

Коробко Б. О., к.т.н., доцент
Вірченко В. В., к.т.н., старший викладач
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ СТРІЧКОВО-ЛОПАТЕВОГО РОЗЧИНОЗМІШУВАЧА

Висвітлено результати дослідження робочих процесів приготування будівельних розчинів різної рухомості у стрічково-лопатевому розчинозмішувачі. Шляхом тривимірного моделювання побудовано поля швидкостей, які визначають характерні складові процесу перемішування: макро- і мікрозмішування. Установлено особливості процесу мікрозмішування, які полягають у русі розчину по стрічці та на контурі додаткових лопаток. На основі тривимірного моделювання показано розподіл часток розчину та їх траєкторії руху в корпусі змішувача зі стрічково-лопатевим робочим органом з урахуванням параметрів і режимів його роботи. Обґрунтовано використання як робочого органа змішувача стрічково-лопатєвого вала, оскільки застосування додаткових лопаток перешкоджає утворенню «мертвих» зон у корпусі змішувача й суттєво підвищує інтенсивність перемішування. Визначено раціональні параметри частоти обертання робочого органа, при яких досягається найвища ефективність його роботи з точки зору мікро- і макрозмішування.

Ключові слова: будівельний розчин, тривимірне моделювання, поле швидкостей, траєкторія змішування, розчинозмішувач.

Коробко Б. О., к.т.н., доцент
Вірченко В. В., к.т.н., старший преподаватель
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ЛЕНТОЧНО-ЛОПАСТНОГО РАСТВОРОСМЕСИТЕЛЯ

Изложены результаты исследования рабочих процессов при приготовлении строительных растворов различной подвижности с помощью ленточно-лопастного смесителя. Путем трехмерного моделирования построены поля скоростей, которые определяют характерные составляющие процесса перемешивания: микро- и макросмешивания. Установлены особенности процесса микросмешивания, которые состоят в движении раствора по ленте и на контуре дополнительных лопаток. Основываясь на трехмерном моделировании, показано распределение частиц раствора и их траектории движения в корпусе смесителя с ленточно-лопастным рабочим органом с учетом параметров и режимов его работы. Обосновано использование в качестве рабочего органа смесителя ленточно-лопастного вала, поскольку применение дополнительных лопаток предотвращает появление «мертвых» зон в корпусе смесителя и существенно повышает интенсивность перемешивания. Определены рациональные параметры частоты вращения рабочего органа, при которых достигается наивысшая эффективность его работы с точки зрения микро- и макросмешивания.

Ключевые слова: строительный раствор, трехмерное моделирование, поле скоростей, траектория смешивания.

TAPE-PADDLE MORTAR MIXER WORK PROCESS MODELLING

An article presents mortar with different mobility mixing with type-paddle workbody flow reserching results. With the help of 3d modelling, builded a speedfields, that determines characterized componentsof mixing process: macromixing and micromixing.

Micromixing process features determined that installed in moving of mortar particles by type surface and on extra paddles periphery. Features of macromixing process characterized by moving a big volumes of mortar in workbody frame.

Based on 3d modelling, shown a mortar mix particles distribution and move trajectories in mortar mixing workbody frame when moving in workbody space, considering it work parameters and modes.

Using a type-paddle workshaft justified as a work body. Extra paddles using can prevent appearance «dead» zones in workbody frame and significantly intencives mixing.

Theoretical and experimental results of studying building solutions preparation process determined quality, reliable, energy-efficient, quick mixing mortar required technological properties of equipment where available a working body.

The results of mortars mixing practical observation in the type-paddle mixers have identified the following picture distribution speeds. Tape, rotating, transfers shares of a solution movement, which has two components areas: along the longitudinal axis and the direction of rotation. Paddles transfer solution particles motion in the specified areas.

Thanks to the three-dimensional modeling tools described picture distribution components in the mixer body depends on the components physical and mechanical properties, technological factors, mixing modes and equipment design features items. This mathematical modeling of such a process should take into account the limitations of this problem in the space (working volume mixer) and time.

The resulting image depending allow to analyze the trajectory of each particle inside solution mixer and its speed at any given time.

By mixing quality criterion measure taken to minimize the number of streams at speeds close or equal to zero. Zero speed indicates the presence of «dead» zones in the mixer housing and lack of effectiveness of its work.

Overall, the computer simulation results show that the band-blade mixer use, namely the use of blades in a design working body, where the «dead» zones formation, leading to the new fields excitement velocity emergence of particles in solution and the tape excitement field amount covering the entire the mixer volume, confirming the proposed design effectiveness.

As a research result built a three-dimensional mixer working body model and received visualized image distribution solution components depending on its operating space.

Built models enable to conclude the mixing different modes efficiency and determine his work rational parameters, in which the particle distribution solution will provide intensive mixing components.

Determined rotating frequency rational parameters when maximum work efficiency by the micromixing and macromixing point can be reached.

Keywords: mortar mix, 3d modelling, distribution, mixing, mortar mixer, tape, paddle, working body.

Вступ. Приготування будівельних розчинів являє собою складний процес, під час якого відбувається відносно переміщення часток, завантажених до корпусу змішувача [1, 4, 5] компонентів з метою досягнення максимально можливої рівномірності їхнього розподілу по всьому об'єму приготованого розчину.

Опис картини розподілу компонентів у корпусі змішувача – завдання, яке залежить від фізико-механічних якостей компонентів, технологічних факторів, режимів роботи змішувача, а також конструктивних особливостей елементів обладнання [2, 6]. При цьому математичне моделювання такого процесу повинне враховувати обмеженість розглядуваних явищ у просторі (робочий обсяг змішувача) та в часі.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Попередніми дослідженнями [2, 3, 6, 7] визначено, що найбільш характерними якісними показниками процесу перемішування розчину є ступінь, інтенсивність та енергоємність перемішування. При цьому слід враховувати як конструктивні особливості застосованого обладнання, режими й параметри його роботи, так і характеристики робочого середовища [3].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. У той же час при математичному моделюванні робочих процесів виникає необхідність побудови графічних моделей визначення траєкторій та полів швидкостей часток розчину, що утворюються при перемішуванні.

Постановка завдання. У процесі виконання досліджень необхідно розглянути процеси приготування будівельних розчинів різної рухомості у корпусі змішувача зі стрічково-лопатевим робочим органом при різних параметрах та режимах його роботи.

Основний матеріал і результати. Проведений аналіз існуючих конструкцій робочих органів змішувачів показав, що стрічково-лопатевий змішувач [4, 6] є найбільш раціональним з точки зору забезпечення ефективності перемішування та переміщення компонентів розчину в напрямі видачі. Для такої конструкції притаманна наявність як безпосередньо стрічки, жорстко зв'язаної з валом, так і плоских лопаток.

Конструкція такого робочого органа змішувача наведена на рис. 1.

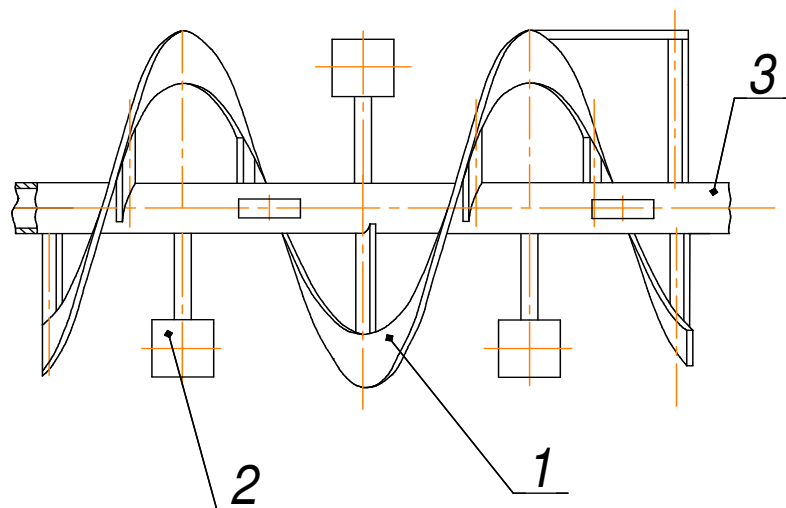


Рисунок 1 – Схема робочого органа стрічково-лопатєвого змішувача:

1 – стрічка; 2 – лопатка; 3 – вал

Додаткове включення лопаток до конструкції змішувача дає можливість прискорити швидкість приготування товарного розчину й поліпшити його якість за рахунок виключення «мертвих» зон.

Вищезазначене обумовило необхідність проведення теоретичних та експериментальних досліджень процесу приготування й транспортування будівельних

розчинів для забезпечення якісного, надійного, енергоощадливого та швидкого приготування розчинів потрібних технологічних властивостей обладнанням, де наявний такий робочий орган.

Результатом практичного спостереження процесу приготування будівельних розчинів у стрічково-лопатевому змішувачі є визначення такого розподілення швидкостей. Стрічка, обертаючись, передає часткам розчину рух, котрий має два складових напрями: вздовж поздовжньої осі й у напрямку обертання. Лопатки передають часткам розчину рух за вказаними напрямками [2, 3].

При цьому процес змішування має дві складові:

– мікрозмішування – процес, який відбувається при русі по стрічці 1 (рис. 1) та на контурі додаткових лопаток 2 (рис. 1). При обертвовому русі стрічки й лопаток у розчині найбільшим чином змінюються швидкості частинок розчину на контурах цих елементів. Зміна поля швидкості дає ненульову область роторів, поле котрих виходить за область контурів у сторону руху всієї рідини;

– макрозмішування – процес «заміни місцями» великих обсягів розчину в замкненому об'ємі змішувача вздовж осі змішувача та робочих поверхонь стрічок.

Для дослідження спостережених особливостей і доведення ефективності роботи стрічково-лопатевого змішувача виконано тривимірне моделювання за методом скінченних елементів. Критеріями обрано частоту обертання змішувача та рухомість розчину.

Отримані графічні залежності дозволяють здійснити аналіз траєкторії руху кожної частки розчину в об'ємі змішувача, а також її швидкості в кожний момент часу.

За критерій якості перемішування прийнято показник мінімізації кількості потоків зі швидкістю, близькою або рівною нульовій. Нульова швидкість свідчить про наявність «мертвих» зон у корпусі змішувача та недостатню ефективність його роботи.

Для побудови полів швидкостей задані граничні умови: найважчі (частота обертання – 20 хв^{-1} , рухомість розчину – 8 см), найлегші (частота обертання – 60 хв^{-1} , рухомість – 12 см). За результатами моделювання при проміжних значеннях параметрів відповідно до цих вимог можна судити про ефективність змішування.

Графічні залежності визначених полів швидкостей зображені на рис. 2 – 5.

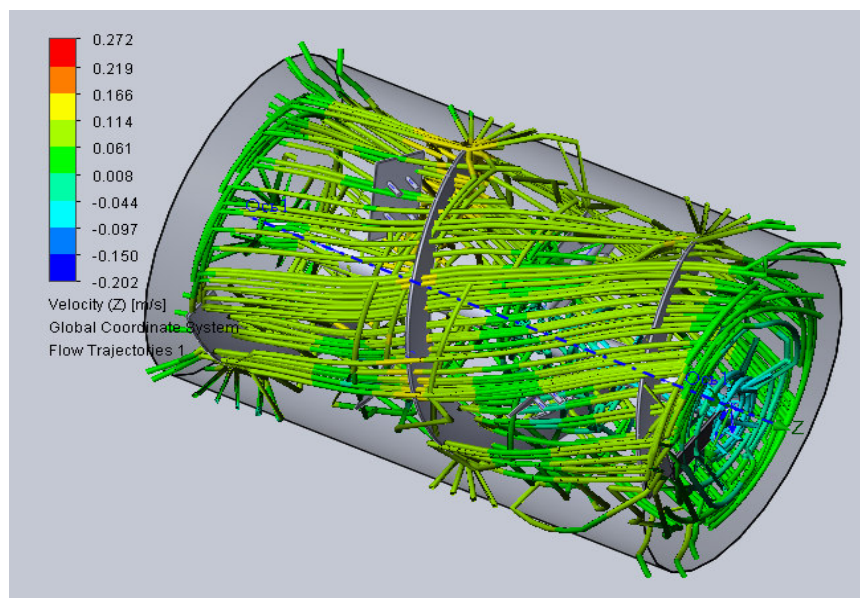


Рисунок 2 – Поля швидкостей: найважчі умови (рухомість розчину – 8 см, частота обертання – 20 хв^{-1})

Аналіз варіанта з найважчими умовами (частота обертання – 20 хв^{-1} , рухомість розчину – 8 см) (рис. 2) показує, що окремі частки будівельного розчину практично всією масою рухаються вздовж корпусу змішувача з невеликим прокручуванням.

При цьому шар розчину в проекції стрічки перерізається витком стрічки та проштовхується під впливом наступного витка. У цілому, результати моделювання при найважчих умовах свідчать про недостатню ефективність роботи стрічково-лопатевого змішувача на малорухомих розчинах та при низькій частоті обертання. Згідно з розрахунком, швидкість переміщення часток розчину по всьому об'єму практично однакова і становить $0,08 - 0,14 \text{ м/с}$.

При зміні напрямку обертання змішувача (рис. 3 а, б) спостерігаються завихрення навколо лопаток, але при цьому розподіл швидкостей практично незмінний.

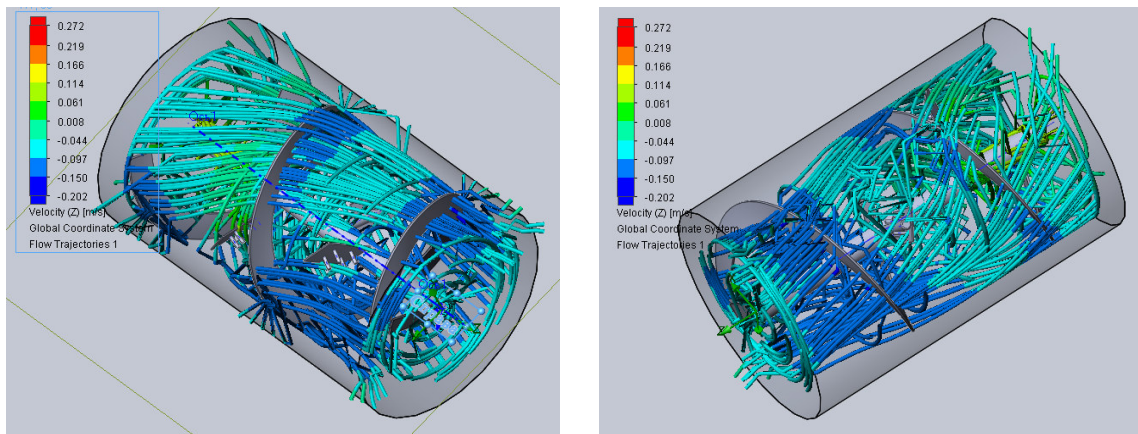


Рисунок 3 – Поля швидкостей, зворотне обертання: найважчі умови (рухомість розчину – 8 см, частота обертання – 20 хв^{-1})

Аналіз варіанта з найлегшими умовами (рис. 4) при частоті обертання 60 хв^{-1} та рухомості 12 см свідчить про те, що у процесі обертання стрічка пронизує прилеглий об'єм розчину, немов проходячи крізь нього. При цьому швидкість часток розчину змінюється лише навколо лопаток. Такий розподіл швидкостей свідчить про недостатню ефективність роботи змішувача, адже працюють лише лопатки.

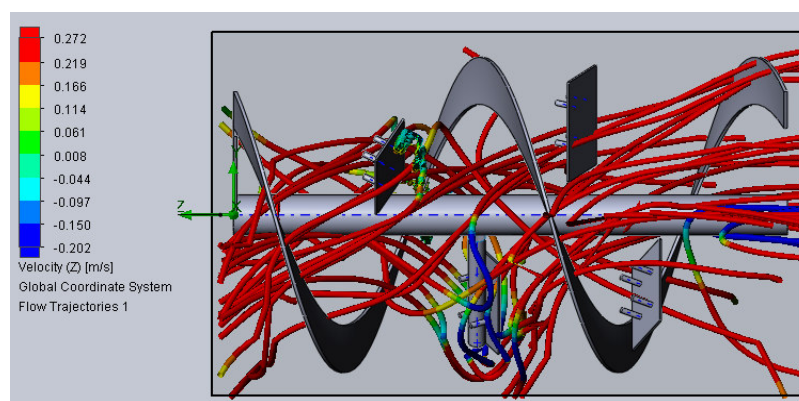


Рисунок 4 – Поля швидкостей: найлегші умови (рухомість розчину – 12 см, частота обертання – 60 хв^{-1})

Аналіз розподілу швидкостей часток розчину в разі моделювання процесу змішування з використанням проміжних умов при частоті обертання 40 хв^{-1} та рухомості 10 см (рис. 5 а, б) показує такі результати: у кожній точці об'єму частка розчину має

свою швидкість, а її траєкторія є складною кривою, що часто змінює напрям свого руху залежно від зустрічі зі стрічкою змішувача або лопаткою. Різниця швидкостей у такому випадку складає від 0,08 до 0,207 м/с. При цьому на рис. 5, б видно, як траєкторія частки розчину спрямовується лопаткою по траєкторіях, що перетинаються.

Складна траєкторія руху часток розчину та діаграма частоті зміни їх швидкості під час руху вздовж траєкторії показує, що при варіанті з проміжними умовами у практично всьому об'ємові змішувача відбувається відносно переміщення часток розчину, що є показником ефективності перемішування компонентів будівельного розчину між собою та відсутності «мертвих» зон.

Таким чином, найкраща картина спостерігається при середній частоті обертання й середній рухомості розчину (рис. 5 а, б), що підтверджує ефективність конструкції стрічково-лопаткового змішувача та визначає діапазон його роботи (частота обертання – близько 40 хв^{-1} , рухомість розчину – 10 см).

У цілому, результати комп'ютерного моделювання свідчать про те, що застосування стрічково-лопаткового змішувача, а саме використання лопаток у конструкції робочого органа, де можливе утворення «мертвих» зон, призводить до виникнення нових полів збудженості швидкостей частинок розчину й у сумі з полем збудженості від стрічки охоплює весь об'єм змішувача, що підтверджує ефективність запропонованої конструкції.

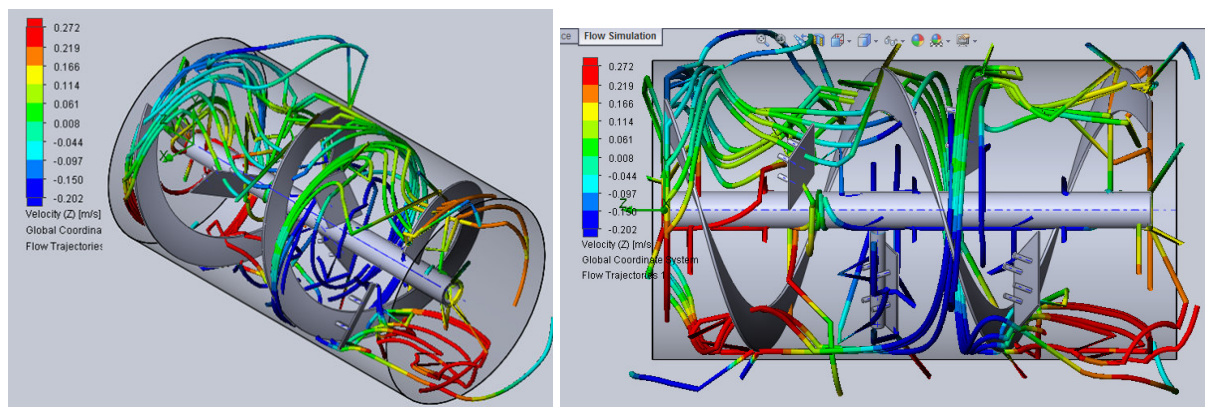


Рисунок 5 – Поля швидкостей: проміжні параметри (рухомість розчину – 10 см, частота обертання – 40 хв^{-1})

Висновки. У результаті проведених досліджень побудовано тривимірну модель робочого органа змішувача та отримано візуалізовані графічні залежності розподілу компонентів розчину по його робочому простору. Побудовані моделі дають змогу зробити висновок про ефективність роботи змішувача на різних режимах, а також визначити раціональні параметри його роботи, при яких розподіл часток розчину забезпечить інтенсивніше перемішування компонентів.

Література

1. Онищенко О. Г. Розроблення конструкції бункера-змішувача на основі аналізу конструктивних особливостей машин для прийому, перемішування і видачі будівельних розчинів / О. Г. Онищенко, К. М. Ващенко // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2004. – Вип. 14. – С. 6 – 11.
<http://znp.pntu.edu.ua/uk/archive>
2. Онищенко О. Г. Розрахунок потужності та визначення опорів, що виникають при роботі стрічкового шнекового розчинозмішувача / О. Г. Онищенко, К. М. Ващенко // Вісник КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2006. – Вип. 1(36). – С. 58 – 63.

3. Онищенко О. Г. Експериментальне дослідження ефективності перемішування будівельних розчинів / О. Г. Онищенко, С. В. Попов, О. С. Філенко // Науковий вісник будівництва Харківськ. держ. техн. ун-т буд. та арх. – Х. : ХДТУБА, 2007. – Вип. 44. – С. 129 – 137.
4. Онищенко О. Г. Малогабаритна розчинозмішувальна установка з гідравлічним приводом / О. Г. Онищенко, А. М. Матвієнко, В. В. Вірченко // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – Вип. 23, Т. 1. – С. 24 – 28.
<http://znp.pntu.edu.ua/uk/archive>
5. Вірченко В. В. Приготування будівельних розчинових сумішей за допомогою ефективних змішувачів / В. В. Вірченко // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КНУ, 2006. – Вип. 1/2011 (66). Ч. 1. – С. 71 – 74.
6. Коробко Б. О. Дослідження якості процесу інтенсивного перемішування сухої будівельної суміші у змішувачі штукатурного агрегату АШГ-4 конструкції ПолтНТУ / Б. О. Коробко, А. М. Павленко, А. М. Матвієнко, В. В. Вірченко // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 1 (36) – С. 443 – 450.
<http://znp.pntu.edu.ua/uk/archive>
7. Вірченко В. В. Аналіз способів підвищення ергономічності та ефективності роботи малогабаритного штукатурного агрегату АШГ-4 / В. В. Вірченко // Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції. – Полтава: ПолтНТУ; Білгород: НДУ «БілДУ»; Харків: ДП «ХНДІ ТМ», Київ: НТУ; Кіровоград: КЛА НАУ, 2013. – С. 5 – 6.

References

1. Onishchenko O. G. Rozroblennya konstruktivniy bunker-zmishuvacha na osnovi analizu konstruktivnih osoblivostey mashin dlya priyomu, peremishuvannya i vidachi budivelnih rozchiniv / O. G. Onishchenko, K. M. Vashchenko // Zbirnik naukovih prats. Seriya: Galuzeve mashinobuduvannya, budivnitstvo. – P. : PoltNTU, 2004. – Vip. 14. – S. 6 – 11.
<http://znp.pntu.edu.ua/uk/archive>
2. Onishchenko O. G. Rozrahunok potuzhnosti ta viznachennya oporiv, shcho vinikayut pri roboti strichkovogo shnekovogo rozchinzomishuvacha / O. G. Onishchenko, K. M. Vashchenko // Visnik KDPU. – Kremenichuk: KDPU, 2006. – Vip. 1(36). – S. 58 – 63.
3. Onishchenko O. G. Eksperimentalne doslidzhennya efektnosti peremishuvannya budivelnih rozchiniv / O. G. Onishchenko, S. V. Popov, O. S. Filenko // Naukoviy visnik budivnitstva Harkivsk. derzh. tehn. un-t bud. ta arh. – H. : HDTUBA, 2007. – Vip. 44. – S. 129 – 137.
4. Onishchenko O. G. Malogabaritna rozchinzomishuvalna ustanovka z gidravlichnim privodom / O. G. Onishchenko, A. M. Matvienko, V. V. Virchenko // Zbirnik naukovih prats. Seriya: Galuzeve mashinobuduvannya, budivnitstvo. – P. : PoltNTU, 2009. – Vip. 23, T. 1. – S. 24 – 28.
<http://znp.pntu.edu.ua/uk/archive>
5. Virchenko V. V. Prigotuvannya budivelnih rozchinovih sumishey za dopomogoyu efektnivnih zmishuvachiv / V.V. Virchenko // Visnik KNU imeni Mihayla Ostrogradskogo. – Kremenichuk: KNU, 2006. – Vip. 1/2011 (66). Ch. 1. – S. 71 – 74.
6. Korobko B. O. Doslidzhennya yakosti protsesu intensivnogo peremishuvannya suhoi budivelnoyi sumishi u zmishuvachi shtukaturnogo agregatu AShG-4 konstruktivniy PoltNTU / B. O. Korobko, A. M. Pavlenko, A. M. Matvienko, V. V. Virchenko // Zbirnik naukovih prats. Seriya: Galuzeve mashinobuduvannya, budivnitstvo. – P. : PoltNTU, 2013. – Vip. 1 (36) – S. 443 – 450.
<http://znp.pntu.edu.ua/uk/archive>
7. Virchenko V. V. Analiz sposobiv pidvishchennya ergonomichnosti ta efektnosti roboti malogabaritnogo shtukaturnogo agregatu AShG-4 / V. V. Virchenko // Suchasni napryami rozviku informatsiyno-komunikatsiynih tehnologiy ta zasobiv upravlinnya: Materiali tretoyi mizhnarodnoyi naukovo-tehnichnoyi konferentsiyi. – Poltava: PNTU; Bilgorod: NDU «BilDU»; Harkiv: DP «HNDI TM», Kiyiv: NTU; Kirovograd: KLA NAU, 2013. – S. 5 – 6.

© Коробко Б. О., Вірченко В.В.
Надійшла до редакції 14.06.2016