

<https://doi.org/10.21122/1029-7448-2021-64-4-328-335>

УДК 620.9: 658.26: 666.97.035.5

Научно-методические основы эксергетического анализа процессов тепловой обработки бетонных изделий в теплотехнологических установках

Часть 2

В. Н. Романюк¹⁾, А. М. Нияковский²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

²⁾Полоцкий государственный университет (Новополоцк, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2021
Belarusian National Technical University, 2021

Реферат. В статье представлена вторая часть исследования, посвященного эксергетическому анализу процессов тепловой обработки бетонных изделий в теплотехнологических установках ускоренной гидратации. В первой части на основании фактических данных о составе цементов и продуктов гидратации рассмотрены вопросы расчета эксергии бетонной смеси и твердеющего бетона с учетом всех составляющих эксергии: реакционной, концентрационной и термомеханической. В данной статье предложены количественные эксергетические критерии, позволяющие судить об энергоэффективности режимов работы теплотехнологического оборудования для тепловой обработки бетонных изделий. К ним отнесены: степень термодинамического совершенства теплоэнергетической системы, характеризующая полностью использование эксергетического входа; термодинамический КПД_е системы тепловой обработки, представляющий собой степень термодинамического совершенства, рассчитанную без учета суммы транзитных эксергий; термодинамический КПД_е системы тепловой обработки с учетом эксергетического КПД_е системы производства и транспортировки тепловой энергии; степень технологического совершенства, указывающая, какая часть эксергии, подведенной в теплотехнологическую установку, предназначена для получения технологического результата. Для расчета перечисленных характеристик предложен математический аппарат, учитывающий массу бетонного изделия, удельную массовую эксергию цемента и твердеющего бетона, заданную степень гидратации цемента в бетоне на момент окончания тепловой обработки, эксергетические потоки, подводимые к изделию в теплотехнологической установке, и численные показатели, характеризующие неполноту процесса гидратации цемента. Приведено обсуждение полученных результатов с точки зрения их применимости при выборе режимов тепловой обработки. Полученные результаты могут использоваться при выборе энергосберегающих режимов теплотехнологического оборудования для промышленной тепловой обработки бетонных изделий.

Ключевые слова: теплотехнологии, теплотехнологические установки, энергоэффективность, тепловая обработка бетонных изделий, эксергия бетона, эксергетический баланс, эксергетические критерии энергетической эффективности

Для цитирования: Романюк, В. Н. Научно-методические основы эксергетического анализа процессов тепловой обработки бетонных изделий в теплотехнологических установках. Часть 2 / В. Н. Романюк, А. М. Нияковский // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2021. Т. 64, № 4. С. 328–335. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2021-64-4-328-335>

Адрес для переписки

Романюк Владимир Никанорович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65/2,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 293-92-16
pte@bntu.by

Address for correspondence

Romaniuk Vladimir N.
Belarusian National Technical University
65/2, Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 293-92-16
pte@bntu.by

Scientific and Methodological Bases of Exergetic Analysis of the Processes of Heat Treatment of Concrete Products in Heat Technology Installations

Part 2

V. N. Romaniuk¹⁾, A. M. Niyakovskii²⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾Polotsk State University (Novopolotsk, Republic of Belarus)

Abstract. This article is the second part of the research devoted to the exergetic analysis of heat treatment processes of concrete products in heat technology installations. In the first part, the issues of calculating the exergy of a concrete mixture and hardening concrete have been considered, taking into account all the components of the exergy, viz. reaction, concentration and thermomechanical ones. In the present part of the study, exergetic criteria are proposed that make it possible to evaluate the energy efficiency of the operating modes of heat-technological equipment for the heat treatment of concrete products. These include the degree of thermodynamic perfection of a heat-power system, which is used to evaluate the completeness of the use of the exergetic input; thermodynamic efficiency of the system of heat treatment of concrete products in heat technology installations, representing the degree of thermodynamic perfection of the heat power system that is calculated without taking into account all the components of the sum of transit exergies; thermodynamic efficiency of the heat treatment system, taking into account the exergetic efficiency of the system of heat energy production and transportation; the degree of technological perfection that indicates at the portion of the exergy supplied to the heat technology installation for the heat treatment of concrete products is intended to obtain a technological result. To calculate the listed indicators and characteristics, a mathematical apparatus is proposed that takes into account the mass of the concrete product, the specific mass exergy of cement and hardening concrete, the specified degree of hydration of cement in concrete at the end of heat treatment, the exergetic flows supplied to the product in a heat technology installation during its heat treatment, and numerical indicators characterizing the incompleteness of the cement hydration process. The results obtained in this paper are discussed from the viewpoint of their applicability in the selection of heat treatment modes. They can be used in the selection of energy-saving modes of heat-technological equipment for industrial heat treatment of concrete products.

Keywords: heat technology, thermal technological equipment, energy efficiency, heat treatment of concrete products, exergy of concrete, exergetic balance, exergetic criteria of energy efficiency

For citation: Romaniuk V. N., Niyakovskii A. M. (2021) Scientific and Methodological Bases of Exergetic Analysis of the Processes of Heat Treatment of Concrete Products in Heat Technology Installations. Part 2. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 64 (4), 328–335. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2021-64-4-328-335> (in Russian)

Введение

Эффективность организации теплотехнологического процесса с энергетической точки зрения определяется сопоставлением слагаемых эксергетического баланса. Выделяют три типа характеристик: абсолютные (размерные), относительные и удельные. Абсолютные показатели численно совпадают с потоками эксергии на входе и выходе системы, внутренними и внешними потерями эксергии. Относительные основываются на сопоставлении частей эксергетического баланса. Удельные характеристики позволяют судить о потреблении энергии и эксергии на единицу массы

производимой продукции или технологического передела путем сравнения с подобными производствами или отраслевыми нормативами.

Разработке абсолютных эксергетических показателей – величин эксергии бетонной смеси и твердеющего бетонного изделия при его тепловой обработке (ТО) в теплотехнологической установке (ТТУ) – посвящена первая часть нашего исследования [1]. В настоящей статье предложены аналитические зависимости для расчета относительных эксергетических показателей и оценки энергетической эффективности режимов работы теплотехнологического оборудования при промышленной ТО бетонных изделий в ТТУ.

Совокупность относительных характеристик сформулирована и описана в ряде публикаций [2–5]. В данной работе рассмотрим следующие показатели:

– степень термодинамического совершенства теплоэнергетической системы, отражающую полноту использования системой эксергетического входа:

$$\nu = \sum E'' / \sum E' = 1 - \sum D / \sum E'; \quad (1)$$

– термодинамический КПД_е, представляющий собой предыдущий показатель, но рассчитанный без учета суммы транзитных эксергий $\sum E^{tr}$:

$$\eta_e = (\sum E'' - \sum E^{tr}) / \sum E' - \sum E^{tr} = \sum E_{исп} / E_{расп}. \quad (2)$$

Термодинамический КПД_е будет также определен с учетом КПД_е энергосистемы при отпуске энергии потребителям;

– степень технологического совершенства, указывающую, какая часть всей подведенной в систему эксергии предназначена для получения технологического результата:

$$\beta = \sum E_{расп} / \sum E' = 1 - \sum E^{tr} / \sum E', \quad (3)$$

где $\sum E'$, $\sum E''$ – эксергетические вход и выход системы соответственно, МДж; $\sum D$ – суммарные потери эксергии, МДж; $\sum E^{tr}$ – сумма транзитных эксергий, не претерпевающая каких-либо изменений в технической системе, МДж; $\sum E_{исп}$ – используемая в технической системе эксергия, МДж; $\sum E_{расп}$ – располагаемая эксергия, МДж.

Относительные эксергетические критерии энергоэффективности процесса тепловой обработки бетонных изделий

Относительные эксергетические критерии оценки энергоэффективности теплотехнологических процессов, записанные в общем виде, должны быть преобразованы для решения рассматриваемой теплотехнологии.

Опираясь на разработанную схему эксергетических потоков [1, рис. 2], представим степень термодинамического совершенства системы для ТО бетонного изделия в ТТУ ускоренной гидратации в виде

$$\begin{aligned} v &= \frac{\sum E''}{\sum E'} = \frac{E''_{\text{полезн}} + E''_{\text{бс}} + E^{tr}}{E'_{Q, \text{подв}} + E'_{\text{бс}} + E^{tr}} = \\ &= \frac{(H/100)\psi e_{r, \text{бет}} M_{\text{бет}} \gamma \varphi + (1-H/100)e_{\text{бс}} M_{\text{бет}} + E^{tr}}{E'_{Q, \text{подв}} + E'_{\text{бс}} + E^{tr}}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $E''_{\text{полезн}}$ – полезная эксергия твердеющего бетона (сумма реакционной и концентрационной составляющих эксергии), МДж; $E'_{\text{бс}}$, $E''_{\text{бс}}$ – эксергия потока бетонной смеси на входе и выходе ТТУ соответственно, МДж; E^{tr} – сумма эксергий компонентов бетонного изделия, не участвующих в физико-химических превращениях (арматуры, утеплителя, защитных материалов), эксергии остаются постоянными или незначительно изменяются в процессе ТО в ТТУ, МДж; $E'_{Q, \text{подв}}$ – поток эксергии, подведенный к изделию извне, МДж; H – степень гидратации бетона в изделии, достигнутая к моменту окончания ТО, %; ψ – коэффициент, учитывающий неполноту протекания реакции гидратации; $e_{r, \text{бет}}$ – удельная массовая реакционная эксергия твердеющего бетона, МДж/кг; $M_{\text{бет}}$ – масса бетона в изделии, кг; γ – массовая доля активной части цементного клинкера в цементе; φ – то же продуктов гидратации в затвердевшем бетоне, определяемая из материального баланса реакции гидратации как сумма массовых долей цемента и воды в бетонной смеси; $e_{\text{бс}}$ – удельная массовая эксергия потока бетонной смеси, МДж/кг.

При $E'_{Q, \text{подв}} = 0$ твердение бетона носит естественный характер, осуществляется без ТО и уравнение (4) приобретает вид

$$v^* = \frac{(H/100)\psi e_{r, \text{бет}} M_{\text{бет}} \gamma \varphi + (1-H/100)e_{\text{бс}} M_{\text{бет}} + E^{tr}}{E'_{\text{бс}} + E^{tr}}. \quad (5)$$

Показатель v^* характеризует степень термодинамического совершенства такой организации процесса ТО, когда цели технической системы достигаются без подвода энергетических потоков к бетонному изделию в ТТУ извне.

Разделив почленно (4) и (5), получим дополнительное соотношение

$$\frac{v}{v^*} = \frac{E'_{\text{бс}} + E^{tr}}{E'_{Q, \text{подв}} + E'_{\text{бс}} + E^{tr}} \leq 1. \quad (6)$$

Уравнение (6) показывает относительное изменение степени термодинамического совершенства системы для ТО бетонного изделия в ТТУ при ускоренной гидратации по сравнению с естественными условиями твердения бетона (т. е. без подвода энергии извне) при одинаковой заданной прочности, которую необходимо достигнуть в обоих случаях.

Термодинамический КПД_е системы ТО в ТТУ представляет собой по форме уравнение (4), числитель и знаменатель которого уменьшены на суммарную величину всех транзитных потоков эксергии, включая часть потока эксергии бетонной смеси, реакция гидратации цемента в которой будет завершена за пределами ТТУ после окончания процесса ТО. С учетом этого обстоятельства уравнение для КПД_е примет вид

$$\eta_e = \frac{\sum E'' - \sum E^{tr}}{\sum E' - \sum E^{tr}} = \frac{(H/100)\psi e_{r,бет} M_{бет} \gamma \Phi}{E'_{Q, подв} + E'_{6с} (H/100)}. \quad (7)$$

Для полной оценки эксергетической эффективности процесса ТО с учетом КПД_е системы производства и отпуска тепловой энергии (7) должно быть преобразовано

$$\eta_e^{полн} = \frac{(H/100)\psi e_{r,бет} M_{бет} \gamma \Phi}{E'_{Q, подв} / (\eta_e^{эс} / 100) + E'_{6с} (H/100)}, \quad (8)$$

где $\eta_e^{эс}$ – КПД_е энергосистемы при отпуске энергии потребителям, %.

Степень технологического совершенства системы ТО в ТТУ (с учетом высказанных выше замечаний о сумме транзитных потоков эксергии) вычисляется по формуле

$$\beta = 1 - \frac{\sum E^{tr}}{\sum E'} = 1 - \frac{(1 - H/100)E'_{6с} + E^{tr}}{E'_{Q, подв} + E'_{6с} + E^{tr}}. \quad (9)$$

В уравнениях (4)–(9): $E'_{6с} = e_{6с} M_{бет}$, МДж.

Точный расчет величины эксергии подведенного теплового потока $E'_{Q, подв}$, а также степени гидратации H применительно к процессам ТО бетонных изделий в ТТУ может быть выполнен с помощью математического обеспечения, разработанного авторами данной статьи [6–10]. Величина подведенной эксергии теплового потока также определяется по упрощенной формуле [2–5]

$$E'_{Q, подв} = (1 - T_{ос}/T)Q, \quad (10)$$

где T , $T_{ос}$ – осредненные по времени абсолютные температуры соответственно осуществления процесса и окружающей среды, К; Q – величина подведенного к бетонному изделию в ТТУ теплового потока, осредненная по всей совокупности элементарных процессов, МДж.

Обсуждение полученных результатов

Величина подведенной в ТТУ к изделию эксергии $E'_{Q, подв}$ при заданном времени ТО находится в прямой зависимости от назначенной степени гидратации H и с ее повышением должна увеличиваться. Иными словами: $E'_{Q, подв} = f(H, z)$, где z – время ТО. Следовательно, во всех приведенных уравнениях, где одновременно фигурируют H и $E'_{Q, подв}$, изменение

одной величины влечет изменение другой. Учитывать эту взаимосвязь позволяет разработанное авторами данной статьи математическое обеспечение [6–10], с помощью которого можно рассчитать степень гидратации в бетонном изделии в зависимости от тепловыделений цемента и количества подведенной к изделию в ТТУ тепловой энергии в процессе ТО в течение заданного промежутка времени.

Отдельного обсуждения требует вопрос о том, какую величину удельной массовой эксергии цемента следует использовать в предлагаемых уравнениях: только химическую или также приобретенную цементом в результате придания ему требуемого дисперсного состава. В первой части настоящего исследования показано, что эксергия одного кубического метра бетонной смеси некоторого заданного состава при реализации первого подхода равна 528,8 МДж (удельная эксергия цемента 1716 кДж/кг), а в случае реализации второго подхода – 2413,3 МДж (удельная эксергия цемента 8000 кДж/кг [11, 12]). Столь существенные различия, обусловленные использованием того или иного подхода, ведут к значительному разбросу при определении относительных эксергетических характеристик, в которых фигурируют $E'_{\text{сц}}$, $E''_{\text{сц}}$. Например, КПД_е системы ТО в ТТУ, рассчитываемый по (7), при первом подходе равен 81,7 % (применительно к некоторому условному изделию), а в случае учета затрат эксергии на создание требуемого дисперсного состава цемента снижается до 18,9 %.

Расчет удельной эксергии цемента на основе анализа его минералогического и химического составов является более объективным, поскольку исходит из данных, легко поддающихся лабораторной проверке, в то время как затраты эксергии при помолу цемента могут быть измерены лишь в процессе его производства. При транспортировке и хранении цемента в реальных условиях его дисперсный состав подвержен дестабилизации и ухудшению. Таким образом, истинную эксергию цемента на момент его использования можно достоверно определить только по химическому составу, который в общем случае заранее известен.

Вместе с тем при выборе из дискретного множества возможных вариантов оптимального режима ТО в конкретной ТТУ интерес представляют не абсолютные значения отдельных критериев, а их соотношения. Таким образом, если придерживаться одинаковых подходов к определению эксергии цемента, проблема выбора ее величины утрачивает актуальность и может быть решена на основании данных о минералогическом и химическом составах цемента.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны и обоснованы относительные критерии для оценки эксергетической эффективности процесса тепловой обработки бетонных изделий в теплотехнологической установке, связывающие воедино вопросы проектирования составов бетонных смесей, эксергетическую эффектив-

ность теплотехнологии производства бетонных изделий и системы его теплоснабжения.

2. Получены аналитические зависимости для расчета разработанных критериев эксергетической эффективности.

3. Выполнена оценка величины термодинамического КПД_е системы тепловой обработки бетонных изделий в теплотехнологической установке, определены пределы и условия использования предложенных аналитических зависимостей для дискретной оптимизации режимов тепловой обработки по критерию эксергетической эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романюк, В. Н. Научно-методические основы эксергетического анализа процессов тепловой обработки бетонных изделий в теплотехнологических установках. Ч. 1 / В. Н. Романюк, А. М. Нияковский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2021. Т. 64, № 3. С. 259–274. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2021-64-3-259-274>.
2. Бродянский, В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В. М. Бродянский. М.: Энергия, 1973. 296 с.
3. Бродянский, В. М. Принципы определения КПД технических систем преобразования энергии и вещества / В. М. Бродянский, М. В. Сорин // Известия высших учебных заведений Министерства высшего и среднего специального образования СССР. Энергетика. 1985. № 1. С. 60–65.
4. Бродянский, В. М. Эксергетический метод и его приложения / В. М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек; под ред. В. М. Бродянского. М.: Энергоатомиздат, 1998. 288 с.
5. Романюк, В. Н. Интенсивное энергосбережение в теплотехнологических системах промышленного производства строительных материалов / В. Н. Романюк. Минск: БНТУ, 2010. 365 с.
6. Повышение энергетической эффективности теплотехнологического оборудования на основе численного моделирования нестационарных процессов / А. М. Нияковский [и др.] // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2019. Т. 62, № 2. С. 177–191. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-2-177-191>.
7. Верификация нестационарной математической модели твердения бетона в теплотехнологических установках / А. М. Нияковский [и др.] // Наука и техника. 2019. Т. 18, № 2. С. 137–145. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-2-137-145>.
8. Дискретная оптимизация программно управляемых режимов тепловой обработки бетонных изделий в теплотехнологических установках / А. М. Нияковский [и др.] // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2019. Т. 62, № 3. С. 280–292. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-3-280-292>.
9. Метод расчета эволюции теплоэнергетических характеристик процесса ускоренной гидратации бетонных изделий / А. М. Нияковский [и др.] // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2019. Т. 62, № 4. С. 307–324. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-4-327-324>.
10. Нестационарная модель процесса гидратации железобетонного изделия, находящегося в программно-нагреваемой среде / А. М. Нияковский [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. 2019. Т. 63, № 4. С. 496–505. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-4-496-505>.
11. Эксергетический анализ процессов химической технологии (на примере технологии цемента) / М. А. Вердиян [и др.]. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2004. 68 с.
12. Способ управления процессом приготовления бетонной смеси: пат. RU 2334713, МПК В 28В 11/00 / Т. М. Вердиян, Р. Т. Лукманов. Опубл. 27.09.2008.

Поступила 06.01.2021 Подписана в печать 10.03.2021 Опубликована онлайн 30.07.2021

REFERENCES

1. Romaniuk V. N., Niyakovskii A. M. (2021) Scientific and Methodological Bases of Exergetic Analysis of the Processes of Heat Treatment of Concrete Products in Heat Technology Installations. Part 1. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 64 (3), 259–274. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2021-64-3-259-274> (in Russian).
2. Brodyanskii V. M. (1973) *Exergetic Method of Thermodynamic Analysis*. Moscow, Energiya Publ. 296 (in Russian).
3. Brodyanskii V. M., Sorin M. V. (1985) Principles for Determining the Efficiency of Technical Systems for Energy and Substance Conversion. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Ministerstva Vysshego i Srednego Spetsial'nogo Obrazovaniya SSSR. Energetika* [News of Higher Educational Institutions of the USSR Ministry of Higher and Secondary Specialized Education. Energy], (1), 60–65 (in Russian).
4. Brodyanskii V. M., Fratsher V., Mikhalek K. (1998) *The Exergetic Method and its Applications*. Moscow, Energoatomizdat Publ. 288 (in Russian).
5. Romaniuk V. N. (2010) *Intensive Energy Saving in Thermo-Technological Systems of Industrial Production of Construction Materials*. Minsk, BNTU. 365 (in Russian).
6. Niyakovskii A. M., Romaniuk V. N., Yatskevich Yu. V., Chichko A. N. (2019) Improving the Energy Efficiency of Heat-Technical Equipment on the Basis of Numerical Simulation of Non-Stationary Processes. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 62 (2), 177–191. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-2-177-191> (in Russian).
7. Niyakovskii A. M., Romaniuk V. N., Chichko A. N., Yatskevich Yu. V. (2019) Verification of Non-Stationary Mathematical Model of Concrete Hardening in Thermal Technological Installations. *Nauka i Tekhnika = Science and Technique*, 18 (2), 137–145. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-2-137-145> (in Russian).
8. Niyakovskii A. M., Romaniuk V. N., Yatskevich Yu. V., Chichko A. N. (2019) Discrete Optimization of Software-Controlled Modes of Heat Treatment of Concrete Products in Heat-Technological Facilities. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 62 (3), 280–292. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-3-280-292> (in Russian).
9. Niyakovskii A. M., Romaniuk V. N., Chichko A. N., Yatskevich Yu. V. (2019) The Method of Calculation of the Evolution of Thermal and Energy Characteristics of the Accelerated Hydration Process of Concrete Products. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 62 (4), 307–324. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-4-327-324> (in Russian).
10. Niyakovskii A. M., Romaniuk V. N., Chichko A. N., Yatskevich Yu. V. (2019) Unsteady Model of the Hydration Process of a Reinforced Concrete Product at Software-Controlled Heating. *Doklady Natsional'noi Akademii Nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 63 (4), 496–505. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-4-496-505> (in Russian).
11. Verdiyana T. M. [et al.] (2004) *Exergetic Analysis of Chemical Technology Processes (on the Example of Cement Technology)*. Moscow, D. I. Mendeleev RCTU Publ. 68 (in Russian).
12. Verdiyana T. M., Lukmanov R. T. (2008) *Method for Controlling the Process of Preparing a Concrete Mixture*. Patent RU No 2334713 (in Russian).