УДК 666.983 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.159.2016.66937

АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ СУХОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ В СВОБОДНОМ РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ СМЕСИТЕЛЕЙ ПОСЛЕ СХОДА С ЛОПАТОК ИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Д-р техн. наук И.А. Емельянова, кандидаты техн. наук А.П. Ковревский, В.В. Блажко (ХНУСА)

АНАЛІЗ РУХУ ЧАСТОК СУХОЇ БУДІВЕЛЬНОЇ СУМІШІ У ВІЛЬНОМУ РОБОЧОМУ ПРОСТОРІ ЗМІШУВАЧІВ ПІСЛЯ СХОДЖЕННЯ З ЛОПАТОК ЇХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

Д-р техн. наук І.А. Ємельянова, кандидати техн. наук А.П. Ковревський, В.В. Блажко (ХНУБА)

ANALYSIS OF PARTICLE MOTION DRY MIXES FREE WORKSPACE MIXERS AFTER LEAVING THE BLADES OF THEIR WORKERS

Post Doc I.A. Emelyanova, Ph.D. A.P. Kovrevsky, V.V. Blazhko

Рассмотрены конструкции смесителей для приготовления сухих строительных смесей, работающих в каскадном режиме. Проанализированы результаты экспериментальных исследований по определению траекторий движения частиц сухих строительных смесей в рабочем пространстве смесителя нового конструктивного решения.

Предложена методика определения траекторий движения частиц строительной смеси в рабочем пространстве смесителей при их сходе с лопаток рабочих органов.

***Ключевые слова**: бетоносмеситель, сухая смесь, каскадный режим, траектория движения.*

Розглянуто конструкції змішувачів для приготування сухих будівельних сумішей, що працюють у каскадному режимі. Проаналізовано результати експериментальних досліджень з визначення траєкторій руху часток сухих будівельних сумішей у робочому просторі змішувача нового конструктивного рішення.

Запропонована методика визначення траєкторій руху часток будівельної суміші в робочому просторі змішувачів при їх сході з лопаток робочих органів.

***Ключові слова**: бетонозмішувач, суха суміш, каскадний режим, траєкторія руху.*

Increased consumption of dry mixes requires producers of equipment for factories producing dry mortar to enter the market with new designs and proposals that ensure high quality and reliability of the mechanical equipment.

Currently, many manufacturing companies issue of technological sets for the production of dry mortar.

At the same time, a wide range of technological packages and mini-mills are produced.

The outstanding issues in the process of preparation of dry mortar in the construction site are revealed based on the literature, patent, and information search.

Designs of mixers for the preparation of dry mixes, working in cascade mode. The results of experimental studies to determine the particle trajectories of dry building mixes in the working space of the mixer of the new constructive solutions.

The proposed method of determining the trajectories of particles in a mortar mixers workspace at their gathering with blades working bodies.

***Keywords**: small-sized equipment set, dry mortar, concrete mixer, cascade mode, the trajectory of a particle mixture.*

Введение. В настоящее время в процессе приготовления сухих строительных смесей существует ряд нерешенных вопросов: повышенный износ рабочих органов и корпусов смесителей, длительное время на приготовление сложных композиций, наличие сегрегации во время приготовления смеси, а также сложности приготовления смесей непосредственно на строительной площадке [1-4].

Выделение не решенных ранее проблем. Многообразие существующего оборудования, а также технологических линий и комплектов не направлены на решение проблемы приготовления сухих строительных смесей непосредственно на строительной площадке.

Цель и задачи исследования. Создание эффективного малогабаритного оборудования для приготовления сухих смесей является актуальной задачей.

Результаты лабораторных и промышленных испытаний смесителей новой конструкции, работающих в каскадном режиме, подтверждают их эффективность при приготовлении сухих строительных смесей, что позволяет оснащать данными машинами технологические комплекты и комплексы [5, 6].

Среди известных конструкций бетоносмесителей как циклического, так и непрерывного действия в последнее время появились эффективные машины, которые позволяют создать стабильные условия для приготовления строительных смесей высокого качества. Это бетоносмесители, работающие в каскадном режиме [5, 6]. Эти машины являются широко универсальными, так как позволяют получать качественные строительные смеси различного назначения: подвижные и малоподвижные, фибробетонные и с мелким заполнителем, сухие и строительные растворы [5-8].

Особого внимания заслуживают смесители, которые могут быть успешно использованы для приготовления сухих строительных смесей. К таким машинам следует отнести трехвальный бетоносмеситель (рис. 1), двухроторный турбулентный смеситель (рис. 2), бетоносмеситель гравитационно-принудительного действия (рис. 3).

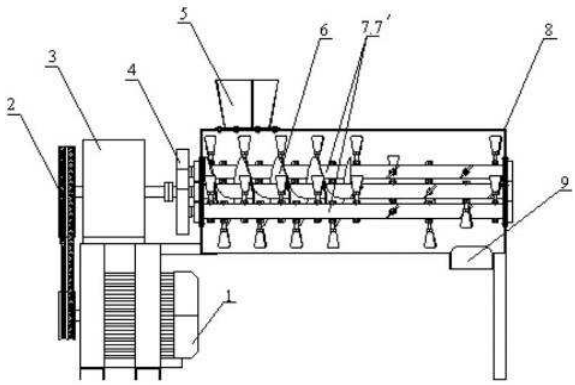

Рис. 1. Схема трехвального бетоносмесителя:
1 – двигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – редуктор; 4 – открытая зубчатая передача; 5 – загрузочный бункер; 6 – шнековий вал; 7 – лопастные валы; 8 – разгрузочный патрубок; 9 – рама

Для всех этих машин должны быть характерны стабильные условия для взаимодействия всех рабочих органов с компонентами бетонных смесей (растворов), поступающими из загрузочных бункеров.

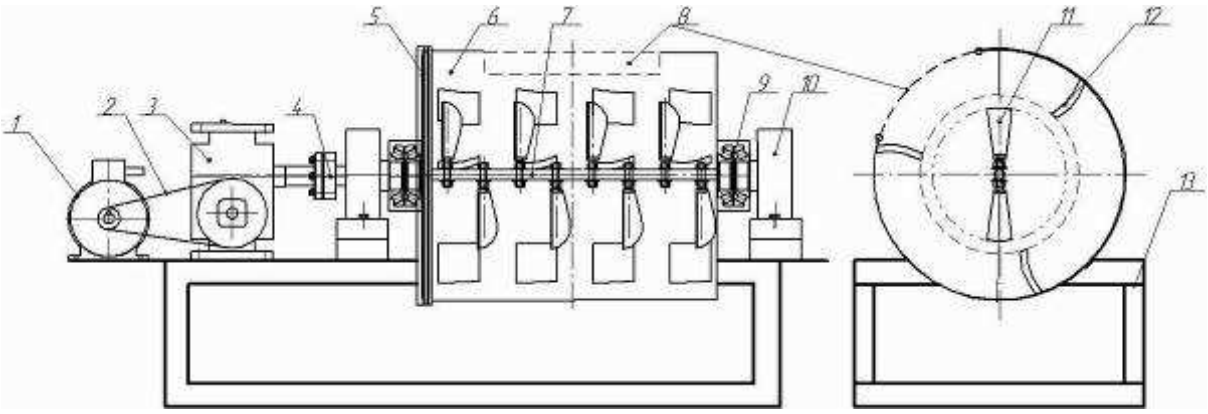

Рис. 2. Схема смесителя гравитационно-принудительного действия:
1 – рама смесителя; 2 – барабан; 3 – вал; 4 – лопатки вала; 5 – лопатки корпуса; 6,7 – подшипниковые опоры; 8 – муфта; 9 – редуктор; 10 – клиноременная передача; 11 – электродвигатель; 12 – цепная передача; 13 – загрузочно-разгрузочный люк

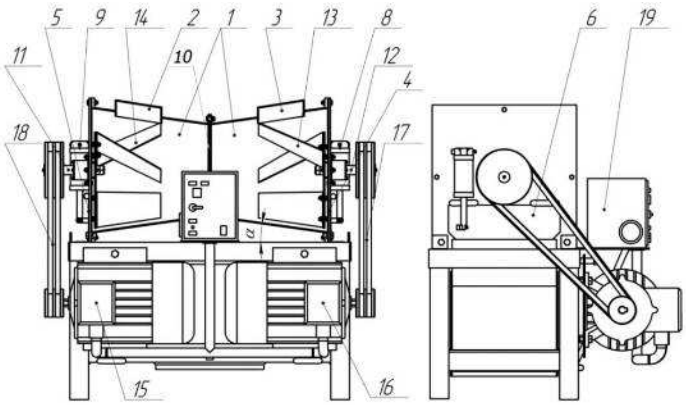

Рис. 3. Схема двухроторного турбулентного смесителя:
1 – корпус; 2, 3 – загрузочные отверстия; 4,5 – разгрузочные отверстия; 6,7 – заслонки; 8, 9 – пневмоцилиндры; 10 – фланцы; 11, 12 – валы; 13,14 – роторы с лопастями; 15, 16 – электродвигатели; 17, 18 – ременные передачи; 19 – блок управления

К таким условиям следует отнести:

- при наличии каскадного режима обеспечение траекторий движения частиц смеси, которые обеспечивают постоянство работы системы (смеситель – смесь (раствор));
- в силу конструктивных особенностей новых смесителей отсутствие мертвых зон в их рабочем пространстве;
- по возможности ограничение столкновений частиц смеси разных размеров в процессе их движения в рабочем пространстве при наличии каскадного перемещения.

Эти условия могут быть доступны в результате глубокого анализа траекторий движения частиц смесей, которые учитывают их форму.

В данном направлении проведен ряд исследований на примере работы двухроторного турбулентного смесителя при приготовлении сухих строительных смесей, который позволил оценить влияние на дисперсию однородности распределения частиц в процессе движения в свободном

пространстве корпуса машины [5-8]. В результате проведенных исследований выявлены параметры, влияющие на качество приготавливаемых строительных смесей (растворов): диаметр частиц d, мм, частота вращения рабочих органов n, мин$^{-1}$, длина лопаток *l*, мм.

Анализируя графические зависимости (рис. 4), следует отметить, что характер траекторий движения частиц после схода с лопаток рабочего органа на графиках не зафиксировал моменты их столкновения. Кроме того, характер их движения иллюстрирует влияние на перенос частиц смеси двух факторов: частоты вращения рабочего органа и длины его лопаток. Следует отметить, что полученные результаты исследований справедливы и для других смесителей, работающих в каскадном режиме, где также имеет место взаимодействие лопаток с частицами смеси (раствора).

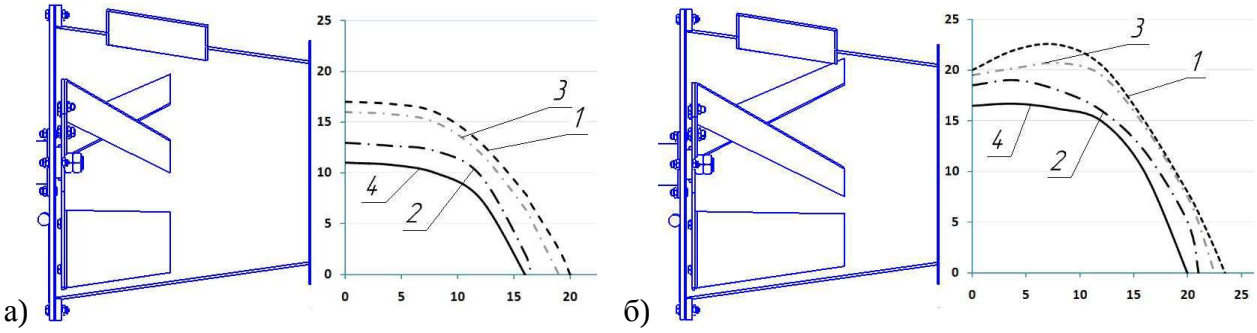

Рис. 4. Результаты предварительных исследований влияния частоты вращения рабочего органа (n =300 мин$^{-1}$) и длины лопаток рабочего органа (l_1 =104, l_2 =160 мм) на траекторию движения частиц смеси

Однако при работе таких машин не исключена возможность в процессе движения столкновения частиц смеси различного диаметра. При этом характер траекторий движения частиц может быть нарушен, что соответственно отрицательно отразится на условиях стабилизации процесса приготовления смесей, а, следовательно, и на их качестве. Поэтому необходимо заранее создать такие условия для перемешивания компонентов, чтобы число соударений было минимальным.

Такие условия зависят от формы и угла установки лопаток на рабочем органе, а также от их длины и шага установки. Траектории движения частиц должны быть таковыми, чтобы не создавались условия для возможного попадания их в мертвые зоны.

При создании рациональных траекторий движения частиц смеси в свободном рабочем пространстве необходимо прежде всего, чтобы скорости их схода с лопаток рабочих органов смесителей удовлетворяли вышеуказанным условиям.

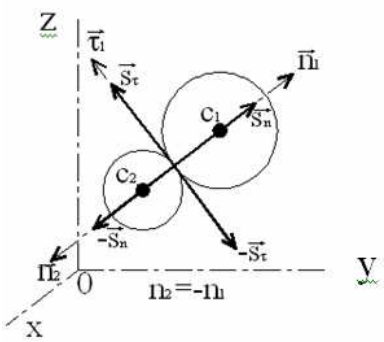

Рис. 5. Расчетная схема для определения скоростей движения частиц смеси после столкновения

Рассматривается случай столкновения частиц смеси (раствора) при следующих допущениях (рис. 5):

- сталкивающиеся частицы смеси имеют форму шаров с радиусом r_1 и r_2;

- возможность вращательного движения частиц исключается;

- при радиусах шаров r_1 и r_2 условие столкновения имеет вид: $l_0 \leq r$, где $r = r_1 + r_2$;

- расстояние между центрами частиц смеси $l_0 = \sqrt{(x_1 + x_2)^2 + (y_1 + y_2)^2 + (z_1 + z_2)^2}$.

Для начальных исследований принимаются следующие обозначения: m_1 и m_2 – соответственно массы сталкивающихся частиц смеси, ε – коэффициент восстановления, f – коэффициент трения.

Скорости движения частиц смеси в свободном пространстве после схода с лопаток рабочих органов смесителей до соударения имеют вид $\vec{\upsilon}_1(\vec{\upsilon}_{1x}, \vec{\upsilon}_{1y}, \vec{\upsilon}_{1z})$ и $\vec{\upsilon}_2(\vec{\upsilon}_{2x}, \vec{\upsilon}_{2y}, \vec{\upsilon}_{2z})$.

После столкновения на каждую частицу действует ударный импульс $\vec{S} = \vec{S}_n + \vec{S}_\tau$, при этом

$$S_\tau = f\, S_n \ . \qquad (1)$$

При фиксированных координатах центров частиц в момент соударения проекции орта $\vec{n}_1$ в системе координат (рис. 5) могут быть представлены следующим образом:

$$\begin{cases} n_{1x} = \cos\alpha = \dfrac{x_1 - x_2}{l_0} \\ n_{1y} = \cos\beta = \dfrac{y_1 - y_2}{l_0} \\ n_{1z} = \cos\gamma = \dfrac{z_1 - z_2}{l_0} \end{cases} \qquad (2)$$

Для определения требуемых послеударных скоростей движения частиц смеси согласно теории импульсов с учетом коэффициента восстановления следует воспользоваться следующими зависимостями:

$$m_1(\vec{V}_2 - \vec{\upsilon}_1) = \vec{S}_n - \vec{S}_\tau \ , \qquad (3)$$

$$m_2(\vec{V}_2 - \vec{\upsilon}_2) = -\vec{S}_n - \vec{S}_\tau \ , \qquad (4)$$

$$\vec{V}_1 \cdot \vec{n}_1 + \vec{V}_2 \cdot \vec{n}_2 = -\varepsilon \cdot (\vec{\upsilon}_{1x} \cdot \vec{n}_{1x} + \vec{\upsilon}_{1x} \cdot \vec{n}_{1x}) . \qquad (5)$$

При проектировании на оси O_x, O_y, O_z послеударные скорости следует рассматривать как:

$$V_{1x} - \upsilon_{1x} = \frac{1}{m_1}(S_n \cdot n_{1x} - fS_n \cdot \tau_x), \qquad (6)$$

$$V_{1y} - \upsilon_{1y} = \frac{1}{m_1}(S_n \cdot n_{1y} - fS_n \cdot \tau_y), \qquad (7)$$

$$V_{1z} - \upsilon_{1z} = \frac{1}{m_1}(S_n \cdot n_{1z} - fS_n \cdot \tau_z), \qquad (8)$$

$$V_{2x} - \upsilon_{2x} = \frac{1}{m_2}(S_n \cdot n_{2x} - fS_n \cdot \tau_{x)}, \qquad (9)$$

$$V_{2y} - \upsilon_{2y} = \frac{1}{m_2}(S_n \cdot n_{2y} - fS_n \cdot \tau_y), \qquad (10)$$

$$V_{2z} - \upsilon_{2z} = \frac{1}{m_2}(S_n \cdot n_{2z} - fS_n \cdot \tau_z), \qquad (11)$$

$$\begin{aligned} &V_{1x} \cdot n_{1x} + V_{1y} \cdot n_{1y} + V_{1z} \cdot n_{1z} - V_{2x} \cdot n_{1x} - V_{2y} \cdot n_{1y} + V_{2z} \cdot n_{1z} = \\ &-\varepsilon(V_{1x} \cdot n_{1x} + V_{1y} \cdot n_{1y} + V_{1z} \cdot n_{1z} - V_{2x} \cdot n_{1x} - V_{2y} \cdot n_{1y} + V_{2z} \cdot n_{1z} \ . \end{aligned} \qquad (12)$$

Орт $\vec{\tau}$ лежит в плоскости, перпендикулярной $\vec{h}_1$. Его положение на этой плоскости определяется относительной скоростью частицы m_2 по отношению к частице m_1.

Для определения импульса $\vec{S}_\tau$ останавливают условно движение частицы m_1. В таком случае относительная скорость частицы m_2 определяется как (рис. 6)

$$\vec{\upsilon}_2^{\,/} = \vec{\upsilon}_2 - \vec{\upsilon}_1 \,, \qquad (13)$$

где $\vec{\upsilon}_2^{\,/}$ – относительнная скорость движения частицы m_2.

Расчетная схема для определения орта $\vec{\tau}$ представлена на рис. 6.

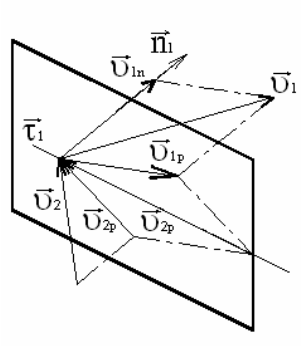

Рис. 6. Расчетная схема для определения орта $\vec{\tau}$

Орт $\vec{\tau}$ определяется как отношение $\dfrac{\vec{\upsilon}_{2p}^{\,/}}{\left|\vec{\upsilon}_{2p}^{\,/}\right|^2}$,

где

$$\vec{\upsilon}_{2p}^{\,/} = \vec{\upsilon}_2 \cdot \vec{n}_1 = \upsilon_{2x} \cdot n_{1x} + \upsilon_{2y} \cdot n_{1y} + \upsilon_{2z} \cdot n_{1z} \,; \qquad (14)$$

$\left|\vec{\upsilon}_{2p}^{\,/}\right|^2$ – квадрат модуля относительной скорости движения частицы m_2.

$$\left|\vec{\upsilon}_{2p}^{\,/}\right|^2 = (\upsilon_{2x} - \upsilon_{1x})^2 + (\upsilon_{2y} - \upsilon_{1y})^2 + (\upsilon_{2z} - \upsilon_{1z})^2 - (\upsilon_{2n} - \upsilon_{1n})^2 \,. \qquad (15)$$

В конечном итоге проекции орта $\vec{\tau}$ на оси O_x, O_y, O_z определяются как

$$\tau_x = \frac{\vec{\upsilon}_{2px}^{\,/}}{\left|\vec{\upsilon}_{2p}^{\,/}\right|^2} \,, \quad \tau_y = \frac{\vec{\upsilon}_{2py}^{\,/}}{\left|\vec{\upsilon}_{2p}^{\,/}\right|^2} \,, \quad \tau_z = \frac{\vec{\upsilon}_{2pz}^{\,/}}{\left|\vec{\upsilon}_{2p}^{\,/}\right|^2} \,. \qquad (16)$$

Для определения послеударных скоростей $\vec{V}_{1x}, \vec{V}_{1y}, \vec{V}_{1z}, V_{2x}, V_{2y}, V_{2z}$ через ударный импульс S_n следует воспользоваться уравнением (13):

$$\begin{aligned} & S_n \cdot \frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} \cdot \left[1 - f\left(\tau_x n_{1x} + \tau_y n_{1y} + \tau_z n_{1z}\right)\right] = \\ & -(1+\varepsilon) \cdot \left[(\upsilon_{1x} \upsilon_{2x}) n_{1x} + (\upsilon_{1y} - \upsilon_{2y}) n_{1y} + (\upsilon_{1z} - \upsilon_{2z}) n_{1z}\right] \end{aligned} \qquad (17)$$

Таким образом, зависимость (17) дает возможность, исходя из уравнений (6)...(11), определить скорости движения частиц, которые имеют массы m_1 и m_2. Следовательно, зная эти скорости, есть возможность построить их траектории движения в рабочем пространстве смесителей и проанализировать влияние ранее исследованных технологических параметров на поведение частиц после соударения в разных ситуациях.

Результаты проведенных исследований позволяют далее досконально изучить движение частиц смеси в свободном рабочем пространстве после возможных соударений, выявить варианты движения частиц при сходе с лопаток рабочих органов с минимальным количеством соударений с исключением их попадания в мертвые зоны.

В конечном итоге это даст возможность составить рекомендации для создания машин, работающих в каскадном режиме, с максимальной эффективностью при минимальных затратах энергии.

Выводы:

1. Указаны условия, обеспечивающие работу смесителей каскадного режима с максимальной эффективностью и минимальными энергозатратами.
2. Приведены результаты предварительных исследований, позволяющие определить технологические параметры, оказывающие влияние на качество приготовления сухих строительных смесей (растворов).
3. Рассмотрен случай соударения частиц смеси после схода с лопаток рабочих органов смесителей и дальнейшего их движения в свободном пространстве машины.
4. Показан путь определения послеударных скоростей движения частиц в свободном пространстве смесителя.

Список использованных источников

1. Блажко, В.В. Трехвальный бетоносмеситель для приготовления малоподвижных бетонных смесей [Текст]: дис… канд. техн. наук: 05.05.02 / В.В. Блажко. – Харьков, 2007. – 164 с.

2. Анищенко, А.И. Разработка бетоносмесителя гравитационно-принудительного действия для приготовления бетонных смесей различной подвижности [Текст]: дис… канд. техн. наук: 05.05.02 / А.И. Анищенко. – Харьков, 2013. – 193 с.

3. Kudrolli A. Saze separation in vibrated granular matter/ A. Kudrolli // Reports on progress in physics. – 2004. – T.67(3). – P. 209-247.

4. Campbell, C.S. Rapid granular flows / C.S. Campbell // Annual Revue of Fluid Mechanics. – 1990. – T.22. – P. 57-92.

5. Бетоносмесители, работающие в каскадном режиме [Текст]: монография / И.А. Емельянова, А.И. Анищенко, С.М. Евель [и др.]. – Харьков: Тим Паблиш Груп, 2012. – 146 с.

6. Емельянова, И.А. Современные строительные смеси и оборудование для их приготовления [Текст]: учеб. пособие / И.А. Емельянова, О.В. Доброходова, А.И. Анищенко. – Харьков: Тимченко, 2010. – 146 с.

7. Analysis of the operation of concrete mixer with gravitational and forced action [Text] / И.А. Емельянова, В.В. Блажко, А.И. Анищенко, О.В. Доброходова // Proceedings «HEAVY MACHINERY – HV 2011» – The seventh international triennial conference. – Kraljevo, Serbia, 2011. – Session B: S. 11 – 14.

8. General classification for small-sized technological sets for production of dry bilding mixtures [Text] / И.А. Емельянова, В.В. Блажко, А.И. Анищенко, О.В. Доброходова //

Proceedings «HEAVY MACHINERY – HV 2014» – The seventh international triennial conference: – Kraljevo, Serbia, 2014. – Session B: S. 35 – 38.

Блажко Володимир Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва і архітектури.
Тел. (057)700-02-82. E-mail: blagko-2008@ukr.net.
Ємельянова Інга Анатоліївна, доктор технічних наук, професор кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва і архітектури. Тел. (057)700-02-82.
E-mail: blagko-2008@ukr.net.
Ковревський Артур Петрович, кандидат технічних наук, професор кафедри теоретичної механіки Харківського національного університету будівництва і архітектури. Тел. (057)700-02-82.
E-mail: blagko-2008@ukr.net.

Blazhko Vladimir, cand. of techn. sciences, assistant professor Department Mechanization Building Processes of the Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel. (057)700-02-82.
E-mail: blagko-2008@ukr.net.
Emelyanova Inga A., doctor of technical sciences, professor of department of mechanization of construction processes of the Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel. (057)700-02-82.
E-mail: blagko-2008@ukr.net.
Kovrevsky Arthur P., cand. of techn. sciences., professor of theoretical mechanics of Kharkov National University of Construction and Architecture. Tel. (057) 700-02-82. E-mail: blagko-2008@ukr.net.

Прийнята 12.02.2016 р.