

УДК 621.86

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН С МАНИПУЛЯЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ ПРИ РАБОТЕ С АУТРИГЕРАМИ

Лагерев И.А., Лагерев А.В.

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Брянск, Россия

Предложена новая конструкция выносной опоры (аутригера) мобильной транспортно-технологической машины, позволяющая повысить ее общую устойчивость при работе манипуляционной системы. Основная опора, опирающаяся на опорную поверхность, дополнена анкерным устройством для восприятия действующих на машину опрокидывающих и сдвиговых эксплуатационных нагрузок. При этом рабочий элемент анкерного устройства вводится в тело опорной поверхности под углом, что обеспечивает формирование поля напряжений между основной опорой и анкерным устройством. Выполнены расчеты методом конечных элементов, подтверждающие эффективность данной конструкции. Теоретически установлено, что рабочий орган анкерного устройства, стремясь вырваться из тела опорной поверхности, своей передней поверхностью последовательно разрушает грунт путем поочередного смещения его смежных слоев вдоль линий сдвига, что должно было бы приводить к образованию характерного выпучивания первоначально ровной поверхности. Однако основная опора препятствует этому процессу, формируя второе направление сдвига, перпендикулярное первому, что вызывает существенное увеличение дополнительного удерживающего момента на 10...40 % (в зависимости от массы базового шасси). Также установлено, что для достижения максимальной эффективности рабочий орган анкерного устройства необходимо вводить под углом 30...45 градусов к горизонтальной поверхности.

Ключевые слова: мобильная транспортно-технологическая машина, манипуляционная система, манипулятор, кран-манипулятор, аутригер, анкеровка, общая устойчивость.

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-296-302

*Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда
(проект №17-79-10274)*

Шарнирно-сочлененные манипуляционные системы (МС) в силу своей универсальности получили широкое распространение в качестве исполнительных органов мобильных транспортно-технологических машин (МТТМ). Одной из важнейших задач при их эксплуатации является обеспечение общей устойчивости. Общая устойчивость оснащенной манипуляционной системой мобильной транспортно-технологической машины (МТТМ) определяется соотношением опрокидывающего момента, создаваемого весовым воздействием груза, и восстанавливающим моментом, создаваемым собственным весом машины [1, 2]. Выпускаемые промышленностью манипуляционные системы имеют высокий грузовой момент.

Для МС, оснащенных навесными рабочими органами (лесопильная головка, фреза, буровая головка и т.д.), также необходимо обеспечить устойчивость во всех рабочих режимах с учетом условий взаимодействия рабочего органа и предмета труда [3, 4].

Ведущие производители комплектуют МТТМ с МС выносными опорами – аутригерами в виде поворотных или выдвигаемых

кронштейнов с опорными винтовыми или гидравлическими домкратами [1, 4]. Большинство современных МТТМ оснащены гидрофицированными аутригерами, конструктивно совмещенными с подключенными в общую гидросхему машины гидроцилиндрами [1, 4, 6].

Для одной и той же модели манипулятора могут быть предусмотрены различные варианты выносных опор. Выбор того или иного варианта определяется массой базовой машины. Например, краны-манипуляторы фирмы РМ (Италия) оснащаются следующими видами опор: 2 стандартных аутригера; 2 удлиненных аутригера; 4 аутригера (устанавливаются как возле места установки манипулятора, так и на заднем свесе базового шасси) [7].

Аутригеры снижают нагрузки на опорные элементы МТТМ, увеличивают опорную базу и общую устойчивость МС. При работе без выносных опор грузоподъемность МС резко снижается и составляет 40...50% от номинальной [8].

Для повышения сцепных свойств опоры с опорной поверхностью (особенно на слабых

грунтах и в стесненных условиях работы МТТМ) предложен ряд технических решений, основанных на включении в конструкцию аутригера различных анкерных устройств [4].

Статистика отмечает увеличение случаев опрокидывания автомобильных кранов и кранов-манипуляторов в результате проседания почвы, а до 65% аварий связано с неправильным использованием выносных опор [9]. Нормативные документы требуют прекращения работы грузоподъемной машины при начале просадки опорной поверхности [10]. Однако для повышения безопасности работы необходимо не бороться с последствиями, а предотвращать подобные опасные ситуации.

С целью повышения эффективности выносных опор с точки зрения обеспечения общей устойчивости крана разработана конструкция выносной опоры, защищенная патентом РФ №165312 [11]. Использование такой опоры позволяет повысить общую устойчивость МТТМ при работе в условиях действия значительных опрокидывающих и сдвигающих эксплуатационных нагрузок,

особенно на слабых грунтах и не строго горизонтальных поверхностях, или уменьшить размеры опорного контура в стесненных условиях.

Общая схема конструкции показана на рис. 1. Как и в стандартной конструкции, на раме 1 машины закреплен кронштейн 2, снабженный подъемно-опускным с помощью гидропривода опорным устройством 3 для передачи на грунт 4 нагрузки от машины и транспортируемого груза 5. Опорное устройство дополнено анкерным устройством 6 для восприятия действующих на машину опрокидывающих и сдвигающих эксплуатационных нагрузок. Рабочий элемент анкерного устройства выполнен в виде плоского ножа 7 с прямолинейной продольной осью, который для установки в свое рабочее положение совершает прокалывающее поступательное движение в грунте при помощи приводного гидроцилиндра 8, причем плоскость рабочего элемента наклонна по отношению к поверхности грунта и в рабочем положении рабочий элемент находится под опорной плитой 9, т.е. под площадкой контакта опорного устройства с поверхностью грунта [4, 11].

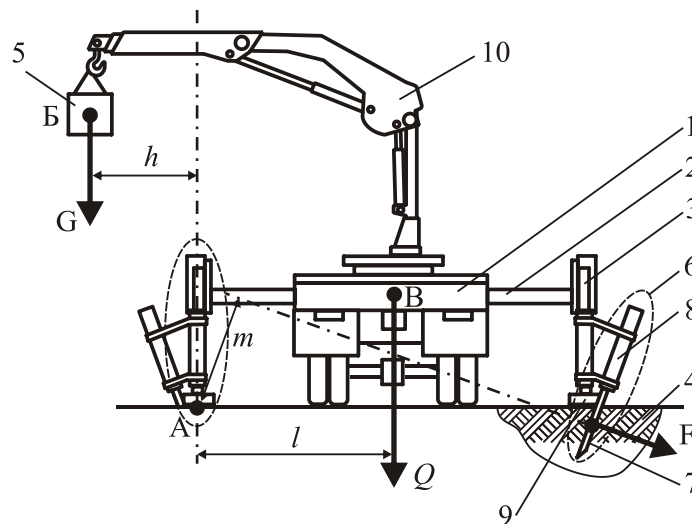


Рис. 1. Выносная опора с возможностью анкеровки [10]:

- 1 – рама мобильной транспортно-технологической машины; 2 – кронштейн;
- 3 – опорное устройство с гидроприводом; 4 – грунт; 5 – транспортируемый груз;
- 6 – анкерное устройство; 7 – рабочий элемент анкерного устройства;
- 8 – гидропривод рабочего элемента анкерного устройства;
- 9 – опорная плита; 10 – манипуляционная система

Принцип действия конструкции заключается в следующем (рис. 1). При работе МТТМ перемещаемый груз вызывает появление опрокидывающего момента $M_{опр}=Gh$,

который обуславливает снижение общей устойчивости и может привести к ее опрокидыванию относительно ребра опрокидывания – точки А. Негативное влияние опроки-

дывающего момента нейтрализуется действием восстанавливающего момента, который в случае использования в конструкции МТТМ только опорных устройств 3 составляет $M_{вос} = Ql$.

Общая устойчивость МТТМ обеспечивается, когда $M_{вос} > M_{опр}$. Соответственно, условие потери общей устойчивости имеет вид: $M_{опр} > M_{вос}$.

Величина опрокидывающего момента пропорциональна плечу h действия сосредоточенной силы от веса груза G , приложенной в его центре тяжести – точке Б, а восстанавливающего – пропорциональна плечу l действия сосредоточенной силы от веса МТТМ в целом Q , приложенной в ее центре тяжести – точке В. Поэтому использование выносных опор позволяет существенно уменьшить величину плеча h при одновременном равном увеличении плеча l .

При включении в конструкцию МТТМ анкерных устройств 6 предлагаемой конструкции появляется дополнительный восстанавливающий момент $M_{вос.дон} = Fm$. В этом случае условие потери общей устойчивости для МТТМ принимает следующий вид:

$$M_{опр} > M_{вос} + M_{вос.дон},$$

т.е. для ее опрокидывания требуется больший опрокидывающий момент. Величина дополнительного восстанавливающего момента прямо пропорционально зависит от создаваемой анкерным устройством силы F , приложенной в точке Г и направленной перпендикулярно передней поверхности рабочего элемента 7, и плеча ее действия m относительно ребра опрокидывания – точки А. Ненулевое значение плеча m действия силы F имеет место в случае наклонного расположения рабочего элемента 7 в грунте 4, причем оно увеличивается с увеличением угла наклона продольной оси анкерного устройства по отношению к нормали к поверхности грунта [4, 11].

Величина силы F , создаваемой анкерным устройством 6, зависит от прочностных свойств грунта и условий его разрушения при вырывании рабочего элемента под действием опрокидывающего момента.

Схема разрушения грунта показана на рис. 2. При вырывании рабочий элемент 1 стремится перейти из рабочего положения I в положение II. При этом он своей передней

поверхностью 2 воздействует на прилегающей грунт [11]. При движении рабочего органа происходит последовательное разрушение грунта путем поочередного смещения его смежных слоев вдоль линий сдвига 1-1, 2-2, ..., 8-8 (рис. 2) с образованием характерного выпучивания изначально ровной поверхности перед передней поверхностью рабочего элемента (линия ГЕ). Угол наклона линий сдвига, приблизительно равный углу внутреннего трения в различных грунтах, и сила сопротивления сдвигу слоев грунта зависят от прочностных свойств грунта [4; 11].

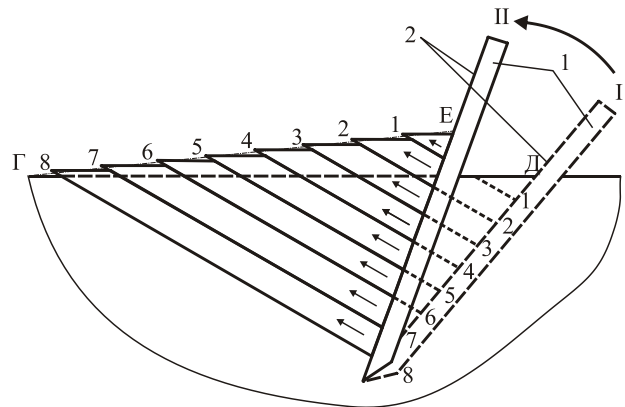


Рис. 2. Схема разрушения грунта при работе анкерного устройства [10]:
1 – рабочий элемент; 2 – передняя поверхность рабочего элемента

При нахождении рабочего элемента под площадкой контакта опорного устройства с грунтом показанная на рис. 2 схема разрушения изменяется, так как расположенная на площадке контакта опорная плита препятствует свободному смещению соседних слоев грунта вдоль линий сдвига 1-1, 2-2, ..., 8-8 и связанному с этим процессом выпучиванию грунта по линии ГЕ. Как результат, плоский механизм свободного разрушения грунта путем смещения его слоев только вдоль одной совокупности линий сдвига изменяется на более энергозатратный объемный механизм стесненного разрушения, так как параллельно во времени происходит также сложное пространственное смещение слоев грунта вдоль второй совокупности линий сдвига, расположенных приблизительно перпендикулярно к первой. Это обуславливает существенное повышение величины силы F , создаваемой анкерным устройством [4, 11].

Таким образом, использование данной конструкции позволяет повысить безопасность выполнения погрузочно-разгрузочных, перегрузочных, транспортных и складских работ, выполняемых грузоподъемными машинами, вследствие повышения коэффициента запаса общей устойчивости и снижения риска их опрокидывания в процессе эксплуатации, а также повысить грузо-высотные характеристики МС, т.е. перемещать грузы

большого веса в пределах большей по размерам рабочей зоны [4, 11].

Для оценки эффективности использования анкерного устройства предлагаемой конструкции были проведены нелинейные конечноэлементные расчеты системы «МТТМ – выносная опора – анкер – грунт» [4]. Расчетная схема для угла наклона анкерного устройства 45° к горизонту показана на рис. 3.

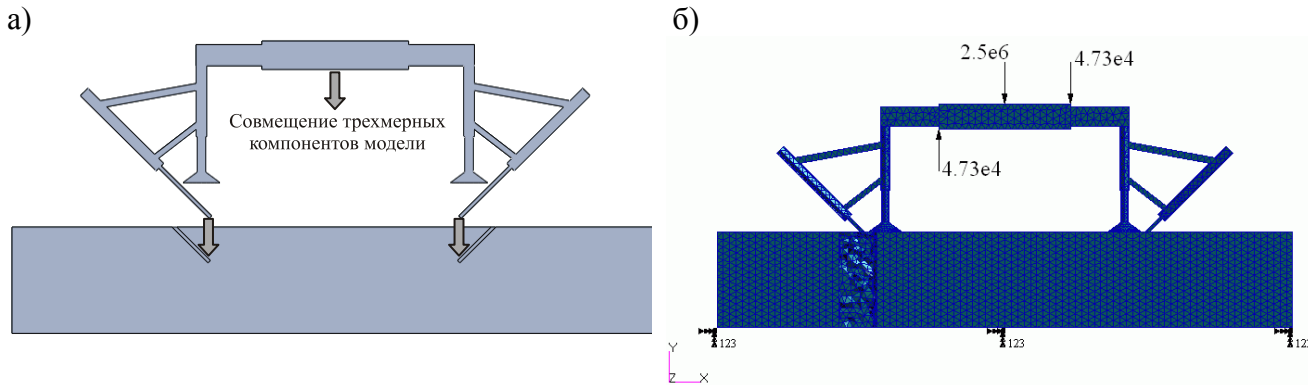


Рис. 3. Расчетная модель системы «МТТМ – выносная опора – анкер – грунт» [4]:
а – трехмерная модель; б – конечноэлементная модель

Расчет выполнен для манипулятора ОТМЛ-97 на базе шасси КамАЗ-65117. Масса базовой машины – 24 т, масса манипулятора 2,26 т, грузовой момент манипулятора 97 кН·м, максимальный вылет 7,3 м, ширина базы выносных опор 3,85 м (1,925 м на одну опору), расстояние от плоскости установки манипулятора до опорной поверхности 1,5 м [4].

Влияние МС учитывалось с помощью приложенного к центру тяжести системы опрокидывающего момента 97 кН·м. Нижняя плоскость объема грунта закреплена по всем направлениям. В центре тяжести модели вертикально вниз приложен вес базовой машины и манипулятора 257,6 кН. Выполнены расчеты для угла наклона анкерного устройства в 30° , 45° и 60° к горизонту [4].

Упруго-пластические свойства опорной поверхности в зоне установки аутригера с анкерным устройством задаются с помощью модели упрочняющегося грунта. Параметры модели грунта для использования в расчетных моделях анкерного устройства приведены в [12]. Так как глубина заглубления анкерного устройства не превышает 1 м, то изменением жесткости по глубине можно пренебречь [13]. С использованием данных параметров по-

строена и задана в программном комплексе диаграмма деформирования материала.

Результаты расчета суммарных перемещений в системе с глинистым основанием для угла наклона анкерного устройства в 30° к горизонту показаны на рис. 4. Видно, что опоры углубляются в грунт. При этом опоры, на которую приходится основное воздействие манипуляционной системы, углубляется в 2 раза больше. Результаты расчета для различных вариантов сведены в табл. 1.

Величина дополнительной удерживающей силы, создаваемой анкерным устройством, зависит от угла его ориентации по отношению к опорной поверхности. Расчеты показали, что анкерное устройство следует размещать под углом $30...45^\circ$ к горизонту. Для манипулятора ОТМЛ-97 на базе шасси КамАЗ-65117 восстанавливающий момент увеличится на 12 % (с 1983,5 кН·м до 2239,1 кН·м). Данный манипулятор может устанавливаться на шасси с более низкой собственной массой, чем КамАЗ-65117. Тогда анкерное устройство вносит более существенный вклад в обеспечение общей устойчивости (увеличение восстанавливающего момента составляет $30...40\%$) [4].

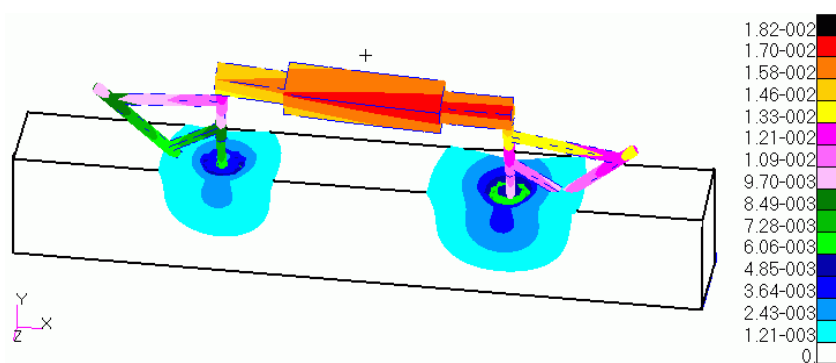


Рис. 4. Суммарные перемещения, м (анкерное устройство под 45° к горизонту, глинистое основание) [4]

Таблица 1

Результаты расчета анкерного устройства

| Тип основания | Глинистое основание | | | Песчаное основание | | |
|---|-----------------------------------|-------|------|--------------------|--------|-------|
| | Угол наклона анкерного устройства | 30° | 45° | 60° | 30° | 45° |
| Давление в рабочей зоне анкерного устройства, МПа | 3,0 | 2,0 | 0,5 | 2,5 | 1,6 | 0,3 |
| Сила F , кН | 170,4 | 113,6 | 28,4 | 142,0 | 90,88 | 17,04 |
| $M_{вос.дон}$, кН·м | 255,6 | 170,4 | 42,6 | 213,0 | 136,32 | 25,56 |

Список литературы

1. Александров, М.П. Грузоподъемные машины / М.П. Александров. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Высш. шк., 2000. – 552 с.
2. Долин, П.А. Справочник по технике безопасности / П.А. Долин. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
3. Анисимов, Г.М. Основы научных исследований лесных машин / Г.М. Анисимов, А.М. Кочнев. – Изд. 2-е, испр. – М.: Лань, 2010. – 526 с.
4. Лагерев, И.А. Моделирование рабочих процессов манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов: монография / И.А. Лагерев. – Брянск: РИО БГУ, 2016. – 371 с.
5. Лагерев, И.А. Динамика трехзвенных гидравлических кранов-манипуляторов / И.А. Лагерев, А.В. Лагерев. – Брянск: БГТУ, 2012. – 196 с.
6. Галдин, Н.С. Гидравлические схемы мобильных машин / Н.С. Галдин, И.А. Семенова. – Омск: СибАДИ, 2013. – 203 с.
7. Компания РМ. – Режим доступа: <http://www.rm-group.eu/web/pmgroup/home>.
8. Белецкий, Б.Ф. Технология и механизация строительного производства / Б.Ф. Белецкий. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. – 752 с.

9. Компания «СД Групп». Журнал «СтройПромЭксперт». – Режим доступа: <http://sdexpert.ru/stats/1015>.

10. Шишков, Н.А. Пособие для крановщиков (машинистов) по безопасной эксплуатации стреловых кранов / Н.А. Шишков. – М.: ПИО ОБТ, 2002. – 51 с.

11. Пат. 165312 Рос. Федерация: МПК7 В66С23/64. Выносная опора подъемно-транспортной машины / Лагерев И.А., Ковальский В.Ф., Толкачев Е.Н., Шатунова Е.А., Лагерев А.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «БГУ им. ак. И.Г. Петровского». – №2016116467; заявл. 26.04.16; опубл. 10.10.2016, Бюл. №28. – 2 с.

12. Далматов, Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б.И. Далматов. – Л.: Стройиздат, 1988. – 415 с.

13. Голубев, А.И. Выбор модели грунта и её параметров в расчетах геотехнических объектов. – Режим доступа: www.noipifor.ru/publications/10063.

Сведения об авторах

Лагерев Игорь Александрович – кандидат технических наук, проректор по инновационной работе ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», lagerev-bgu@yandex.ru.

Лагерев Александр Валерьевич – доктор технических наук, профессор, заместитель

директора по научной работе НИИ фундаментальных и прикладных исследований ФГБОУ ВО «Брянский государственный

университет имени академика И.Г. Петровского», *bsu-avl@yandex.ru*.

IMPROVING THE SAFETY OF OPERATION MOBILE TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES WITH MANIPULATORS WHEN WORKING WITH OUTRIGGERS

Lagerev I.A., Lagerev A.V.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, Bryansk, Russian Federation

A new design of the outriggers for mobile transport and technological machines with manipulators was developed. A new type of a outrigger allow to increase the overall stability when manipulator is working. The main support complemented by an anchoring device for the counteracting for machine overturning and shear service loads. The working element of the anchor device is inserted into the base surface at an angle. This ensures the formation of stress fields between the main support and anchor device. The FEM-simulation confirm the effectiveness of new outrigger design. It is theoretically found that working on the anchor device trying to escape from the base surface. Its front surface is consistently crack the soil by the rotating displacement of its adjacent layers along lines that would lead to the formation of the characteristic buckling of originally flat surface. The main support is counteracting for this process. Thus a second shear direction (perpendicular to the first direction) is create and significant increase of additional holding moment for 10..40 % (depending on base chassis). If angle between anchor device and base surface is 30..45 degrees the maximum efficiency will be obtained.

Keywords: *mobile transport and technological machine, handling system, manipulator, crane-manipulator, outrigger, anchor, total sustainability.*

DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-296-302

**The study was supported by the grant of Russian science Foundation
(project No. 17-79-10274)**

References

1. Alexandrov M.P. *Gruzopodemnye mashiny* [The load-lifting machines]. Moscow, Vyshaya shkola, 2000. 552 p. (In Russian)
2. Dolin P.A. *Spravochnik po tekhnike bezopasnosti* [Safety engineering handbook]. Moscow, Energoatomizdat, 1984. 824 p. (In Russian)
3. Anisimov G.M., Kochnev A.M. *Osnovy nauchnykh issledovaniy lesnykh mashyn* [Fundamentals of scientific research of forestry machinery]. Moscow, Lan, 2010. 526 p. (In Russian)
4. Lagerev I.A. *Modelirovanie rabochikh protsessov manipulatsionnykh system mobil`nykh mnogotselyvykh tekhnologitseskikh mashyn i kompleksov* [Simulation of the manipulation systems of the mobile multi-purpose transport and technological machines and complexes]. Bryansk, RIO BSU, 2016. 371 p. (In Russian)
5. Lagerev I.A., Lagerev A.V. *Dinamika trekhzvennykh gidravlicheskikh kranov-manipulatorov* [A three-boom crane-manipulator dy-

namics simulation]. Bryansk, BSTU, 2012. 196 p. (In Russian)

6. Galdin N.S., Semenov I.A. *Gidravlicheskie sistemy mobilnykh mashyn* [Hydraulic circuits of mobile machines]. Omsk, SibADI, 2013. 203 p. (In Russian)

7. PM company. Available at: <http://www.pm-group.eu/web/pmgrouphome>. (In Russian)

8. Beletskiy B.F. *Tekhnologii i mekhanizatsiya stroitel'nogo proizvodstva* [Technology and mechanization of construction production]. Rostov-on-Don, Feniks, 2004. 752 p. (In Russian)

9. «SD Groop» company. Available at: <http://sdexpert.ru/stats/1015>. (In Russian)

10. Shishkov N.A. *Posobie dlya kranovschikov (mashinistov) po bezopasnoi ekspluatatsii strelovykh kranov* [Manual for crane operators (machinists) on safe operation of jib cranes]. Moscow, PIO OBT, 2002. 51 p. (In Russian)

11. Patent RU 160246. *Vynosnaya opora podemno-transportnoi mashiny* [Outrigger of lifting and transport machines]. Lagerev I.A.,

Kovalskiy V.F., Tolkachev E.N., Shatunova E.A., Lagerev A.V. Declared 26.04.2016. Published 10.10.2016. (In Russian)

12. Dalmatov B.I. *Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenty* [Soil mechanics, bases and foundations]. Leningrad, Stroyizdat, 1988. 415 p. (In Russian)

13. Golubev A.I. *Vybor modeli gruntov*. Available at: <http://www.noipifor.ru/publications/10063>. (In Russian)

Authors' information

Igor A. Lagerev – Candidate of Technical Sciences, Vice rector for Innovations at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, lagerev-bgu@yandex.ru.

Alexander V. Lagerev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice director of Research Institute of Fundamental and Applied Research at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, bsu-avl@yandex.ru.

Дата публикации
(Date of publication):
25.09.2017

