

УДК 621.929.2/.9

**Разработка и исследование центробежного смесителя непрерывного действия для получения смесей для спортивного питания**Д-р техн. наук **В.Н. Иванец**, papp@kemtipp.ruд-р техн. наук **Д.М. Бородулин**, borodulin\_dmitri@list.ruканд. техн. наук **Д.В. Сухоруков**, pioner\_dias@mail.ru*Кемеровский технологический институт пищевой промышленности  
650056, Россия, Кемерово, б-р Строителей, 47*Канд. техн. наук **С.Г. Чечко**, chechko\_sergei@mail.ru*ООО «Строительная компания РемСтройТорг»,  
650992, Россия, Кемерово, ул. Пчелобаза, 1*

*В статье приводится информация о производстве спортивного питания в центробежных смесителях непрерывного действия. Особое внимание уделяется производству гейнеров. В статье рассмотрены вопросы математического моделирования процесса смешивания сыпучих материалов. В ходе проведения теоретического анализа, базирующегося на корреляционном подходе, установлено влияние опережающих потоков в смесителе, контуров внешней и внутренней рециркуляции на снижение флуктуаций входного сигнала. При этом сглаживающая способность смесителя достигает своего максимального значения. На основе кибернетического подхода разработана математическая модель центробежного смесительного агрегата для переработки сыпучих материалов. Частотно-временной анализ модели показывает степень сглаживания флуктуаций входных сигналов смесителя в зависимости от частоты вращения ротора. Рассмотрены вопросы аппаратурного и методологического обеспечения экспериментальных исследований. Приводится информация о том, что при проведении исследований процессов дозирования и смешивания использовались порошкообразные и мелкозернистые материалы с различными физико-механическими характеристиками. Сообщается, что от выбора сыпучих материалов зависит реализации нового оборудования в промышленных условиях. На исследуемой новой конструкции центробежного смесителя провели полный факторный эксперимент третьего порядка, позволяющий определить качество процесса смешивания в зависимости от внешних факторов. В результате проведенных исследований получены уравнения регрессии для смеси «гейнер – креатин». На новом центробежном аппарате определены его рациональные конструктивные и технологические параметры работы. В статье говорится о том, что новый смеситель прошел успешные промышленные испытания и рекомендован для использования в технологической схеме получения смесей для спортивного питания.*

**Ключевые слова:** спортивное питание; гейнер; смеситель непрерывного действия центробежного типа; смесительный агрегат; рециркуляция; уравнение регрессии; передаточные функции.

**Design and research of centrifugal continuous mixer for mixtures for sports nutrition**D.Sc. **V.N. Ivanec**, papp@kemtipp.ru, D.Sc. **D.M. Borodulin**, borodulin\_dmitri@list.ruPh.D. **D.V. Sukhorukov**, pioner\_dias@mail.ru*Kemerovo Technological Institute of Food Industry  
650056, Russia, Kemerovo, Stroiteley Blvd., 47*Ph.D. **S.G. Chechko**, chechko\_sergei@mail.ru*JSC Construction Company of Remstroytorg,  
650992, Russia, Kemerovo, Pchelobaz St., 1*

*The article provides information on the production of sports nutrition in centrifugal continuous mixers. Special attention is paid to the production gainers. The paper deals with mathematical modeling of mixing bulk materials. During carrying out of theoretical analysis, based on the correlation approach, we have established the influence of leading streams in the mixer, contours of external and internal recycling to reduce the fluctuation of the input*

*signal. In this case, the smoothing ability of the mixer reaches its maximum value. On the basis of the cybernetic approach, we have developed a mathematical model of centrifugal mixing unit for processing of bulk materials. Time-frequency analysis of the model shows the degree of smoothing fluctuations of the input signals of the mixer according to the rotor speed. We discussed issues the instrumental and methodological support experimental research. This article provides information that in research dosing and mixing processes used powders and fine-grained materials with different physical and mechanical properties. It is reported that the choice of bulk materials depends on the realization of the new equipment in an industrial setting. In the new design of a centrifugal mixer we spent a full factorial experiment of the third order, which allows to determine the quality of the mixing process depending on external factors. The research resulted in regression equations for a mixture of "Gainer – Creatine". On the new centrifugal set we identified its rational design and technological parameters of operation. The article refers that the new mixer has been successfully commercial tests and is recommended for use in the technological scheme for producing mixtures for sports nutrition.*

**Keywords:** sports nutrition; gainer; centrifugal continuous mixer; mixing unit; recycling; regression equation; transfer functions.

---

Спортивное питание – это особая группа пищевых продуктов, выпускающаяся, преимущественно, для людей, ведущих активный образ жизни, занимающихся спортом и фитнесом.

Прием спортивного питания направлен, в первую очередь, на улучшение спортивных результатов, повышение силы и выносливости, укрепление здоровья, увеличение объема мышц, нормализацию обмена веществ, достижение оптимальной массы тела, и, в целом, на увеличение качества и продолжительности жизни.

Одним из самых популярных продуктов спортивного питания являются гейнеры – пищевые добавки, состоящие из углеводов и белков. Гейнер, в первую очередь, необходим людям, решившим набрать мышечную массу или поправиться, так как углеводы являются лучшим топливом для физических нагрузок, а белок необходим для роста мускулатуры и набора мышечной массы. В состав гейнеров, для увеличения результативности высокоинтенсивных нагрузок, могут входить витамины, минералы, креатин.

Качество смесей во многом зависит от условий проведения процесса смешивания [5]. Поэтому одной из основных проблем является равномерное распределение различных добавок, вносимых в малых количествах, во всем объеме смеси. Для этого нами предлагается использовать смесители непрерывного действия (СНД) центробежного типа, позволяющие получить качественные сухие смеси с заданным соотношением компонентов [1, 2].

На сегодняшний день в различных учреждениях разработано множество конструкций СНД, однако не все аппараты обеспечивают удовлетворительное качество смеси – вследствие малой сглаживающей способности; кроме того, для материалов, имеющих большую разницу в удельном весе, возможно явление сегрегации [4, 6]. Поэтому разработка эффективных смесительных агрегатов центробежного типа, обладающих большей сглаживающей способностью за счет организации направленного движения потоков материала, для получения спортивного питания и других смесей с большой разницей содержания смешиваемых компонентов является актуальной научной задачей, представляющей большой практический интерес как для пищевой, так и для ряда других отраслей промышленности.

Целью данной работы является разработка и исследование новой конструкции центробежного смесителя для получения смесей для спортивного питания с заданным соотношением смешиваемых компонентов на основе результатов теоретических и экспериментальных исследований.

На первом этапе исследований были рассмотрены вопросы математического моделирования процесса смешивания сыпучих материалов. Основное внимание уделялось анализу структур материальных потоков внутри аппарата с помощью теории корреляционных функций и методов технической кибернетики [7].

Нами был проведен корреляционный анализ схемы организации движения материальных потоков в новом центробежном СНД [8, 9].

На рисунке 1 представлена схема с разделением входного потока на четыре части с последующей их частичной рециркуляцией.



**Рис. 1. Схема организации движения материальных потоков в СНД центробежного типа**

Материальный баланс для данной схемы и система уравнений, определяющая корреляционные функции потоков, запишутся следующим образом:

$$\begin{cases} X_1 = X_0 \\ X_2 = X_{1B} + X_{2B} \times (1 - \beta) \\ X_3 = X_{2B} \times \beta + X_{3B} \times (1 - \beta) \\ X_B = X_{3B} \times \beta_2 \end{cases} \quad (1)$$

На основании выражения (1), можно записать систему уравнений, определяющих корреляционные функции потоков при отсутствии их взаимной корреляции:

$$\begin{cases} Kx_1(\tau) = Kx_0(\tau) \\ Kx_2(\tau) = Kx_{1B}(\tau) + Kx_{2B}(\tau) \times (1 - \beta)^2 \\ Kx_3(\tau) = Kx_{2B}(\tau) \times \beta^2 + Kx_{3B}(\tau) \times (1 - \beta)^2 \\ Kx_B(\tau) = Kx_{3B}(\tau) \times \beta_2^2 \end{cases} \quad (2)$$

При движении потока его корреляционная функция изменяется. Однако рассмотрим сначала только влияние рециркуляции и разбиения материальных потоков на однородность получаемой смеси. Поэтому правомерным будет допущение, что  $K_{X_{B1}}(\tau) = K_{X1}(\tau)$ , т.е. имеет место отсутствие процесса усреднения потоков. Тогда система (2) запишется в виде

$$\begin{cases} Kx_1(\tau) = Kx_0(\tau) \\ Kx_2(\tau) = Kx_1(\tau) + Kx_2(\tau) \times (1 - \beta)^2 \\ Kx_3(\tau) = Kx_2(\tau) \times \beta^2 + Kx_3(\tau) \times (1 - \beta)^2 \\ Kx_B(\tau) = Kx_3(\tau) \times \beta_2^2 \end{cases} \quad (3)$$

Результатом решения системы (3) будет следующее выражение:

$$Kx_B(\tau) = Kx_0(\tau) \times \frac{\beta^2 \times \beta_2^2}{(1 - (1 - \beta)^2)^2} \quad (4)$$

Известно, что корреляционная функция стационарного процесса при  $\tau = 0$  равна дисперсии возможных значений его параметра в данный момент времени, т.е.  $K_X(0) = \sigma_X^2$ . Тогда можно записать:

$$\sigma^2_{XB} = \sigma^2_{X0} \times \frac{\beta^2 \times \beta_2^2}{(1 - (1 - \beta)^2)^2} \tag{5}$$

При помощи уравнения (5) были получены коэффициенты, при которых достигается наибольшая сглаживающая способность смесителя (S). Оптимальные значения коэффициентов равны:

$$\beta = 0,2, \beta_2 = 0,2.$$

При этом  $\sigma^2_{XB} = 0,12 \sigma^2_{X0}$ , а  $S = 8,33$ .

С ростом степени рециркуляции дисперсия выходящего потока значительно уменьшается. Это свидетельствует о наличии хорошей сглаживающей способности S у СНД при такой схеме организации движения потоков.

Затем были рассмотрены вопросы математического моделирования смесительного агрегата (СА) с использованием методов технической кибернетики. На рис. 2 представлена функционально-структурная схема смесительного агрегата для получения многокомпонентной смеси.

Из рис. 2 видно, что СА содержит блок дозаторов, обладающих определёнными импульсными переходными характеристиками (ИПХ) ( $W_{ДБ}(S)$ ), формирующими сигналы различного вида, работающих параллельно на СЭ. Основным элементом схемы является центробежный СНД новой конструкции ( $W_{СМ}(S)$ ).

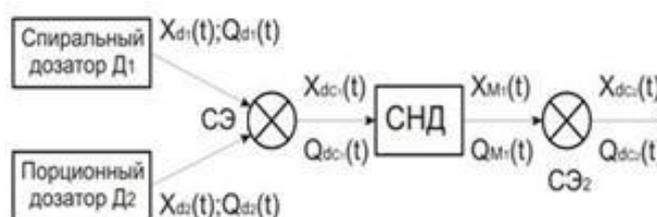


Рис. 2. Структурно-функциональная схема исследуемого смесительного агрегата

Воспользовавшись законами преобразования структурных схем, приведем выходной сигнал смесительного агрегата к следующему виду ( $W_{СА}(S)$ ):

$$W_{СА}(S) = W_{ДБ}(S) \times W_{СМ}. \tag{6}$$

Здесь в блок дозаторов входят спиральный и порционный. Его суммарный сигнал определяется в виде:

$$W_{ДБ}(S) = \frac{X_{d01}}{s} + \frac{X_{d01} \times \omega_{d1}}{s^2 + \omega_{d1}^2} + \frac{A_{d2}}{2s} + \sum_{k=1}^{10} \left( \frac{A_{k2} \times s}{s^2 + \omega_{d2}^2} + \frac{B_{k2} \times \omega_{d2}}{s^2 + \omega_{d2}^2} \right). \tag{7}$$

Передаточная функция СНД представлена зависимостью (8).

$$W_{СМ}(S) = \frac{K \times e^{-\tau s}}{T_1^2 \times s^2 + T_1 \times s + 1} \tag{8}$$

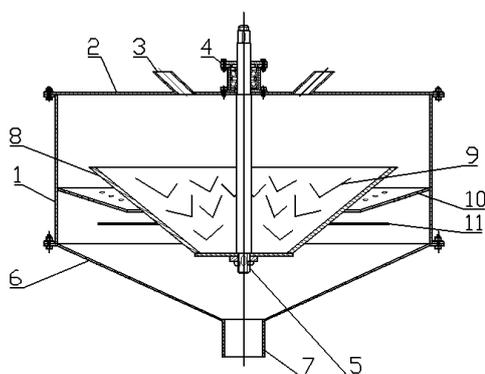
Подставив ИПХ блока дозаторов и передаточную функцию СНД, входящих в состав смесительного агрегата, получим:

$$W_{CA}(S) = \left[ \left( \frac{X_{d01}}{S} + \frac{X_{dm1} \times \omega_{d1}}{S^2 + \omega_{d1}^2} + \frac{A_0}{2S} + \sum_{k=1}^{10} \left( \frac{A_k \times S}{S^2 + \omega_{dz}^2} + \frac{B_k \times \omega_{dz}}{S^2 + \omega_{dz}^2} \right) \right) \right] \quad (9)$$

Полученная модель описывает процесс смешивания сыпучих компонентов при их соотношении 1:100. Она реализуется с помощью различных математических программ. Таким образом, данная модель СА при использовании кибернетического подхода с применением ЭВМ позволяет прогнозировать качество смешивания исходных компонентов, если известны функциональные зависимости входных сигналов от времени и передаточные функции СНД.

На втором этапе были рассмотрены вопросы аппаратурного и методологического обеспечения экспериментальных исследований. При проведении экспериментов использовали исследовательский стенд, который включает в свой состав блок дозаторов, новую конструкцию СНД центробежного типа, блоки управления и измерительных приборов, отбора и анализа проб [3].

На рис. 3 [10] приведена принципиальная схема центробежного СНД с углообразными турбулизаторами, применяемого для смешивания сыпучих компонентов в диапазоне от 1:75 до 1:100. Исходные материалы подаются через загрузочные патрубки 3 на основание вращающегося ротора 8. Под действием центробежной силы частицы материала ускоренно движутся от центра к периферии, распределяясь равномерно по внутренней поверхности ротора 8. Потоки материала отражаются от хаотично установленных углообразных турбулизаторов 9, различных по длине и углам наклона. Далее смесь сбрасывается через верхнее основание ротора 8 и движется по перфорированным направляющим 10, разделяясь на две части. Одна из них ссыпается к коническому основанию днища 6 через отверстия, а другая – на рассеивающий диск 11, где частицы, за счет центробежной силы, отбрасываются к стенкам корпуса 1. Компоненты дополнительно смешиваются при пересечении образовавшихся потоков. Готовая смесь выводится из аппарата через разгрузочный патрубок 7.



**Рис. 3. Центробежный СНД с углообразными направляющими:**  
 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – загрузочные патрубки; 4 – подшипниковый узел; 5 – вал; 6 – днище; 7 – разгрузочный патрубок; 8 – ротор;  
 9 – углообразные турбулизаторы; 10 – перфорированные направляющие; 11 – рассеивающий диск

При проведении исследований процессов дозирования и смешивания использовались порошкообразные и мелкозернистые материалы с различными физико-механическими характеристиками. Выбор сыпучих материалов был обусловлен возможностью дальнейшей практической реализации разработанного нами оборудования в промышленных условиях.

На исследуемом центробежном СНД (рис. 3) был проведен полный факторный эксперимент третьего порядка по определению коэффициента неоднородности  $V_c$ , определяющего качество процесса смешивания, в зависимости от количества углообразных турбулизаторов  $h$  в диапазоне (4÷12 шт.), частоты вращения ротора  $n$  – (750÷950 об/мин), соотношения смешиваемых компонентов  $C$  – (1:75÷1:100).

В результате получено следующее уравнение регрессии для смеси «гейнер – креатин»:

$$V_c = 59,54 + 81,71C - 0,12n - 2,94h + 0,0000611n^2 + 0,148h^2 \quad (11)$$

Построена поверхность отклика, описываемая расчетным регрессионным уравнением (11), за исключением мало значимого коэффициента  $n$  в исследуемом диапазоне (т.е. зависимость влияния соотношения смешиваемых компонентов и числа углообразных на  $V_c$ ), представленную на рис. 4.

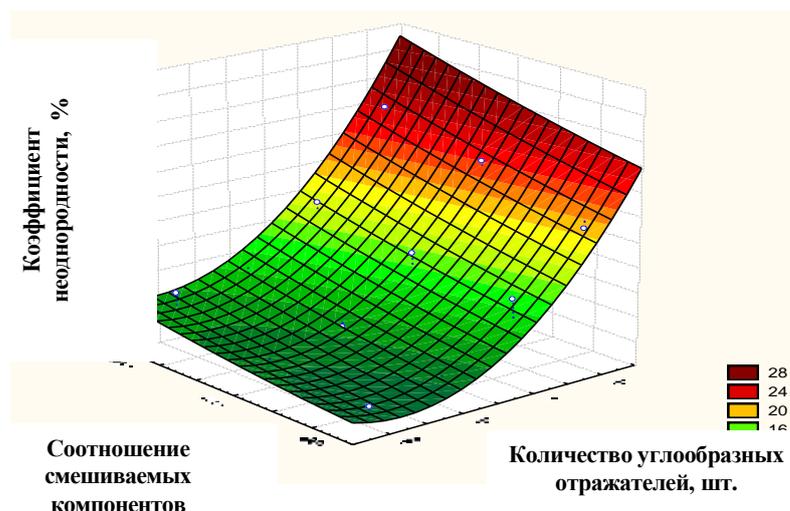


Рис. 4. Поверхность отклика для смеси «гейнер – креатин»

Анализ графической интерпретации показывает, что количество углообразных турбулизаторов  $h = 12$  в роторе СНД центробежного типа оказывает наибольшее влияние на величину коэффициента неоднородности  $V_c$ .

Наименьшее значение  $V_c$  достигается при соотношении смешиваемых компонентов 1:75, но и при 1:100 получили смесь удовлетворительного качества, так как коэффициент неоднородности не превышал 12%. Увеличение  $C$  ведет к ухудшению качества смеси, что объясняется малым временем пребывания частиц в роторе аппарата, так как последний состоит только из одного конуса.

Третьим этапом исследований стало изучение динамической системы «дозатор – смеситель» путем расчета частотных и временных характеристик смесительного агрегата с использованием известных ИПХ дозаторов и передаточных функций (ПФ) смесителя. При определенных рациональных режимах работы СА были рассчитаны: ИПХ при подаче цемента спиральным дозатором, биокремнезем – порционным дозатором; передаточная функция СНД [3].

$$W(S) = \frac{5,46}{S} + \frac{0,36 \times 4,02}{S^2 + 4,02^2}; \tag{12}$$

$$\begin{aligned} W(S) = & \frac{1,306}{S} + \frac{0,124 \times S}{S^2 + 9,85} + \frac{4,83}{S^2 + 9,85} - \frac{0,502 \times S}{S^2 + 39,43} + \frac{0,69}{S^2 + 39,43} + \frac{0,013 \times S}{S^2 + 88,73} + \\ & + \frac{1,99}{S^2 + 88,73} - \frac{0,265 \times S}{S^2 + 158} + \frac{1,24}{S^2 + 158} - \frac{0,071 \times S}{S^2 + 246,8} + \frac{0,26}{S^2 + 246,8} - \frac{0,093 \times S}{S^2 + 355,32} + \\ & + \frac{0,2}{S^2 + 355,32} - \frac{0,053 \times S}{S^2 + 483,56} + \frac{0,48}{S^2 + 246,8} - \frac{0,034 \times S}{S^2 + 631,51} + \frac{0,87}{S^2 + 631,51} + \frac{0,0017 \times S}{S^2 + 799,2} - \\ & - \frac{0,17}{S^2 + 799,2} - \frac{0,021 \times S}{S^2 + 987,2} - \frac{0,44}{S^2 + 987,2}. \end{aligned} \tag{13}$$

$$W(S) = \frac{\exp^{-2,38S}}{3,59 \times S^2 + 3,8S + 1}. \tag{14}$$

Для проведения частотного анализа ПФ смесителя строились амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) (рис. 5), из которых видно, что наилучшей сглаживающей способностью обладает СНД, работающий в третьем режиме (при  $n = 15 \text{ с}^{-1}$ ).

Для уточнения значения степени сглаживания реальных сигналов дозирующей станции провели временной анализ СА, в результате которого были получены отклики системы на входной сигнал блока дозаторов, подаваемый в СНД, при различных частотах вращения ротора. На рис. 6 приведено отношение амплитуды

входного и выходного сигналов из смесителя при частоте вращения ротора равной  $10 \text{ с}^{-1}$ . Расхождение результатов временного и частотного анализов при получении смеси «гейнер - креатин» на частоте вращения ротора СНД, равной  $15^{-1}$ , составило 8,1%. Таким образом, использование этих методов анализа является вполне правомерным.

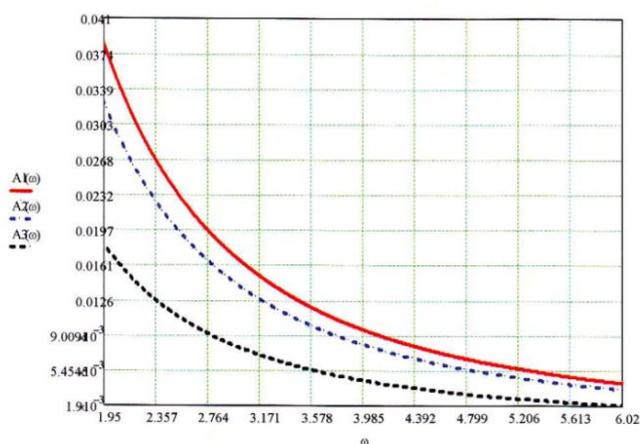


Рис. 5. АЧХ режимов работы центробежного СНД при  $10 \text{ с}^{-1}$  (A1(—)),  $12.5 \text{ с}^{-1}$  (A2(- . - .)),  $15 \text{ с}^{-1}$  (A3(-----))

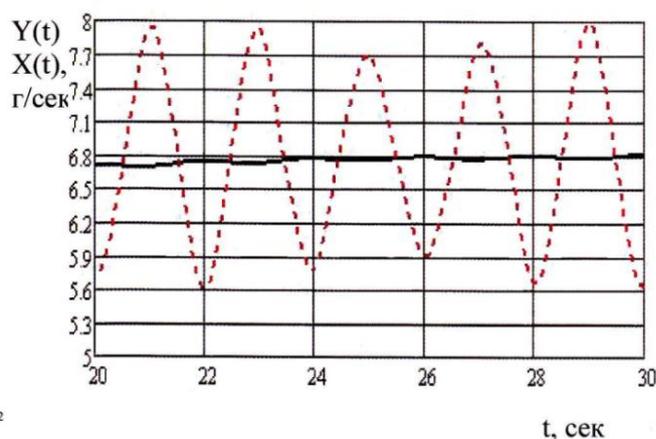


Рис. 6. Амплитуды входного сигнала дозаторов при дозировании смеси гейнера и креатина (---) и выходного сигнала СНД (—)

Результаты всех проведенных исследований получили практическое применение. На новом СНД проведены промышленные испытания с целью оценки его эффективности, в технологической линии производства гейнера на ЗАО «Профикс-Кузбасс» (г. Кемерово). Полученные результаты подтверждают, что новая конструкция центробежного СНД позволяет получать смесь спортивного питания с меньшими по отношению к рассматриваемым аналогам металло- и энергозатратами на производство 1 кг готовой смеси. При этом среднее значение удельных энергозатрат на производство 1 кг смеси составило 1,14 Вт/кг.

По результатам проведенных исследований представили следующие результаты и выводы:

1. В ходе проведения теоретического анализа, базирующегося на корреляционном подходе, установлено, что на снижение флуктуаций входного сигнала сильное влияние оказывает наличие в СНД опережающих потоков, контуров внешней и внутренней рециркуляции. При этом сглаживающая способность смесителя достигает своего максимального значения  $S = 8,3$ .
2. На основе кибернетического подхода разработана математическая модель центробежного СА для переработки сыпучих материалов. Ее частотно-временной анализ показал, что новый СНД обеспечивает сглаживание флуктуаций входных сигналов в диапазоне от 15 до 120 раз, в зависимости от частоты вращения ротора.
3. На новом центробежном СНД определены рациональные конструктивные и технологические параметры работы: количество углообразных турбулизаторов в роторе СНД – 12 шт.; частота вращения рабочего органа – 850 об/мин; при соотношении смешиваемых компонентов 1:100.
4. Центробежный смеситель новой конструкции прошел успешные промышленные испытания и рекомендован для использования при аппаратурном оформлении стадии смешивания в технологической схеме получения смеси гейнера с креатином на ЗАО «Профикс-Кузбасс» (г. Кемерово).

### Литература

1. Бородулин Д.М., Саблинский А.И., Сухоруков Д.В., Андриюшков А.А. Исследование работы смесительного агрегата, состоящего из двух последовательно установленных центробежных СНД, для получения смеси с соотношением смешиваемых компонентов 1:1000 методом последовательного разбавления // Вестник КрасГАУ. 2013. № 6. С. 178-185.
2. Бородулин Д.М. Разработка и исследование непрерывнодействующего смесительного агрегата центробежного типа для получения сухих комбинированных продуктов: дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2003. 231 с.
3. Бородулин Д.М., Шушпанников А.Б., Войтикова Л.А. Исследование функционирования центробежного смесителя непрерывного действия методом множественного регрессионного анализа // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 1. С. 98–103.

4. *Бородулин Д.М., Иванец В.Н.* Развитие смесительного оборудования центробежного типа для получения сухих и увлажненных комбинированных продуктов. Кемерово, 2012. 178 с.
5. *Бородулин Д.М., Салищева О.В., Андриюшков А.А.* Применение смесителя непрерывного действия для витаминизации муки // Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. № 9. С. 58-61.
6. *Бородулин Д.М., Андриюшков А.А.* Прогнозирование сглаживающей способности центробежного смесителя на основе корреляционного анализа // Техника и технология пищевых производств. 2009. № 4. С. 39-42.
7. *Гмурман В.Е.* Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. М.: Высшая школа, 2000. 400 с.
8. *Иванец В.Н., Бородулин Д.М., Андриюшков А.А.* Анализ работы смесителей непрерывного действия центробежного типа на основе корреляционного подхода // Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. № 8. С. 23-26.
9. *Иванец В.Н., Бородулин Д.М., Андриюшков А.А.* Тенденции развития смесительного оборудования непрерывного действия центробежного типа // Техника и технология пищевых производств. 2011. № 1. С. 67-71.
10. *Иванец В.Н., Бородулин Д.М., Андриюшков А.А.* МПК В01 F7/26/ Центробежный смеситель диспергатор: пат. 2464078 Российская Федерация. 2012. Бюл. № 29.

### References

1. Borodulin D.M., Sablinskii A.I., Sukhorukov D.V., Andryushkov A.A. Issledovanie raboty smesitel'nogo agregata, sostoyashchego iz dvukh posledovatel'no ustanovlennykh tsentrobezhnykh SND, dlya polucheniya smesi s sootnosheniem smeshivaemykh komponentov 1:1000 metodom posledovatel'nogo razbavleniya. *Vestnik KrasGAU*. 2013, no. 6, pp. 178-185.
2. Borodulin D.M. Razrabotka i issledovanie nepreryvnodeistvuyushchego smesitel'nogo agregata tsentrobezhnogo tipa dlya polucheniya sukhikh kombinirovannykh produktov. *Candidate's thesis*. Kemerovo, 2003. 231 p.
3. Borodulin D.M., Shushpannikov A.B., Voitikova L.A. Issledovanie funktsionirovaniya tsentrobezhnogo smesitelya nepreryvnogo deistviya metodom mnozhestvennogo regressionnogo analiza. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*. 2012, no. 1, pp. 98-103.
4. Borodulin D.M., Ivanets V.N. *Razvitie smesitel'nogo oborudovaniya tsentrobezhnogo tipa dlya polucheniya sukhikh i uvlazhnennykh kombinirovannykh produktov*. Kemerovo, 2012. 178 p.
5. Borodulin D.M., Salishcheva O.V., Andryushkov A.A. Primenenie smesitelya nepreryvnogo deistviya dlya vitaminizatsii muki. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*. 2012, no. 9, pp. 58-61.
6. Borodulin D.M., Andryushkov A.A. Prognozirovaniye sglazhivayushchei sposobnosti tsentrobezhnogo smesitelya na osnove korrelyatsionnogo analiza. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*. 2009, no. 4, pp. 39-42.
7. Gmurman V.E. *Rukovodstvo k resheniyu zadach po teorii veroyatnostei i matematicheskoi statistike*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2000, 400 p.
8. Ivanets V.N., Borodulin D.M., Andryushkov A.A. Analiz raboty smesitelei nepreryvnogo deistviya tsentrobezhnogo tipa na osnove korrelyatsionnogo podkhoda. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya*. 2012, no. 8, pp. 23-26.
9. Ivanets V.N., Borodulin D.M., Andryushkov A.A. Tendentsii razvitiya smesitel'nogo oborudovaniya nepreryvnogo deistviya tsentrobezhnogo tipa. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*. 2011, no. 1, pp. 67-71.
10. Ivanets V.N., Borodulin D.M., Andryushkov A.A. МПК V01 F7/26/ Tsentrobezhnyi smesitel' dispersator. Patent RF, no. 2464078. 2012.