

УДК 693.542.524

ВПЛИВ КУТА ПОВОРОТУ ЛОПАТКИ ДВОВАЛОВОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО БЕТНОЗМІШУВАЧА ПРИМУСОВОЇ ДІЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЙОГО РОБОТИ

Іван Назаренко, Андрій Чичур

*Київський національний університет будівництва і архітектури,
03680, Повітрофлотський пр-п., 31, Київ, Україна, sideroalogo8@gmail.com*

RESEARCH INFLUENCE OF CHANGING ANGLE BLADES OF A TWINS-SHAFT FORCED ACTION MIXER ON THE EFFECTIVENESS OF ITS PERFORMANCE

Ivan Nazarenko, Andrii Chichur

*Kyiv National University of Construction and Architecture,
03680, Povitroflotsky av., 31, Kyiv, Ukraine, sideroalogo8@gmail.com*

АННОТАЦІЯ. Досліджено вплив кута повороту лопатки на ефективність роботи двовального горизонтального бетонозмішувача. Здійснено аналіз і оцінку параметрів машини та аналіз руху матеріалу в змішувачі. Розроблена математична модель та отримані аналітичні залежності. Розроблено лабораторний стенд і проведено дослідження, що підтвердили справедливості теоретичних досліджень.

Ключові слова: змішувач, двовальний бетонозмішувач примусової дії, коефіцієнт варіації, бетон, стохастична модель перемішування, ланцюги Маркова, математична модель.

АННОТАЦИЯ. Исследовано влияние угла поворота лопатки на эффективность работы двухвального горизонтального бетоносмесителя. Осуществлен анализ и оценка параметров машины и анализ движения материала в смесителе. Разработана математическая модель и получены аналитические зависимости. Разработан лабораторный стенд и проведены опыты, подтверждающие справедливость теоретических исследований.

Ключевые слова: смеситель, двухвальный бетоносмеситель принудительного действия, коэффициент вариации, бетон, стохастическая модель перемешивания, цепи Маркова, математическая модель.

ABSTRACT. Parameters studied the rotation angle of the mixing blade and effectiveness of its work. **Purpose.** The analysis and evaluation of machine parameters and analysis of material movement in the faucet have been carried out. Defined mathematical model and the analytical dependence. A laboratory stand was developed and experiments were carried out that confirmed the validity of theoretical research.

Key words: mixer, twin-shaft concrete mixer, twins-shaft forced action concrete mixer, coefficient of variation, concrete, mixing stochastic model, Markov chains, the arithmetical model.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Двовалові горизонтальні бетонозмішувачі примусової дії часто застосовуються для виробництва товарного бетону та на виробництві залізобетонних конструкцій.

Актуальною задачею є підвищення ефективності процесу приготування бетонних сумішей двовальним бетонозмішувачем примусової дії за допомогою визначення оптимальних кутів повороту лопатки та часу перемішування залежно від коефіцієн-

та варіації шляхом математичного моделювання переміщення частинок суміші.

ОГЛЯД ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідженню параметрів та конструкцій двовальних бетонозмішувачів присвячена низка робіт. Так, в роботах [1, 5, 6, 9, 10, 12, 14] наведено теорію робочого процесу таких машин, їх конструкції та методики визначення основних параметрів, в роботах [3, 12, 15, 16, 18, 19] наведені приклади застосування можливих математичних моде-

лей для опису процесу перемішування, в тому числі ланцюгів Маркова, в роботах [5, 6, 11, 13] визначено сфери оптимального застосування бетонозмішувачів.

МЕТА РОБОТИ

Мета роботи полягає у визначенні оптимального кута повороту лопатки двовального бетонозмішувача та часу ефективного перемішування.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Під час змішування в робочому об'ємі змішувача відбувається взаємне переміщення частинок різних компонентів, які до перемішування були «розділені» або знаходились у неоднорідно впровадженому стані. У результаті переміщення можливе нескінченно різне розміщення частинок у робочому об'ємі змішувача. За таких умов співвідношення компонентів у мікрооб'ємах суміші – величина випадкова, тому більшість відомих методів оцінки однорідності (якості) суміші основана на методах статистичного аналізу.

Для визначення характеру режиму ро-

боти двовального горизонтального бетонозмішувача розглянемо ефективність його роботи в рамках стохастичної моделі, в якій переміщення речовини носить випадковий характер і описується імовірнісними методами [3].

Для цього весь об'єм змішувача розбивається на ряд однакових елементарних об'ємів. Таким об'ємом є зона обертання одного лопатевого механізму на валу (рис. 1). Кожний елементарний об'єм розбивається на змішувальні зони, переміщення речовини між якими, а також між сусідніми та протилежними елементарними об'ємами, визначиться за допомогою імовірнісного підходу за допомогою ланцюгів Маркова.

Спираючись на загальну теорію ланцюгів Маркова, початковий стан можна охарактеризувати вектором $G(0)$, кожна складова $g_i(0)$ якого є імовірністю знаходження одного із компонентів суміші в i -й змішувальній зоні:

$$G(0) = [g_1(0), g_2(0), \dots, g_k(0)], \quad (1)$$

де k – кількість змішувальних зон.

Потім задається імовірність переходу частинки з i -ї змішувальної зони в j -у, що утворює матрицю перехідних імовірностей (з'єднань). Згідно теорії Маркова, після n переходів (обертів валів) розподіл речовини

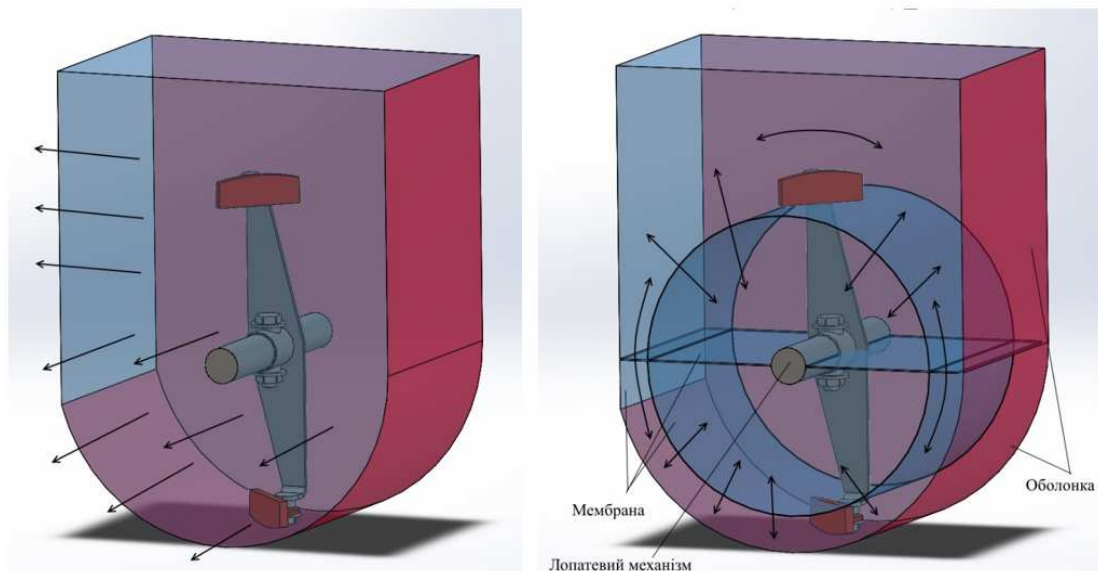


Рис. 1 Схема переміщення суміші між змішувальними зонами змішувача

Fig. 1. The scheme of moving the mixture between the mixing zones of the mixer

по змішувальним зонам можна записати у вигляді матричного добутку:

$$G(n) = G(0)p^n, \quad (2)$$

де n – матриця імовірностей переходу розмірності $k \times k$;

$G(0n) = [g_1(n), g_2(n), \dots, g_k(n)]$, – вектор стану системи після n переходів.

Оцінки неоднорідності V_n , % розподілу речовини після переходів визначатиметься як

$$V_n = 100k \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k [g_i(n) - \frac{1}{k}]^2}. \quad (3)$$

Кращим змішувачем вважається той, який за менше число обертів (менший час перемішування) забезпечує досягнення заданої величини V_n .

За ідею роботи прийнято положення про те, що ефективність перемішування визначається швидкістю переходу речовини із стану неоднорідно впровадженого в стан «забуття».

Визначення імовірності переходу речовини здійснюватиметься виключно експериментальним шляхом на прикладі однієї із змішувальних зон (див. рис. 1).

За допомогою ресурсів програмного забезпечення MathCAD моделюється один перехід речовини у відповідних напрямках залежно від кута повороту лопатки.

Імовірність переходу визначається чи-

сельним моделюванням цього переходу, керуючись рандомним алгоритмом програми «білий шум». Отримані результати оброблюються статистичними методами, в результаті чого імовірність переходу набуває розмірної величини, що відтворює різницю ентропії до та після переходу.

Для адекватності проведеного експерименту слід відтворити реологічні властивості речовини (бетонної суміші), замінивши її певною кількістю кульок деякого діаметру та щільності матеріалу.

Наведена математична модель дозволяє вираховувати номер переходу (оберт вала), після якого матриця перехідних імовірностей перестане змінюватись в часі, що вказує на досягнення системою стаціонарного стану («забула» своє початкове положення), а, отже, ступінь однорідності суміші максимальний.

Для перевірки одержаних даних розроблено лабораторний стенд (рис. 2).

Він складається з лабораторного змішувача, індуктивного датчика, перетворювача частоти, аналогово-цифрового перетворювача сигналу, комп'ютера із спеціально розробленим ПО та фотофіксуючою апаратурою (фотоапаратом).

Лабораторний змішувач оснащується безконтактним індуктивним датчиком і кронштейном на одному з валів, за допомогою якого відбувається зчитування кілько-

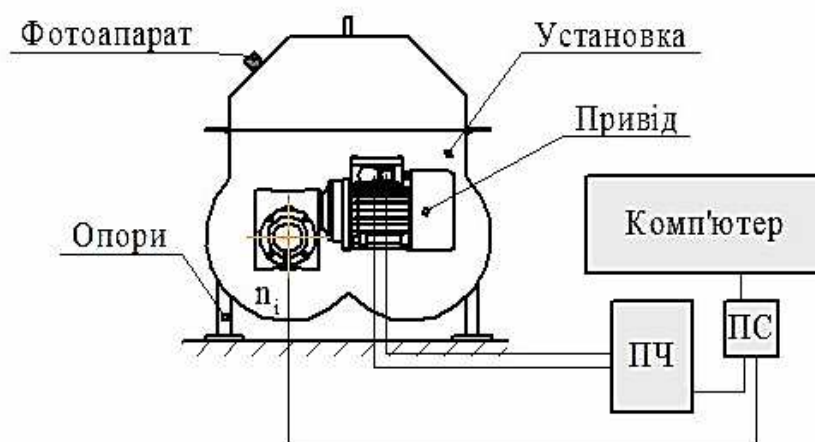


Рис. 2. Принципова схема лабораторного стенда

Fig. 2. Principal scheme of the laboratory stand

сті обертів валу.

Сигнал потрапляє на перетворювач сигналу й виводиться на комп'ютер. Також через перетворювач сигналу до комп'ютера підключається перетворювач частоти струму, який керує електродвигуном установки. Він підтримує постійний режим роботи двигуна на заданих обертах і зупиняє його після заданого числа обертів валів лабораторного двовального горизонтального бетонозмішувача.

Після визначення часу «забуття», що дорівнює кількості обертів вала при заданому куті повороту лопаток, значення вводиться в комп'ютер, а лопатки встановлюються в необхідному положенні за допомогою спеціально розробленого транспортира. Далі завантажують всі попередньо віддозовані компоненти суміші у змішувач.

На основі принципової схеми станда розроблено експериментальну установку [2, 4, 7, 8] (рис. 3).

Установка на візку встановлюється в необхідному для проведення дослідів місці і коліщатки 16 блокуються упорами. Через відкриті бокові дверцята 12, що розташовані в кришці 11, виставляють правильне положення лопатки 3 (кут повороту). Далі завантажують попередньо віддозовані компоненти майбутньої суміші: щебінь, цемент, пісок. Після цього закривають кришку 11 і підключають струм до пульта керування 17. Встановивши певний режим роботи двигуна за допомогою частотного перетворювача 21, вмикають привід 9.

Потім відбувається початковий процес змішування сухих компонентів, під час якого, в залежності від обраних початкових положень лопаток 3 і схеми руху суміші, матеріал розподіляється по змішувальній камері (20 секунд).

Через миючу головку системи СІР 13 рівномірно розпилюється вода, під час перемішування компоненти змішуються вже в кінцевій формі. Цей етап триває 20 ...25 секунд і він є найважчим в роботі змішувача, оскільки тут відбувається значне в часі збільшення динамічної і кінетичної в'язкості суміші і, як наслідок, збільшення опорів з боку середовища на машину.

Після припинення подачі води змішувач

працює ще 20...25 секунд. Далі зупиняють привід 9 і через бокові дверцята 12 беруться проби із різних зон змішувальної камери.

Залишок зливається через розвантажувач

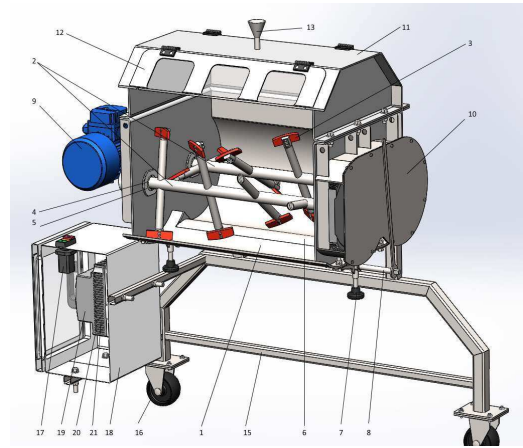


Рис. 3. Конструкція експериментальної установки:

1 – корпус; 2 – вали; 3 – лопатки; 4 – підшипниковий вузол; 5 – ущільнення валу; 6 – розвантажувальний отвір; 7 – фіксатор; 8 – важіль; 9 – привід; 10 – синхронізатор; 11 – кришка; 12 – бокові дверцята; 13 – патрубок системи СІР; 14 – контактний датчик; 15 – візок; 16 – коліщатки з упорами; 17 – пульт керування; 18 – електрошкафа; 19 – реле; 20 – запобіжник; 21 – частотний перетворювач

Fig. 3. The design of the experimental setup:

1 – the case; 2 – shafts; 3 – blades; 4 – bearing assembly; 5 – shaft seal; 6 – unloading opening; 7 – lock; 8 – the lever; 9 – drive motor; 10 – synchronizer; 11 – cover; 12 – side door; 13 – CIP pipe system; 14 – pin sensor; 15 – cart; 16 – wheel with stops; 17 – control panel; 18 – electrical cabinet; 19 – relay; 20 – fuse; 21 – frequency converter

вальний отвір б, що керується важелем 8 і фіксується гвинтами 7.

Після взяття проб та зливання залишків суміші бокові дверцята 12 закривають, також закривають розвантажувальний отвір б і подають очищуючий розчин через патрубок системи СІР 13, після чого розвантажувальний отвір відкривають і зливають бруд.

Лабораторний змішувач оснащений кнопкою екстреної зупинки, ліхтариком, кінцевими вимикачами на бокових дверцятах та відповідним попереджувальним маркуванням, що робить його безпечним для застосування в навчальному процесі.

Результати експериментальних досліджень наведені на рис. 4 у вигляді графіку кривих «забуття» для різних кутів повороту

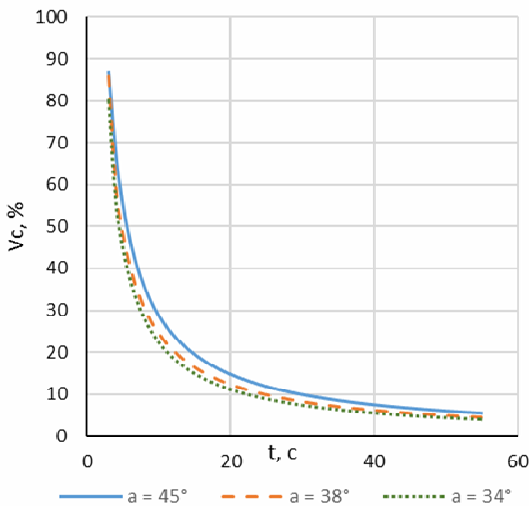


Рис. 4 Графіки кривих «забуття» за методом «ковзкого середнього»

Fig. 4. The graphs of "Oblivion curves"

лопаток, які отримані в ході обробки даних

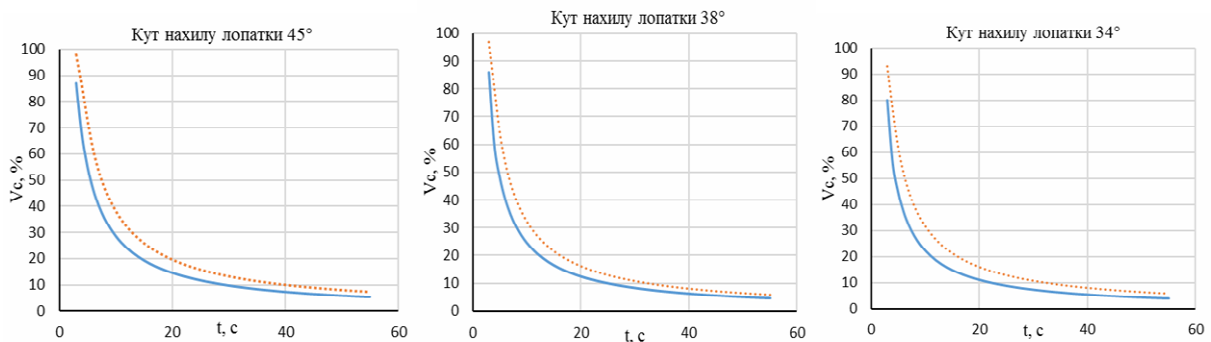


Рис. 5. Порівняння теоретичних (суцільна лінія) та експериментальних (розірвана лінія) кривих «забуття»

Fig. 5. The comparison of theoretical (solid line) and experimental (broken line) "oblivion curves"

методом «ковзкого середнього».

Як видно з графіків для різних кутів повороту змішувальної лопатки α графіки відрізняються, оскільки імовірність переходу в тих чи інших напрямках є залежною від цього параметра. Серед досліджуваних значень кута повороту лопатки найефективнішим виявився $\alpha = 34^\circ$.

Порівняємо результати експериментальних і теоретичних досліджень (рис. 5).

Як витікає із графіків, визначення стану «забуття» експериментальним і теоретичним шляхом мають невелику розбіжність і вписуються в допустиму похибку 15%.

В дослідженнях застосовувались три суміші із різним співвідношенням цементу, піску та щебню: 1 – (1:2,2:3,0), 2 – (1:2,4:3,5), 3 – (1:2,5:4,0), із водоцементним співвідношенням 0,6; 0,4 та 0,5 відповідно.

Оцінка й аналіз зрізів дослідних зразків показали, що якість суміші відповідає розрахованому часу (числу переходів). Якість суміші оцінювалась візуально та за показником міцності (рис. 6).

Дані, одержані в ході дослідження імовірності переходу речовини, оброблюються статистичними методами, а на основі їх результатів визначають кількість переходів (обертів вала) і час перемішування. Ці параметри є основними для проведення експериментальних досліджень із бетонною сумішшю в лабораторному змішувачі для підтвердження або спростування сформованих теоретичних положень.

За результатами експериментів визначено час ефективного перемішування: при

$\alpha = 45^\circ - 46 \dots 49$ с, при $\alpha = 38^\circ - 42 \dots 44$ с і при $\alpha = 34^\circ - 36 \dots 37$ с, що є найбільш оптимальним положенням лопатки.

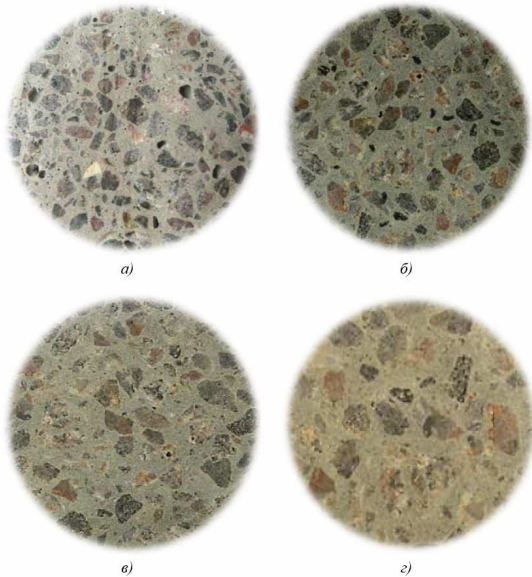


Рис. 6. Порівняння зрізів дослідних зразків:
a – $t = 20$ с; *б* – $t = 30$ с; *в* – $t = 40$ с;
г – $t = 50$ с

Fig. 6. The comparison of prototypes cuts:
a – $t = 20$ с; *b* – $t = 30$ с; *c* – $t = 40$ с;
d – $t = 50$ с

Встановлено скорочення тривалості циклу, що забезпечує зменшення енерговитрат і підвищення продуктивності змішувача на 12%.

ВИСНОВКИ

1. В результаті математичного моделювання процесу переміщення речовини та виконаних експериментальних досліджень підтверджено робочу гіпотезу, що переміщення речовини між змішувальними зонами залежить від «імовірності переходу», яка визначається кутом повороту лопатки.
2. На основі проведених теоретичних досліджень розроблена методика розрахунку основних параметрів вдосконаленого лабораторного двовального горизонтального бетонозмішувача примусової дії.
3. Запропонована конструкція двовального горизонтального бетонозмішувача при-

4. мусової дії з поворотними лопатками.
4. Виконані дослідження дозволяють підвищити ефективність роботи змішувача за рахунок зменшення часу циклу і енерговитрат.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Аніщенко А.І.* Розробка нової теорії приготування будівельних розчинів: автореферат. Х.: ХГТУСА. – 2012. №12.
2. *ASTN C-94/C94M – 16a* // Standard Specification for Ready-Mixed Concrete, annex 1.
3. *Бакин М.Н., Капранова А.Б., Вурлока И.И.* Современные методы математического описания процесса смешивания сыпучих материалов. // *Fundamental Research* – 2014. № 5. 924.
4. *DIN 459 (Part 2)* // Building material machines – Mixers for concrete and mortar: Procedure for the examination of the mixing efficiency of concrete mixers.
5. *Емельянова И.А.* Особенности приготовления фибробетонів у бетонозмішувачах з горизонтальними лопатками // *Бетон и железобетон.*, – 2008. № 1.
6. *Емельянова И.А., Блажко В.В., Аніщенко А.І.* Особенности рабочего процессу гравітаційного бетонозмішувача примусової дії. Х.: ХГТУСА. – 2011.
7. *ГОСТ 16349-85.* – «Смесители циклические для строительных материалов. Технические условия». - 11.
8. *ISO 18650-1:2004* Machines and equipment for building. 27.
9. *Корольов К.М.* Механизация приготовления и укладки бетонной смеси. - Москва: Стройиздат. – 1986. - 136.
10. *Корольов К.М.* Передвижные бетоносмесители и бетононасосные установки. - М.: Высшая школа – 1986. - 215.
11. *Лозовая С.Ю., Лымар И.А.* Исследование процесса смешивания в помольно-смесительном устройстве с использованием современных компьютерных технологий. *Fundamental research.* –2013. №10.
12. *Назаренко И.И.* Машины для производства будівельних матеріалів. Підручник. - Київ.: КНУБА. –1999. - 448.
13. *Пискарьова Т.И.* Влияние физико-механических и конструктивно-технологических параметров на процесс смешивания в шнеково-помольных смесите-

- лях: автореферат. Оренбург: Оренбургский национальный университет. – 2011. -19.
14. *Саленко Ю.С.* Розробка одновального бетонозмішувача примусової дії. Полтава, Кременчуцький національний політехнічний університет ім. М. Остроградського: автореферат. – 2007. - 24.
 15. *Шаронин А.С., Першина С.В.* Моделирование механических процессов обработки сыпучих материалов на основе цепей маркова // Современные научно-исследовательские технологии. – 2013. № 8. 94-95.
 16. *Смолин Д.О., Дёмин О.В., Першин В.Ф.* Математическая модель смешивания сыпучих материалов в лопастных смесителях // Современные проблемы науки и образования. – 2013. № 2;
 17. *Земцова Е.В., Фетистов А.В., Дурнев А.С.* Использование цепей Маркова для моделирования процесса смешивания // Современные научно-исследовательские технологии. – 2013. № 8. 196-197.
 18. *Зорин А.В., Зорин В.А., Пройдакова Е.В., Федоткин М.А.* Введения в общие цепи маркова: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижненовгородский национальный университет. – 2013. - 31.
 19. *Гарнец В.* Теорія і практика створення бетоноформувань агрегатів (БФА) / В. Гарнец, Ю. Човнюк, С. Зайченко, В. Шаленко, Я. Приходько // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – № 81. – 2013. – С. 44-51.
 - forced-gravitational concrete mixer]. Kharkiv, HGTUSA. – (in Ukrainian).
 7. *GOST 16349-85.* ["Cyclic mixers for building materials. Technical conditions"], 11. – (in Russian).
 8. *ISO 18650-1:2004* [Machines and equipment for building], 27. – (in Russian).
 9. *Korolev K.M., 1986.* [Mechanization of preparation and laying of concrete mixers]. Moscow, Stroiizdat, 136. – (in Russian).
 10. *Korolev K.M., 1986.* [Mobile concrete-mortar mixers and concrete pumping plants: Proc. For media. Vocational school]. Moscow, Higher Education Shk. Publ., 215. – (in Russian).
 11. *Lozovaya S.Y., Lyamar I.A., 2013.* Study of the mixing process in the grinding-mixing device using modern computer technologies. [Fundamental research], No.10.
 12. *Nazarenko I.I., 1999.* [Machines for the production of building materials. Tutorial]. Kiev, KNUCA, 448. – (in Ukrainian).
 13. *Piskareva T.I., 2011.* [Influence of physico-mechanical and constructive-technological parameters on the mixing process in auger-blade mixers: the author's abstract]. Orenburg, Orenburg State University Publ., 19.
 14. *Salenko Y.S., 2007.* [Development of single-shaft mixers of forced action]. Poltava, Kremenchug State Polytechnic University Publ., 24.
 15. *Sharonin A.S., Pershina S.V., 2013.* Modeling of mechanical processes of bulk materials processing on the basis of Markov chains // Modern science-intensive technologies. – 2013. No. 8. 94-95.
 16. *Smolyn D.O., Dëmyrn E.V., Pershin V.F., 2013.* [Mathematical Model of Mixing of Bulk Materials in Paddle Blenders]. Modern Problems of Science and Education], No. 2.
 17. *Zemtsova E.V., Fetistov A.V., Durnev A.S., 2013.* [The use of Markov chains for simulation of the mixing process]. [Modern science-intensive technologies], No. 8, 196-197.
 18. *Zorin A.V., Zorin V.A., Proidakova E.V., Fedotkin M.A., 2013.* [Introduction to the general Markov chains.: Educational-methodical manual]. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State University Publ., 31.
 19. *Garnec V., Chovnyuk Yu., Zaychenko S., Shalenko Sh., Prikhodko Ya., 2013.* [Theory and practical worker of creation бетоноформувань агрегатів (BFA)]. Girnichi, bedivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and melioration machines], No. 81, 44-51.

REFERENCES

1. *Anischenko A.I., 2012.* Developing a new theory cooking mortars. Abstract. Kharkiv, HDTUBA, 12.
2. *ASTN C-94/C94M – 16a.* Standard Specification for Ready-Mixed Concrete, annex 1.
3. *Bakin M.N., Kapranova A.B., Verloka I.I., 2014.* [Modern methods of mathematical description of the process of mixing materials]. [Fundamental Research], No. 5, 924.
4. *DIN 459 (Part 2).* Building material machines – Mixers for concrete and mortar: Procedure for the examination of the mixing efficiency of concrete mixers.
5. *Emelyanova I.A., 2008.* Features of preparation of inactive mortars in concrete mixers with horizontal blade shafts. [Concrete and reinforced concrete], No. 1.
6. *Emelyanova I.A., Blazhko V.V., Anischenko A.I., 2011.* [Features of the workflow of the