УДК 625.08

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-6-239-244

© С. А. Евтюков, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

© S. A. Evtyukov, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture and
Civil Engineering)

E-mail: evsa@onlain.ru

E-mail: evsa@onlain.ru

© О. А. Чооду, канд. техн. наук, доцент

© O. A. Choodu, PhD in. Sci. Tech., Associate Professor

© С. Ч. Монгуш, канд. техн. наук, доцент
(Тувинский государственный университет)

© S. Ch. Mongush, PhD in. Sci. Tech., Associate Professor
(Tuvan State University)

E-mail: ostap1981@mail.ru, syldys-mongush@yandex.ru

E-mail: ostap1981@mail.ru, syldys-mongush@yandex.ru

СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

CONSTRUCTION AND ROAD MACHINES IN EXTREME OPERATION CONDITIONS

Рассмотрены основные причины, влияющие на работоспособность дорожно-строительных машин в сложных условиях эксплуатации, а также влияние условий местности на формирование парков и комплектов машин.

Ключевые слова: парк машин, техническая эксплуатация, работоспособность, рельеф, комплектация.

The article considers the main reasons influencing the road-building machines' availability in hard service conditions and the influence of conditions of the surrounding area on the formation of parks and sets of machines.

Keywords: park of machines, technical operation, machine availability, relief, complete set.

Большая часть территории России расположена в умеренном и холодном климатических районах. Климат изменяется от морского на северо-западе до резко континентального в Сибири и муссонного на Дальнем Востоке. Средние температуры января на территории России варьируются от 0 до -50°C , июля — от $+1$ до $+25^{\circ}\text{C}$ ¹. Климатические факторы учитываются при установлении технических требований, в выборе режимов испытаний, планировании, нормировании и организации технической эксплуатации, хранения, транспортирования подвижного состава автомобильного транспорта, приборов и других технических изделий, предназначенных для эксплуатации [1, 2].

Особенности эксплуатации автомобилей при низких температурах. Основными факторами отрицательного воздействия на ресурс двигателя автомобиля являются низкая температура масла, поступление холодного воздуха и топлива,

понижение общего теплового режима двигателя, увеличение сопротивления шин и трансмиссии, аэродинамического сопротивления. В результате возрастают так называемые пусковые износы и износы в процессе дальнейшей эксплуатации.

Пониженная температура окружающего воздуха оказывает отрицательное воздействие на двигатель не только в период пуска и послепускового прогрева, но и в начальный период движения [3, 4]. Это связано с понижением теплового режима двигателя и возрастанием нагрузки. Так, при температуре охлаждающей жидкости 40°C темпы изнашивания гильз блока цилиндров возрастают в четыре раза, а при температуре 50°C — в два раза по сравнению с нормальными температурными условиями ($70-85^{\circ}\text{C}$).

Средняя нагрузка на двигатель при понижении температуры от 0 до -40°C может увеличиться на 25 % и более в результате возрастания сопротивления качению шин, потерь в трансмиссии и некоторого роста аэродинамического сопротивления воздуха, которое существенно при повышенных скоростях движения автомобиля.

¹ Особенности эксплуатации автомобилей в экстремальных природно-климатических условиях // Лекции ТЭТХЧАиСОБД / Камская государственная инженерно-экономическая академия. URL: <https://studfiles.net/preview/3180266/>.

Ухудшения условий работы агрегатов и систем автомобиля при низких температурах окружающего воздуха сказываются на распределении отказов в течение года (рис. 1) и соответствующем изменении трудоемкости их устранения (рис. 2).

Эксплуатация автомобилей при отрицательных температурах сопряжена также с увеличением расхода топлива (см. рис. 2), которое объясняется неполнотой сгорания, связанной с ухудшением испарения и распыления топлива; более длительной работой двигателя на пониженных и неустойчивых режимах и дополнительными затратами топлива на прогрев двигателя; повышением сопротивления в агрегатах трансмиссии из-за загустевания масел; увеличением сопротивления качению колес при движении по зимней дороге и аэродинамического сопротивления вследствие повышения плотности воздуха.

Особенно значительные расходы топлива связаны с прогревом двигателя и шин после длительной стоянки автомобиля на открытой площадке при низкой температуре воздуха (рис. 3, 4).

Суммарные потери топлива за счет стоянок (т. е. на прогрев двигателя на остановке и прогрев агрегатов и шин после стоянки) при типичных режимах движения и температуре окружающего воздуха -40°C составляют, относительно безостановочного движения, в городе — от 2,6 до 9 %, за городом — около 2,5 %.

В реальных условиях при низкой температуре окружающего воздуха указанные факторы взаимодействуют и существенно увеличивают расход топлива автомобилей. В связи с этим экс-

плуатационные нормы расхода топлива в зимнее время в зависимости от климатического района увеличиваются на 5–20 % [5].

Диапазон отрицательных температур атмосферного воздуха накладывает свой отпечаток на работу дизельного двигателя и топливной аппаратуры, поскольку температура окружающей среды влияет на вязкость (см. рис. 4) и плотность топлива, работу фильтрующих элементов, их пропускную способность и тонкость фильтрации. Увеличение вязкости ведет к укрупнению капель в факеле, ухудшению распыливания и испарения топлива. Топливо с большой вязкостью догорает на такте расширения, что ухудшает экономичность двигателя и повышает дымность отработавших газов. Крупные капли за счет большой кинетической энергии, приобретаемой при впрыскивании, увеличивают длину факела. Часть топлива попадает на стенки камеры сгорания, ухудшая процесс смесеобразования. Низ-

Рис. 2. Влияние температуры окружающего воздуха и коэффициента сопротивления качению шин f на удельную трудоемкость текущего ремонта автомобиля ЗИЛ-131

Рис. 1. Распределение отказов по месяцам года: 1 — двигатель; 2 — подвеска; 3 — рулевой механизм

Рис. 3. Дополнительный расход топлива на прогрев агрегатов трансмиссии и шин автомобилей типа «Урал» после стоянки длительностью: 1 — 2 ч; 2 — 1,5 ч; 3 — 1 ч; 4 — 0,5 ч (данные Тюменского государственного нефтегазового университета)

Рис. 4. Температурная зависимость вязкости дизельного топлива: 1 — летнего; 2 — зимнего

кие температуры неблагоприятны и для электро-стартерного пуска двигателя автомобиля при хранении его на открытой стоянке или в неотапливаемом помещении [6, 7]. Затруднение пуска обусловлено, прежде всего, сложностью создания необходимой частоты вращения коленчатого вала, ухудшением условий смесеобразования и воспламенения смеси. Для обеспечения надежного пуска двигателя должно быть выполнено условие $n_{\text{дв}} \geq n_{\text{мин}}$, где $n_{\text{дв}}$ — частота вращения коленчатого вала, $n_{\text{мин}}$ — минимальная частота вращения, обеспечивающая процесс подготовки рабочей смеси в карбюраторном двигателе или достаточную температуру конца сжатия в дизельном. Минимальной пусковой частотой вращения коленчатого вала двигателя принято называть частоту, при которой обеспечивается пуск двигателя за две попытки продолжительностью каждая 10 с для карбюраторных и 15 с для дизельных двигателей с интервалом между попытками не более 1 мин.

Минимальная пусковая частота зависит от конструкции и технического состояния двигателя, баланса положительных и отрицательных потоков энергии при цикле движения (рис. 5) и температуры окружающего воздуха (рис. 6).

Дизельные двигатели имеют более высокую минимальную пусковую частоту вращения (для четырехцилиндровых дизелей при $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 2000 об./мин). При температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже пуск двигателя без его разогрева внешним источником тепла практически невозможен.

При зимнем пуске двигателя существенную роль играет энергия аккумуляторной батареи (АКБ) и химическая энергия топлива. Энергия АКБ, являющаяся первой составляющей энергетического баланса при пуске двигателя, расходуется на привод стартера. В свою очередь стартер производит работу по сжатию воздуха, преодолению сил трения, преодолению сил инерции. Часть потока энергии АКБ и стартера составляет теплота, которая уходит безвозвратно в окружающую среду (так называемая отрицательная часть). Эти потери тем больше, чем больше перепад температур между АКБ и стартером, с одной стороны, и окружающей средой — с другой. Для получения минимальной пусковой частоты вращения стартер должен развивать суммарный крутящий момент:

$$M_c = M_k + M_j + M_t, \quad (1)$$

где M_k — момент, затрачиваемый на сжатие воздуха; M_j — на преодоление сил инерции; M_t — на преодоление сил трения.

Расчеты M_c на примере дизельного двигателя с рабочим объемом 11,2 л дают следующие результаты:

при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ $M_j = 10,5\text{ Н} \cdot \text{м}$ (3 %); $M_k = 117,7\text{ Н} \cdot \text{м}$ (38 %); $M_t = 176,6\text{ Н} \cdot \text{м}$ (59 %);

при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $M_j = 10,5\text{ Н} \cdot \text{м}$ (3,5 %); $M_k = 117,7\text{ Н} \cdot \text{м}$ (16,5 %); $M_t = 598,4\text{ Н} \cdot \text{м}$ (80 %).

Таким образом, в рассматриваемом диапазоне температур основной составляющей минимального необходимого крутящего момента стартера является M_t (от 30 до 59–80 %), на втором месте — M_k (15–40 %). Характерно, что моменты M_k и M_j практически не изменяются с температурой. Момент же M_t даже в рассмотренном ограниченном диапазоне температур изменяется почти в 3,5 раза, главным образом по причине увеличения вязкости масла при снижении температуры.

Затраты на сжатие воздуха связаны в основном с увеличением внутренней энергии рабочего тела и температурой воздуха. Полученная таким образом энергия проявляется в теплоте сгорания. Второй положительной составляющей энергетического баланса двигателя при пуске является химическая энергия топлива. Теплота сгорания топлива, полученная в результате суммирования энергии АКБ, реализуемой в работе по сжатию воздуха, и химической энергии топлива,

Рис. 5. Баланс потоков энергии при пуске двигателя

Рис. 6. Поле минимальной пусковой частоты вращения коленчатого вала карбюраторных двигателей в зависимости от температуры окружающего воздуха

в свою очередь, влияет на другие составляющие энергетического баланса двигателя при пуске.

Суммарная энергия, полученная от указанных источников, несколько повышает температуру масла и расходуется на снижение потерь на трение. Однако как температура охлаждающей жидкости, так и температура масла могут быть повышены не только описанным способом (чего при низких температурах крайне недостаточно), но и путем применения внешних источников тепла — подогревателей масла и охлаждающей жидкости.

Получение пусковой частоты вращения коленчатого вала двигателя в большой степени за-

труднено из-за снижения энергетических возможностей АКБ (рис. 7), которое происходит в первую очередь из-за изменения ее внутреннего сопротивления (при понижении температуры):

$$U = E - IR, \quad (2)$$

где U — напряжение на клеммах АКБ, В; E — электродвижущая сила батареи, В; R — внутреннее сопротивление батареи (сопротивление перемычек, пластин, электролита, сепараторов), Ом; I — сила тока, отдаваемая АКБ, А.

При понижении температуры E изменяется незначительно, а произведение IR существенно возрастает из-за увеличения как силы разрядного тока, так и внутреннего сопротивления АКБ. Сопротивление пластин и перемычек практически не зависит от температуры, а сопротивление электролита и внутреннее сопротивление сепараторов с понижением температуры возрастают за счет сужения каналов, в которых находится электролит.

Одновременно с падением напряжения U при низких температурах понижается и емкость аккумуляторной батареи. В среднем при понижении температуры электролита на 1°C емкость АКБ снижается на 1,0–1,5 %. При температурах электролита ниже -30°C батарея не принимает заряд и фактически эксплуатируется разряженной до 50–60 % номинальной емкости. Ухудшение условий смесеобразования и воспламенение рабочей смеси при низких температурах существенно затрудняет пуск двигателя.

Рис. 7. Зависимость напряжения полностью заряженной аккумуляторной батареи от температуры при стартерном режиме

На воспламенение смеси в цилиндрах дизельного двигателя влияет температура всасываемого воздуха, охлаждающей жидкости, масла, электролита и топлива. Снижение температуры всасываемого воздуха приводит к охлаждению стенок цилиндров и снижению температуры воздуха в конце такта сжатия T_c . Для надежного воспламенения рабочей смеси в цилиндре дизеля эта температура должна быть выше температуры самовоспламенения топлива на 200–300 °C:

$$T_c = T_a^{n-1}, \quad (3)$$

где T_a — температура всасываемого воздуха; ϵ — степень сжатия; n — показатель политропы сжатия.

В зимнее время температура всасываемого воздуха снижается. Кроме того, из-за увеличения теплоотдачи находящегося в цилиндрах двигателя воздуха в холодные стенки двигателя уменьшается значение показателя политропы сжатия ϵ . Таким образом, при снижении температуры окружающего воздуха T_a уменьшается и, следовательно, ухудшаются условия воспламенения смеси и пуск двигателя. Эффект снижения температуры охлаждающей жидкости, масла и электролита АКБ у карбюраторного и дизельного двигателей аналогичен.

Библиографический список

1. Агеев Е. В., Щербakov А. В., Пикалов С. В. Особые условия технической эксплуатации и экологическая безопасность автомобилей. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2015. 212 с.
2. Евтюков С. А., Подопригора Н. В. Совершенствование методики вычисления остановочного-

го пути // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 4 (33). С. 92–102.

3. Евтюков С. А., Чооду О. А. Влияние условий местности на техническую эксплуатацию и формирование парков машин // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 3 (50). С. 239–242.

4. Ким Б. Г. Обеспечение работоспособности и исправности парков строительной техники: учеб. пособие. Владимир: ВладГУ, 2000. 147 с.

5. Сизиков С. А., Евтюков С. А., Скрипилов А. П. Оптимизация комплексно-механизированных работ в строительстве: учеб. пособие. СПб.: СПбГАСУ, 2011. 159 с.

6. Чооду О. А. Проблемы эксплуатации дорожных и строительных машин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2008. № 70. С. 67–73.

7. Чооду О. А., Евтюков С. А., Монгуш С. Ч. Формирование высокоэффективного парка транспортно-технологических комплексов и оборудования для различных отраслей народного хозяйства страны // Естественные и технические науки. 2015. № 5 (83). С. 89–91.

References

1. Ageev E. V., Shcherbakov A. V., Pikalov S. V. *Osobyie usloviya tekhnicheskoy ehkspluatatsii i ehkologicheskaya bezopasnost' avtomobiley* [Special conditions of technical operation and ecological safety of cars]. Kursk, Southwestern State University Publ., 2015, 212 p.
2. Evtyukov S. A., Podoprighora N. V. *Sovershenstvovanie metodiki vychisleniya ostanovochного пути* [Improving the technique of calculation of the stopping distance]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2012, no.4 (33), pp. 92–102.
3. Evtyukov S. A., Choodu O. A. *Vliyanie gorodom usloviy fakticheski mestnosti na tekhnicheskuyu dvigatelya ehkspluatatsiyu i formirovaniye parkov progrev mashin* [Influence of the location on technical maintenance and formation of parks of machines]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2015, no.3 (50), pp. 239–242.
4. Kim B. G. *Obespecheniye rabotosposobnosti i ispravnosti parkov stroitel'noy tekhniki. Ucheb. posobie* [Provision of working capacity and operability of construction process parks. Teaching manual]. Vladimir, VladGU Publ., 2000, 147 p.
5. Sizikov S. A., Evtyukov S. A., Skripilov A. P. *Optimizatsiya kompleksno-mekhanizirovannykh rabot v stroitel'stve. Ucheb. posobie* [Optimization of complex mechanized works in construction. Teaching manual]. St.Petersburg, SPSUACE Publ., 2011, 159 s.
6. Choodu O. A. *Problemy ehkspluatatsii nagruzok dorozhnykh okruzhayushchego i stroitel'nykh mashin*

[Problems of operation of road building and construction machines]. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti kholodnykh SPbGPU – Bulletin of scientific and technical news of SPbPU*, 2008, no.70, pp. 67–73.

7. Choodu O. A., Evtyukov S. A., Mongush S. Ch. *Formirovanie vysokoehffektivnogo parka transportno-tehnologicheskikh kompleksov i oborudovaniya dlya*

razlichnykh otrasley narodnogo khozyaystva strany [Formation of the highly effective transport and technological complexes park and equipment for different branches of the national economy of the country]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Natural and technical sciences*, 2015, no.5 (83), pp. 89–91.