

К.Г. Пугин^{1,2}, Л.В. Янковский³, Д.В. Власов³, И.Э. Шаякбаров³

¹Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова, Пермь, Россия

²Пермский филиал Волжского государственного университета водного транспорта, Пермь, Россия

³Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ПРИЦЕПНОГО МИНИ-ЭКСКАВАТОРА

В стратегии развития строительного машиностроения Российской Федерации до 2030 г. поставлена задача импортозамещения в области производства землеройной техники. Развитие данного направления позволяет совершенствовать не только строительную отрасль, но и машиностроение и ряд смежных производств. При этом большое внимание уделяется развитию малогабаритной техники. Принимая во внимание основные тенденции в сфере функционирования малогабаритных землеройных машин, авторы разработали концептуальную схему малогабаритного экскаватора. В статье указаны недостатки несущих платформ мини-экскаваторов, имеющихся на рынке, позволил авторам спроектировать собственную конструкцию несущей платформы на базе автомобильного прицепа. Реализация данного проекта проходит в рамках студенческого конструкторского бюро на кафедре «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета. Спроектированный экскаватор позволяет работать на грунтах до 3-й категории; в зависимости от комплектации имеет массу от 400 до 600 кг; радиус резанья грунта составляет 1,5 м; глубина резанья 1,8 м; высота выгрузки грунта 2 м. Для работы на склоне предусмотрены выносные опоры с регулируемой высотой опорного диска (принцип работы домкрата). С целью уменьшения подвижных элементов в конструкции колеса присоединены через ступицу. Чтобы повысить устойчивость экскаватора, предусмотрена опорная лыжа, которая позволит технике при выполнении рабочих операций скользить по грунту. Присоединение экскаватора к буксировочному автомобилю осуществляется через фаркоп. В качестве силовой установки привода предложено использовать двигатель внутреннего сгорания марки Lifan, мощность которого составляет 15 л.с. Для проверки компоновочных решений была разработана 3D-модель малогабаритного экскаватора при помощи программного комплекса КОМПАС 3D. Для управления рабочим оборудованием предложена собственная гидравлическая схема. Конструкция имеет улучшенные показатели прочности и устойчивости, что позволяет рекомендовать данную конструкторскую разработку в качестве перспективной базовой модели для создания ряда малогабаритных экскаваторов.

Ключевые слова: строительные и дорожные машины, мини-экскаватор, импортозамещение, прицеп, несущая платформа, гидросхема.

K.G. Pugin^{1,2}, L.V. Yankovskiy³, D.V. Vlasov³, I.E. Shayakbarov³

¹Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov, Perm, Russian Federation

²Perm Branch of the Volga State University of Water Transport, Perm, Russian Federation

³Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

DEVELOPMENT OF A DESIGN FOR A TRAILED MINI EXCAVATOR

The strategy for the development of road-building engineering of the Russian Federation until 2030 sets the task of import substitution in the field of production of earthmoving equipment. The progress in this area makes it possible to develop not only the construction industry, but also mechanical engineering, and a number of related industries. At the same time, much attention is paid to the development of small-sized equipment. Taking into account the main trends of the development of small-sized earth-moving machines, the authors have developed a conceptual diagram of a small-sized excavator. The article indicates the disadvantages of the supporting platforms of the mini-excavators available for sale. An analysis of the shortcomings of existing designs of small-sized excavators present on the market allowed the authors to develop their own design of the supporting platform based on a car trailer. The implementation of this project takes place within the framework of the student design bureau at the Department of Automobiles and Technological Machines of the Perm National Research Polytechnic University. The designed excavator allows working on soils up to the category 3; depending on the configuration, it weighs from 400 to 600 kg; cutting radius of the soil is 1.5 m; cutting depth is 1.8 m; height of unloading of

soil is 2 m. For work on a slope, outriggers with an adjustable height of the backing disk are provided (the principle of operation of the jack). In order to reduce moving parts in the structure, the wheels are connected through the hub. To increase the stability of the excavator, a support ski is provided, which will allow the equipment to slide on the ground during working operations. The excavator is connected to the towing vehicle through the hitch. It is proposed to use a Lifan internal combustion engine, the power of which is 15 hp, as a power plant of the drive. To check the layout solutions, a 3D model of a small-sized excavator was developed using the КОМПАС 3D software package. An own hydraulic circuit is proposed to control the working equipment. The design has improved indicators of strength and stability, which makes it possible to recommend this design development as a promising base model for creating a number of small-sized excavators.

Keywords: construction and road machines, mini excavator, import substitution, trailer, supporting platform, hydraulic circuit.

На рынке строительных и дорожных машин (СДМ) все чаще стали появляться малогабаритные машины. Такую тенденцию можно объяснить тем, что крупногабаритная техника невыгодна для малого объема работ и не всегда может выполнять работу в стесненных условиях [1]. Наиболее распространенный вид мини-техники – прицепной экскаватор [2]. Область применения таких экскаваторов следующая: рытье траншеи под фундамент и прокладку трубопровода; работы, связанные с дизайном ландшафта; создание прудов; транспортировка материала и др. [3, 4].

Первыми производителями мини-экскаваторов были зарубежные компании, поэтому большую часть российского рынка малогабаритной техники занимают их модели [5]. Так, немецкий образец марки Jansen MB-300 имеет следующие характеристики: масса 550 кг; работа на двигателе внутреннего сгорания; габаритные размеры – 2250 и 1000 мм (длина и ширина); глубина копания 2,1 м; высота выгрузки 2,45 м; радиус поворота стрелы 130°. Другой образец принадлежит британской компании PowerFabTD1 с основными параметрами: масса 446 кг; в качестве силовой установки используется дизельный двигатель (10 л.с.); габаритные размеры экскаватора – 3220 и 1950 мм (длина и ширина); глубина копания 2,3 м; высота выгрузки 2,5 м; радиус поворота стрелы 130°. Несмотря на разнообразие иностранной техники, малые предприятия все же не могут приобрести такие приспособления из-за высокой цены и стоимости его технического обслуживания [6]. Поэтому с выходом стратегии Минпромторга развития строительного-дорожного машиностроения до 2030 г. и актуализацией вопроса импортозамещения стали создаваться отечественные образцы землеройной техники [7, 8].

Принимая во внимание направление развития СДМ, связанное с импортозамещением, авторы приняли решение разработать мини-экскаватор, который позволил бы отказаться от аналогов зарубежной техники. Для достижения данной цели необходимо решить ряд задач: провести анализ существующих мини экскаваторов; выбрать и определить основные параметры конструкции несущей платформы, рабочего и гидравлического оборудования; построить математическую модель конструкции; провести эксперимент по оптимизации элементов конструкции; выполнить проверочные расчеты; разработать технологию технического обслуживания и техники безопасности. В конечном итоге планируется получить образец со следующими параметрами: работа с грунтами до 3-й категории; габаритные размеры – 3000 и 1600 мм; масса 400–600 кг; радиус резанья грунта 1,5 м; глубина резанья 1,8 м; высота выгрузки 2 м.

Первоначальным этапом проектирования является выбор основных параметров несущей платформы экскаватора, так как от нее зависят основные параметры техники, способы присоединения, коммуникации гидролиний и расположение рабочего оборудования. Так, проанализировав отзывы и комментарии владельцев отечественной и зарубежной техники, помимо высокой стоимости был выявлен ряд недостатков в конструкции. Разберем их на примере наиболее распространенной «X-образной» схемы несущей платформы (рис. 1).

Наконечник опоры 1 расположен на выносной опоре 2 и в рабочем положении служит точкой опоры. Выносная опора 2 способна выдвигаться на необходимое расстояние и фиксируется пальцем в отверстиях 3, 4. Рама 5 выполнена путем сваривания балок в форме «X». В задней части расположена колесная балка 8, на которой через ступицу закреплены колеса 6. Колесную балку можно регулировать и закреплять при помощи пальца в отверстиях 7, 9. Фаркоп 11 расположен на выноске 10 и необходим для присоединения прицепа к автомобилю.

К недостаткам конструкции можно отнести: необходимость перестановки выносных опор и колесных балок при рабочем и транспортировочном положении; множество подвижных элементов создают дополнительный шум при транспортировке; при работе на уклоне нет возможности регулировки выносных опор для обеспечения устойчивости.

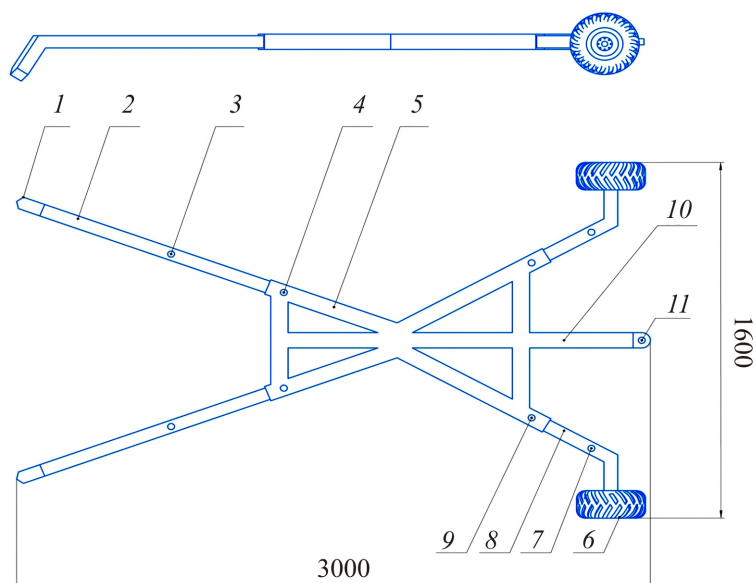


Рис. 1. X-образная схема несущей платформы мини-экскаватора: 1 – наконечник опоры; 2 – выносная опора; 3, 4 – отверстия для фиксации опоры; 5 – рама; 6 – колесо; 7, 9 – отверстия для фиксации колес; 8 – колесная балка; 10 – выноска для фаркопа; 11 – фаркоп

Анализ недостатков позволил авторам спроектировать собственную конструкцию несущей платформы на базе автомобильного прицепа. Реализация данного проекта проходит в рамках студенческого конструкторского бюро (СКБ) на кафедре «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ). Однако важно понимать, что существуют уже разработанные требования к конструкции автомобильных прицепов. Они отражены в документе ОСТ 37.001.220–80 «Параметры, размеры и общие технические требования к прицепах», в котором устанавливаются следующие параметры и размеры к конструкции:

1. Длина прицепа не более 1,5 длины основного тягового автомобиля или не более 8 м.
2. Ширина не более 2,3 м и не должна превышать ширину основного тягового автомобиля на 200 мм с каждой стороны.
3. Высота не более 1,8 ширины колеи прицепа и не более 3 м.
4. Центр тяжести груженого прицепа должен быть расположен таким образом, чтобы отношение высоты центра тяжести к величине колеи колес прицепа составляло не более 0,725.

Учитывая требования ОСТ 37.001.220–80 и используя в качестве тягача легковой автомобиль с средними габаритными размерами 4470×1750×2000 мм (длина × ширина × высота) в качестве несущей платформы мини-экскаватора, предложили схему типа «треугольник» (рис. 2).

На такой конструктивной схеме для размещения силовой установки отводится задняя часть платформы с возможностью установки специализированной площадки. Для работы на склоне предусмотрены выносные опоры с регулируемой высотой опорного диска (принцип работы домкрата). С целью уменьшения подвижных элементов в конструкции колеса будут присоединены через ступицу. Чтобы повысить устойчивость экскаватора, предусмотрена опорная лыжа, которая позволит технике при движении скользить по грунту. Через фаркоп осуществляется присоединение экскаватора к буксировочному автомобилю.

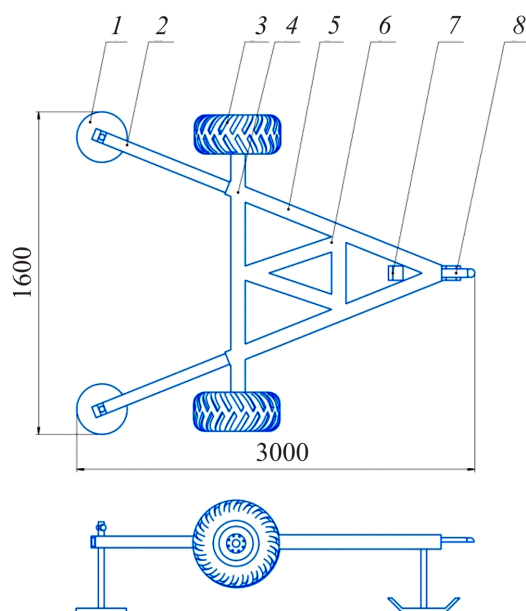


Рис. 2. Схема несущей платформы типа «треугольник»: 1 – опорный диск; 2 – выносная опора; 3 – колесо; 4 – фиксатор; 5 – внешняя рама; 6 – каркас усиления рамы; 7 – опорная лыжа; 9 – фаркоп

От выбора конструкции зависит расположение всего рабочего оборудования на несущей платформе малогабаритного экскаватора [9–15]. Для обеспечения хорошего обзора и комфорта на рабочем месте стреловое оборудование размещено в передней части экскаватора. На рис. 3 представлена схема компоновки рабочего оборудования.

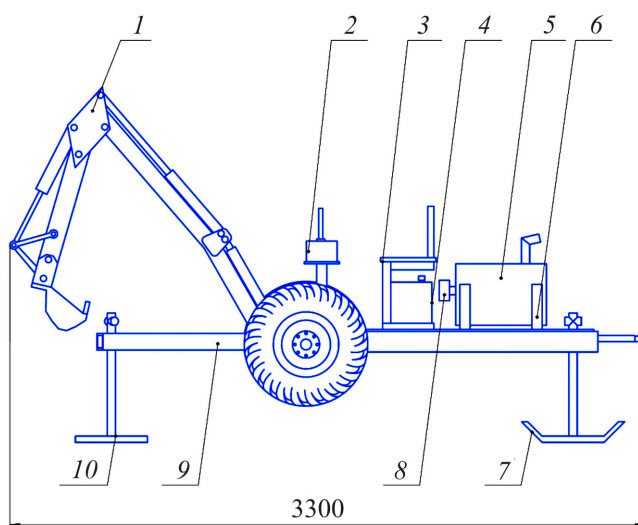


Рис. 3. Схема компоновки рабочего оборудования: 1 – стреловое оборудование; 2 – гидрораспределитель; 3 – сидение оператора; 4 – гидравлический бак; 5 – двигатель; 6 – площадка под двигатель; 7 – опорная лыжа; 8 – гидравлический насос; 9 – выносная опора; 10 – опорный диск

В качестве силовой установки привода предложено использовать двигатель внутреннего сгорания 5 марки Lifan, мощность которого составляет 15 л.с. Силовая установка будет передавать свою механическую энергию гидронасосу 8, который будет создавать необходимое давление для привода рабочего органа машины. Гидравлический бак 4 расположен под сидением оператора 3, из которого происходит забор (слив) рабочей жидкости. Управление стреловым оборудованием 1 оператор осуществляет через гидрораспределитель 2. Предлагается использо-

вать 4 гидравлических цилиндра: 1 – на подъем/опускание ковша; 2 – на подъем/опускание рукояти; 3 – на подъем/опускание стрелы; 4 – на поворот стрелового оборудования.

Для проверки компоновочных решений была разработана 3D-модель малогабаритного экскаватора на базе несущей платформы типа «треугольник» при помощи программного комплекса КОМПАС 3D (рис. 4).

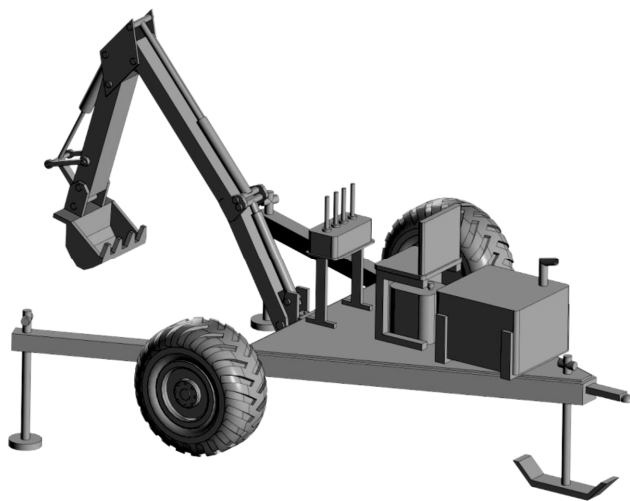


Рис. 4. 3D-модель малогабаритного экскаватора

Для управления рабочим оборудованием использована гидравлическая схема, которая состоит из гидравлического бака, исполнительных устройств, распределителей, предохранительных элементов, контрольно-измерительных приборов, насоса и гидравлического бака (рис. 5). Из гидравлического бака 1 с помощью насоса 2, гидравлическая жидкость подается в систему. Давление при этом контролируется манометром 4 и при повышении допустимых значений срабатывает предохранительный клапан 3. Далее жидкость поступает к гидроцилиндрам 5, 6, 7, 8, отвечающим за работу стрелы, рукояти, ковша и поворота стрелы соответственно. Регулировка положения каждого из гидроцилиндров выполняется соответствующими гидрораспределителями 9, 10, 11, 12. Слив осуществляется через сливную магистраль, оснащенную манометром 13. Для охлаждения рабочей жидкости в системе предусмотрен охладитель 14. Далее установлен фильтр 16 с предохранительным клапаном 15 для очистки жидкости от механических примесей. Далее очищенная и охлажденная жидкость вновь попадает в бак.

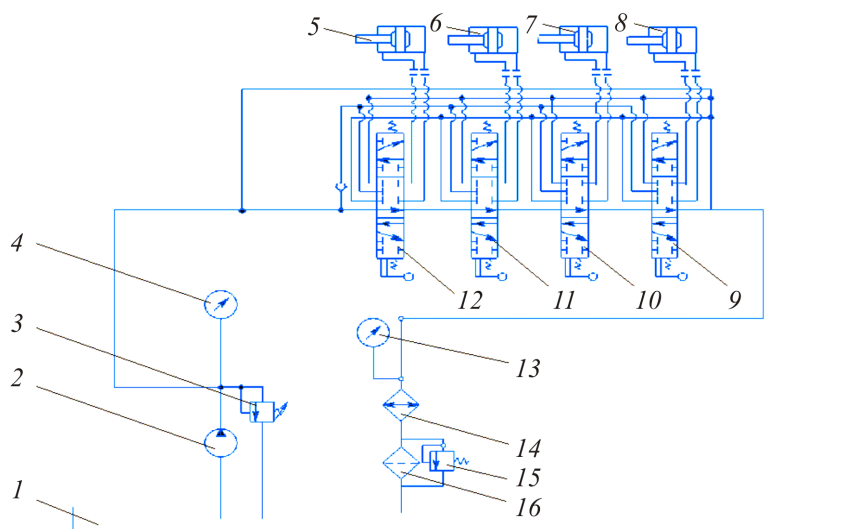


Рис. 5. Гидравлическая схема разрабатываемой техники

Ввиду того что данное устройство будет эксплуатироваться в основном в летний период, допускается применение гидравлической жидкости на минеральной основе отечественного производства, что снизит затраты на обслуживание. К таким можно отнести Газпромнефть HVLP-46, Лукойл FG32-68, ВМГЗ.

Анализ несущих платформ малогабаритной техники позволил разработать концептуальную модель мини-экскаватора, способного выполнять землеройные работы с грунтами до 3-й категории. Для управления рабочим оборудованием предложена собственная гидравлическая схема. Конструкция имеет улучшенные показатели прочности и устойчивости, что позволяет рекомендовать данную конструкторскую разработку в качестве перспективной базовой модели для создания ряда малогабаритных экскаваторов.

Список литературы

1. Пугин К.Г., Власов Д.В., Шаякбаров И.Э. Разработка грузоподъемного устройства на трактор МТЗ-80 (МТЗ-82) // Дальневосточный аграрный вестник. – 2019. – № 2. – С. 109–118.
2. Ахрипова Е.К. Большое будущее мини-экскаватора // Прямые инвестиции. – 2009. – № 11. – С. 48.
3. Ананин В.Г., Эмилов А.Б. О рентабельности применения, достоинстве и недостатках мини-экскаваторов в промышленности и народном хозяйстве // Символ науки: международный научный журнал. – 2016. – № 6. – С. 36–41.
4. Сибилев А.А., Караваев В.И. Разработка прицепного мини-экскаватора // Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера. – 2017. – № 2. – С. 373–374.
5. Козлова А.В., Целищев В.А. Применение вакуумных мини-экскаваторов // Молодежный вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2017. – № 1. – С. 47–50.
6. Литвяков С.В., Арзамасцев С.В. Перспективы развития малогабаритной строительной техники // Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании: сб. тр. I междунар. науч.-практ. конф. – 2019. – С. 434–438.
7. Загидуллин В.У., Целищев В.А. Проблемы импортозамещения самоходной гидрофицированной малогабаритной колесной техники // Молодежный вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2017. – № 1. – С. 32–37.
8. Караваев В.И. Краткий обзор конструкции мини-экскаваторов // Инженерные и социальные системы: сб. науч. тр. инженерно-строительного института ИВГПУ. – 2017. – С. 68–70.
9. Баловнев В.И., Данилов Р.Г., Андрухов Н.М. Стенд для исследования процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин // Строительные и дорожные машины. – 2020. – № 12. – С. 3–8.
10. Определение оптимальных параметров транспортно-технологических машин методами теории подобных преобразований / В.И. Баловнев, Р.Г. Данилов, И.М. Рябикова, Чэн Хайин // Строительные и дорожные машины. – 2019. – № 12. – С. 3–11.
11. Баловнев В.И., Данилов Р.Г. Землеройные орудия и машины в дорожном строительстве // Строительные и дорожные машины. – 2018. – № 9. – С. 28–36.
12. Баловнев В.И. Анализ продолжительности рабочего процесса при оптимизации параметров землеройных машин // Механизация строительства. – 2011. – № 10. – С. 17–18.
13. Келлер Н.Д., Цветков А.А. О концепции развития мобильной мини-техники на современном этапе // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – № 3. – С. 7–10.
14. Соколов Л.П., Соловьев Е.Т. Эффективность малогабаритной техники на приусадебных участках // Актуальные проблемы инженерно-технического обеспечения АПК: матер. Межд. науч.-практ. конф. – 2013. – С. 10–13.
15. Фокин С.В., Чугошкина А.В. О применении малогабаритной техники в лесном хозяйстве // Актуальные направления научных исследований 21 века: теория и практика. – 2015. – № 9. – С. 235–238.

References

1. Pugin K.G., Vlasov D.V., Shayakbarov I.E. Razrabotka gruzopod'yemnogo ustroystva na traktor MTZ-80 (MTZ-82) [Development of a lifting device for the MTZ-80 (MTZ-82) tractor]. *Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2019, no. 2, pp. 109–118.
2. Akhripova E.K. Bol'shoye budushchiye mini-ekskavatora [Big Future of the Mini Excavator]. *Direct Investments*, 2009, no. 11, p. 48.
3. Ananin V.G., Emilov A.B. O rentabel'nosti primeneniya, dostoinstve i nedostatkakh mini-ekskavatorov v promyshlennosti i narodnom khozyaystve [On the profitability of use, the advantages and disadvantages of mini-excavators in industry and the national economy]. *Symbol of Science: an international scientific journal*, 2016, no. 6, pp. 36–41.
4. Sibilev A.A., V.I. Karavaev V.I. Razrabotka pritsepnogo mini-ekskavatora [Development of a trailed mini-excavator]. *Young scientists - the development of the textile and industrial cluster*, 2017, no. 2, pp. 373–374.
5. Kozlova A.V., Tselishchev V.A. Primeneniye vakuumnykh mini-ekskavatorov [The use of vacuum mini-excavators]. *Youth Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University*, 2017, no. 1, pp. 47–50.
6. Litvyakov S.V., Arzamashev S.V. Perspektivy razvitiya malogabaritnoy stroitel'noy tekhniki [Prospects for the development of small-sized construction equipment]. *Sovremennyye tekhnologii i avtomatizatsiya v tekhnike, upravlenii i obrazovanii: Sbornik trudov I mezhd. nauch. - prakt. konf*, 2019, pp. 434–438.
7. Zagidullin V.U., Tselishchev V.A. Problemy importozameshcheniya samokhodnoy gidrofitsirovannoy malogabaritnoy kolesnoy tekhniki [Problems of import substitution of self-propelled hydraulic powered small-sized wheeled vehicles]. *Youth Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University*, 2017, no. 1, pp. 32–37.
8. Karavayev V.I. Kratkiyobzorkonstruksii mini-ekskavatora [A Brief Overview of Mini Excavator Design]. *Engineering and social systems: Collection of scientific works of the Civil Engineering Institute ISPU*, 2017, pp. 68–70.
9. Balovnev V.I., Danilov R.G., Andryukhov N.M. Stend dlya issledovaniya protsessov vzaimodeystviya so sredoy rabochikh organov dorozhno-stroitel'nykh mashin [A stand for studying the processes of interaction with the environment of the working bodies of road construction machines]. *Construction and road building machinery*, 2020, no. 12, pp. 3–8.
10. Balovnev V.I., Danilov R.G., Ryabikova I.M., Chen Khayin. Opredeleniye optimal'nykh parametrov transportno-tekhnologicheskikh mashin metodami teorii podobnykh preobrazovaniy [Determination of the optimal parameters of transport and technological machines using the methods of the theory of such transformations]. *Construction and road building machinery*, 2019, no. 12, pp. 3–11.
11. Balovnev V.I., Danilov R.G. Zemleroy nye orudiyai mashiny v dorozhnom stroitel'stve [Earthmoving tools and machines in road construction]. *Construction and road building machinery*, 2018, no. 9, pp. 28–36.
12. Balovnev V.I. Analiz prodolzhitel'nosti rabocheho protsessa pri optimizatsii parametrov zemleroy nykh mashin [Analysis of the duration of the working process when optimizing the parameters of earth-moving machines]. *Mechanization of construction*, 2011, no. 10, pp. 17–18.
13. Keller N.D., Tsvetkov A.A. O kontseptsii razvitiya mobil'noy mini-tekhniki na sovremennom etape [About the concept of development of mobile mini-equipment at the present stage]. *Tractors and agricultural machines*, 2003, no. 3, pp. 7–10.
14. Sokolov L.P., Solov'yev Ye.T. Effektivnost' malogabaritnoy tekhniki na priusadebnykh uchastkakh [Efficiency of small-sized equipment in personal plots]. *Aktual'nyye problemy inzhenerno-tekhnicheskogo obespecheniya APK: mater. Mezhd. nauch.-prakt. konf*, 2013, pp. 10–13.
15. Fokin S.V., Chugoshkina A.V. O primeneni malogabaritnoy tekhniki v lesnom khozyaystve [On the use of small-sized equipment in forestry]. *Topical directions of scientific research in the 21st century: theory and practice*, 2015, № 9, pp. 235–238.

Получено 04.04.2021

Об авторах

Пугин Константин Георгиевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры строительных технологий, Пермского государственного аграрно-технологического университета имени академика Д.Н. Прянишникова (614990, г. Пермь, Петропавловская ул., 23); профессор кафедры специальностей водного транспорта и управления на транспорте Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта (e-mail: 123zzz@rambler.ru).

Янковский Леонид Вацлавович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: yanekperm@yandex.ru).

Власов Даниил Викторович (Пермь, Россия) – магистр кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: 77599170297000@mail.ru).

Шаякбаров Ильнур Эльмарович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Автомобили и технологические машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ilnur199459@gmail.com).

About the authors

Konstantin G. Pugin (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Technologies, Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (23, Petropavlovskaya st., Perm, 614990, Russian Federation); Professor of the Department of Specialties of Water Transport and Transport Management, Perm Branch of the Volga State University of Water Transport (e-mail: 123zzz@rambler.ru).

Leonid V. Yankovsky (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: yanekperm@yandex.ru).

Daniil V. Vlasov (Perm, Russian Federation) – Master, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: 77599170297000@mail.ru).

Ilnur E. Shayakbarov (Perm, Russian Federation) – Postgraduate student, Department of Automobiles and Technological Machines, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: ilnur199459@gmail.com).