

УДК 693.542.523

## ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРАВІТАЦІЙНИХ БЕТОНОЗМІШУВАЧІВ

*Іван Назаренко, Микола Клименко, Анатолій Свідерський, Вадим Печерський**Київський національний університет будівництва і архітектури,  
03680, Повітрофлотський пр-п., 31, Київ, Україна, klymenko.2012@gmail.com*

## DEFINITION OF RATIONAL PARAMETERS OF DRUM CONCRETE MIXERS

*Ivan Nazarenko, Mykola Klymenko, Anatoly Svidersky, Vadim Pechersky**Kyiv National University of Construction and Architecture,  
03680, Povitroflotsky av., 31, Kyiv, Ukraine, klymenko.2012@gmail.com*

**АНОТАЦІЯ.** Досліджені особливості процесу перемішування в гравітаційних бетонозмішувачах та обґрунтовані їх раціональні параметри, а також режими роботи з метою підвищення ефективності перемішування та продуктивності змішувачів. Знайдені рівняння залежностей теоретичних ліній регресії для визначення найбільш вірогідних значень маси і потужності двигуна пересувних гравітаційних змішувачів від об'єму по завантаженню сухими компонентами, а також побудовані графіки цих залежностей.

**Ключові слова:** перемішування, гравітаційний бетонозмішувач, ефективність, барабан, потужність, раціональні параметри.

**АННОТАЦИЯ.** Исследованы особенности процесса перемешивания в гравитационных бетоносмесителях и обоснованы их рациональные параметры, а также режимы работы с целью повышения эффективности перемешивания и производительности смесителей. Найдены уравнения зависимости теоретических линий регрессии для определения наиболее вероятных значений массы и мощности двигателя передвижных гравитационных смесителей от объема по загрузке сухими компонентами, а также построены графики этих зависимостей.

**Ключевые слова:** перемешивание, гравитационный бетоносмеситель, эффективность, барабан, мощность, рациональные параметры.

**ABSTRACT. Purpose.** Studying the features of the mixing process in gravitational concrete mixing and justifying the rational parameters of such mixers. **Findings.** The operation modes for improving the efficiency and productivity of drum mixers are proposed. The equations of the theoretical regression lines are found to determine the most probable values of the mass and power of the mobile gravitational mixer engine from the volume of loading by dry components, as well as the graphs of the regression lines of the volume, the mixer mass and the installed engine power. **Research limitations/implications.** Results of work can be further useful at design and modification of the concrete drum mixers. **Originality/value.** The work has scientific and practical interest because of improving construction and technological characteristics of drum mixer for concrete works.

**Key words:** mixing, gravity concrete mixer, efficiency, drum, power, rational parameters.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Огляд існуючих конструкцій циклічних бетонозмішувачів гравітаційного перемішування показує, що їх робочий процес є мало дослідженим, конструкції неоптимізованими, а сам процес змішування не ефективний. Поряд з цим значне поширення такого класу змішувачів, їх широке використання як в складі бетонних вузлів заводів з виготовлення залізобетонних виробів, так і самостійного бетонозмішувального устаткування, що працює на розосереджених будівельних майданчиках, вказує на те, що ці змішувачі заслуговують якнайбільшої уваги.

## ОГЛЯД ПУБЛІКАЦІЙ

Питання визначення потужності приводу обертання барабана гравітаційних бетонозмішувачів є одними з найбільш важливим при дослідженнях даного типу змішувачів. У вітчизняній практиці проектування найбільш широко використовується методика розрахунку потужності двигуна, запропонована у ВНДБуддормаш [1].

А.А. Новиков та Т.І. Філягіна [2] на основі виконаних експериментальних досліджень гравітаційних бетонозмішувачів рекомендують визначати потужність бетонозмішувача як

$$N = K^{3,5} \cdot N_o, \quad (1)$$

де  $K$  – коефіцієнт геометричної подібності;  
 $N_o$  – потужність базового зразка.

Перші роботи з узагальнення результатів експериментальних досліджень і поширення отриманих даних на бетонозмішувачі інших типорозмірів були виконані В.А. Бауманом [3]. Він використав при вивченні процесу перемішування теорію подібності. Вказавши на залежність процесу перемішування від числа перелопачувань, автор довів, що для забезпечення подібності процесів перемішування достатньою умовою є подібність траєкторій падіння часток суміші в барабані-моделі і натурному зразку при однаковій кількості перелопачувань.

А.А. Новиков, спираючись на проведені експериментальні дослідження бетонозмішувачів циклічної та безперервної дії [4], рекомендує приймати коефіцієнт подібності при перерахунках від моделі до натурального об'єкта у вигляді

$$K_N = K^{3,5}, \quad (2)$$

де  $K$  – коефіцієнт геометричної подібності.

Оскільки гравітаційні бетонозмішувачі відносяться до класу барабаних апаратів, то в різний час багатьма дослідниками були виконані спроби перенесення на бетонозмішувачі аналітичні та емпіричні залежності, отримані для інших класів барабаних машин, таких як млини, барабанні грохоти та сепаратори, гранулятори тощо. Серед методик, які мають опосередковане відношення до циклічних гравітаційних бетонозмішувачів, можна відзначити методику визначення потужності приводу барабаних машин, розроблену З.Б. Канторовичем [5]. Він пропонує розраховувати потужність за формулою

$$P = \frac{1}{102} QR_o \omega \sin \psi, \quad (3)$$

де  $Q$  – вага сипкого матеріалу в барабані;  
 $\omega$  – кутова швидкість обертання барабана;  
 $R_o$  – радіус центра мас матеріалу, розташованого в сегменті;  
 $\psi$  – кут природного укосу матеріалу в барабані.

В.В. Мінін [6, 7] вводить поняття варто-

сті втрат потужності бетонозмішувача, яка приймається за цільову функцію оптимізації:

$$P_{CN} = \sum \{C_i P_i + C_{Ei}(1 - P_i)\} \times \\ \times \{1 - \bar{\eta}(1 - k_N)\} / \{N \bar{\eta}(1 - k_N)\}.$$

В роботі [6] виконаний регресійний аналіз та побудовані графіки залежності запропонованого критерію вартості втрат потужності бетонозмішувача при варіюванні об'єму барабана та потужності його приводу.

Проте, запропоновані критерії не дозволяють на перших етапах проектування обґрунтовано виконувати оптимізаційні розрахунки для визначення раціональних параметрів бетонозмішувачів

М.Г. Матусов [8] на основі аналізу методик розрахунку потужності показує, що в сучасній інженерній практиці основна увага дослідників спрямована на розрахунок і проектування конструктивних і технологічних параметрів змішувального обладнання. Однак, в запропонованих залежностях відсутні енергетичні показники, що дозволяють оцінити ефективність роботи змішувачів, а також оптимізувати їх роботу.

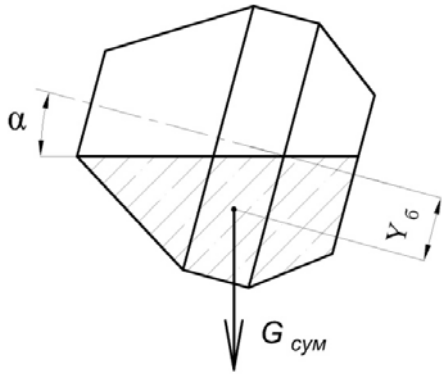
## МЕТА РОБОТИ

Мета роботи полягає у дослідженні особливостей процесу перемішування в гравітаційних бетонозмішувачах та обґрунтуванні їх раціональних параметрів, а також режимів роботи для підвищення ефективності перемішування та продуктивності змішувачів.

## ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

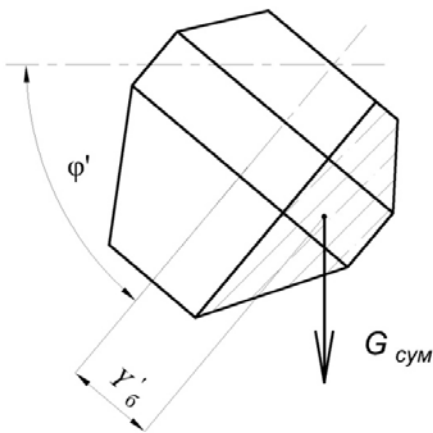
Потужність двигуна визначається за величиною моменту опору, який виникає на валу приводу змішувального барабана при перевертанні перемішуваної суміші і відхиленні її центра мас від вертикального положення. При цьому розглядаються два положення суміші в барабані: барабан знаходиться в положенні перемішування, при якому в залежності від конструкції змішувача вісь барабана є горизонтальною або нахиленою під певним кутом до горизонту

(при цьому приймається, що поверхня суміші є площиною, яка нахилена до горизонту під кутом внутрішнього тертя  $\varphi$  (рис.1)); та положення розвантаження, за яким поверхня суміші розташована під кутом внутрішнього тертя  $\varphi$  до розвантажувального отвору під час нахилу барабана до горизонту (рис. 2).



**Рис. 1.** Схема до розрахунку потужності приводу обертання барабана при перемішуванні

**Fig. 1.** Scheme to calculate the power of the driven rotation of the drum when stirred



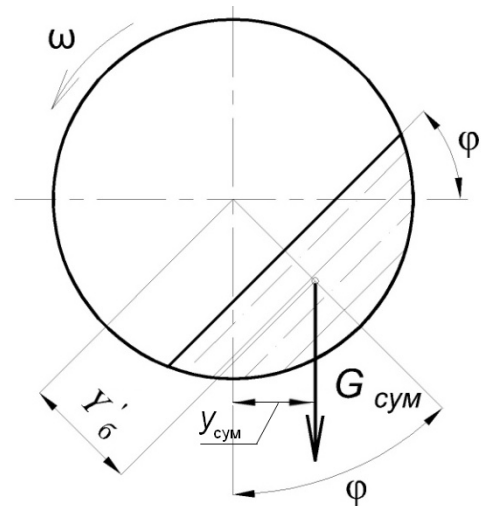
**Рис. 2.** Схема до розрахунку потужності приводу обертання барабана при розвантаженні

**Fig. 2.** Scheme to calculate the power of the drive-ro rotation of the drum during unloading

Крутний момент на осі барабана (рис. 3) при його обертанні розраховується за формулою .

$$M_{зм} = G_{сум} \cdot y_{сум} \cdot \sin\varphi. \quad (4)$$

де  $G_{сум}$  - вага бетонної суміші в барабані;  
 $y_{сум}$  - координати центра ваги бетонної суміші для першого і другого положення.



**Рис. 3.** Схема діючих зусиль

**Fig. 3.** Scheme of ongoing efforts

Потужність приводу механізму обертання барабана:

$$P_{зм} = M_{зм} \cdot \omega. \quad (5)$$

До остаточної потужності електродвигуна також додається потужність на подолання опору тертю в опорних роликах або на центральному валу, на якому закріплений барабан. Визначення цих величин не представляє ускладнень, а тому не досліджується в даній роботі.

Підрахунок кількості сипкої маси, що перебуває в барабані, пов'язаний з дослідженнями впливу зміни коефіцієнта завантаження уздовж осі барабана на хід процесу перемішування.

Різноманітність властивостей перемішуваних матеріалів обумовила створення великої кількості конструкцій змішувальних пристроїв, кожен з яких відповідає лише специфічним вимогам окремих виробництв і має обмежену область застосування.

Дослідницькі роботи зі створення нових конструкцій зводяться в основному до підбору експериментальним шляхом оптимальних конструктивних і технологічних параметрів. Відсутність же узагальнення цих результатів у конкретній методиці розрахунку заважає їх використанню при створенні нових бетонозмішувачів різних типорозмірів. Подібність траєкторій падіння матеріалу у двох барабанах забезпечується за умови початку з ковзування часток суміші з

лопаті при однаковому куті їхнього підйому в обох барабанах. Умова подібності виводиться В.А. Бауманом [3] з рівняння взаємодії сил, що діють на частинку суміші в момент її хиткої рівноваги на лопаті. Умова подібності записується в такий спосіб:

$$\frac{\omega_{ан}}{\omega_n} = \sqrt{\frac{D_n}{D_{ан}}}, \quad (6)$$

де  $D_m, D_{ан}$  – діаметри барабанів нового змішувача і зразка-аналога відповідно;  $\omega_m, \omega_{ан}$  – кутові швидкості нового змішувача і зразка-аналога.

Таким чином, В.А. Бауман визначив із співвідношення  $\frac{D_n}{D_{ан}} = k$  масштаб геометричної подібності, а далі і інші коефіцієнти подібності:

– для кутової швидкості:

$$k_\omega = \sqrt{\frac{D_{ан}}{D_n}} = \frac{1}{\sqrt{k}}; \quad (7)$$

– для лінійної швидкості:

$$k_V = \frac{k}{\sqrt{k}} = k; \quad (8)$$

– масштаб часу:

$$k_t = \sqrt{k}; \quad (9)$$

– коефіцієнт спожитої потужності:

$$k_P = k^3 \sqrt{k} = \sqrt{k^7}. \quad (10)$$

Розглянуті залежності розрахунку параметрів гравітаційних бетонозмішувачів ґрунтуються на заздалегідь відомих параметрах, які визначають його форму, тобто діаметри та довжини усіх ділянок. При проектуванні нового змішувача, коли ці дані невідомі, задача вирішується шляхом вибору аналога, який визначає форму барабана та його геометричні розміри. Залишаючи незмінними по відношенню до аналога або діаметри відповідних частин барабана, або їх довжини отримують зміну іншого параметра. В першому випадку (при сталих діаметрах) довжина змінюється в  $k$  разів:

$$l_i^H = k \cdot l_i^A. \quad (11)$$

В другому (при незмінних довжинах) – діаметри визначають як

$$d_i^H = \sqrt{k} \cdot d_i^A, \quad (12)$$

де  $l_i^H, l_i^A$  – довжини відповідних ділянок нового змішувача і аналога;  $d_i^H, d_i^A$  – діаметри відповідних ділянок нового змішувача і аналога.

Оскільки в обох випадках зміна тільки одного параметра призводить до зміни кутів твірних конусів, рекомендується підхід, який забезпечує незмінність цих кутів. В такому випадку автор пропонує наступні залежності для довжин і діаметрів:

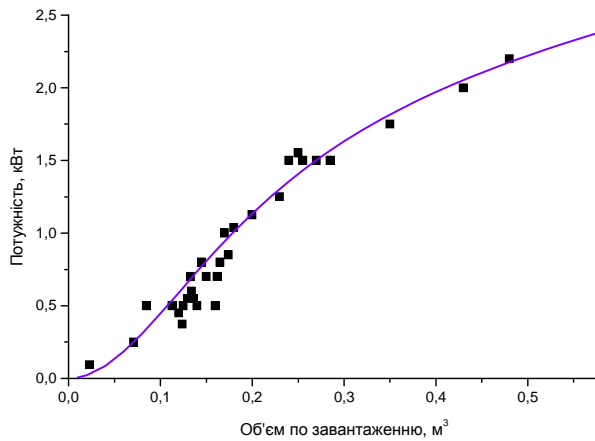
$$l_i^H = \sqrt[3]{k} \cdot l_i^A, \quad d_i^H = \sqrt[3]{k} \cdot d_i^A. \quad (13)$$

Аналіз (11) – (13) вказує на значні ускладнення із важливим параметром змішувача – співвідношенням поздовжніх і поперечних розмірів барабана. Як такий параметр не можна використовувати просте співвідношення  $D_2/L$ , оскільки зміна довжин конічних і циліндричних частин барабана без зміни його загальної довжини  $L$  не відображається цим співвідношенням, хоча й приводить до об'єктивної зміни форми барабана.

В зв'язку із складністю складання диференціальних рівнянь, які описують гідродинамічний процес, що має місце при змішуванні, основним методом дослідження є експеримент, перенесення результатів якого на групу явищ стало можливим завдяки використанню методів теорії подібності.

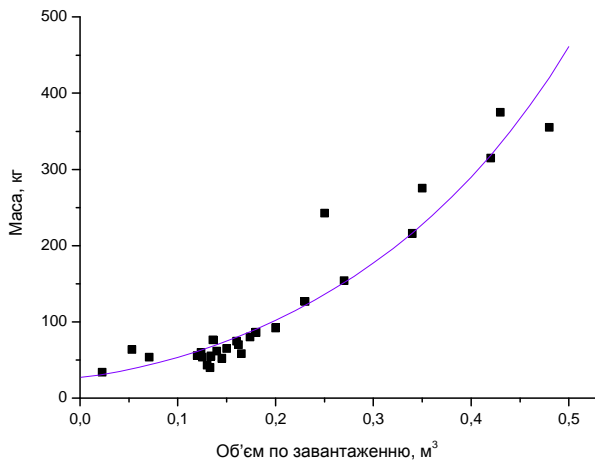
Для аналізу головних параметрів гравітаційних бетонозмішувачів були розглянуті конструкції закордонних та вітчизняних машин. До розгляду увійшло 355 моделей пересувних гравітаційних змішувачів, що випускаються іноземними компаніями.

При визначенні залежностей маси змішувача та встановленої потужності його двигуна від об'єму по завантаженню сухими компонентами був використаний метод математичної статистики. Об'єм по завантаженню і маса, об'єм по завантаженню і потужність двигуна розглядалися як одномірні статистичні сукупності. Ці сукупності, тобто парні розподілення числових значень вказаних параметрів, зображені графічно у вигляді полів кореляції, проаналізовані і математично оброблені (рис.4, рис.5).



**Рис. 4.** Залежність потужності двигуна від об'єму по завантаженню

**Fig. 4.** Dependence of engine power on loading volume



**Рис. 5.** Залежність маси змішувачів від об'єму по завантаженню

**Fig. 5.** Dependence of the mass of mixers on the volume of loading

Були знайдені залежності теоретичних ліній регресії для визначення найбільш вірогідних значень маси і потужності двигуна на пересувних гравітаційних змішувачів від об'єму по завантаженню сухими компонентами. Як показує математична обробка каталожних даних, характеру залежності між зміною потужності та зміною об'єму по завантаженню найкраще всього відповідає рівняння

$$P^{-1} = 0,21486883 + \frac{0,017780453}{V^2} + \quad (14)$$

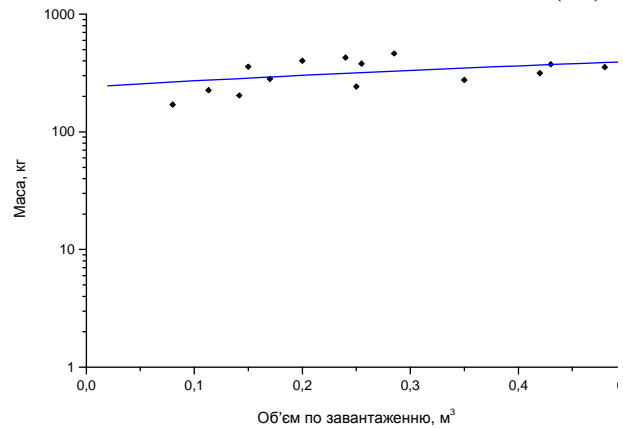
$$+ 0,27061015 \cdot e^{-V},$$

а зміні маси від об'єму по завантаженню рівняння

$$m = 27,256906 - 601,43492 \frac{V}{\ln(V)}. \quad (15)$$

Окремо були розглянуті змішувачі важкої серії, призначені для перебезування швидкохідними транспортними засобами. Рама таких машин повинна бути більш жорсткою, а тому виготовляється з міцніших профілів, що зрештою впливає на масу змішувача (рис. 6):

$$m = -103904910 + 103905150 e^{\left(\frac{V}{336543,728}\right)}. \quad (16)$$



**Рис. 6.** Залежність маси змішувачів важкої серії від об'єму по завантаженню

**Fig. 6.** Dependence of the mass of mixer series from volume to loading

Аналіз конструкцій бетонозмішувачів з різноманітними конструктивними виконаннями барабанів показав відсутність загального підходу до проектування робочих органів, а, отже, і про недостатнє дослідження процесів, що відбуваються в барабані. Не зважаючи на велику кількість різноманітних конструкцій, практично усі змішувачі забезпечують продуктивність на рівні не вище 10 ... 12 циклів за годину. З метою підвищення інтенсивності змішування багатьма фірмами запропоновані робочі органи комбінованої дії, в яких поряд із роботою сил гравітаційного змішування використовуються дія примусового змішування, вібрування, активації, струминного та акустичного впливу тощо.

## ВИСНОВКИ

Досліджені особливості процесу перемішування в гравітаційних бетонозмішувачах та обґрунтовані раціональні параметрів

таких змішувачів, а також режими їх роботи для забезпечення підвищення ефективності перемішування та продуктивності змішувачів

ЛІТЕРАТУРА

1. Бауман В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В.А. Бауман, Б.В. Клушанцев, В.Д. Мартынов. – М.: Машиностроение, 1981. – 324с.
2. Новиков А.А. Определение потребляемой мощности гравитационного смесителя в зависимости от подвижности бетонной смеси / А.А. Новиков, Т.И. Филягина // Строительные и дорожные машины. - 1975. - №12.
3. Бауман В.А. Применение принципа подобия при исследовании барабанов бетономешалок / В.А. Бауман // Исследование машин и механизмов для строительных и дорожных работ. – М.: Машгиз, 1950. – С. 101-104.
4. Новиков А.А. Энергетические затраты барабанных аппаратов с быстроходным режимом работы / А.А. Новиков // Труды ВНИИСтройдормаш. - 1981. – вып.90. - С.35-40.
5. Канторович З.Б. Машины химической промышленности / З.Б. Канторович. - М.: Машиностроение, 1965. - 415 с.
6. Минин В.В. Определение рациональных параметров бетоносмесителей для малогабаритных машин / В.В. Минин, С.Ф. Зяблов // Материалы Международной научно-технической конференции ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2014. Самара, 09-11 сентября 2014 г. – С.55-58.
7. Минин В.В. Рациональные параметры бетоносмесителей гравитационного типа / В.В. Минин, В.П. Павлов, С.Ф. Зяблов, Г.А. Кузнецов // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2017. – 10 (1). – С.52-58
8. Матусов М.Г. Анализ методик расчета энергетических показателей бетоносмесителей / М.Г. Матусов // Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и научно-технический прогресс». Белгород, 16 апреля 2015 г. – С. 119-121

REFERENCES

1. Bauman V.A. Klushantsev B.V., Martynov V.D. 1981. Mekhanicheskoye oborudovaniye predpriyatiy stroitel'nykh materialov, izdeliy i kon-

- struktsiy [Mechanical equipment of enterprises of construction materials, products and structures]. Moscow, Mashinostroyeniye, 324.
2. Novikov A.A., Filiagina T.I. 1975. Opredeleniye potrebyayemoy moshchnosti gravitatsionnogo smesitelya v zavisimosti ot podvizhnosti betonnoy smesi [Determination of the power consumption of the gravitational mixer as a function of the mobility of the concrete mix]. Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny [Construction and road machines], 12.
3. Bauman V.A. 1950. Primeneniye printsipa podobiya pri issledovanii barabanov betonmeshalok. [Application of the principle of sub-bias in the study of concrete mixer drums]. Issledovaniye mashin i mekhanizmov dlya stroitel'nykh i dorozhnykh rabot [Research of machines and mechanisms for construction and road works]. Moscow, Mashgiz, 101-104.
4. Novikov A.A. 1981. Energeticheskiye zraty ba-rabannykh apparatov s bystrokhodnym rezhimom raboty [Energy costs of the drum-type apparatus with high-speed operation mode]. Trudy VNIISTroydormash [Proceedings of VNIISTroydormash], Vol.90, 35-40.
5. Kantorovich Z.B. 1965. Mashiny khimicheskoy promyshlennosti [Chemical industry machines]. Moscow, Mashinostroyeniye, 415.
6. Minin V.V. Zyablov S.F. 2014. Opredeleniye ratsional'nykh parametrov betonosmesiteley dlya maloga-baritnykh mashin [Determination of rational parameters of concrete mixers for small-scale cars]. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii INTERSTROYMEKH-2014 [Materials of the International Scientific and Technical Conference INTERSTROYMEKH-2014]. Samara, 09-11.09.2014, 55-58.
7. Minin V.V., Pavlov V.P., Zyablov S.F., Kuznetsov G.A. 2017. Rational parameters of concrete mixers of gravitational type, J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol., 2017, 10(1), 52-58. DOI: 10.17516/1999-494X-2017-10-1-52-58.
8. Matusov M.G. 2015. Analiz metodik rascheta energeticheskikh pokazateley betonosmesiteley [Analysis of methods for calculating the energy performance of concrete mixers]. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molydykh uchenykh «Molodezh' i nauchno-tekhnicheskyy progress» [International scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists "Young people and scientific and technical progress."]. Belgorod, 16.04.2015, 119-121