

**Shavrin Vladimir Alekseevich**, Ph.D. tech. Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of General and Experimental Physics, Kemerovo State University, e-mail: [vladimir.shavrin@gmail.com](mailto:vladimir.shavrin@gmail.com)

**Neverov Evgeniy Nikolaevich**, Doctor of Engineering. Sciences, Professor, Head of the Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, e-mail: [neverov42@mail.ru](mailto:neverov42@mail.ru)

**Nikolaeva Elena Vladimirovna**, Ph.D. physics and mathematics Sciences, Head of DNA named after. P. A. Chikhacheva, Kemerovo State University, e-mail: [nevkem@yandex.ru](mailto:nevkem@yandex.ru)

**Vladimirov Alexander Alexandrovich**, Ph.D. tech. Sciences, project manager DNA named after. P. A. Chikhacheva, Kemerovo State University, e-mail: [fizickemsu@mail.ru](mailto:fizickemsu@mail.ru)

Kemerovo State University, Russia, Kemerovo, e-mail: [webkemsu@mail.ru](mailto:webkemsu@mail.ru)

**Abstract:** the article describes the use of computer vision for monitoring the growth of mushrooms and their collection. A functional example of a mushroom picking installation has been created that uses computer vision to orient and analyze a mushroom field for the presence of ripe mushrooms.

**Key words:** machine vision, programming, automation, robotization, mushroom growing.

---

УДК 519.233.5

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СМЕСИТЕЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТИПА НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА

**Суворова Юлия Павловна**, аспирант, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», e-mail: [yulia-suvorova-1998@mail.ru](mailto:yulia-suvorova-1998@mail.ru)  
**Бородулин Дмитрий Михайлович**, д-р техн. наук, профессор, директор Технологического института, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», e-mail: [borodulin@rgau-msha.ru](mailto:borodulin@rgau-msha.ru)

**Сухоруков Дмитрий Викторович**, канд. техн. наук, доцент кафедры Инженерного дизайна, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», e-mail: [pioner\\_dias@mail.ru](mailto:pioner_dias@mail.ru)

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,  
Россия, Кемерово, e-mail: [rector@kemsu.ru](mailto:rector@kemsu.ru)

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, Москва, e-mail: [rector@rgau-msha.ru](mailto:rector@rgau-msha.ru)

**Аннотация:** Важной составляющей производства сыпучих композиционных

смесей является их сбалансированность. Для достижения данного результата необходима разработка смесителя с соответствующими технологическими параметрами. Прогнозировать соответствие смесителя заданным параметрам позволяет его математическая модель. Поэтому целью данной работы является обоснование выбора конструктивных параметров работы центробежного смесителя на основе корреляционного анализа. В работе с помощью корреляционного анализа получена формула нахождения сглаживающей способности центробежного смесителя и выявлены наиболее рациональные конструктивные особенности смесителя.

**Ключевые слова:** центробежный смеситель, корреляционный анализ, сглаживающая способность, качество смешивания, математическая модель

В современном производстве сухих смесей требуется высоко эффективный и качественный процесс смешивания. Для получения таких продуктов необходимо обеспечить равномерное распределение компонентов во всем объеме готовой смеси. Однако, различный гранулометрический состав, плотность, вязкость и другие физико-химические свойства компонентов могут затруднить достижение этого результата. Для решения этой проблемы необходимо использовать современные технологии и методы перемешивания, а также правильно настроить работу оборудования.

Одними из наиболее распространенных видов смесительного оборудования являются центробежные аппараты непрерывного действия, в качестве рабочих органов которых используют различные вращающиеся элементы: лопасти, диски, мешалки и т.д. Такие смесители применяются для получения качественных композиций с соотношением смешиваемых компонентов 1:100 и выше. К преимуществам центробежных смесителей относятся высокая производительность и относительно низкие энерго- и материалоемкость.

Для обоснования эффективности разрабатываемого аппарата требуется построение его математической модели, которая позволяет прогнозировать процесс смешивания с высокой степенью точности. Среди различных видов математических моделей, таких как традиционные, кибернетические и методы теории временных рядов [1] наиболее удобным является корреляционный анализ, относящийся к методам теории временных рядов. Корреляционный анализ позволяет построить взаимосвязи между двумя или более признаками. Известны работы, в которых строятся модели для смесителей различных типов с помощью корреляционного анализа [4, 7]. В данной работе аналогичный способ применяется к смесителю непрерывного действия центробежного типа [6].

Схема движения материальных потоков в смесителе представлена на рисунке 1.

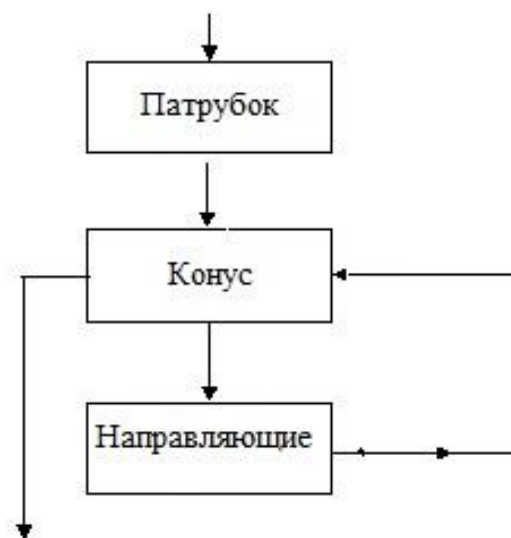


Рисунок 1 – Схема движения смеси в центробежном смесителе

После загрузки смесь поступает на воронку, с которой сбрасывается на конус. На конусе смесь разделяется на два потока, один из которых идет на выгрузку, а второй попадает на направляющие лопасти, которые возвращают ее на конус, при этом происходит смешивание с новым потоком смеси.

При данной схеме движения материальных потоков составляется следующая система уравнений материального баланса [2]:

$$\begin{cases} X_1 = X_0 \\ X_2 = \bar{X}_1 + \alpha \bar{X}_2 \\ X_B = (1 - \alpha) \bar{X}_2 \end{cases} \quad (1)$$

где:  $X_0$  – количество материала, поступающего в смеситель;  $X_1$  и  $\bar{X}_1$  – количество материала, поступающего на патрубок и выходящего с него;  $X_2$  и  $\bar{X}_2$  – количество материала, поступающего на конус и выходящего с него;  $X_B$  – количество материала, выходящего из смесителя;  $\alpha$  – коэффициент циркуляции.

В уравнении (1)  $X_i$  и  $\bar{X}_i$  можно заменить на корреляционные функции  $K_{X_i}(\tau)$  и  $K_{\bar{X}_i}(\tau)$ , зависящие от интервала корреляции  $\tau$ . Рассмотрение отсутствия процесса усреднения потоков является правомерным, то есть  $K_{\bar{X}_i}(\tau) = K_{X_i}(\tau)$ . Соответственно решение системы (1) примет вид:

$$K_{X_B}(\tau) = \frac{1-\alpha}{1+\alpha} K_{X_0}(\tau) \quad (2)$$

Известно, что  $K_X(0) = \sigma_X^2$ . Тогда (2) можно записать:

$$\sigma_{X_B}^2 = \frac{1-\alpha}{1+\alpha} \sigma_{X_0}^2 \quad (3)$$

Сглаживающая способность смесителя будет рассчитываться по следующей формуле:

$$S = \frac{\sigma_{X_0}^2}{\sigma_{X_B}^2} = \frac{1+\alpha}{1-\alpha} \quad (4)$$

Формулы (3) и (4) показывают отношение дисперсий и сглаживающую способность на выходе из центробежного смесителя. При различные значения коэффициента циркуляции  $\alpha$  получим различные показатели для сглаживающей способности, среди которых выберем наибольший.

Коэффициент циркуляции зависит от того, сколько смеси пойдет на выгрузку, а сколько с помощью направляющих лопастей вернется на конус. Численно это будет рассчитываться как отношение общей длины лопастей к длине окружности смесителя, при этом нужно вычислить количество попадающей на лопасти смеси. Оно рассчитывается как отношение общей длины выступов на конусе к длине окружности конуса. Соответственно, для вычисления значения  $\alpha$  нужна величина радиуса смесителя, длины лопастей на смесителе и их количество. Результаты расчетов при различных значениях радиусов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сглаживающая способность смесителя с направляющими лопастями

$r_{\text{конуса}}, \text{ м}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
$l_{\text{выступа}}, \text{ м}$	0,039	0,039	0,039	0,03925	0,03925	0,03925	0,0395	0,0395	0,0395
$n_{\text{выступов}}$	7	8	9	7	8	9	7	8	9
$r_{\text{смесителя}}, \text{ м}$	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
$l_{\text{лопасти}}, \text{ м}$	0,10205	0,10205	0,10205	0,10205	0,10205	0,10205	0,10205	0,10205	0,10205
$n_{\text{лопастей}}$	4	4	4	4	4	4	4	4	4
$\alpha$	0,217	0,248	0,279	0,219	0,25	0,281	0,22	0,252	0,283
S	1,555	1,661	1,776	1,56	1,667	1,783	1,565	1,672	1,79

Из таблицы видно, что наибольшее значение сглаживающей способности  $S=1,79$  достигается при следующих параметрах:  $l_{\text{выступа}}=0,0395$  м и  $n_{\text{выступов}}=9$ . Также можно сделать вывод, что она возрастает с увеличением длины выступов и количества выступов на конусе. Таким образом, увеличивается степень однородности получаемых смесей и их качество.

### Библиографический список

1. Батунер, Л.М. Математические методы в химической технологии / Л.М. Батунер, М.Е. Позин. – Л.: Химия, 1979. – 248 с.

2. Бородулин, Д.М., Иванец И. В. Развитие смесительного оборудования центробежного типа для получения сухих и увлажненных комбинированных продуктов. Монография, Кемерово: изд-во КемТИПП 2012. – 178с.

3. Бородулин Д.М. Исследование эффективности практического применения центробежных смесителей непрерывного действия в технологических линиях производства комбинированных продуктов питания/ Бородулин Д.М., Будрик В.Г., Сухоруков Д.В., Саблинский А.И., Шульбаева М.Т., Сафонова Е.А.// Современные наукоемкие технологии. 2016. № 3-1. С. 9-13.

4. Иванец В. Н. Анализ работы смесителей непрерывного действия центробежного типа на основе корреляционного подхода. / Иванец В. Н., Бородулин Д. М., Андриюшков А. А. // Журнал Хранение и переработка сельхозсырья. – 2012. – Вып. 8. – С. 23-25.

5. Патент RU 2023660645 Расчет численных значений сглаживающей способности в смесителе с направляющими лопастями на основе корреляционного анализа: Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023660645, 23.05.2023. Заявка № 2023660174 от 23.05.2023. / Бородулин Д.М., Сухоруков Д.В., Суворова Ю.П.

6. Патент RU 2584736 С1 Центробежный смеситель: Патент на изобретение RU 2584736 С1, 20.05.2016. Заявка № 2015114036/05 от 15.04.2015. / Бородулин Д.М., Сухоруков Д.В., Андриюшкова Е.А., Козымаев А.С.

7. Суворова Ю.П. Математическая модель барабанного смесителя на основе корреляционного анализа/ Суворова Ю.П., Бородулин Д.М., Сухоруков Д.В. // В сборнике: Профессия инженер. Сборник статей по материалам XI Всероссийской молодежной научно-практической конференции. Под общей редакцией А.Л. Севостьянова. Орел, 2023. С. 713-718.

8. Патент № 2361653 С1 Российская Федерация, МПК В01F 7/26. Центробежный смеситель : № 2008115038/15 : заявл. 16.04.2008 : опубл. 20.07.2009 / С. А. Ратников, Д. М. Бородулин, А. Н. Селюнин, А. В. Сибиль ; заявитель Государственное образовательное учреждение Высшего профессионального образования Кемеровский технологический институт пищевой промышленности.

9. Методика оценки безопасной эвакуации маломобильных граждан из зданий различного функционального назначения посредством уточнения параметров эвакуационного процесса / А. И. Фомин, Д. А. Бесперстов, И. М. Угарова [и др.] // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2022. – № 4. – С. 52-58

10. Исследование влияния микроволнового воздействия на процесс созревания висковых дистиллятов / Д. М. Бородулин, М. В. Просин, М. Н. Потапова, А. В. Шалев // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2019. – № 4. – С. 141-153. – DOI 10.36107/spfp.2019.154.

11. Разработка рейтинговой системы контроля качества сухих напитков функциональной направленности / А. С. Мустафина, И. Ю. Резниченко, И. А. Бакин, С. В. Шилов // Техника и технология пищевых производств. – 2022. – Т. 52, № 1. – С. 144-155. – DOI 10.21603/2074-9414-2022-1-144-155.

## MODELING OF THE OPERATION OF A CENTRIFUGAL MIXER BASED ON CORRELATION ANALYSIS

*Suvorova Yulia Pavlovna*, graduate student, Kemerovo State University,  
e-mail: [yulia-suvorova-1998@mail.ru](mailto:yulia-suvorova-1998@mail.ru)

*Borodulin Dmitry Mikhailovich*, Doctor of Engineering. Sciences, Professor,  
Director of the Technological Institute, Russian State Agrarian University - Moscow  
Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev,  
e-mail: [borodulin@rgau-msha.ru](mailto:borodulin@rgau-msha.ru)

*Sukhorukov Dmitry Viktorovich*, Ph.D. tech. Sciences, Associate Professor of the  
Department of Engineering Design, Kemerovo State University,  
e-mail: [pioner\\_dias@mail.ru](mailto:pioner_dias@mail.ru)

Kemerovo State University, Russia, Kemerovo, e-mail: [rector@kemsu.ru](mailto:rector@kemsu.ru)  
Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A.  
Timiryazev, Russia, Moscow, e-mail: [rector@rgau-msha.ru](mailto:rector@rgau-msha.ru)

**Abstract:** An important component of the production of bulk composite mixtures is their balance. To achieve this result, it is necessary to develop a mixer with appropriate technological parameters. Its mathematical model allows predicting the mixer's compliance with the specified parameters. Therefore, the purpose of this work is to substantiate the choice of design parameters for the operation of a centrifugal mixer based on correlation analysis. In the work, using correlation analysis, a formula for finding the smoothing ability of a centrifugal mixer was obtained and the most rational design features of the mixer were identified.

**Keywords:** centrifugal mixer, correlation analysis, smoothing ability, mixing quality, mathematical model

---

УДК 656.5

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАХВАТОВ ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ

*Титов Денис Сергеевич*, студент Технологического института, ФГБОУ  
ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.  
Тимирязева», e-mail: [den.titov.05@list.ru](mailto:den.titov.05@list.ru)

*Научный руководитель – Доня Денис Викторович*, канд. техн. наук,  
доцент кафедры Процессов и аппаратов перерабатывающих производств,  
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА  
имени К.А. Тимирязева», e-mail: [doniadv@rambler.ru](mailto:doniadv@rambler.ru)

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени  
К.А.Тимирязева, E-mail: [rector@rgau-msha.ru](mailto:rector@rgau-msha.ru)