

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛОПАСТНОГО ДВУХВАЛЬНОГО СМЕСИТЕЛЯ

Резюме. Разработана методика автоматизированного расчета лопастного двухвального смесителя для получения полнорационных комбикормов, в котором реализована технология смещивания в квазиневесомом режиме. Данная технология учитывает влияние следующих факторов процесса смещивания: физико-механических свойств получаемых смесей; конструктивных размеров; формы лопастей смесителя; кинематического режима процесса смещивания. Система расчета смесителя позволяет рассчитывать основные технологические, конструктивные и энергетические параметры. В качестве среды разработки использован QT Creator 5.14.2. Главное окно приложения включает меню, вкладки ввода исходных данных для проведения расчетов, панель отображения результатов расчета (производительность, геометрические характеристики смесителя с основными размерами, мощность электродвигателя). Проектирована оригинальная конструкция лопастного двухвального смесителя, в которой определены рациональные конструктивные параметры рабочей камеры и мешалки.

Ключевые слова: лопастной двухвальный смеситель, расчет, проектирование, конструктивные размеры.

DEVELOPMENT OF ELEMENTS OF AUTOMATED SYSTEM FOR CALCULATION AND DESIGN OF TWO-SHAFT BLADE MIXER

Abstract. A methodology for automated calculation of a twin-shaft paddle mixer for obtaining complete compound feed has been developed, which implements the technology of mixing in a quasi-weightless mode, taking into account the influence of three groups of factors of the mixing process: physical and mechanical properties of the resulting mixtures; design dimensions and shape of the mixer blades and the kinematic mode of the mixing process. The developed automated system for calculating the mixer allows calculating the main technological, design and energy parameters. QT Creator 5.14.2 was used as the development environment. The main application window includes: menu, input tabs for initial data for calculations, calculation results display panel: productivity, geometric characteristics of the mixer with main dimensions and electric motor power. An original design of a paddle twin-shaft mixer was designed, in which rational design parameters of the working chamber and mixer design were determined.

Key words: paddle twin-shaft mixer, calculation, design, design dimensions.

УДК 664.7

Научная статья

DOI 10.69539/2413-287X-2025-06-2-241

**АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ
ОСТРИКОВ¹,**

доктор технических наук,
профессор, заведующий кафедрой
«Технологии жиров, процессы
и аппараты химических и пищевых
производств»

ORCID: 0000-0002-2335-0017

Researcher ID: AAC-9246-2019

Scopus Author ID: 6507477204

E-mail: ostrikov27@yandex.ru

**МАКСИМ ВАСИЛЬЕВИЧ
КОПЫЛОВ¹,**

кандидат технических наук,
доцент, доцент кафедры
«Технологии жиров, процессы
и аппараты химических
и пищевых производств»

ORCID: 0000-0003-2678-2613

Researcher ID: N-6160-2015

Scopus Author ID: 57209802681

E-mail: kopylov-maks@yandex.ru

**КОНСТАНТИН ВЛАДИМИРОВИЧ
МИШИНЕВ¹,**

аспирант кафедры «Технологии
жиров, процессы и аппараты
химических и пищевых
производств»

ORCID: 0009-0006-0202-7700

E-mail: mishinev.k@yandex.ru

**ИВАН АДРЕЕВИЧ
САПЕЛКИН¹,**

магистрант кафедры «Машины
и аппараты пищевых производств»

ORCID: 0009-0002-3477-8948

E-mail: ivan-sapelkin2000@yandex.ru

¹ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный университет
инженерных технологий»

394036, Россия, г. Воронеж,
проспект Революции, д. 19

Поступила в редакцию:
13.05.2025

Одобрена после рецензирования:
16.05.2025

Принята в публикацию:
19.05.2025



UDC 664.7

Research article

DOI 10.69539/2413-287X-2025-06-2-241

ALEXANDER N. OSTRIKOV¹,

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department
«Fat Technologies, Processes
and Equipment for Chemical
and Food Production»

ORCID: 0000-0002-2335-0017

Researcher ID: AAC-9246-2019

Scopus Author ID: 6507477204

E-mail: ostrikov27@yandex.ru

MAKSIM V. KOPYLOV¹,

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
«Fat Technologies, Processes
and Equipment for Chemical
and Food Production»

ORCID: 0000-0003-2678-2613

Researcher ID: N-6160-2015

Scopus Author ID: 57209802681

E-mail: kopylov-maks@yandex.ru

KONSTANTIN V. MISHINEV¹,

Postgraduate Student of the
Department «Fat Technologies,
Processes and Equipment for Chemical
and Food Production»

ORCID: 0009-0006-0202-7700

E-mail: mishinev.k@yandex.ru

IVAN A. SAPELKIN¹,

Master's Student of the Department
«Machines and Equipment for Food
Production»

ORCID: 0009-0002-3477-8948

E-mail: ivan-sapelkin2000@yandex.ru

¹Voronezh State University
of Engineering Technologies, FSBEI HE
394036, Russia, Voronezh,
Prospect of Revolution, 19

Received by editor office:

05.13.2025

Approved in revised:

05.16.2025

Accepted for publication:

05.19.2025

ВВЕДЕНИЕ

Современные технологии производства комбикормов требуют высокоэффективного оборудования, обеспечивающего качественное смешивание компонентов с минимальными энергозатратами. Одним из ключевых агрегатов в этом процессе является лопастной двухвальный смеситель, от конструкции и режимов работы которого во многом зависят однородность готового продукта и экономическая эффективность производства. В данной статье рассматривается разработка автоматизированной системы расчета и проектирования лопастного двухвального смесителя, учитывающей физико-механические свойства смесей, конструктивные особенности оборудования и кинематику процесса смешивания. В основе методики лежит комплексный подход, включающий математическое моделирование, алгоритмизацию расчетных процедур и программную реализацию в среде QT Creator 5.14.2 с использованием языка C/C++. Особое внимание уделено технологии смешивания в квазиневесомом режиме, позволяющей снизить коэффициент неоднородности до 3% и сократить продолжительность процесса до 180 с. Представлена оригинальная конструкция смесителя, включающая синхронизированные лопастные валы, автоматизированные задвижки и систему ввода жидких компонентов. Разработанная система автоматизированного проектирования обеспечивает обоснованный выбор технологических и конструктивных параметров, что способствует повышению эффективности производства комбикормов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Разработка автоматизированного расчета лопастного двухвального смесителя в полной мере учитывала физико-механические свойства получаемых смесей; конструктивные особенности смесителя и кинематический режим процесса смешивания [1]. Предпроектное исследование позволило оценить особенности расчета смесителя по разработанной методике и обосновать выбор входных и выходных данных (рис. 1). В качестве среды разработки использована QT Creator 5.14.2. Данная среда программирования позволяет создавать кроссплатформенные приложения под операционные системы Windows и Linux, язык программирования C/C++, компилятор WinGW 64-bit. В процессе создания кода программы задействованы математические аппараты и разработанные методики расчета смесителей [2–6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Предлагаемая система автоматизированного расчета и проектирования смесителя включает в свой состав справочник, содержащий данные о физико-химических свойствах компонентов полнорационных комбикормов, физико-механических свойствах материалов, из которых рекомендуется изготавливать конструктивные элементы смесителя. Также в нем содержатся характеристики различных типов лопастных мешалок, электродвигателей, редукторов и частотных преобразователей, геометрические параметры, конструкции люков и опор.

Смеситель состоит из следующих основных узлов: корпуса, крышки задней, люка, роторов левого и правого, вала карданного, бомболяка, ограждения, рычага, коллектора, плиты привода, крышки смесителя, рычага, люка торцевого [7].

В рабочей камере 1 соосно установлены два лопастных вала 2, приводимые во вращение приводом, состоящим из электродвигателя 3, ременной передачи 4 и редукторов 5 (рис. 2). Выходные ступени редукторов 5 конструктивно представляют собой полые валы, посаженные на ведущие цапфы лопастных валов смесителя.

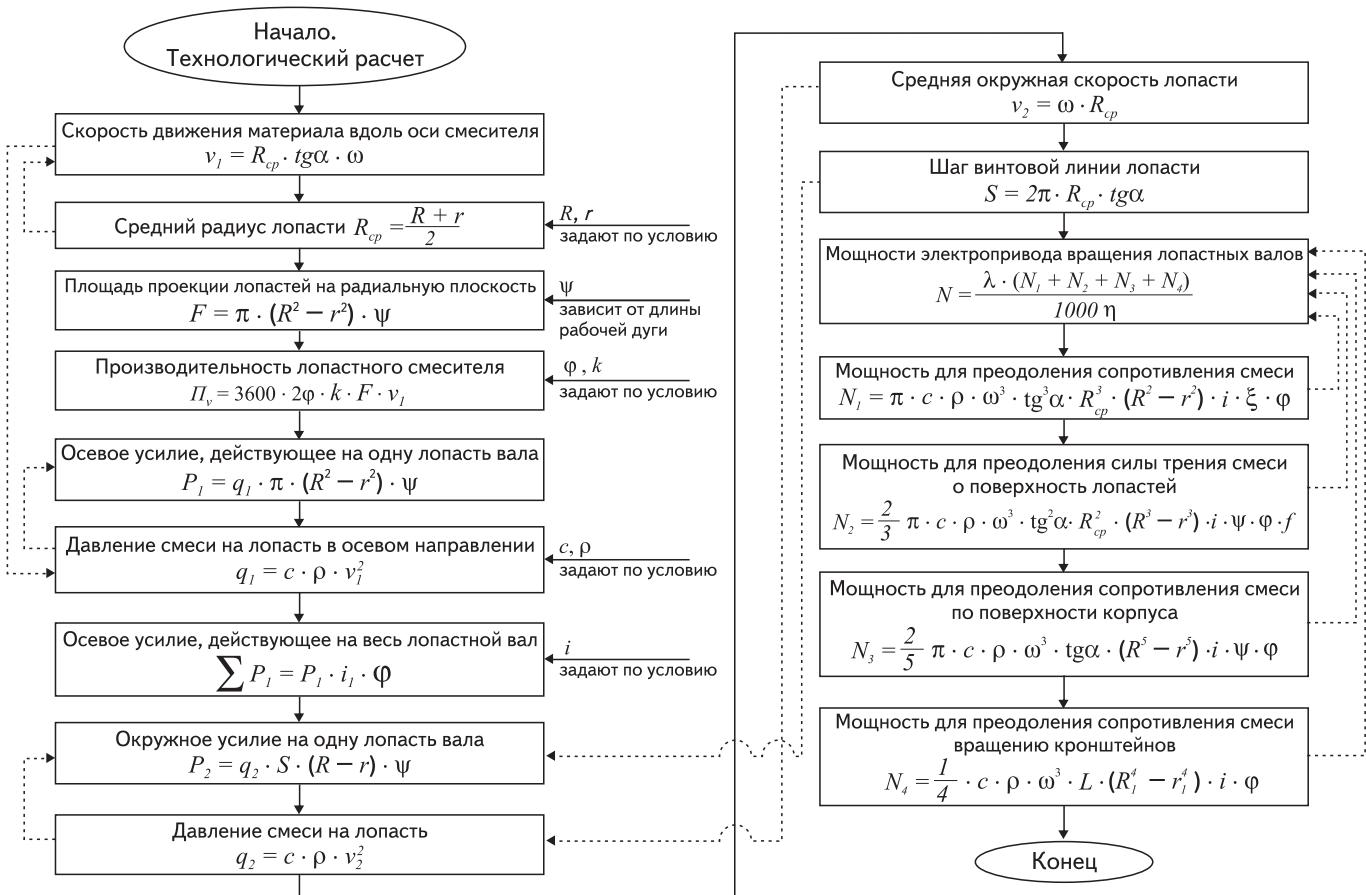


Рис. 1. Алгоритм расчета смесителя:

R, r — соответственно наружный и внутренний радиусы лопасти, м; α — средний угол наклона винтовой линии шнека относительно среднего радиуса, градус; ω — угловая скорость вращения лопастного вала, рад/с; ψ — коэффициент длины лопасти по окружности; φ — коэффициент заполнения; i — число лопастей для двух валов; bk — ширина кронштейна, мм; R_1 — наружный радиус вращения кронштейна, мм; r_1 — внутренний радиус вращения кронштейна, мм; ρ — плотность зерновой смеси, кг/м³; L — длина рабочей камеры, м; $V_{р.к.}$ — рабочая емкость смесительной ванны, м³.

Литература

1. Василенко, В. Н. Создание энергосберегающих смесителей для различных компонентов / В. Н. Василенко, Е. А. Татаренков, Л. Н. Фролова, М. В. Копылов // Вестник машиностроения. — 2010. — № 7. — С. 66–67.
2. Математическая модель периодического смещивания сыпучих материалов с распределенной подачей сегрегирующего компонента / В. Е. Мизонов, С. В. Крупин, К. А. Шелатонова, Е. А. Баранцева // Химия и химическая технология. — 2012. — Т. 55. — Вып. 9. — С. 94–96.
3. Математическая модель процесса смещивания полифункциональных композиций в смесителе-грануляторе / Л. И. Лыткина, С. А. Шевцов, Е. С. Назарьева, Л. Ш. Довтаев // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2013. — № 5. — С. 99–103.
4. Математическая модель смещивания сыпучих материалов в лопастных смесителях / Д. О. Смолин, О. В. Демин, В. Ф. Першин // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — № 2. — С. 1–9.
5. Математическая модель процесса смещивания сыпучих материалов в новом устройстве гравитационно-пересыпного действия / М. В. Волков, Л. В. Королев, М. Ю. Таршик // FUNDAMENTAL RESEARCH. — 2014. — № 9. — С. 960–964.
6. Остриков, А. Н. Имитационная математическая модель процесса смещивания сыпучих компонентов в смесителе / А. Н. Остриков, Л. Н. Фролова, А. И. Александров [идр.] // Вестник ВГУИТ. — 2019. — Т. 81. — № 2. — С. 13–21.
7. РФ № 2740927. В01F 7/04, В28C 5/16. Двухвальный лопастной смеситель / А. Н. Остриков, М. В. Копылов, Л. Н. Фролова, А. И. Александров // Заявитель и патентообладатель: ВГУИТ. — № 2020111563; заявл. 20.03.2020; опубл. 21.01.2021. — Бюл. № 3.

Необходимая синхронность вращения валов достигается тем, что быстроходные (входные) валы редукторов соединены промежуточным валом 6 и упругой муфтой 7. Через коллектор 8 с форсунками и со штуцерами вводятся под давлением жидкие компоненты. Выгрузка готовой смеси производится через люки, расположенные в нижней части рабочей камеры 1. Для загрузки и разгрузки смесителя предусмотрены патрубки: приемный размеща-

ется и приваривается (прикручивается) к верхней части корпуса смесителя, выпускной — к нижней.

Поступающие в смесительную камеру компоненты подвергаются интенсивному перемешиванию. Противоточное и сложное хаотическое перемещение частиц продукта под действием лопастей обеспечивает получение однородной смеси. В конструкции смесителя реализована перспективная технология смешивания в квазиневесомом режиме. Она позволяет снизить коэффициент неоднородности до 3% и сократить продолжительность смешивания до 180 с.

Таким образом, предлагаемая система автоматизированного проектирования лопастного двухвального смесителя для получения полнорационных комбикормов позволяет обосновать выбор рациональных технологических и конструктивных параметров рабочей камеры и лопастных валов.

ВЫВОДЫ

Разработана автоматизированная система расчета и проектирования лопастного двухвального смесителя для производства полнорационных комбикормов. Реализованная в нем технология смешивания в квазиневесомом режиме учитывает влияние физико-механических свойств получаемых смесей; конструктивные размеры, форму лопастей смесителя и кинематический режим процесса смешивания. Ее применение позволит рассчитать производительность, геометрические характеристики смесителя и мощность электродвигателя. Спроектирована оригинальная конструкция лопастного двухвального смесителя, в которой определены рациональные конструктивные параметры конструкции рабочей камеры и мешалки.

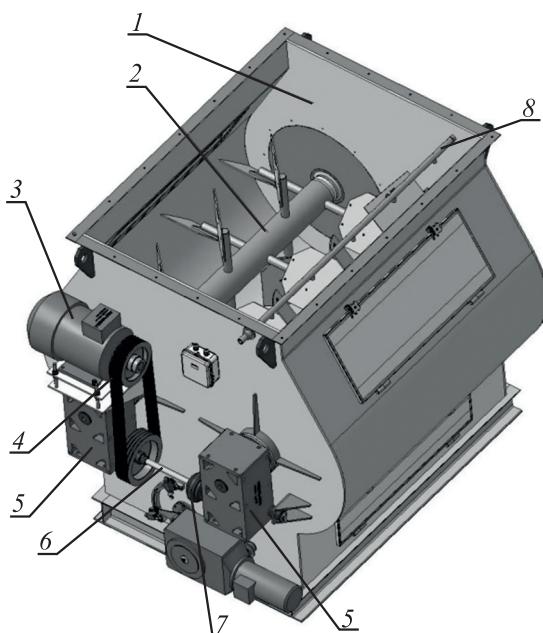


Рис. 2. Лопастной двухвальный смеситель:

- 1 — рабочая камера; 2 — лопастные валы;
- 3 — электродвигатель; 4 — ременная передача;
- 5 — редукторы; 6 — вал; 7 — муфта; 8 — коллектор.

Literature

1. Vasilenko, V. N. Creation of energy-saving mixers for various components / V. N. Vasilenko, E. A. Tatarenkov, L. N. Frolova, M. V. Kopylov // Bulletin of Mechanical Engineering. — 2010. — No. 7. — P. 66—67.
2. Mathematical model of periodic mixing of bulk materials with distributed supply of a segregating component / V. E. Mizonov, S. V. Krupin, K. A. Shelatonova, E. A. Barantseva // Chemistry and Chemical Technology. — 2012. — Vol. 55. — Issue 9. — P. 94—96.
3. Mathematical model of the process of mixing poly-functional compositions in a mixer-granulator / L. I. Lytkina, S. A. Shevtsov, E. S. Nazaryeva, L. Sh. Dovtayev // Bulletin of the Voronezh State Technical University. — 2013. — No. 5. — P. 99—103.
4. Mathematical model of mixing bulk materials in paddle mixers / D. O. Smolin, O. V. Demin, V. F. Pershin // Modern problems of Science and Education. — 2013. — No. 2. — P. 1—9.
5. Mathematical model of the process of mixing bulk materials in a new device of gravity-pouring action / M. V. Volkov, L. V. Korolev, M. Yu. Tarshis // Fundamental Research. — 2014. — No. 9. — P. 960—964.
6. Ostrikov, A. N. Simulation mathematical model of the process of mixing bulk components in a mixer / A. N. Ostrikov, L. N. Frolova, A. I. Aleksandrov [et al.] // Vestnik of VSUET. — 2019. — Vol. 81. — No. 2. — P. 13—21.
7. RF No. 2740927. B01F 7/04, B28C 5/16. Twin-shaft paddle mixer / A. N. Ostrikov, M. V. Kopylov, L. N. Frolova, A. I. Aleksandrov // Applicant and patent holder: VSUET. — No. 2020111563; declared 20.03.2020; published 21.01.2021. — Bulletin No. 3. ■