



DOI 10.5862/JEST.231.17

УДК 625.7/8.002

А.Я. Башкарев, Д.В. Мусияко, Р.А. Расулов

КОМПОНОВКА САМОХОДНЫХ ВИБРАЦИОННЫХ УПЛОТНИТЕЛЕЙ

Al.Ya. Bashkarev, D.V. Musiiako, R.A. Rasulov

ARRANGEMENT OF VIBRATING COMPACTORS

Рассматривается задача перемещения вибрационных уплотнителей с вибраторами ненаправленного действия. Предложена методика их компоновки с использованием специального дополнительного пригруза. Разработан алгоритм компьютерного расчета массы пригруза и координат его расположения. Выполнены расчеты для экспериментального комбинированного уплотнителя, включающего плиту и валец.

ВИБРАЦИОННОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ; УПЛОТНИТЕЛИ; ПЛИТА; ВАЛЕЦ; КОМПОНОВКА.

The present article considers the current problem of vibrating compactor motion with non-directional vibrators. As a result, a technique for arranging vibrating compactors with additional specially designed weight was developed. It was proved for this innovative model that the additional weight makes the construction much easier in terms of assemblage design and calculation. This work presents an algorithm developed for calculating the mass of the additional weight and the coordinates of its position on the plate, depending on another parts of the vibrating plate compactor. An experimental vibrating plate compactor was calculated and designed, including plate and roll.

VIBRATING MOVEMENT; COMPACTOR; PLATE; ROLL; ARRANGEMENT.

Введение

Вибрационное перемещение различных материалов, изделий и механизмов стало эффективной и малозатратной частью многих технологических процессов [1, 2]. Но при всей простоте принципа передвижения его описание — достаточно сложная математическая задача из области нелинейных колебаний, что обусловлено прежде всего присутствием сил сухого трения [1, 3, 4].

Особенно большой теоретический и практический интерес представляет разрешение этой проблемы применительно к самоходным вибрационным уплотнителям. Многообразие вариантов ее постановки, с одной стороны, исключает возможность получения полного аналитического решения, а с другой стороны, при отсутствии соответствующего программного обеспечения ограничивает возможность проектирования новых механизмов.

В предлагаемой работе такая задача применительно к самоходным вибрационным плитам, используемым в строительстве, в значительной мере решается с помощью комбинированного подхода.

Принципы передвижение вибрационных плит

Наиболее эффективным и распространенным средством уплотнения грунтов и различных бетонов стали вибрационные машины различных конструкций, которые разделяются на две группы: глубинные и поверхностные. Первые находят широкое применение при уплотнении больших объемов цементно-бетонных смесей, например при гидротехническом строительстве. Поверхностные вибрационные машины применяются для уплотнения небольших по толщине грунтовых и щебеночных слоев или бетонных смесей. Наиболее крупномасштабное их применение имеет место в дорожном строительстве.

Поверхностные вибрационные механизмы разделяются на катки и плиты. Вибрационные катки имеют достаточно большую массу, поэтому чаще всего их создают со специальным приводом передвижения. Для уплотнения грунтов в дорожном строительстве иногда применяют цепные особо тяжелые катки [5–7].

Вальцы катков имеют небольшую площадь контакта с поверхностью уплотняемого материала, благодаря чему катки обеспечивают по сравнению с плитами большие давления, что дает возможность обеспечивать высокие степени уплотнения. Но при этом маленькая площадь контакта ограничивает глубину уплотнения.

В отличие от катков, вибрационные плиты уплотняют материал на большую глубину, но при меньшей степени уплотнения. Чтобы улучшить эффект уплотнения, на плитах устанавливают вибраторы с большой возбуждающей силой, которая, как правило, на порядок превышает массу самого уплотнителя. Устанавливать на катки вибраторы с таким же соотношением возбуждающей силы и массы не имеет смысла [8].

Большие преимущества вибрационных плит – простота их конструкции, малая металлоемкость и низкая стоимость. Благодаря этому они находят широкое применение в строительстве для выполнения небольших объемов работ, особенно если места работы оказываются удаленными друг от друга [8–10]. По поверхности уплотняемого материала вибрационные плиты передвигаются только за счет возбуждающей силы вибратора, что значительно упрощает их устройство. Такие уплотнители выпускаются

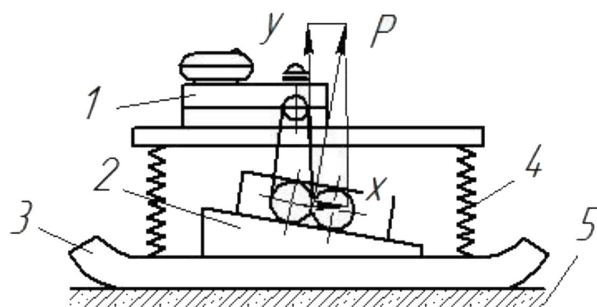


Рис. 1. Виброуплотнитель с вибратором ненаправленного действия: 1 – приводной двигатель; 2 – подрессоренная рама; 3 – вибратор ненаправленного действия; 4 – рабочая плита; 5 – уплотняемый материал

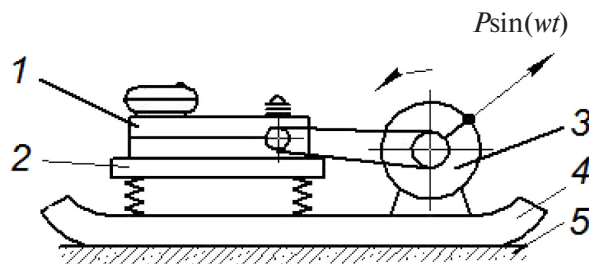


Рис. 2. Виброуплотнитель с вибратором ненаправленного действия: 1 – приводной двигатель; 2 – подрессоренная рама; 3 – вибратор ненаправленного действия; 4 – рабочая плита; 5 – уплотняемый материал

многими фирмами (в мире их насчитывается более десятка).

Первоначально считалось, что самоходные уплотнители можно создавать только с так называемыми вибраторами направленного действия, возбуждающая сила которых направлена под углом к горизонту (рис. 1). При этом у плиты на какое-то время полностью утрачивается контакт с уплотняемым материалом. Чем больше величина возбуждающей силы вибратора по отношению к весу, тем продолжительнее этот отрыв. В результате уплотнители сползали вниз даже на незначительных уклонах.

В 1964 году на первой международной технической выставке в Москве, которая была посвящена строительной технике, впервые были представлены самоходные вибрационные плиты немецкого производства с вибраторами ненаправленного действия. Вибратор у них располагался не посередине уплотнителя, а был смещен к передней кромке плиты (рис. 2). Стало понятным, что для создания эффекта самостоятельного передвижения уплотнителя место расположения вибратора имеет большое значение. Различными зарубежными фирмами выпускаются многие десятки типоразмеров самоходных вибрационных плит, 95 % из которых создаются с вибраторами ненаправленного действия. Однако до последнего времени, несмотря на их явное преимущество с точки зрения простоты конструкции и устойчивости на поверхности уплотняемого материала, математической модели их передвижения не было.

Очевидно, из-за того, что относительно несложно опытным путем найти место расположения вибратора на простом по конструкции

уплотнителе все производители этим и ограничивались. Но такой подход явно сдерживает совершенствование современных малогабаритных вибрационных уплотнителей, потребность в которых (в условиях расширения объемов малоэтажного строительства, ремонта дорожных покрытий, увеличения паркового строительства и т.д.) непрерывно возрастает.

Комбинированный вибрационный уплотнитель

В 2014 году А.Я. Башкаревым, Д.В. Мусяйко и В.С. Пешковым [12] были опубликованы работы, в которых предложено создавать поверхностный уплотнитель в виде комбинации шарнирно соединенных плиты и вальца, расположенного за плитой и выполняющего роль его задней кромки (рис. 3).

Аналитическим путем были получены математические зависимости, описывающие условия, при выполнении которых такой уплотнитель сможет самостоятельно передвигаться. Кстати, в тех же работах представлены и математические выражения, применимые для расчета вибрационных плит традиционной конструкции.

Применительно к предложенной схеме «плита–валец» они записываются следующим образом:

$$a = 2b;$$

$$P < \frac{G + G_1}{2i};$$

$$i = \frac{C - \frac{d}{2}}{2b},$$

где G – общий вес уплотнителя.

При получении представленных зависимостей были поставлены условия, чтобы валец не отрывался от уплотняемой поверхности, благодаря чему уплотнитель будет всегда иметь необходимый контакт с ней, что удержит его от сползания на уклонах. При этом давление под ним будет изменяться с частотой работы вибратора. Следовательно, как отмечено выше, он также будет участвовать в процессе уплотнения, но в режиме вибрирования, а не вибрационного трамбования, как плита. При малом пятне контакта с уплотняемой поверхностью имеют место достаточно высокие давления, что способствует эффективному действию вальца.

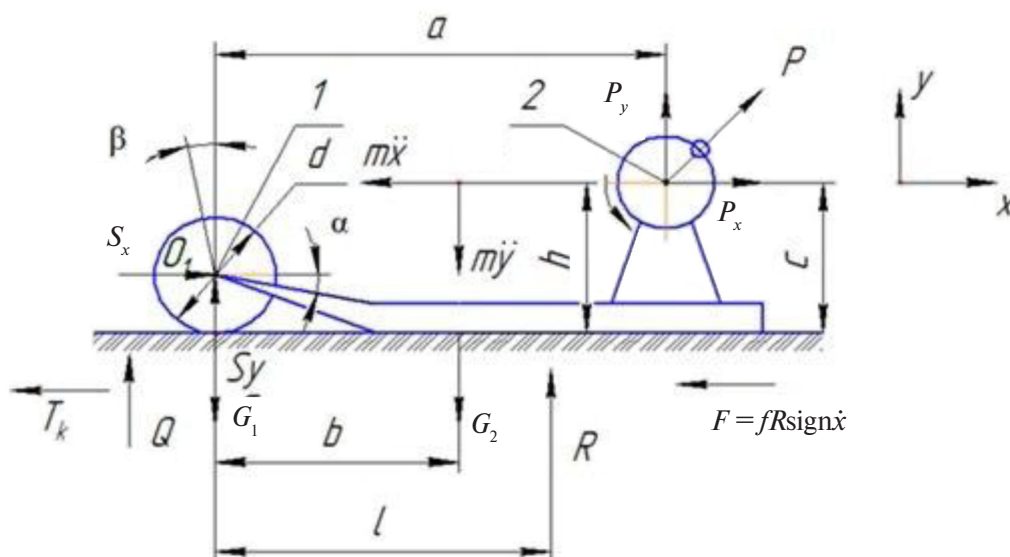


Рис. 3. Схема сил, действующих на комбинированный вибрационный уплотнитель: G_1 – вес вальца; G_2 – вес вибрирующей рамы с вибратором; O_1 – центр вальца; O_2 – центр инерции вибратора; S_x и S_y – реакции в точке крепления оси вальца к раме; Q – реакция под вальцом со стороны опорной поверхности; T_k – сила сопротивления перекатыванию вальца; α – угол отклонения рамы относительно оси вальца; β – угол поворота вальца; f – коэффициент трения скольжения; μ – коэффициент сопротивления качению

Кроме того, наличие вальца облегчает его перемещение по рабочей площадке в нерабочем состоянии.

Алгоритм проектирования комбинированного уплотнителя

Решая задачу расположения узлов уплотнителя, таких, как вибратор, приводной двигатель, подрессоренная рама двигателя, уплотняющая плита, вальцы (если они применяются), проектировщик должен выполнять условия прочности конструкции, компактности, эргономики и т. п., одновременно удовлетворяя и условиям вибрационного перемещения. Добиться этого можно, применяя специальный груз, установленный на уплотнителе в определенной точке, координаты которой зависят от массы того же груза. В данной работе предлагается один из возможных вариантов алгоритма решения этой задачи.

В качестве начального условия можно принять соотношение возбуждающей силы и общего веса уплотнителя, которое у выпускаемых в настоящее время вибрационных плит находится в диапазоне от 16 до 24. С увеличением веса оно уменьшается. На рис. 4 приведен график результатов статистической обработки параметров вибрационных плит наиболее известных производителей. От соотношения возбуждающей силы и веса уплотнителя зависит эффект уплотнения [5], поэтому этот параметр и должен быть положен в основу проектирования.

Общий вес уплотнителя определяется как сумма весов всех его частей: приводного двигателя; вибратора с подрессоренной рамой, защищающей его от вибрации; металлоконструкции рабочей (уплотняющей) плиты со всеми дополнительными устройствами для установки

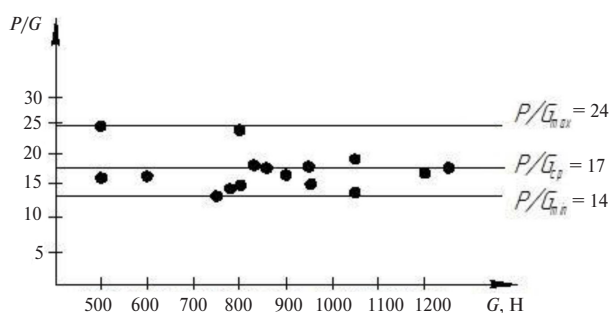


Рис. 4. Отношение возбуждающей силы P вибратора к весу G виброплиты

вибратора, амортизаторов и вальцов, если уплотнитель комбинированный.

Исходя из мощности применяемого двигателя и тех же статистических данных можно выбрать величину возбуждающей силы вибратора и по имеющимся опубликованным данным установить значение его веса. Вес остальных узлов и расположение их центров инерции определяются конструктивными размерами и условиями прочности.

Таким образом, можно считать, что массы и расположение их центров инерции на данном этапе проектирования известны. Известны и их координаты относительно расположения той контактной кромки уплотнителя, которая не должна отрываться от уплотняемой поверхности. Если разделить возбуждающую силу вибратора на величину отношения ее к весу уплотнителя (учитывая результаты статистической обработки, приведенные выше), например на 14, то определится рекомендуемый вес уплотнителя при заданной мощности двигателя. Вычтя из него суммарный вес перечисленных выше узлов, можно получить соответствующий вес дополнительного груза; вблизи этого значения и целесообразно искать его окончательную величину. Остается определить место расположения дополнительного груза.

Для создания соответствующей компьютерной программы необходимо построить алгоритм решения этой задачи.

Такой алгоритм разработан. Он изображен на рис. 5.

По предполагаемому алгоритму была создана компьютерная программа на языке C++, с помощью которой проведен расчет для опытного образца уплотнителя с вальцем при следующих значениях его масс и геометрических размеров: вес вальца $G_1 = 440$ Н; вес вибратора $G_v = 270$ Н; вес подрессоренного двигателя $G_a = 260$ Н; вес плиты $G_p = 300$ Н; возбуждающая сила вибратора $P = 13500$ Н; диаметр вальца $d = 0,3$ м; расстояние между осью вальца и осью вибратора $a = 0,6$ м; высота плиты $h_p = 0,06$ м; высота центра тяжести плиты $c_p = 0,015$ м; расстояние между осью вальца и центром тяжести плиты $a_p = 0,45$ м; расстояние между осью вальца и центром тяжести двигателя $e = 0,35$ м.

При параметрах, обеспечивающих выполнение условий, получается следующий результат: высота места расположения пригруза $y = 0,4$ м; расстояние между осью вальца и центром тяже-

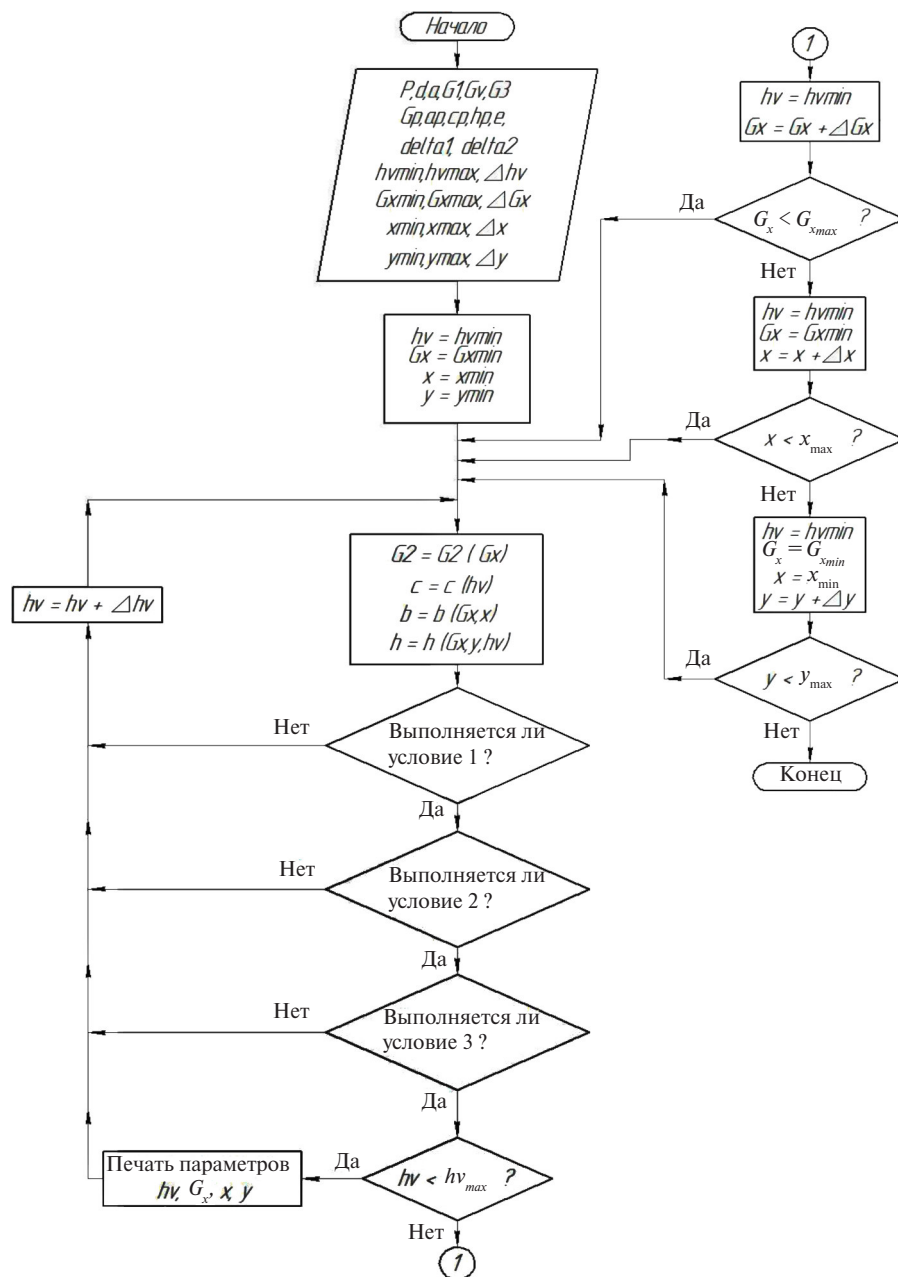


Рис. 5. Алгоритм решения задачи определения координат расположения вибратора

сти пригруза $x = 0,4$ м; вес пригруза $G = 150$ Н
 высота центра тяжести вибратора $h_v = 0,1$ м.

Основные выводы

На основе результатов статистической обработки выпускаемых в настоящее время вибрационных плит и выявленных аналитическим путем математических зависимостей разработана методика компоновки основных узлов комбинированного уплотнителя дорожных покры-

тий, состоящего из вибрационной плиты и шарнирно присоединенного к ней вальца.

Показано, что проектирование предлагаемого уплотнителя значительно упрощается, если в его конструкцию включить дополнительный пригруз, расположение и масса которого зависят от веса основных узлов.

Создан алгоритм и представлен пример расчета необходимой массы пригруза и координаты его расположения в общей конструкции вибрационного уплотнителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Блехман И.И., Джанилидзе Г.Ю.** Вибрационное перемещение, М.: Наука, 1964, 410 с.
2. **Варганов С.А., Андреев Г.С.** Машины для уплотнения грунтов и дорожно-строительных материалов. М.: Машиностроение, 1981. 420 с.
3. **Баркан Д.Д.** Виброметод в строительстве. М.: Госстройиздат, 1959.
4. **Кузьмичев В.А.** Основы проектирования вибрационного оборудования. СПб.: Лань, 2014, 208 с.
5. **Хархута Н.Я.** Машины для уплотнения грунтов. Л.: Машиностроение, 1973. 176 с.
6. **Баркан Д.Д., Шехтер О.Я.** Теория поверхностного уплотнения грунта // Тр НИИ оснований и подземных сооружений. 1961. Сб. №51.
7. **Савельев С.В., Лашко А.Г.** Расширение возможностей эффективного уплотнения строительных материалов // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. Омск. 2009. Вып. 3(13). С. 18–21.
8. Вибрационные катки и виброплиты, выпускаемые фирмами ФРГ / НИИ информации Стройгорткоммунаш. М., 1967.
9. **Носов С.В.** Пути повышения эффективности уплотнения асфальтобетонных смесей и грунтов в дорожном строительстве на современном этапе // Известия вузов. Строительство. 2013. № 6. С. 91–96.
10. **Васюков Л.С.** Виброплиты для уплотнения грунтов // Научно-техническая конференция по вибротехнике. Волгоград, 1967.
11. **Маслов А.Г., Пономарь В.М.** Вибрационные машины и процессы в дорожном строительстве. Киев: Будивельник, 1985. 128 с.
12. **Башкарев А.Я., Мусияко Д.В., Пешков В.С.** Вибрационное перемещение поверхностного уплотнителя // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2013. №1(166). С. 175–178.

REFERENCES

1. **Blekhman I.I., Dzhaniilidze G.Yu.** Vibratsionnoye peremeshcheniye. [Vibrational motion]. Moscow: Nauka, 1964. 410 p. (rus)
2. **Varganov S.A., Andreyev G.S.** Mashiny dlya uplotneniya gruntov i dorozhno-stroitelnykh materialov. [Machines for ground and road building materials compaction]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1981. 420 p. (rus)
3. **Barkan D.D.** Vibrometod v stroitelstve. [Vibrational method in construction activities]. Moscow: Gosstroyizdat Publ., 1959. (rus)
4. **Kuzmichev V.A.** Osnovy proyektirovaniya vibratsionnogo oborudovaniya. [Basics of vibration equipment design]. St. Petersburg: Lan' Publ., 2014. 208 p. (rus)
5. **Kharkhuta N.Ya.** Mashiny dlya uplotneniya gruntov. [Machines for ground compaction]. Leningrad: Mashinostroyeniye, 1973. 176 p. (rus)
6. **Barkan D.D., Shekhter O.Ya.** Teoriya poverkhnostnogo uplotneniya grunta. [The theory of surface ground compaction]. *Tr. NII Osnovaniy i podzemnykh sooruzheniy (NIIOSP)*. Moscow. 1961. № 51. (rus)
7. **Savelyev S.V., Lashko A.G.** Rasshireniye vozmozhnostey effektivnogo uplotneniya stroitelnykh materialov. [Capability enhancement of effective road building materials compaction]. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobilno-dorozhnoy akademii (SIBADI)*. Omsk. 2009. № 3(13). S. 18–21. (rus)
8. Vibratsionnyye katki i vibroplity, vypuskayemyye firmami FRG. [Vibrating rollers and plate compactors, manufactured by Federal Republic of Germany] / NII informatsii Stroygorkommuash. Moscow, 1967. (rus)
9. **Nosov S.V.** Puti povysheniya effektivnosti uplotneniya asfaltobetonnykh smesey i gruntov v dorozhnom stroitelstve na sovremennom etape. [Ways to improve the efficiency of asphalt concrete mixtures and ground compaction for road construction at the present stage]. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*. Novosibirsk. 2013. № 6. S. 91–96. (rus)
10. **Vasyukov L.S.** Vibroplity dlya uplotneniya gruntov. [Plate compactors for ground compaction]. *Nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya po vibrotekhnike*. Volgograd. 1967. (rus)
11. **Maslov A.G., Ponomar V.M.** Vibratsionnyye mashiny i protsessy v dorozhnom stroitelstve. [Vibrating machines and processes in road building]. Kiev: Budivelnik, 1985. 128 p. (ua)
12. **Bashkarev A.Ya., Musiako D.V., Peshkov V.S.** Vibratsionnoye peremeshcheniye poverkhnostnogo uplotnitelya. [Oscillatory motion of the plate compactor]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU*. 2013. № 1(166). S. 175–178. (rus)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/AUTHORS

МУСИЯКО Дмитрий Валентинович – аспирант Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

E-mail: Musiyako@gmail.com

MUSIYAKO Dmitrii V. – Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.

29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia.

E-mail: Musiyako@gmail.com

БАШКАРЕВ Альберт Яковлевич – доктор технических наук профессор, советник при ректорате Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

E-mail: bashkarev@spbstu.ru

BASHKAREV Albert V. – Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.

29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia.

E-mail: bashkarev@spbstu.ru

РАСУЛОВ Руслан Аликович – компания «Шлюмберже Лоджелко Инк», 461050, Оренбургская область, г. Бузулук, ул.Московская, д.10 а, E-mail: Ruslan.alikovich@gmail.ru

RASULOV Ruslan A. – Company «Schlumberger». ul. Moskovskaya, d. 10 A, g. Buzuluk, Ozenburgskaya oblast, 461050, Russia.