

Моделирование технологий производства многокомпонентных гранулированных продуктов

Анатолий Л. Майтаков	¹	may585417@mail.ru
Анатолий М. Попов	¹	popov4116@yandex.ru
Надежда Т. Ветрова	¹	
Лилия Н. Берязева	¹	
Мария А. Зверикова	¹	

¹ Кемеровский Государственный университет, ул Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия

Аннотация. В статье приведены результаты исследований, на основании которых выработаны критерии и проведена идентификация элементов систем среды, изготавливаемого пищевого продукта; разработана новая концепция технологической подготовки процессов формирования функциональных физико-химических и физико-механических свойств полидисперсного продукта, позволяющая осуществить их системную унификацию, создать элементную базу для технологического обеспечения качества. Предложенная система идентификации элементов среды эксплуатации и объектов отказов позволяет объективно наметить варианты, методы и средства технологического обеспечения качества полуфабриката. Большое количество факторов, характеризующих объекты отказов, среду эксплуатации, виды формования и упрочнения гранул (брикетов), режимы формирования предопределило необходимость разработки структуры и вида информационной модели технологического блока, последующей разработки и реализации логики синтеза такой модели формирования комплектов оборудования, средств и технологических материалов. Принципиальная новизна предлагаемой концепции заключается в представлении информационной модели технологического блока логически определенными совокупности их элементов в виде виртуального многогранника, состоящего из виртуально поворотных вокруг трёх координатных осей конгруэнтных многогранников, грани которых являются носителями кодов условий эксплуатации, совокупностей характеристик, характеров отказов, технологических возможностей способов регулирования, структурных составляющих технологических блоков, в создании логики автоматизированного целевого синтеза или выбора структуры технологического блока. Обоснована методология реализации и оптимизации технологического блока с идентификацией элементов среды эксплуатации и объектов образов, технологического воздействия, установлена взаимосвязь качественных показателей функциональных элементов, среды эксплуатации и технологических воздействий, показан алгоритм и программы работы информационной модели технологического блока и методологии его синтеза.

Ключевые слова: моделирование, качество, среда, система, модуль, структура

Modeling of manufacturing technologies for multicomponent granulated products

Anatoly L. Maytakov	¹	may585417@mail.ru
Anatoly M. Popov	¹	popov4116@yandex.ru
Nadezhda T. Vetrova	¹	
Lilia N. Beryazeva	¹	
Marya A. Zverikova	¹	

¹ Kemerovo State University, Krasnaya Str. 6, Kemerovo, 650000 Russia

Abstract. This article presents the results of research, on the basis of which the criteria and elements identification of the environment, manufactured food product; developed a new concept of technological preparation for the processes of formation functional physico-chemical and physico-mechanical properties of multicomponent granulated product, allowing to carry out their system unification, to create an element base for technological quality assurance. The proposed system of identification such elements of the operating environment and objects of failures allows you to objectively identify options, methods and means of technological quality assurance of semi-finished products. A large number of factors, that characterize the objects of failures, operating environment, types of molding and hardening of granules (briquettes), modes of formation determined the need to develop the structure and type of information model of the technological unit, the subsequent development and implementation of the logic of synthesis such model, the formation of sets equipment, tools and technological materials. The principal novelty of this proposed concept lies in the presentation of the information model of the technological unit logically defined set of their elements in the form of a virtual polyhedron consisting of virtually rotating around three coordinate axes congruent polyhedral, the faces of which are carriers of codes of operating conditions, sets characteristics, failure patterns, technological capabilities of control methods, structural components of technological units, in the creation of logic of automated target synthesis or selection of the structure of the process unit. The methodology of implementation and optimization of the technological unit with the identification of elements of the operating environment and objects of images, technological impact, the relationship of quality indicators of functional elements, operating environment and technological effects, shows the algorithm and program of the information model of the technological unit and the methodology of its synthesis

Keywords: modeling, quality, environment, system, module, structure

Для цитирования

Майтаков А.Л., Попов А.М., Ветрова Н.Т., Берязева Л.Н., Зверикова М.А. Моделирование технологий производства многокомпонентных гранулированных продуктов // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 63–68. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-63-68

For citation

Majtakov A.L., Popov A.M., Vetrova N.T., Berjazeva L.N., Zverikova M.A. Modeling of manufacturing technologies for multicomponent granulated products. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 63–68. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-63-68

Создание научных основ технологического обеспечения формирования качества многокомпонентных полидисперсных продуктов возможно лишь на основе формирования системы среды, системы технологического воздействия, рабочих модулей, комплекса оборудования, обеспечивающего процессы и технологические воздействия, а также выявления закономерностей взаимодействия этих систем [1, 4, 7].

Комплекс этих систем может быть представлен развёрнутым графом их структуры (рисунок 1). Под структурой здесь понимается совокупность устойчивых связей, обеспечивающая их целостность.

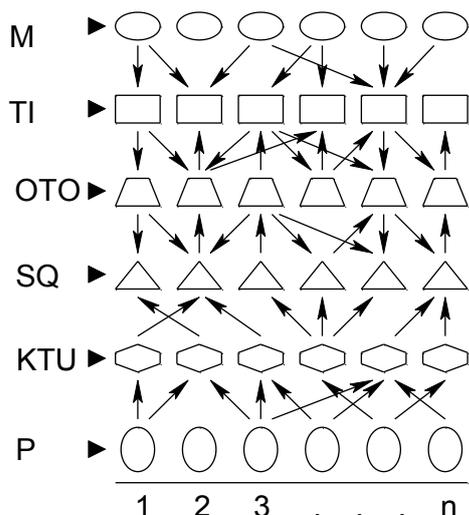


Рисунок 1. Развёрнутый граф структуры трёх систем: М – среда; ТI – технологические воздействия; ОТО – операторы технологической операции; SQ – комплекс оборудования; КТУ – компоненты технологического блока; (процессоры); Р – машина (аппарат); n – признаки элементов систем

Figure 1. The expanded graph of the structure of three systems: M – medium; TI – technological impacts; OTO – operators of the technological operation; SQ is a set of equipment; KTU – components of the technological unit (processors); P – machine (apparatus); n – characteristics of system elements

Открытый характер такой создаваемой системы указывает на то, что в ней должны доминировать не равновесие и стабильность, а неустойчивость и неравновесность. Сама неравновесность порождает избирательность системы, ее специфические реакции на воздействия внешней среды. Тесная связь со средой отражается на функционировании систем; они как бы приспособляются к внешним условиям. Например, слабые воздействия среды могут оказывать большее влияние на эволюцию системы, чем более сильные, но не гармонирующие с тенденцией развития системы [3–5].

Отсюда следует, что на создаваемую (нелинейную) систему не распространяется принцип суперпозиции, то есть когда действие двух факторов

на ситуацию вызывает эффект, который не имеет ничего общего с результатами отдельного действия каждого фактора. В нелинейных системах развитие идет по нелинейным законам, приводящим к многовариантности путей выбора и альтернатив выхода из состояния неустойчивости.

В нелинейных системах процессы могут носить резко пороговый характер, когда при постепенном изменении внешних условий наблюдается скачкообразный их переход в другое качество. При этом старые структуры разрушаются, переходя к качественно новым структурам [2].

Неравновесные, открытые нелинейные системы постоянно создают и поддерживают неоднородность сред [5, 10]. Здесь между средой и системой могут создаваться отношения положительной обратной связи, которые еще более усиливают отклонения системы от равновесия. В результате такого взаимодействия открытой системы со средой могут наблюдаться самые неожиданные последствия.

В то же время все компоненты образующих систем должны соответствовать требованиям качества сырья, оборудования, безопасности и качества продукции, информационной совместимости, подчиняться блочно-модульному принципу построения.

Все уровни структурных систем должны содержать информацию о признаках качества элементов системы: функциональные, конструктивные, потребительские. Сложность поставленной проблемы обуславливает необходимость системного подхода, создания и анализа алгоритмов параметрического синтеза и идентификации сложных систем, современных методов математического моделирования [2, 7]. Важной задачей является и разработка информационной базы для создания таких систем.

Большое количество факторов, характеризующих среду, объекты отказов, виды процессоров и операторов в технологическом потоке, режимы процессов, предопределяет необходимость разработки структуры и вида информационной модели технологического блока, последующей разработки и реализации логики синтеза такой модели технологического потока [3], формирования комплектов оборудования, средств и технологических материалов.

Учитывая это, нами была поставлена цель: разработать теоретические основы обеспечения качества функциональных элементов. Идея заключается в установлении закономерностей влияния среды потребительской, сред технологического воздействия и системы отказов на совокупность параметров качества

функциональных модулей, определяющих надёжность пищевых машин и аппаратов, процессов, происходящих в них, а также в синтезе информационных моделей технологических блоков. Такой системный подход к объективному обоснованию методологии обеспечения качества позволит обосновать выбор методов и оборудования технологического воздействия для достижения необходимых показателей качества.

Одним из эффективных путей увеличения обеспечения и сохранения качества является надёжное соблюдение качественных показателей сырья и технологических режимов процессов в технологическом потоке. Требуемое сочетание воздействий, обеспечивающих необходимое качество продукта, в общем виде выражается уравнением [2]:

$$\bar{S}(R, \sigma, \alpha, \beta, \gamma) \cdot \bar{V} = \bar{K} \cdot a$$

где \bar{S} – вектор-функция, описывающая распределение показателей качества гранулы; R и β – обобщенные показатели микро- и макрогеометрии изделия; σ – обобщенный показатель межчастичной напряженности; α – показатель, характеризующий обобщенные физико-химические свойства сформированных изделий; γ – показатель связи поверхностного слоя изделия (гранулы) и основного тела; \bar{V} – вектор условий эксплуатации; a – множество методов, используемых в совокупном технологическом процессе формования (сборки) изделия (гранулы, брикета и т.п.); \bar{K} – вектор состояния.

Решение задачи о целенаправленном формировании свойств изделия под влиянием внешних воздействий производится посредством рассмотрения и описания взаимодействия его с потоками носителя воздействий, формализуемых вектором состояния. В это методическое описание входит ряд математических моделей, связывающих параметры вектора состояния с изменением качественных характеристик структуры сформованного изделия, как при решении энергетических и структурных задач, так и при описании формуемости влажных дисперсных систем [7, 11]. В частности, рассмотрение энергетических задач проводится с учетом гетерогенности, определяющей наличие поверхностей раздела между отдельными фазами. Поэтому энергетический анализ подводит нас к анализу динамики фазовых изменений в условиях действия мощных потоков энергии, обеспечивая оформление конкретных критериев: шага дорожек перекрытия и взаимопревращений структур (коагуляционная, кристаллизационная, конденсационная).

При стремлении к устойчивому состоянию система – технологический поток "сбрасывает" в окружающую среду ненужный избыток энтропии, тем самым постоянно поддерживая неравновесное термодинамическое и информационное состояние.

Такой подход позволяет создать ряд комбинаций физико-химических и физико-механических процессов и аппаратов (измельчение, смешивание, окатывание, протирка, прессование, сушка, сушка со спутником и т.п.). Применение единого энергетического подхода с использованием обобщенного вектора состояния позволяет прогнозировать оптимальные сочетания внешних воздействий и на их основе создавать параллельно-последовательные комбинированные методы, обеспечивающие улучшение конкретных качественных характеристик.

Образование новых типов структур при формировании дисперсных структур указывает на переход от хаоса и беспорядка к организации и порядку. Эти диссипативные динамические микроструктуры являются прообразами будущих состояний системы, так называемых фракталов, сформировавшихся при различных первичных формаобразованиях (слипаниях) нескольких дисперсных частиц, при определённом содержании свободной влаги и давлении около 5 МПа. Большинство фракталов либо разрушаются полностью так и не сформировавшись, либо остаются. В точке бифуркации (точке ветвления) идет своеобразный естественный отбор фрактальных образований. "Выживает" образование, оказавшееся наиболее приспособленным к условиям окружающей среды. В процессе образования этих структур на первой стадии «разборки» сырья и смешивания энтропия возрастает. При неравновесных фазовых переходах, что соответствует точкам бифуркации, через которые проходит процесс самоорганизации, система движется по пути, соответствующему меньшему значению производства энтропии. Значит, чем меньше производство энтропии, тем более организована система. В этом главный смысл процесса самоорганизации, то есть в создании определенных структур из хаоса неупорядоченного состояния. Открытые системы будто бы структурируют энергию окружающей их среды, причем упорядоченная часть энергии остается внутри системы, а неупорядоченная энергия сбрасывается системой обратно в окружающую среду.

Таким образом, неравновесный термодинамический процесс создает условия для состояния, когда приток энергии извне не только компенсирует (гасит) рост энтропии, но и снижает ее количество.

Так, например, процесс гранулирования инстантированных полидисперсных продуктов в грануляторах показывает, что данный процесс включает в себя пять стадий образования гранул: смешивание, зародышеобразование, рост, уплотнение, разрушение гранул, превысивших предельные размеры. При этом скорость гранулирования полидисперсных материалов существенно сдерживается явлениями зародышеобразования. Образование зародышей зависит от следующих факторов: влажности дисперсной смеси, физико-химических свойств жидкой и твердой фаз, режимно-конструкционных параметров гранулятора и наличия гарнисажа.

Методика выбора рационального способа формирования готового полидисперсного продукта основана на последовательном рассмотрении процессов в технологическом потоке согласно трем критериям: применимости, обеспечения требуемого показателя качества и технико-экономической эффективности.

Критерий применимости, или технологический критерий, можно определить как:

$$K_m = f \left(M_d; \Phi_d; D_d; I_d; H_d; \sum_{i=1}^m T_i \right),$$

где M_d – материал (рецептура, дисперсность рецептурных составляющих, их физико-химические и физико-механические свойства); Φ_d, D_d – форма и диаметр изделия; I_d – влажность смеси и изделия; H_d – режимно-конструкционные параметры (диаметр тарели, высота борта, скорость вращения тарели, угол наклона оси тарели, направление вращения, наличие диспергатора и его конструкция, направление и скорость вращения диспергатора, его диаметр, частота и амплитуда осевой вибрации, наличие и свойства гарнисажа, место и угол установки ножа); $\sum_{i=1}^m T_i$ – совокупность технологических особенностей данного способа.

Рациональность набора операторов может определяться коэффициентом качества – K_d , в котором только K_b зависит от 26 вышеперечисленных параметров, K_i – от 4 (дисперсность, влажность, плотность, конфигурация частиц и т.д.), K_c – от 9 (вид сушки, температура, влажность начальная и конечная и т.п.) [2, 3, 9]:

$$K_d = K_i K_b K_c,$$

где K_i, K_b, K_c – коэффициенты описывают качество после выхода из смесителя, гранулятора и сушки.

Выбор оптимального варианта перебором этих более чем 1000 сочетаний параметров невозможен без моделирования. Окончательное решение о целесообразности применения выбранного способа принимают по технико-экономическому критерию C_b , который связывает стоимость производства с качественными показателями готового продукта (например, при двух вариантах):

$$C_b \geq K_d C_n,$$

где C_b – стоимость по варианту 1; C_n – стоимость по варианту 2.

Таким образом, можно предложить схему-алгоритм решения задачи обеспечения требуемых показателей качества, в которой предложена логика построения информационных моделей технологических блоков (ТБ) на базе знания закономерностей взаимодействия трех систем – среда, технологические воздействия, процессы. На первом этапе отсекают незначительные (из литературных источников) показатели; оставляют количество, соответствующее выбранной модели. Например, объект отказа и среда эксплуатации идентифицируются 14 кодами, элементы ТБ – 10–12 кодами, технико-экономические критерии – 3 кодами. Для анализа восьми методов технологического воздействия использованы 104 кода, а всего – 128–130 кодов, определяющих ёмкость идентифицируемой модели в виде виртуального выпуклого многогранника, имеющего 162 грани ($3 \times 3 \times 3 \times 6 = 162$).

Данные наносятся на грани виртуальных поворотных вокруг трех осей координат конгруэнтных кубов виртуального выпуклого многогранника (рисунок 2), грани которых являются носителями. После этого выполняется селекция и формирование оптимальной совокупности индекс-кодов для решения конкретной задачи в соответствии с установленным алгоритмом и логикой (программой).

Выбор оптимального варианта определяется сравнением технико-экономических критериев и стоимости обработки. Оптимальному показателю соответствует определенное сочетание кодов, элементов ТБ, которому присваивается интегральный код-ярлык, элементам – одинаковый цвет соответствующих граней с кодами. В этом состоит «решение» виртуального выпуклого многогранника – информационной модели технологического блока.

После этого разрабатывается техническое задание на построение оптимального технологического блока с учётом технико-экономических показателей.

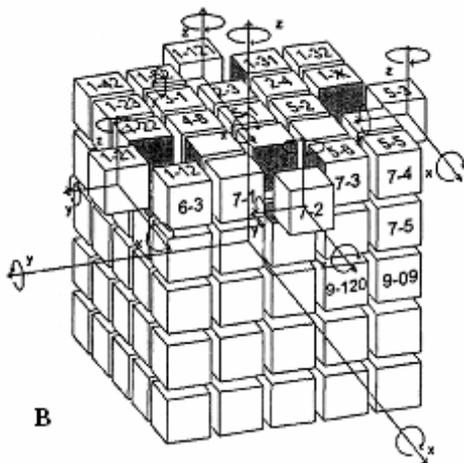


Рисунок 2. Информационная модель технологического блока в виде виртуального выпуклого многогранника

Figure 2. Information model of the technological block as a virtual convex polyhedron

Определение стабильности подсистем и уровня целостности технологической системы осуществлялось по методике академика В.А. Панфилова [4] на примере производства гранулированных продуктов на НПО «Здоровое питание» (г. Кемерово) сравнением и диагностированием действующих технологий и рецептов с вновь создаваемыми [6]. Подбор оборудования, переоборудование его в мехатронные модули за счет применения программируемых контроллеров, установки сенсорных датчиков с обратной связью и частотных регуляторов скоростей электродвигателей, смена в рецептурах структурообразующих и увлажняющих компонентов и подбор технологических параметров процессов позволили сместить уровень целостности технологической системы из области слабоорганизованных, суммативных систем в область высокоорганизованных целостных систем со стабильностью Θ выше 0,9, практически в каждой подсистеме (модуле) технологического потока производства гранулированных многокомпонентных полидисперсных инстантированных

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Антипов С.Т., Панфилов В.А., Ураков О.А., Шахов С.В. Системное развитие техники пищевых технологий; под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова. М.: Колос С, 2010. 762 с.
- 2 Майтаков А.Л. Моделирование и многокритериальный синтез производства гранулированных пищекокцентратов. Кемерово, 2017. 223 с.
- 3 Лотов В.А., Гурин В.В., Попов А.М. Основы управления процессами структурообразования во влажных дисперсных системах. Кемерово; М.: Издательское объединение «Российские университеты»: Кузбассвуиздат – АСТШ, 2006. 295 с

напитков и завтраков [2, 6]. Это привело к сокращению штата предприятия, стабильности качества продукта, увеличению производительности, уменьшению себестоимости.

Построение модульного техпроцесса включает следующие основные этапы:

- классификацию технологии сборки полидисперсного продукта по процессам;
- анализ процессов на технологичность;
- выбор технологической последовательности процессов;
- формирование технологического потока;
- проектирование процессов и процессов;
- диагностирование целостности системы и оценка экономической эффективности.

Проверка адекватности постулированной модели, проведенная по критериям Стюдента и Фишера, показала практически полную сходимость теоретической модели с полученными практическими данными.

Заключение

Проведенные исследования показали, что накопленный ранее большой теоретический и практический опыт формирования параметров качества полидисперсных продуктов при изготовлении не представлен в виде системы, которая позволяла бы объективно выбирать технологические воздействия, средства, материалы и режимы для достижения конкретных качественных параметров с учетом среды эксплуатации и характера работы оборудования на этапе проектирования всего комплекса. Большое количество факторов, характеризующих процесс формирования полидисперсных пищекокцентратов, предопределяет необходимость разработки структуры и вида информационной модели технологического блока, последующей разработки и реализации логики синтеза такой модели формирования комплектов оборудования, средств и технологических материалов.

- 4 Панфилов В.А., Попов А.М. Системные закономерности сложных объектов и принципы их использования при проектировании технико-технологических комплексов // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. 2005. № 10. С. 58–59.

- 5 Майтаков А.Л., Юсупов Ш.Т., Попов А.М., Кравченко С.Н. et al. Study of the process of concentration as a factor of product quality formation // Foods and Raw Materials, 2018. V. 6. № 1. P. 172–182.

- 6 Позняковский В.М., Резниченко И.Ю. Камбаров А.О., Попов А.М. Экспертиза пищевых концентратов. Качество и безопасность. Москва, ИНФРА-М. 2015. 270 с.

- 7 Попов А.М. Анализ и синтез технологий гранулированных концентратов напитков. Кемерово, 2003. 245 с.

8 Ahmednaa M, Marshallb W.E., Rao R.M. Surface properties of granular activated carbons from agricultural by – products and their effects on raw sugar decolorization // *Bioresource Technology*. 2000. V. 71. № 2. P. 103–112.

9 Гудуляк А.В., Тришкин А.Р., Бурмага А.В. Разработка технологии производства гранулированного пищевого продукта на основе соевых злаков и тыквенных компонентов // сборник III Международного интеллектуального конкурса студентов, магистрантов, аспирантов, докторантов. Москва: Русальянс «Сова», 2018. С. 50–55.

10 Leuenberge H. New trends in the production of pharmaceutical granules: batch versus continuous processing // *European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics*. 2001. V. 52. № 3. P. 289–296.

11 Vervae C., Remon J.P. Continuous granulation in the pharmaceutical industry // *Chemical Engineering Science*. 2005. V. 60. № 14. P. 3949–3957.

REFERENCES

1 Antipov S.T., Panfilov V.A., Urakov O.A., SHahov S.V. *Sistemnoe razvitie tekhniki pishchevykh tekhnologiy* [System development of food technology]. Moscow, Kolos S, 2010. 762 p. (in Russian).

2 Maitakov A.L. *Modelirovanie i mnogokriterial'nyy sintez proizvodstva granulirovannykh pishchekoncentratov* [Modeling and multi-criteria synthesis of granulated food concentrates production]. Kemerovo, 2017. 223 p. (in Russian).

3 Lotov V.A., Gurin V.V., Popov A.M. *Osnovy upravleniya processami strukturoobrazovaniya vo vlazhnykh dispersnykh sistemakh* [Fundamentals of management of structure formation processes in wet disperse systems]. Kemerovo; Moscow, Publishing Association "Russian Universities": Kuzbassvuzizdat – ASTSH, 2006. 295 p. (in Russian).

4 Panfilov V.A., Popov A.M. System regularities of complex objects and the principles of their use in the design of technological complexes. *Hranenie i pererabotka*

sel'skokozyajstvennogo syr'ya [Storage and processing of agricultural raw materials]. 2005. no. 10. pp. 58–59. (in Russian).

5 Maytakov A.L., Yusupov Sh.T., Popov A.M., Kravchenko S.N. et al. Study of the process of concentration as a factor of product quality formation. *Foods and Raw Materials*. 2018. vol. 6. no. 1. pp. 172–182.

6 Poznyakovskiy V.M., Reznichenko I.Yu., Kambarov A.O., Popov A.M. *Ehkspertiza pishchevykh konzentratov. Kachestvo i bezopasnost'* [Expertise of food concentrates. Quality and safety]. Moscow, INFRA-M. 2015. 270 p. (in Russian).

7 Popov A.M. *Analiz i sintez tekhnologiy granulirovannykh konzentratov napitkov* [Analysis and synthesis of technologies of granulated beverage concentrates]. Kemerovo, 2003. 245 p. (in Russian).

8 Ahmednaa M, Marshallb W.E., Rao R.M. Surface properties of granular activated carbons from agricultural by – products and their effects on raw sugar decolorization. *Bioresource Technology*. 2000. vol. 71. no. 2. pp. 103–112.

9 Gutsulyak, A.V., Trishkin, A.R., Burmaga, A.V. Development of technology for the production of granulated food product based on soybean-cereals and pumpkin components. *Sbornik III Mezhdunarodnogo intellektual'nogo konkursa studentov, magistrantov, aspirantov, doktorantov* [Collection of III International intellectual competition of students, undergraduates, post-graduate students, doctoral students]. Moscow, Rusalyans "Owl", 2018. pp. 50–55. (in Russian).

10 Leuenberge H. New trends in the production of pharmaceutical granules: batch versus continuous processing. *European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics*. 2001. vol. 52. no. 3. pp. 289–296.

11 Vervae C., Remon J.P. Continuous granulation in the pharmaceutical industry. *Chemical Engineering Science*. 2005. vol. 60. no. 14. pp. 3949–3957.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Anatoly L. Maytakov Cand. Sci. (Engin.), head of the department automation of production processes and automated control systems, Kemerovo State University, Krasnaya Str. 6, Kemerovo, 650000 Russia, may585417@mail.ru

Anatoly M. Popov Dr. Sci. (Chem.), professor, head of the department machines and devices of technological systems, Kemerovo State University, Krasnaya Str. 6, Kemerovo, 650000 Russia, popov4116@yandex.ru

Nadezhda T. Vetrova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, automation of production processes and automated control systems department, Kemerovo State University, Krasnaya Str. 6, Kemerovo, 650000 Russia

Lilia N. Beryazeva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, automation of production processes and automated control systems department, Kemerovo State University, Krasnaya Str. 6, Kemerovo, 650000 Russia

Marya A. Zverikova graduate student, machines and devices of technological systems department, Kemerovo State University, Krasnaya Str. 6, Kemerovo, 650000 Russia

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Анатолий Л. Майтаков к.т.н., доцент, заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов и автоматизированных систем управления, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г Кемерово, 650000, Россия, may585417@mail.ru

Анатолий М. Попов д.х.н., профессор, заведующий кафедрой машин и аппаратов технологических систем, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г Кемерово, 650000, Россия, popov4116@yandex.ru

Надежда Т. Ветрова к.т.н., доцент, кафедра автоматизации производственных процессов и автоматизированных систем управления, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г Кемерово, 650000, Россия

Лилия Н. Берязева к.т.н., доцент, кафедра автоматизации производственных процессов и автоматизированных систем управления, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г Кемерово, 650000, Россия

Мария А. Зверикова аспирант, кафедра машин и аппаратов технологических систем, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г Кемерово, 650000, Россия

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 23.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 06.11.2018

CONTRIBUTION

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.23.2018

ACCEPTED 11.6.2018