УДК 621.87

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

Конев В.В., Мерданов Ш.М., Бородин Д.М., Закирзаков Г.Г., Мильденбергер С.С.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: konev@tsogu.ru

На эффективность эксплуатации строительно-дорожных машин (СДМ) влияют условия, в которых машина работает. Основными являются природно-климатические условия. При оценке влияния факторов на СДМ определяются ее «слабые места». Это учитывается в параметрическом анализе эффективности эксплуатации. При этом дифференциальные показатели характеризуют интенсивность изменения качества при соответствующей наработке СДМ. Интегральные показатели оценивают достигнутый уровень свойств. В соответствии с этим концепция формирования качества СДМ (реализуемых показателей) содержит номинальные показатели, которые изменяются при действии условий эксплуатации, интенсивности и наработки. Для северных условий эксплуатации СДМ результатом является снижение их работоспособности, что приводит к дополнительным материальным затратам для предприятий, эксплуатирующих технику. Для устранения указанных проблем исследованы условия эксплуатации СДМ и определены основные характеристики работы машин при низких отрицательных температурах. Применение режимов работы СДМ в соответствии с характеристиками в условиях Севера позволит снизить затраты на эксплуатацию.

Ключевые слова: условия эксплуатации, строительно-дорожные машины, режимы работы машин, гидропривод, гидросистема, работоспособность машин

CONDITIONS ROAD CONSTRUCTION MACHINERY

Konev V.V., Merdanov Sh.M., Borodin D.M., Zakirzakov G.G., Mildenberger S.S.

Federal State Educational Institution of Higher Education Tyumen industrial university, Tyumen, e-mail: konev@tsogu.ru

On the operational efficiency of road-building machines (SDM) influenced by the conditions in which the machine operates. The main ones are climatic conditions. In assessing the impact of factors on the SDM defined by its «weak points». This is accounted for in the analysis of parametric operating efficiency. This differential indicators characterize the intensity of changes in the quality at the moment of use SDM. Integrated indicators assess the current level of properties. In line with this, the concept of formation of quality of SDM (implemented parameters) contains the nominal figures, which change under the influence of the operating conditions, and the intensity of use. For the northern operating conditions SDM result is a reduction in their capacity, which results in additional material costs for businesses operating machinery. To resolve these problems, operating conditions investigated SDM and the main characteristics of the machines at low negative temperatures. Application modes of SDM in accordance with the characteristics in the North will reduce operating costs.

Keywords: operating conditions, construction and road machines, operating modes of machines, hydraulic, hydraulics, machine performance

На эффективность эксплуатации строительно-дорожных машин (СДМ) влияют условия, в которых машина работает. Условия эксплуатации разделены на три группы [7, 8]:

1. Дорожные (технической категорией дороги; видом и качеством дорожного покрытия; рельефом местности).
2. Транспортные условия эксплуатации определяются рядом коэффициентов и показателей (длина груженой поездки; коэффициент по использованию пробега машины; коэффициент по использованию грузоподъемности машины; среднее значение уклона дороги на маршруте; коэффициент помехонасыщенности; род перевозимого груза).
3. Природно-климатические условия определяются факторами окружающей среды, ее температуры и влажности; запыленности, интенсивности атмосферных осадков, ветровой нагрузки, воздействия солнечных лучей (радиации); сезонных колебаний температур, влажности, ветра; а также грунтовыми условиями.

Условия первой и второй группы рассматриваются при оценке транспортирования СДМ, подготовительных работах (дислокациях с одной строительной площадки на другую) и при поставке машины на ТО и Р в случае работы машины вдали от баз [3–5].

При работе СДМ на нее влияют факторы третьей группы [9]. На рис. 1 представлен общий вид параметрической модели.

При оценке модели определяются «слабые места» СДМ. Это учитывается в параметрическом анализе эффективности эксплуатации. При этом дифференциальные показатели характеризуют интенсивность изменения качества при соответствующей наработке СДМ. Интегральные показатели оценивают достигнутый уровень свойств. Концепция формирования качества СДМ (реализуемых показателей) зависит от номинальных показателей, на которые действуют условия эксплуатации, интенсивность и наработка. Качество СДМ представляет собой

совокупность свойств, показатели которых (свойств) изменяются в процессе эксплуатации техники. Это изменение происходит от воздействия множества факторов, основным из которых является температура окружающего воздуха [3, 5].

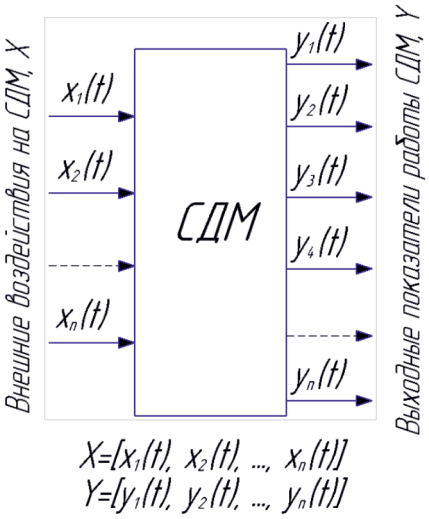

Рис. 1. Общий вид параметрической модели

Территория России составляет более 17 млн км², при этом около 12 млн км² (примерно 70 % от общей территории России) относится к районам крайнего Севера и приравненных к ней территории. Исходя из данных сборника Росстата, климатическая норма января в России равна – 19,7 °С. Для климата территории России проводится деление года на холодный/тёплый сезон, и большие температурные перепады. Также наблюдается, что по направлению на север и на восток происходит увеличение годовой амплитуды температур и понижение температуры в зимний период времени. Эксплуатация СДМ в таких условиях затруднена сложностью запуска и работы ДВС, гидропривода, трансмиссии, обеспечения микроклимата в салоне. В данных условиях возникают повышенные износы всех агрегатов и систем. Это связано с тепловыми процессами, протекающими в них в период работы, стоянки, предпусковой подготовки. В результате наработка СДМ до отказа снижается, а простои машин увеличиваются. Воздействие отрицательных температур на СДМ усиливается при наличии ветра. Существуют методики по учету температуры и ветра и их переводу к общей температуре. На скорость охлаждения агрегатов, узлов машин оказывает влияние ветровое воздействие. Так, увеличение скорости ветра от 0 до 10 м/с увеличивает темп охлаждения деталей ДВС примерно в 3 раза. По усреднённым значениям температуры окружающей среды и ветровой нагрузки для районов с умеренным климатом ДВС СДМ в зимний период остывает до температуры окружающего воздуха (25–30 мин), в летний период около 3 часов [2, 7, 9].

Для снижения интенсивности износов в подвижных элементах агрегатов, систем СДМ, при низких отрицательных температурах используются зимние сорта горюче-смазочных материалов и специальных жидкостей, но их использование не является достаточным в решении проблемы. Основные результаты по совершенствованию работы СДМ достигнуты в области обеспечения тепловой подготовки двигателей внутреннего сгорания СДМ [1–3], при этом вопрос тепловой подготовки гидропривода изучен недостаточно. Если объем прогрева ДВС ограничен объемом подкапотного пространства и это облегчает прогрев ДВС, то, сравнивая с гидроприводом СДМ, его элементы распределены по всей машине с большой протяженностью трубопроводов до 10 м. Очевидно, это усложняет прогрев гидропривода.

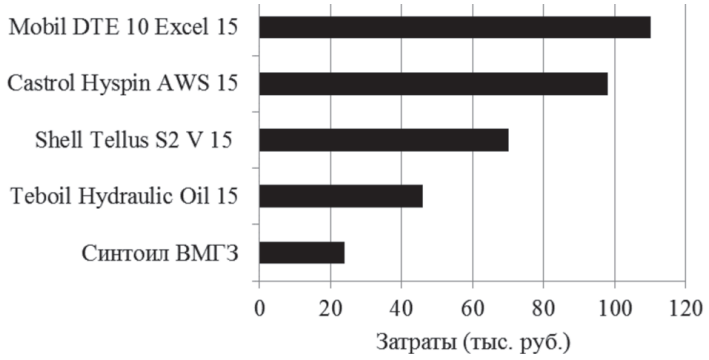

Рис. 2. Затраты на рабочую жидкость экскаватора 5-й размерной группы

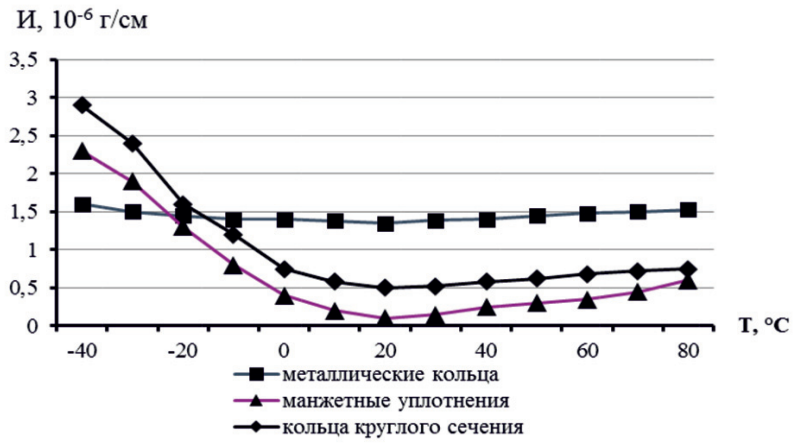

Рис. 3. Зависимость износа уплотнений от температуры (по Ю.А. Носову)

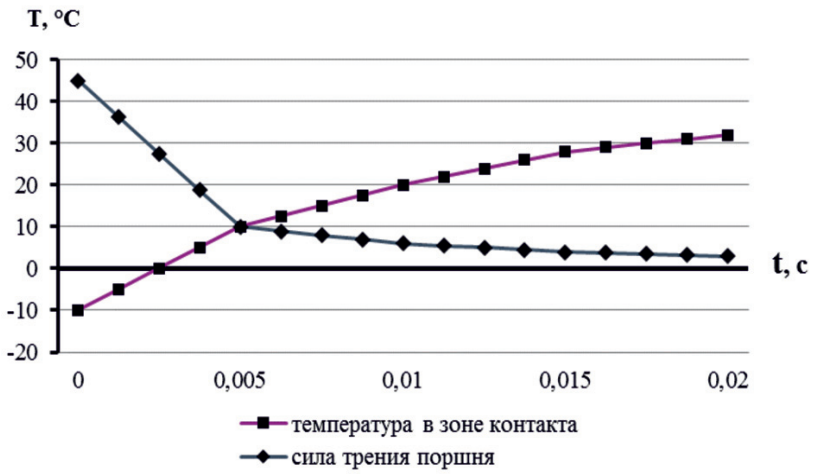

Рис. 4. Зависимость силы трения и температура в зоне контакта при движении гидроцилиндра (по Р. Бееру)

В предшествующих исследованиях указывается, что использование в гидросистемах СДМ рабочих жидкостей ВМГЗ зимой и МГЕ-46В летом обеспечивает работоспособность гидропривода СДМ и сокращает затраты средств на изготовление, транспортирование и хранение широкого ассортимента рабочих жидкостей. Также это позволяет уменьшить загрязнение гидросистем при проведении работ по сезонному обслуживанию, включающей замену рабочих жидкостей [1]. Импортными аналогами гидравлического масла ВМГЗ являются Shell Tellus 15, Mobil DTE 11M, TEBOIL Hydraulic Oil 15, Castrol Hyspin AWS 15. Использование для экскаватора 5-й размерной группы (350–400 л) аналогов рабочих жидкостей зарубежного производства увеличивает затраты до 4,5 раза (рис. 2).

Эксплуатируя СДМ при нагретом масле в баке и низкой температуре окружающей среды, происходит образование конденсата из воздуха в рабочей жидкости влаги. Вода попадает в рабочую жидкость и затем переносится в гидросистему. Присутствие воды в рабочей жидкости повышает процессы коррозии в гидроприводе, а также температуру ее застывания. Поэтому масло следует доставлять расфасованным в герметичную тару. При доливке жидкости в бак необходимо исключить попадание воды в гидросистему СДМ [1]. Гидросистему можно рассматривать как работоспособную в оптимальных режимах, когда потери давления жидкости в гидроприводе

не более 6% от номинального давления, создаваемого насосом. В гидросистемах СДМ, эксплуатирующихся в районах крайнего Севера и приравненных к ним территориях, потери давления в зимний период времени возможны до 12%, а при прогреве жидкости (подготовке к работе СДМ) – до 20%. В случае превышения указанных значений следует предусмотреть средства предпусковой тепловой подготовки рабочей жидкости в гидроприводе СДМ [7, 10].

В Положении по эксплуатации гидрофицированных машин указывается о необходимости снижения нагрузок на 20% во время начала работы холодного гидропривода. При этом снижении температуры окружающего воздуха и изменении связанной с этим вязкости рабочей жидкости (от $5*10^{-6}$ до $8*10^{-3}$ м^2/с) гидравлические потери в трубопроводах при температуре рабочей жидкости до – 30°С возрастают в 3…4 раза, а при температурах (– 50…– 60°С) в 10…15 раз по сравнению с рабочими жидкостями, имеющими температуру + 40…50°С. Увеличение вязкости рабочей жидкости приводит к образованию разрежения во всасывающих трубопроводах, это ведет к попаданию воздуха в рабочую жидкость (кавитация). Возникают колебания давления рабочей жидкости в гидросистеме. Это приводит к нарушению синхронизации действия исполнительных механизмов (гидродвигателей). Вследствие этого снижается работоспособность гидропривода и появляется кавитационный износ в насосах, распределителях и клапанах. Также снижение температуры вызывает изменение физико-механических свойств материалов и величины посадок в сопрягаемых деталях, что снижает работоспособность узлов трения гидроприводов, и происходит снижение эксплуатационных свойств резинотехнических изделий, которые теряют эластичность и становятся хрупкими. Трубопроводы высокого давления обладают большой охлаждающей поверхностью, и масло, проходя по ним, быстро теряет температуру. На рис. 3 представлена зависимость износа уплотнений от температуры (по Ю.А. Носову).

Из графика видно: наименьшие износы возникают при температуре + 5÷30°С. По графику зависимости силы трения и температуры в зоне контакта при движении гидроцилиндра (по Р. Бееру) (рис. 4) видно, что наименьшая сила трения возникает при температуре + 10°С.

Для улучшения условий всасывания и предупреждения возникновения кавитации во всасывающей полости насоса, что особенно актуально в условиях низких отрицательных температур, гидробак рекомендуется устанавливать выше уровня расположения насоса (рис. 5).

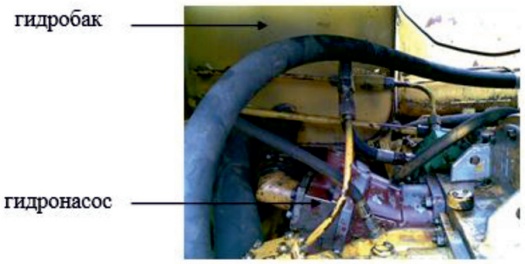

Рис. 5. Расположение насоса гидропривода СДМ

Увеличение давления рабочей жидкости в гидросистеме от снижения температуры воздуха вызывает увеличение относительного количества отказов, приходящихся на гидросистемы, в среднем от 29…45% к общему числу отказов при положительных температурах, до 55…71% при отрицательных, при этом простой машины в ремонте увеличивается в 1,2…1,5 раза. Это увеличивает затраты на обслуживание и ремонт гидропривода СДМ. Вдали от баз возникают трудности с доставкой, помещениями, внешними источниками энергии [4, 5].

Характеристика режима нагружения гидроприводов машин

Режим работы	Коэффициент			Число включений в час
	$К_д$	$К_в$	$К_с$	
Легкий (1 порядок)	менее 0,4	0,1–0,3	около 1,0	менее 300
Средний (2 порядок)	0,4–0,7	0,2–0,4	до 0,8	300–500
Тяжелый (3 порядок)	0,8–1,2	0,5–0,8	до 0,5	более 500

Известно, что рациональной при работе гидропривода является температура рабочей жидкости в интервале плюс 30–50 °С. Исследования показывают, что при низкой температуре (минус 35 °С –минус 40 °С) практически все СДМ работают от 20 до 40 минут, при этом температура рабочей жидкости ниже минус 25 °С (т.е. в зоне возможной кавитации насоса) – этим объясняются отказы бронзовых элементов; около 1,5–2 часов при температуре рабочей жидкости ниже нуля, что приводит к «залипанию фильтров», т.е. жидкость в этот период не фильтруется. Даже при длительной (3–4 часа) работе гидропривод имеет температуру рабочей жидкости до плюс 15–20 °С, т.е. ниже рациональной. Это приводит к понижению фильтрации, повышенным сопротивлениям и износам. Поэтому при эксплуатации машин с объемным гидроприводом в условиях отрицательных температур, СДМ должны иметь в своей конструкции усовершенствования. К основным следует отнести: применение хладостойких материалов, установку обогревателей на отечественных узлах и устройств для предварительного разогрева рабочей жидкости в гидросистеме до температуры не ниже 0 °С, с целью уменьшения времени для приведения гидрофицированной машины в работоспособное состояние и работы ее в неблагоприятном режиме в период разогрева.

В соответствии с изложенным выше следует, что снижения факторов влияния можно достичь при проектировании и изготовлении гидросистем и ее элементов, а также путем поддержания работы в соответствующих условиях эксплуатации. Это повышает надежность гидросистемы в заданных условиях и одного из ее свойств – безотказности. Количественно безотказность может быть определена вероятностными критериями и характеристиками. В случае, когда проектирование и расчет параметров гидросистемы, а также изготовление отдельных деталей и всей гидросистемы в целом выполнены с соблюдением соответствующих технических указаний и требований, наибольшее влияние на безотказность гидросистемы имеет режим действия гидропривода, который характеризуется рядом показателей [2, 6, 8]: коэффициентом использования в гидросистеме номинального давления ($К_д$); коэффициентом продолжительности работы гидропривода под нагрузкой ($К_в$); коэффициентом снижения числа оборотов насоса гидропривода вследствие перегрузки двигателя машины ($К_с$), который равен отношению числа оборотов насоса при перегрузках двигателя к числу оборотов насоса при номинальном давлении; числом включения гидропривода в единицу времени. Характеристика режима нагружения гидроприводов машин приведена в таблице.

Режим работы гидропривода для условий Севера следует принимать на порядок выше по сравнению с нормальными условиями (см. таблицу). При этом следует также учитывать, что современные конструкции гидроприводов имеют повышенные рабочие давления (32–35 МПа); уменьшенные общие массы привода (снижение материалоемкости). А также уменьшение рабочих зазоров в подвижных элементах гидропривода, поэтому повышаются требования к качеству эксплуатации СДМ. Это требует высокой квалификации машинистов строительно-дорожной техники.

Список литературы

1. Васильченко В.А. Особенности эксплуатации горных машин с гидроприводом при низких температурах // Горная промышленность. – 2006. – № 2.; URL: www.mining-media.ru/ru/article/newtech/1151-osobennosti.

2. Гаркави Н.Г. Обеспечение эксплуатационной надежности работы строительных машин зимой. – Л.: ЛДНТП, 1980. – 24 с.

3. Конев В.В. Совершенствование системы предпусковой тепловой подготовки двигателя землеройной машины (на примере двигателя экскаватора ЭО-4121А): дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04. – Тюмень, 2002. – 137 с.

4. Конев В.В. Математическое моделирование теплового состояния строительно-дорожных машин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: www.science-education.ru/120-16957.

5. Конев В.В., Половников Е.В. Мобильный гараж для строительно-дорожных машин. Патент на полезную модель № 153166, 19 ноября 2014 г.

6. Мерданов Ш.М., Якубовский Ю.Я., Конев В.В. Исследование и разработка системы тепловой подготовки гидропривода строительно-дорожных машин / Строительные и дорожные машины. – 2013. – № 1. – С. 27–29.

7. 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); URL: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/11/11358/

8. Тархов А.И. Режимы работы приводов траншейных экскаваторов и совершенствование их конструкций: дис… докт. техн. наук. МИСИ, 1987. – 357 с.

9. Чооду О.А. Разработка методики оценки влияния климатических условий на эксплуатацию дорожно-строительных машин: автореф. дисс. … канд. техн. наук. – СПб., 2009. – 128 с.

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.

References

1. Vasilchenko V.A. Osobennosti jekspluatacii gornyh mashin s gidroprivodom pri nizkih temperaturah // Gornaja

promyshlennost. 2006. no. 2.; URL: www.mining-media.ru/ru/article/newtech/1151-osobennosti.

2. Garkavi N.G. Obespechenie jekspluatacionnoj nadezhnosti raboty stroitelnyh mashin zimoj. L.: LDNTP, 1980. 24 p.

3. Konev V.V. Sovershenstvovanie sistemy predpuskovoj teplovoj podgotovki dvigatelja zemlerojnoj mashiny (na primere dvigatelja jekskavatora JeO-4121A): dis. ... kand. tehn. nauk: 05.05.04. Tjumen, 2002. 137 p.

4. Konev V.V. Matematicheskoe modelirovanie teplovogo sostojanija stroitelno-dorozhnyh mashin // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 6; URL: www.science-education.ru/120-16957.

5. Konev V.V., Polovnikov E.V. Mobilnyj garazh dlja stroitelno-dorozhnyh mashin. Patent na poleznuju model no. 153166, 19 nojabrja 2014 g.

6. Merdanov Sh.M., Jakubovskij Ju.Ja., Konev V.V. Issledovanie i razrabotka sistemy teplovoj podgotovki gidroprivoda stroitelno-dorozhnyh mashin / Stroitelnye i dorozhnye mashiny. 2013. no. 1. pp. 27–29.

7. Svod pravil po proektirovaniju i stroitelstvu SP 12-104-2002 «Mehanizacija stroitelstva. Jekspluatacija stroitelnyh mashin v zimnij period» (odobren postanovleniem Gosstroja RF ot 27 fevralja 2003 g. no. 25); URL: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/11/11358/

8. Tarhov A.I. Rezhimy raboty privodov transhejnyh jekskavatorov i sovershenstvovanie ih konstrukcij: dis… dokt. tehn. nauk. MISI, 1987. 357 p.

9. Choodu O.A. Razrabotka metodiki ocenki vlijanija klimaticheskih uslovij na jekspluataciju dorozhno-stroitelnyh mashin: avtoref. diss. … kand. tehn. nauk. SPb., 2009. 128 p.

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. pp. 697–706.