18] ГОСТ 686–2017. *Рукава резиновые высокого давления с металлическими оплетками без концевой арматуры. Технические условия*. Москва, Стандартинформ, 2017. 15 с.
- [19] Идельчик И.Е. *Справочник по гидравлическим сопротивлениям*. Москва, Машиностроение, 1992. 672 с.

References

- [1] Lyu L., Chen Z. Development of pump and valves combined hydraulic system for both high tracking precision and high energy efficiency. *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 2019, vol. 66, no. 9, pp. 7189–7198, doi: <https://doi.org/10.1109/TIE.2018.2875666>
- [2] Semenov S., Kulakov D. Mathematical modeling of the mechanisms of volumetric hydraulic machines. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2019, vol. 492, art. 012042, doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/492/1/012042>
- [3] Panchenko A., Voloshina A., Kiurchev S., Titova O., Onopreychuk D., Safoniuk I., Pashchenko V., Radionov H., Golubok M. Development of the universal model of mechatronic system with a hydraulic drive. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018, vol. 4, no. 7, pp. 51–60.
- [4] Ivanov A.M., Kristal'nyy S.R., Popov N.V., Spinov A.R. *Ispytaniya kolesnykh transportnykh sredstv* [Tests on wheeled transport]. Moscow, MADI Publ., 2018. 124 p.

- [5] Vaezi M., Deldar M., Izadian A. Hydraulic wind power plants: a nonlinear model of low wind speed operation. *Trans. Control Syst. Technol.*, 2016, vol. 24, no. 5, pp. 1696–1704, doi: <https://doi.org/10.1109/TCST.2015.2508964>
- [6] Vaezi M., Deldar M., Izadian A. Control of hydraulic wind power transfer system under wind and load disturbances. *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 2018, vol. 54, no. 4, pp. 3596–3603, doi: <https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2813970>
- [7] Liu Z., Yang G., Wei L., Yue D. Variable speed and constant frequency control of hydraulic wind turbine with energy storage system. *Adv. Mech. Eng.*, 2017, vol. 9, no. 8, doi: <https://doi.org/10.1177%2F1687814017715195>
- [8] GOST 17479.3–85. *Masla gidravlicheskie. Klassifikatsiya i oboznachenie* [State Standard 17479.3–85. Hydraulic oils. Classification and designation]. Moscow, Standartinform publ., 2011. 9 p.
- [9] Lozovetskiy V.V. *Gidro- i pnevmosistemy transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Hydro- and pneumo-systems of transport technological machines]. Sankt-Peterburg, Lan' publ., 2012. 554 p.
- [10] Dotsenko A.I., Buyanovskiy I.A. *Osnovy tribotekhniki* [Fundamentals of triboengineering]. Moscow, Infra-M publ., 2017. 336 p.
- [11] Kaverzin S.V., Lebedev V.P., Sorokin E.A. *Obespechenie rabotosposobnosti gidravlicheskogo privoda pri nizkikh temperaturakh* [Providing performance capabilities of hydraulic drive at low temperatures]. Krasnoyarsk, Krasnoyar. un-t publ., 1997. 240 p.
- [12] *Programma podbora komponentov mul'tiplikatsionnoy gidravlicheskoy sistemy dlya ustanovok na osnove VIE*. Svid. RF o gos. reg. progr. dlya EVM 2017612983 [Components selection program for multiplication hydraulic system for RES-based plants. RF software reg. sert. 2017612983].
- [13] *Vetrogenerator «Briz-5000»* [«Briz-5000» wind generator]. Available at: <http://electrosfera.ru/%D0%B2%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80-%D0%B1%D1%80%D0%B8%D0%B7-5-%D0%BA%D0%B2%D1%82/> (accessed 15 December 2020).
- [14] *Generator peremennogo toka Mecc Alte S15W-45* [Mecc Alte S15W-45 AC generator]. Available at: http://meccalte-russia.ru/catalog/3000-s/mecc_alte_s15w-45/ (accessed 15 December 2020).
- [15] Nikitin O.F. *Rabochie zhidkosti gidroprivodov* [Actuation fluids in hydraulic drives]. Moscow, Bauman MSTU publ., 2007. 152 p.
- [16] Grinchar N.G., Zaytseva N.A. *Osnovy gidroprivoda mashin*. Ch. 2 [Fundamentals of machines hydraulic drives. P. 2]. Moscow, UMTs ZhDT publ., 2016. 565 p.
- [17] Kaverzin S.V. *Kursovoe i diplomnoe proektirovanie po gidroprivodu samokhodnykh mashin* [Course and diploma project development on hydraulic drives and automotive vehicles]. Krasnoyarsk, Ofset publ., 1997. 384 p.
- [18] GOST 686–2017. *Rukava rezinovye vysokogo davleniya s metallicheskimy opletkami bez kontsevoy armatury. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 686–2017. High-pressure rubber hoses with metal braids without end fittings. Specifications]. Moscow, Standartinform publ., 2017. 15 p.
- [19] Idel'chik I.E. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam* [Handbook on fluid resistance]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1992. 672 p.

Статья поступила в редакцию 09.03.2021

Информация об авторах

ЦВЕТКОВ Максим Васильевич — аспирант кафедры «Транспортные и технологические машины». Политехнический институт ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (660074, Красноярск, Российская Федерация, ул. академика Киренского, д. 266, e-mail: Cvetkoffmax@mail.ru).

НИКИТИН Александр Анатольевич — кандидат технических наук, кафедры «Транспортные и технологические машины». Политехнический институт ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (660074, Красноярск, Российская Федерация, ул. академика Киренского, д. 266, e-mail: aannikitin@yandex.ru).

Information about the authors

TSVETKOV Maxim Vasilyevich — Postgraduate Student, Department of Transport and Technological Machines. Polytechnic Institute, Siberian Federal University (660074, Krasnoyarsk, Russian Federations, Academician Kirensky St., Bldg. 26b, e-mail: Cvetkoffmax@mail.ru).

NIKITIN Alexander Alexandrovich — Candidate of Science (Eng.), Department of Transport and Technological Machines. Polytechnic Institute, Siberian Federal University (660074, Krasnoyarsk, Russian Federations, Academician Kirensky St., Bldg. 26b, e-mail: aannikitin@yandex.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Цветков М.В., Никитин А.А. Повышение работоспособности гидропривода транспортного средства повышенной проходимости в условиях низких температур. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2021, № 5, с. 9–16, doi: 10.18698/0536-1044-2021-5-9-16

Please cite this article in English as:

Tsvetkov M.V., Nikitin A.A. Improving the Performance of the Hydraulic Drive of an All-Terrain Vehicle in Low Temperature Conditions. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2021, no. 5, pp. 9–16, doi: 10.18698/0536-1044-2021-5-9-16



Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
предлагает читателям учебник

«Расчет, моделирование и проектирование генераторов низкотемпературной плазмы»

Авторы: Г.К. Клименко, В.В. Кузенов, А.А. Ляпин,
С.В. Рыжко

Предложен системный подход к разработке конструкции электродугового генератора плазмы — плазмотрона. Приведены примеры конструкций плазмотронов различных схем и назначения. Представлена методика расчета основных характеристик плазмотрона, предложена его универсальная схемная модель.

Для студентов и аспирантов физико-технических специальностей университетов по направлениям подготовки «Высокотехнологические плазменные и энергетические установки» и «Ядерная энергетика и теплофизика».

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru