

Р.В. Денисов, С.А. Пестриков, М.Ю. Петухов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕПЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ АГРЕГАТОВ СПЕЦТЕХНИКИ НА ПРИМЕРЕ ТРАКТОРА ДТ-75МЛ

Рассматривается система комплексной тепловой подготовки агрегатов спецтехники на примере трактора ДТ-75МЛ. Производится оценка ее экономической эффективности исходя из экономии топлива на режимах прогрева двигателя и гидравлической системы. Рассчитывается срок окупаемости инвестиций в проект установки системы комплексной тепловой подготовки агрегатов на трактор ДТ-75МЛ.

Ключевые слова: предпусковая тепловая подготовка, двигатель внутреннего сгорания, гидравлический привод, экономическая эффективность, срок окупаемости.

R.V. Denisov, S.A. Pestrikov, M.Iu. Petukhov

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

EVALUATION OF THE ECONOMIC EFFECTIVENESS OF SYSTEM OF COMPLEX HEAT SPECIAL MACHINERY'S UNITS' PREPARATION FOR EXAMPLE TRACTOR DT-75ML

The article considers the system of complex heat special machinery's units' preparation for example tractor DT-75ML. The estimation of its economic efficiency based on fuel economy modes warm engine and hydraulic system. Calculate the payback period of investment in the installation of this system project on tractor DT-75ML.

Keywords: pre-start heat preparation, internal combustion engine, hydraulic drive, cost-effectiveness, the payback period.

Транспортно-технологические машины при низких температурах окружающего воздуха не обеспечивают полной производительности: ухудшаются характеристики эксплуатационных материалов; не соответствует оптимуму тепловой режим двигателя и основных узлов; уменьшается КПД приводов ходового и рабочего оборудования; наблюдается более интенсивный износ движущихся сопряжений узлов и деталей машины; ужесточается физиологический режим работы экипажа.

Ситуация усугубляется тем, что при выполнении ряда работ техника эксплуатируется в полевых условиях – вдали от стационарных источников электроэнергии и тепла, с помощью которых можно было

бы обеспечить требуемый тепловой режим двигателя и гидросистемы машины перед пуском [1].

Для решения сложившейся проблемной ситуации, после изучения текущего состояния данного вопроса, нами была предложена система комплексной тепловой подготовки агрегатов (СКТПА) спецтехники. Основным теплогенерирующим элементом данной системы является дизельный автономный предпусковой подогреватель Теплостар 14-ТС10. Компоновочная схема предложенной системы для трактора ДТ-75МЛ представлена на рис. 1.

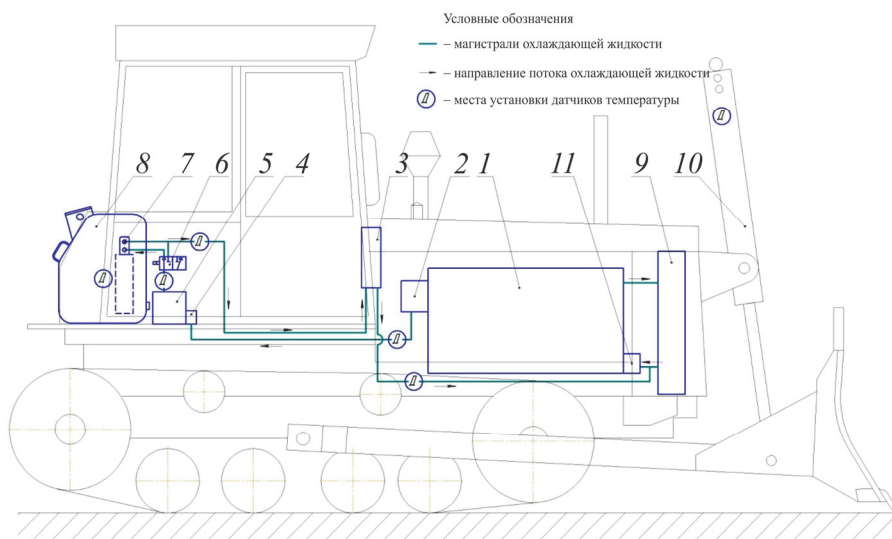


Рис. 1. Компоновочная схема системы комплексной тепловой подготовки агрегатов на тракторе ДТ-75МЛ: 1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – пусковой двигатель; 3 – радиатор отопления кабины оператора; 4 – электрический циркуляционный насос; 5 – автономный предпусковой подогреватель; 6 – трехходовой электрический клапан; 7 – теплообменник «жидкость – жидкость»; 8 – гидравлический бак; 9 – радиатор системы охлаждения двигателя; 10 – гидроцилиндр; 11 – штатный циркуляционный насос двигателя

Разработанная система дает возможность произвести тепловую подготовку двигателя и гидравлической системы строительных машин, что позволит решить проблемы, перечисленные выше; одними из положительных результатов решения данных проблем являются повышение экономической эффективности работы техники при отрицательных температурах.

Вместе с тем важным моментом выступает количественная оценка показателя эффективности, которым является срок окупаемости капитальных вложений, затраченных на установку системы комплексной тепловой подготовки. Оценка производится для системы комплексной тепловой подготовки, установленной на бульдозере ДТ-75МЛ.

Основными составляющими, определяющими повышение экономической эффективности при эксплуатации техники, оборудованной системой комплексной тепловой подготовки, являются:

- снижение затрат топлива на прогрев двигателя;
- снижение затрат топлива на прогрев гидравлической системы.

Произведем экономическую оценку данных факторов исходя из условия работы техники в Пермском крае. Отрицательные температуры преобладают в Пермском крае в течение пяти месяцев (с ноября по март), при этом средняя температура за эти месяцы составляет $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Согласно инструкции по эксплуатации трактора ДТ-75МЛ рекомендуется после запуска двигателя не нагружать его на полную мощность, следовательно, двигатель необходимо прогревать на холостом ходу или на повышенных оборотах до рекомендованной температуры $80\text{--}95\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом нельзя допускать работы трактора на холостом ходу свыше 15 мин, поскольку это приводит к закоксовыванию поршневых колец, клапанов и т.д. [2]. Исходя из этого, примем время работы трактора на холостом ходу равное 15 мин. Таким образом, зная удельный эффективный расход топлива для дизельного двигателя А-41М, установленного на тракторе, рассчитаем количество топлива, необходимое для прогрева двигателя при работе на холостом ходу [3]:

$$G_r = \frac{g_e \cdot N_e}{1000}, \quad (1)$$

где G_r – часовой расход топлива, кг/ч; g_e – удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч); N_e – эффективная мощность двигателя.

Таким образом, часовой расход топлива при работе на холостом ходу составит 16,63 кг/ч. Следовательно, за 15 мин прогрева двигателя на холостом ходу будет израсходовано 4,16 кг топлива, что, с учетом плотности зимнего дизельного топлива, составит 4,95 л топлива.

При альтернативном варианте разогрева двигателя путем использования системы комплексной тепловой подготовки агрегатов количе-

ство израсходованного топлива определяется исходя из требуемого времени прогрева и расхода топлива предпусковым подогревателем. Согласно проведенному оценочному тепловому расчету для прогрева требуется 1 ч. Таким образом, учитывая, что расход топлива отопителем составляет 1,4 л/ч, находим количество топлива, необходимое для прогрева двигателя, которое составит 1,4 л.

При сравнении двух вариантов разогрева становится ясным, что разогрев при помощи СКТПА более экономичен. Данный вариант разогрева позволяет сэкономить 3,55 л топлива ежедневно, только лишь на прогреве двигателя.

Перейдем к рассмотрению процесса разогрева гидравлического привода рабочего оборудования и оценим экономичность предпускового подогрева, исходя из снижения потерь мощности в гидроприводе при уменьшении вязкости рабочей жидкости.

Исходными данными для расчета потерь мощности являются свойства рабочей жидкости (ее вязкость и плотность), подача насоса, параметры трубопроводов (длина, диаметр) и гидроаппаратов (коэффициент сопротивления). Согласно инструкции по эксплуатации трактора в зимний период для гидросистемы рекомендовано использовать масло М-8Г2. Вязкостно-температурная характеристика данного масла представлена на рис. 2.

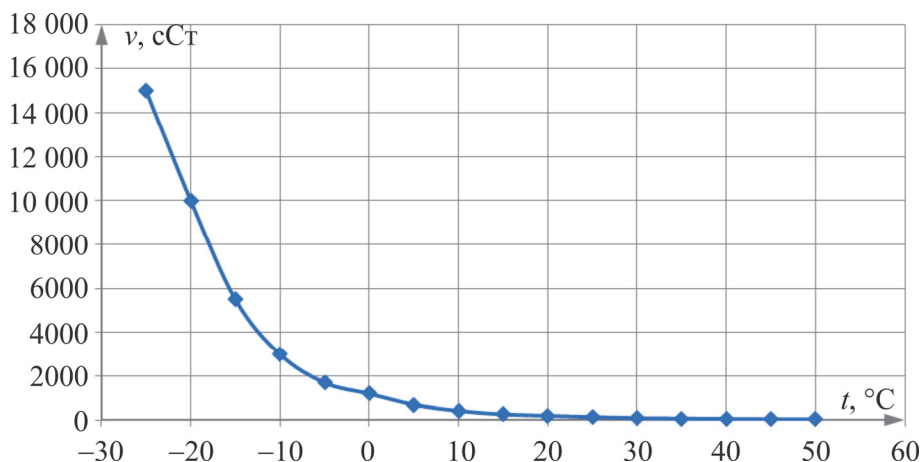


Рис. 2. Вязкостно-температурная характеристика масла М-8Г2

Расчет потерь мощности производился согласно следующей методике [4, 5].

Для трубопроводов скорость рабочей жидкости составляет:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2}, \quad (2)$$

где v – скорость рабочей жидкости, м/с; Q – подача насоса, м³/с; d – диаметр трубопровода, м.

Режим движения рабочей жидкости в трубопроводе (ламинарный или турбулентный). Для этого определим число Рейнольдса:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (3)$$

где ν – кинематическая вязкость рабочей жидкости, м²/с.

Определим коэффициент Дарси – коэффициент сопротивления трубопровода. Число Рейнольдса позволяет определить характер движения рабочей жидкости в трубопроводе. При числе Рейнольдса меньше 2300 считают, что движение в трубопроводе ламинарное, и коэффициент Дарси определяют по формуле

$$\lambda = \frac{75}{Re}. \quad (4)$$

Если же число Рейнольдса больше 2300, то считают, что движение рабочей жидкости турбулентное, и коэффициент Дарси рассчитывают по формуле

$$\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-0,25}. \quad (5)$$

Общая величина потерь давления может быть определена как сумма потерь в отдельных элементах гидросистемы:

$$\Sigma \Delta P = \Sigma \Delta P_{\Pi} + \Sigma \Delta P_{\text{м}}, \quad (6)$$

где $\Sigma \Delta P_{\Pi}$ – суммарные путевые потери давления в трубопроводах; $\Sigma \Delta P_{\text{м}}$ – суммарные местные потери давления в штуцерах и гидрооборудовании.

Путевые потери давления для линий всасывания, нагнетания и слива определяем по формуле

$$\Delta P_{\Pi} = \frac{\lambda \cdot \rho \cdot l \cdot v^2}{2d}, \quad (7)$$

где l – длина трубопровода, м; ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³.

Для местных сопротивлений (изгибы, штуцеры, переходники, обратные клапаны, распределители, фильтры) потери давления определяются по следующей формуле:

$$\Delta P_m = \frac{\rho \cdot \xi \cdot b \cdot v^2}{2}, \quad (8)$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления (выбирается в зависимости от вида местного сопротивления) [4]; b – поправочный коэффициент, учитывающий влияние вязкости жидкости на местные потери.

Суммарные потери мощности на преодоление сопротивлений рассчитываем по формуле

$$\Delta N = \Sigma \Delta P \cdot Q \cdot k, \quad (9)$$

где k – коэффициент продолжительности работы гидропривода под нагрузкой (выбирается в зависимости от режима работы гидропривода и области применения техники) [4].

Часовые затраты топлива (в литрах) на преодоление потерь в гидроприводе рассчитываем по формуле

$$Q_N = \frac{g_e \cdot \Delta N}{1000 \rho_T}, \quad (10)$$

где ρ_T – плотность топлива.

График зависимости расхода топлива (на преодоление потерь в гидроприводе) от температуры рабочей жидкости в гидроприводе приведен на рис. 3.

Согласно графику при температуре -15 °С расход топлива на преодоление сопротивлений составляет 10,8 л/ч. При температуре 50 °С, которая является оптимальной для работы гидропривода, расход топлива на преодоление сопротивлений составляет 0,1 л/ч. По данным теплового расчета, разогрев гидропривода до оптимальной температуры происходит за 40 мин работы. Таким образом, за это время на преодоление сопротивлений в гидроприводе будет дополнительно потрачено 3,6 л топлива.

При альтернативном варианте разогрева гидравлического бака путем использования системы комплексной тепловой подготовки агрегатов, количество израсходованного топлива определяется исходя из требуемого времени прогрева и расхода топлива предпусковым подогревателем. Согласно проведенному оценочному тепловому расчету для прогрева

требуется 30 мин времени. Таким образом, учитывая, что расход топлива отопителем составляет 1,4 л/ч, находим количество топлива, необходимого на прогрев гидравлического бака, которое составит 0,7 л.

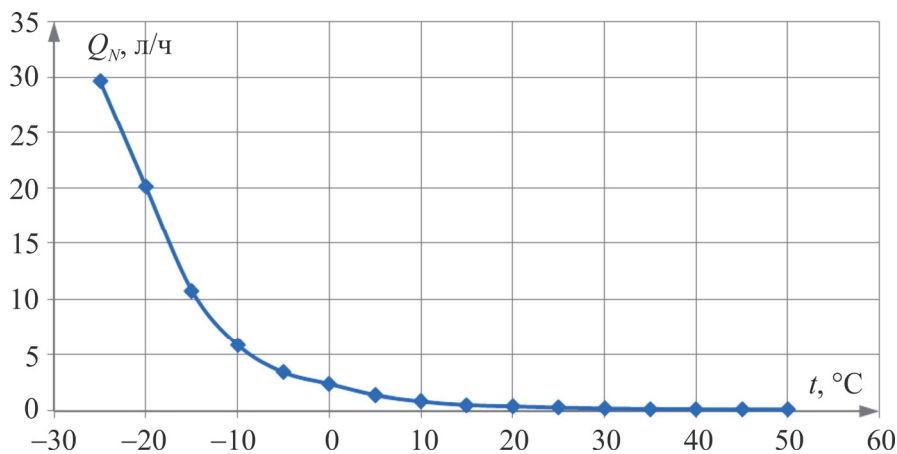


Рис. 3. Зависимость расхода топлива на преодоление сопротивлений в гидроприводе от температуры рабочей жидкости

При сравнении двух вариантов разогрева определили, что разогрев при помощи СКТПА более экономичен. Данный вариант разогрева позволяет экономить 2,9 л топлива ежедневно на предпусковом подогреве двигателя.

Суммарная экономия топлива на прогреве двигателя и гидравлической системы составляет 6,45 л ежедневно. С учетом выходных дней месячная экономия топлива в среднем составит 167,7 л, что в денежном эквиваленте равняется 5 534 руб.

Стоимость установки системы комплексной тепловой подготовки на трактор ДТ-75МЛ с учетом стоимости оборудования и материалов составляет порядка 50 тыс. руб. Исходя из этого, рассчитаем срок окупаемости инвестиций в данный проект.

Срок окупаемости – это минимальный временной интервал (от начала осуществления проекта), за пределами которого интегральный эффект становится и остается в дальнейшем положительным. Иными словами, это период времени, начиная с которого первоначальные вложения и другие затраты, связанные с инвестиционным проектом, покрываются суммарными результатами его осуществления. Срок окупаемости определим с использованием метода дисконтирования. За шаг расчета принимаем один месяц. Количество шагов принимаем равное 12, т.е. горизонт расчета составит 1 год.

Чистый дисконтированный доход (в нашем случае – дисконтированная сумма экономии) определяется по формуле [6]

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T (P_t - Z_t) \cdot \alpha_t \quad (11)$$

где t – номер шага расчета, $t = 0, 1, 2, 3 \dots T$; T – горизонт расчета; P_t – результаты на t -м шаге; Z_t – затраты на t -м шаге; α_t – коэффициент дисконтирования.

Коэффициент дисконтирования находим по формуле

$$\alpha_t = \frac{1}{(1 + E)^t}, \quad (12)$$

где E – норма дисконта, %.

Норма дисконта рассчитывается по формуле

$$E = ((1 - I \cdot R) \cdot (1 + I) \cdot (1 + B) - 1) \cdot 100 \%, \quad (13)$$

где R – ставка рефинансирования в месяц; I – среднемесячный темп инфляции; B – поправка на предпринимательский риск в месяц.

Согласно текущей экономической обстановке в Российской Федерации принимаем: $R = 0,0066$; $I = 0,0051$; $B = 0,0041$. По результатам расчета $E = 0,92 \%$.

На основе расчетов построен график окупаемости инвестиций, который приведен на рис. 4.

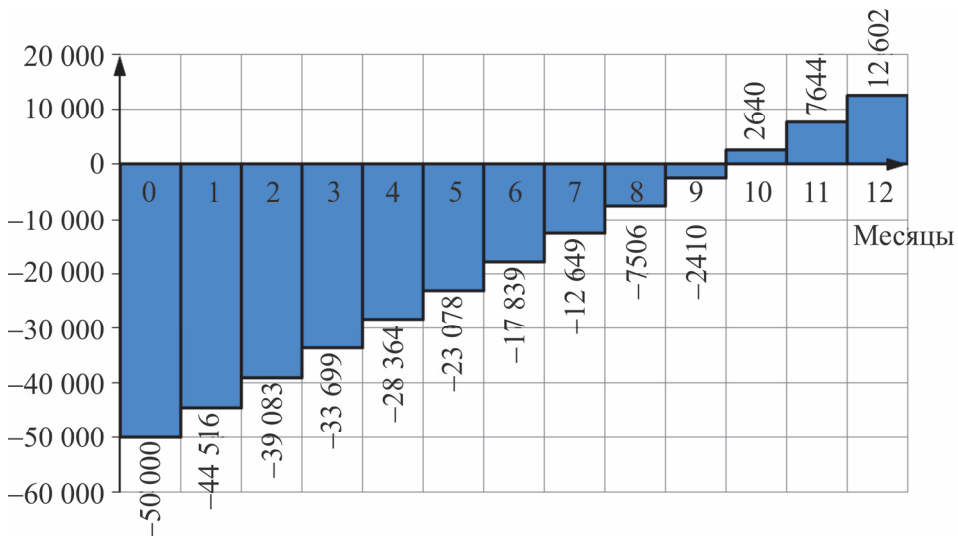


Рис. 4. График окупаемости инвестиций

Согласно графику срок окупаемости инвестиций составит 9,5 мес. Таким образом, система комплексной тепловой подготовки окупится за два зимних сезона. При этом учтена лишь экономия дизельного топлива. На практике данная система позволит достигать экономии не только за счет снижения расхода топлива, но и за счет уменьшения простоя техники, связанного с ее неавтоматизированной тепловой подготовкой или отсутствием таковой. Кроме того, благодаря эффективной тепловой подготовке снижается поток отказов в зимнее время, что также приносит дополнительный экономический эффект. В итоге срок окупаемости может существенно сократиться, а инвестиции в установку данной системы стать еще более привлекательными.

Список литературы

1. Обеспечение работы гидропривода строительной машины в условиях низких температур окружающей среды / Ш.М. Мерданов, А.В. Яркин, Ф.Д. Шараев, А.Н. Шуваев // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 4. – С. 143–145.

2. Трактор ДТ-75МЛ. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Алма-Ата: Кайнар, 1988. – 288 с.

3. Вахламов В.К. Конструкция расчет и эксплуатационные свойства автомобилей. – М.: Академия, 2007. – 560 с.

4. Каверзин С.В. Курсовое и дипломное проектирование по гидроприводу самоходных машин: учеб. пособие. – Красноярск: Офсет, 1997. – 384 с.

5. Науменко А.Е. Влияние температуры рабочей жидкости и технического состояния гидросистемы на потери мощности в гидросистеме на примере погрузчика МоАЗ-4048 // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2007. – № 1 (14). – С. 32–39.

6. Сичинава Г.А. Оценка экономической эффективности инвестиционных проектов в строительстве: метод. указания к экономической части дипломных проектов. – Ухта: Изд-во УГТУ, 2010. – 98 с.

References

1. Merdanov Sh.M., Iarkin A.V., Sharaev F.D., Shuvaev A.N. Obespechenie raboty gidroprivoda stroitel'noi mashiny v usloviakh nizkikh temperatur okruzhaiushchei sredy [Work assurance of hydraulic drive of construction machinery at low ambient temperatures]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ia*, 2012, no. 4, pp. 143-145.

2. Traktor DT-75ML. Tekhnicheskoe opisanie i instruksiiia po ekspluatatsii [Tractor DT-75ML. Technical description and operating manual]. Alma-Ata: Kainar, 1988, 288 p.

3. Vakhlamov V.K. Konstruktsiia raschet i ekspluatatsionnye svoistva avtomobilei [Design, calculation and operating properties of cars]. Moscow: Akademiia, 2007, 560 p.

4. Kaverzin S.V. Kursovoe i diplomnoe proektirovanie po gidroprivodu samokhodnykh mashin [Course and diploma design to self-propelled machine's hydraulic drive]. Krasnoiarsk: Ofset, 1997, 384 p.

5. Naumenko A.E. Vliianie temperatury rabochei zhidkosti i tekhnicheskogo sostoianiia gidrosistemy na poteri moshchnosti v gidrosisteme na primere pogruzchika MoAZ-4048 [Effect of operating fluid temperature and technical status of the hydraulic system to power losses in the hydraulic system on the example of loader MoAZ-4048]. *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo universiteta*, 2007, no. 1 (14), pp. 32-39.

6. Sichinava G.A. Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti investitsionnykh proektov v stroitel'stve. Metodicheskie ukazaniia k ekonomicheskoi chasti diplomnykh proektov [Assessment of the economic efficiency of investment projects in building. Guidelines for the economic part of graduation projects]. Ukhta: Ukhtinskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2010, 98 p.

Получено 12.11.2014

Об авторах

Денисов Роман Валерьевич (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: roman.stm08@gmail.com).

Пестриков Сергей Анатольевич (Пермь, Россия) – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: pestrikovs@mail.ru).

Петухов Михаил Юрьевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, декан автодорожного факультета Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: mi.petuhov@gmail.com).

About the authors

Denisov Roman Valer'evich (Perm, Russian Federation) – Master's Student, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: roman.stm08@gmail.com).

Pestrikov Sergei Anatol'evich (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Economical Sciences, Associate Professor, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: pestrikovs@mail.ru).

Petukhov Mikhail Iur'evich (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Dean of the Car and Road Building Faculty, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: mi.petuhov@gmail.com).