

На правах рукописи



МАРТЫНОВА ТАТЬЯНА ГЕННАДЬЕВНА

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
МЕХАНИЗМОВ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ
СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ**

Специальность: 05.02.18 – теория механизмов и машин

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск, 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет»

Научный руководитель:

Подгорный Юрий Ильич
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Гилета Владимир Павлович,
доктор технических наук, профессор,
Новосибирский государственный
технический университет,
заведующий кафедрой прикладной
механики

Кириллов Александр Всеволодович,
кандидат технических наук, доцент,
Новосибирский государственный
педагогический университет,
доцент кафедры машиноведения

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет», г.Омск.

Защита состоится «19» июня 2013 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.173.07 при Новосибирском государственном техническом университете по адресу: 630073, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Новосибирского государственного технического университета.

Автореферат разослан « » мая 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
к.т.н., доцент

Никитин Юрий Вадимович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы исследования. На отечественных предприятиях в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства насчитывается множество наименований технологического оборудования, предназначенного для приготовления различных смесей. При этом наиболее часто применяются лопастные смесители, которые по сравнению с барабанными, шнековыми и прочими обладают в большей мере возможностью управления процессом смешивания, универсальностью, высокой производительностью, быстрой и несложной переналадкой для работы с различными сыпучими материалами, в том числе с крошкообразным тестом для различных видов макаронных изделий.

Повышение производительности таких смесителей возможно при увеличении геометрических параметров рабочей камеры (длины, ширины), при повышении скорости движения исполнительных механизмов, а также при сокращении времени простоев оборудования по технологическим и техническим причинам. Однако во время простоев перемешивающего оборудования смеси изменяют свои свойства, в результате нагрузка на рабочие органы со временем значительно увеличивается. Для снижения пусковых моментов перед повторным запуском смесителя возникает необходимость освободить рабочую камеру от находящейся в ней смеси, что связано с дополнительными затратами времени и возможными потерями сырья. Следует также отметить, что увеличение геометрических параметров и скоростных режимов рабочих валов предъявляет повышенные требования к их уравновешенности.

Кроме того, рабочие органы некоторых смесителей совершают не только вращательное, но и возвратно-поступательное движение. Примером такого движения могут служить движения рабочих валов смесителя непрерывного действия установленного на автоматической линии по производству длинных макарон.

Существующие методики проектирования лопастных смесителей не учитывают выше указанных факторов, влияющих на технико-эксплуатационные показатели, что приводит к необходимости уточнения этих методик.

Цель работы заключается в повышении производительности лопастных смесителей путем совершенствования методики их проектирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. На основании структурного и геометрического синтеза и кинематического анализа разработать экспериментальную установку, позволяющую определять нагрузки от внешних механических воздействий на рабочий орган смесителя.

2. Экспериментально выявить функциональные зависимости нагрузок на рабочий орган смесителя от кинематических, геометрических и технологических параметров.

3. На основании функциональных зависимостей разработать математическую модель механизма двухвального лопастного смесителя.

4. Разработать методику проектирования лопастных смесителей для сыпучих материалов.

5. Промышленно апробировать результаты диссертационной работы.

Методология исследования заключается в разработке экспериментальной установки смесителя, проведении теоретических и экспериментальных иссле-

дований, разработке методики проектирования смесителей на основании результатов исследований, апробации разработанной методики на примере двухвального лопастного смесителя. В качестве основных **методов исследований** использовались методы теории механизмов и машин: структурный и геометрический синтез и кинематический анализ механизмов, математическое моделирование, тензометрические измерения.

Научная новизна работы состоит в следующем:

Обоснован выбор эксцентриково-рычажного механизма для привода рабочего органа экспериментальной установки из условия минимального количества звеньев и ограничения величины сил инерции конечного звена.

Предложена методика проектирования лопастных смесителей для сыпучих материалов, основанная на полученных экспериментально функциональных зависимостях нагрузок на месильную лопатку рабочего органа смесителя от кинематических, геометрических и технологических параметров, позволяющая определять уточненные значения: суммарных нагрузок на рабочие органы смесителя; нагрузки, приведенной к ведущему валу смесителя; мощности, необходимой для осуществления технологического процесса; времени разгона механизма смесителя в зависимости от внешних механических воздействий на его рабочие органы; корректирующих дисбалансов, обеспечивающих уравнивание рабочих органов.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке экспериментальной установки, в построении функциональных зависимостей нагрузочных характеристик рабочих органов от кинематических, технологических и геометрических параметров, в создании методики проектирования лопастных смесителей для получения макаронного теста; в разработке математической модели смесителя и алгоритма определения времени разгона механизма смесителей; в определении уточненных значений корректирующих дисбалансов, уравнивающих рабочие органы смесителя. Предложено предохранительное устройство, подтвержденное патентом и отмеченное бронзовой медалью на VII Сельской международной ярмарке изобретений SIIF 2012.

Данная диссертационная работа выполнялась в рамках «Государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации в 2012 г. и плановом периоде 2013 и 2014 годов» (шифр заявки 7.759.2011) и договора о творческом сотрудничестве № 07 от 14.07.04, заключенного между НГТУ и ОАО «Новосибирская макаронная фабрика». Разработанные в ходе проведения исследований теоретические и экспериментальные положения доведены до практических рекомендаций и автоматизированных процедур проектирования смесителей.

Реализация работы: результаты исследований переданы ОАО «Новосибирская макаронная фабрика» в виде рекомендаций по повышению производительности двухвального смесителя за счет сокращения времени вывода его на стационарный режим и повышения скоростных характеристик рабочих органов.

Спроектирована, изготовлена и внедрена в учебный процесс НГТУ (кафедра ПТМ, г. Новосибирск) экспериментальная установка, и разработано соответствующее методическое обеспечение, позволяющее проектировать лопастные смесители.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Результаты структурного и геометрического синтеза и кинематического анализа кинематических схем механизмов, позволившие обосновать выбор эксцентриково-рычажного механизма.

2. Функциональные зависимости, полученные на основании экспериментальных исследований, показывающие влияние кинематических, конструктивных и технологических параметров на нагрузочные характеристики рабочего органа.

3. Математическая модель механизма смесителя, позволяющая определять закономерности изменения времени разгона механизма в зависимости от изменения внешних механических воздействий на рабочий орган.

4. Методика проектирования лопастных смесителей, позволяющая определять уточненные значения суммарных нагрузок на рабочие органы смесителей, потребной мощности для осуществления перемешивания сыпучих смесей, времени разгона механизма, корректирующих дисбалансов, обеспечивающих уравнивание рабочих валов.

Достоверность научных результатов обеспечивается удовлетворительной сходимостью результатов экспериментальных и теоретических исследований, использованием методологических принципов, разработанных в трудах ведущих ученых в области теории механизмов и машин. Работа выполнена с использованием сертифицированных программных продуктов Компас 3D и *Table Curve 3D*, *Mathcad*, *LabVIEW Signal Express* с апробированными методиками расчетов.

Личный вклад автора заключается в проектировании экспериментальной установки, в постановке и проведении экспериментальных исследований, в обработке и анализе полученных результатов, в разработке математической модели и методики, в формулировке выводов.

Апробация работы. Основные результаты работы обсуждались на Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации» (НГТУ, 2004, 2006, 2007, 2008), XV международной научно-практической конференции молодых ученых «Современные техника и технологии» (ТПУ, 2009), 8-й и 9-й Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы повышения эффективности металлообработки на современном этапе» (НГТУ, 2010, 2011), XV международной научно-практической конференции «Современные технологии в машиностроении» и VI международной научно-практической конференции «Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы» (Общество «ЗНАНИЕ» России, Приволжский дом знаний, Пензенский государственный университет, Кубанский государственный технологический университет, Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина, 2011, 2012).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликованы 22 научные работы, в том числе 3 статьи в журналах из Перечня российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, 1 патент на изобретение, 6 работ в межвузовских сборниках научных трудов, 12 работ в виде трудов всероссийских и международных конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения и приложений, изложенных на 136 страницах основного текста, в том числе 68 рисунков, 13 таблиц и списка используемых источников из 129 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, поставлены цель и задачи исследования, перечислены основные проблемы в рамках поставленных задач.

В первом разделе «Анализ состояния вопроса» представлен обзор литературных источников, посвященных исследованию механизмов смесителей и методикам их проектирования (Шушпанников А. Б., Иванец Г. Е., Огородников П. И., и др.), в том числе в области макаронного производства (Чернов М. Е., Драгилев А. И., Хромеев В. М. и др.). Выявлено множество факторов, оказывающих влияние на технические, технологические и конструктивные характеристики смесителей для сыпучих материалов (Бобряков А. П., Ревуженко А. Ф., Косых В. П., и др.). По мнению большинства исследователей, смесительное оборудование совершенствуется на основе эмпирических данных, полученных для ограниченного числа традиционных типов смесителей, среди которых наиболее перспективными являются лопастные смесители. Кроме того, предлагаемые авторами методики не предусматривают определение нагрузок на рабочие органы в зависимости от частоты вращения рабочего вала, времени выхода на стационарный режим после простоя оборудования, а также отсутствуют исследования влияния точности изготовления деталей рабочего вала на его уравновешенность.

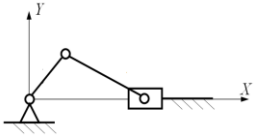
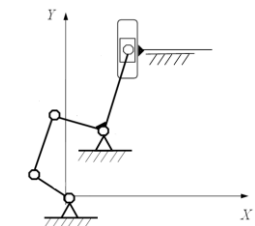
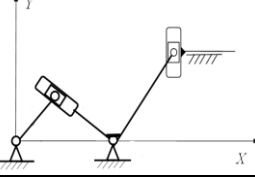
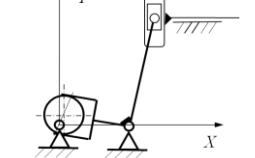
Во втором разделе «Разработка экспериментальной установки смесителя» приведено обоснование необходимости создания экспериментальной установки для проведения исследований. Оно заключается в том, что методики определения силовых и кинематических параметров смесителей для сыпучих материалов дают лишь приблизительные результаты из-за сложности процесса. А для повышения технико-эксплуатационных параметров, требуются более точные расчеты, необходимые данные для которых можно получить только экспериментальным путем. Для определения эмпирических зависимостей нагрузок на рабочий орган от углов разворота лопаток, объема смеси и частоты вращения рабочего вала была создана экспериментальная установка.

Проектирование смесителей, как и любой машины, на начальном этапе предусматривает структурный синтез и кинематический анализ механизмов, позволяющих осуществить требуемые движения конечного звена. Обобщение богатого опыта таких видных ученых, как Артоболовский И. И., Дворников Л. Т., Колчин Н. И., Левитский Н. И., Фролов К. В., Черкудинов С. А., и современных исследователей: Мудров А. Г., Гебель Е. С., Киямов И. М., Чусовитин Н. А. и др. в области синтеза и анализа механизмов показало, что для каждого конкретного случая необходимо либо создание нового механизма, либо использование уже известного с новыми параметрами синтеза.

Для привода рабочего органа установки был рассмотрен ряд механизмов, проведен структурный и геометрический синтез для четырех из них, позво-

ляющих получить требуемый вид движения при заданном перемещении рабочего органа и размерах рычага, обеспечивающих необходимую передаточную функцию. Получены максимальные значения габаритных параметров этих механизмов при крайних точках расположения конечного звена и максимальные значения кинематических параметров (таблица 1).

Таблица 1 – Геометрические параметры механизмов

№ п/п	Наименование механизмов	Кинематическая схема механизма*	Максимальные значения геометрических параметров, м		Число подвижных звеньев
			Габаритный размер по оси X	Габаритный размер по оси Y	
1.	Кривошипно-ползунный		0,11	0,03	3
2.	Четырехзвенный		0,148	0,244	3
3.	Кулисный		0,135	0,208	3
4.	Эксцентрово-рычажный		0,135	0,208	2

В результате кинематического анализа выбранных механизмов получены максимальные значения скоростей и ускорений выходного звена, позволившие оценить влияние сил инерции на нагрузочные характеристики рабочего органа смесителя. Силы инерции конечного звена всех четырех механизмов (см. таблицу 1) составляют менее 1 % от нагрузок на рабочие органы от внешних механических воздействий. В связи с конструктивными особенностями кривошипно-ползунного и четырехзвенного механизма не представляется возможным их использование в качестве привода возвратно-поступательного движения рабочего органа смесителя. Эксцентрово-рычажный механизм, несмотря на одинаковые габариты, имеет преимущество перед кулисным механизмом за счет меньшего количества звеньев и простоты изготовления его деталей, что позволило применить его в конструкции экспериментальной установки (рисунок 1)

* Звенья, изображенные тонкими линиями, относятся к рабочему органу смесителя.

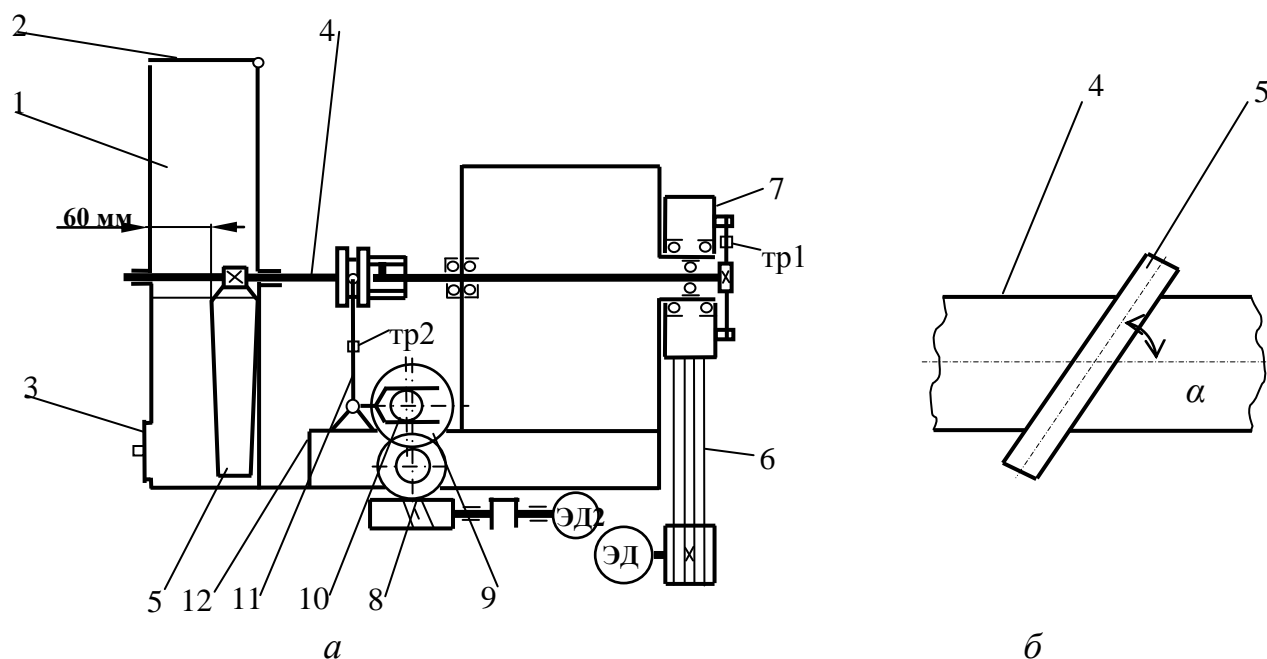


Рисунок 1 – Экспериментальная установка

а – кинематическая схема: 1 – рабочая камера; 2 – крышка загрузочного отверстия; 3 – разгрузочное отверстие; 4 – рабочий вал; 5 – месильная лопатка; 6 – ременная передача; 7 – деталь-датчик в приводе вращательного движения; 8 – червячная передача; 9 – зубчатая передача; 10 – эксцентриковый механизм; 11 – деталь-датчик в приводе возвратно-поступательного движения; 12 – станина; б – схема расположения месильной лопатки на рабочем валу

Она представляет собой смеситель, рабочий орган которого выполнен в виде вала 4 с одной месильной лопаткой 5. Конструкция установки позволяет изменять ее параметры в следующих пределах: угол установки лопатки α – от 70^0 до 90^0 (рисунок 1, б) относительно оси вращения вала; частоту вращения рабочего органа механизма смесителя – от 40 до 160 мин^{-1} ; частоту возвратно-поступательного движения – от 1 до 6 дв. ходов/мин; объем смеси, приходящейся на одну месильную лопатку, – от 0,004 до $0,006 \text{ м}^3$. Кроме того, в конструкции механизма смесителя предусматриваются индивидуальные приводы на вращательное и возвратно-поступательное движение рабочего органа (рисунок 1, а), что позволяет проводить исследования силовых характеристик при каждом из этих движений отдельно. В приводе вращательного движения установлена деталь-датчик (рисунок 1, а, поз. 7), которая выполнена в виде шкива, состоящего из ступицы, жестко закрепленной на рабочем валу, и внешнего обода, соединенных между собой упругими элементами, на которые были наклеены тензорезисторы (тр. 1). Второй деталью-датчиком является рычаг (рисунок 1, а, поз. 11), сообщающий валу возвратно-поступательное движение, с наклеенными на него тензорезисторами (тр. 2).

В третьем разделе «Исследования силовых характеристик и времени разгона механизма экспериментальной установки» представлены план проведения экспериментальных исследований, результаты обработки полученных данных и приведена математическая модель экспериментальной установки для определения времени разгона при изменении нагрузок от внешних механических воздействий.

Исследования проводились в два этапа: на первом этапе исследовались нагрузки на рабочий орган при вращательном движении; на втором этапе – при возврат-

но-поступательном движении. Экспериментальные данные были получены с помощью программного продукта *LabVIEW Signal Express* в виде графических изображений и обработаны в программе *Table Curve*. Обработка результатов экспериментальных данных проводилась по максимальным значениям нагрузок. В результате построены графические зависимости, по которым методом аппроксимации были получены аналитические зависимости нагрузок от угла установки лопатки, частоты вращения рабочего органа и объема смеси (крошкообразной тестовой массы), приходящейся на лопатку (типовые графики приведены на рисунке 2, 3). Графические зависимости, представленные на рисунке 2, получены при исследовании вращательного движения, на рисунке 3 – возвратно-поступательного.

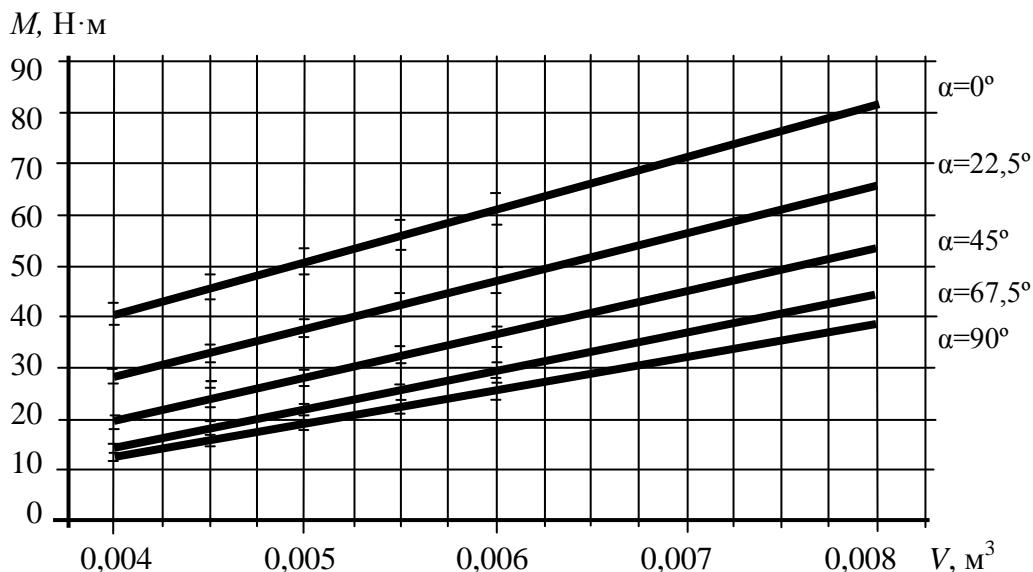


Рисунок 2 – Зависимость нагрузки на рабочий вал от объема крошкообразной тестовой массы и угла установки лопатки при вращательном движении (частота вращения рабочего вала 120 мин^{-1})

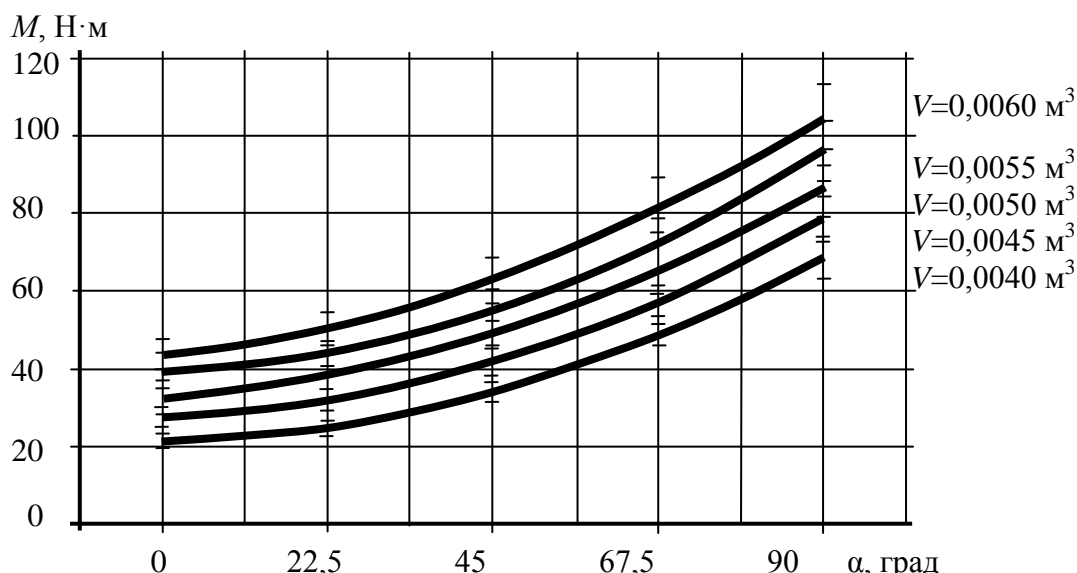


Рисунок 3 – Зависимость нагрузки на рабочий вал от угла установки месильной лопатки и объема крошкообразной тестовой массы, приходящегося на одну лопатку при возвратно-поступательном движении

Также получены зависимости нагрузок от угла установки лопатки и объема смеси для частот вращения рабочего органа от 40 до 160 мин⁻¹ с интервалом 40 мин⁻¹ в виде трехмерных графиков и описывающих их уравнений (типичные графики приведены на рисунок 4, 5), которые позволяют определять нагрузочные характеристики с доверительным интервалом от 2 до 8 %.

$$M = 73.37 - 0.24 \cdot \alpha - \frac{164.75}{V}$$

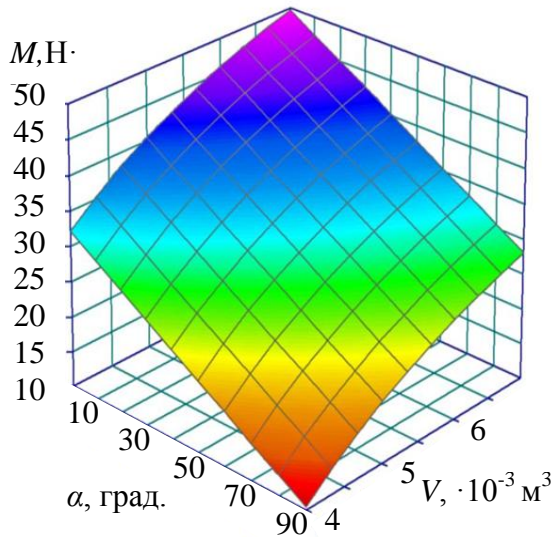


Рисунок 4 – Зависимость нагрузки на рабочий вал от угла установки лопатки и объема смеси, приходящейся на одну лопатку при частоте вращения рабочего вала 120 мин⁻¹

$$M = -105.15 + 62.55 \cdot \alpha^{0.5} + 0.01 \cdot V^2$$

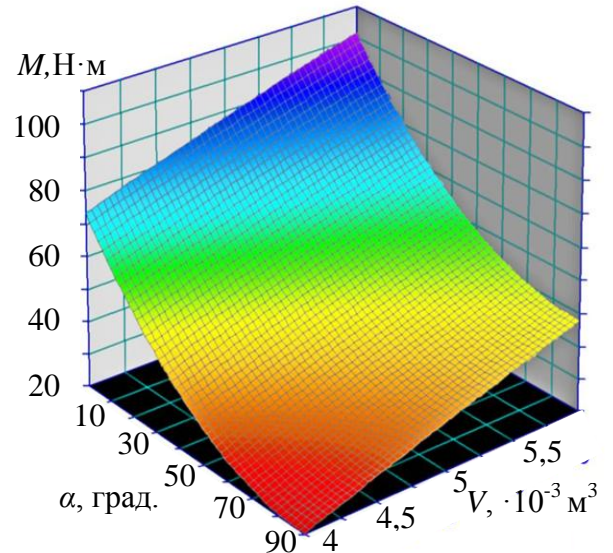


Рисунок 5 – Зависимость нагрузки на рабочий вал от угла установки лопатки и объема смеси, приходящейся на одну лопатку при возвратно-поступательном движении рабочего вала

Для определения времени разгона экспериментальной установки после простоя была предложена ее математическая модель, которую можно представить в виде двух уравнений: для привода вращательного движения:

$$M_{изб} = M_{дв.} - \left(c_1 - c_2 \cdot \alpha - \frac{c_3}{V} \right) = \left[I_{рот.} + I_{вц.шк.} + I_{вм.шк.} \left(\frac{\omega_1}{\omega} \right)^2 + I_{р.в.} \left(\frac{\omega_1}{\omega} \right)^2 \right] \frac{d\omega}{dt} \quad (1)$$

где c_1, c_2, c_3 – коэффициенты, полученные экспериментальным путем, Н·м, Н·м/град, Н·м⁴ соответственно (рисунок 4); α – угол установки месильной лопатки, град; V – объем смеси, приходящейся на одну месильную лопатку, м³; $I_{рот.}, I_{вц.шк.}, I_{вм.шк.}, I_{р.в.}$ – моменты инерции масс ротора, ведущего шкива, ведомого шкива, рабочего вала кг·м²; ω_1 – модуль угловой скорости рабочего вала, с⁻¹; ω – модуль угловой скорости звена привода с⁻¹, t – время, с;

для привода возвратно-поступательного движения:

$$M_{изб} = M_{дв.} - (k_1 + k_2 \cdot \alpha^{0.5} + k_3 \cdot V^2) = [I_{рот.} + I_{чрв.} + I_{чрв.к} \left(\frac{\omega_1}{\omega}\right)^2 + I_{шест.} \left(\frac{\omega_1}{\omega}\right)^2 + I_{збч.к.} \left(\frac{\omega_2}{\omega}\right)^2 + I_{эксц.} \left(\frac{\omega_2}{\omega}\right)^2 + I_{рч.} \left(\frac{\omega_3}{\omega}\right)^2 + m_{р.в.} \left(\frac{v_{р.в.}}{\omega}\right)^2] \frac{d\omega}{dt} \quad (2)$$

где k_1, k_2, k_3 – коэффициенты, полученные экспериментальным путем, Н·м, Н·м/град, Н/м соответственно (рисунок 5); α – угол установки месильной лопатки, град; V – объем смеси, приходящейся на одну месильную лопатку, м³; $I_{рот.}, I_{чрв.}, I_{чрв.к.}, I_{шест.}, I_{збч.к.}, I_{эксц.}, I_{рч.}$ – моменты инерции масс ротора, червяка, червячного колеса, шестерни, зубчатого колеса, эксцентрика, рычага, кг·м²; ω_1 – модуль угловой скорости вала, на котором установлены червячное колесо и шестерня, с⁻¹; ω_2 – модуль угловой скорости вала, на котором установлены зубчатое колесо и эксцентрик, с⁻¹; ω_3 – модуль угловой скорости рычага, с⁻¹; ω – модуль угловой скорости звена привода с⁻¹; $m_{р.в.}$ – масса рабочего органа, кг; $v_{р.в.}$ – модуль линейной скорости центра масс рабочего вала, м/с.

Адекватность расчетных значений времени разгона механизма экспериментальной установки, полученных в результате применения предложенной математической модели, подтверждена экспериментальными данными (рисунок 6).

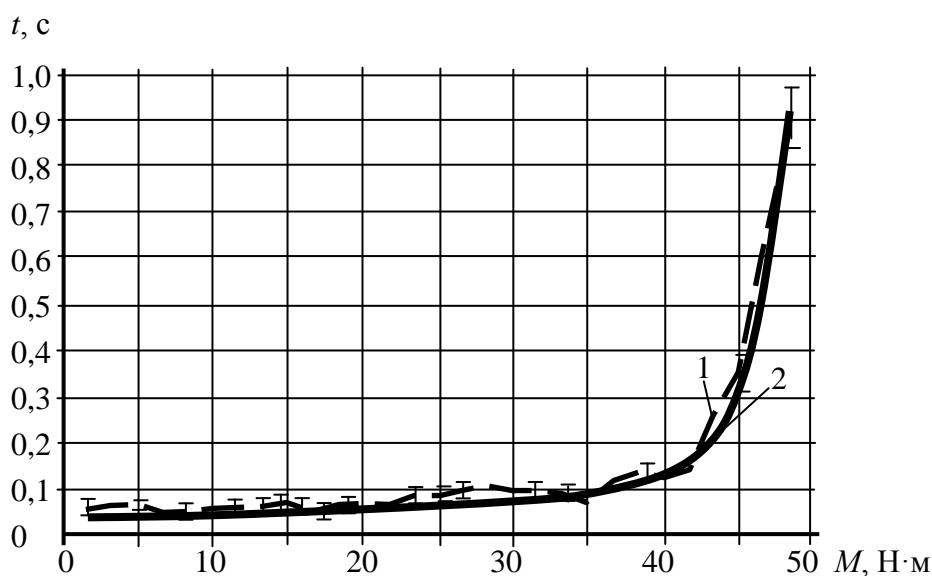


Рисунок 6 – Изменение времени разгона механизма экспериментальной установки в зависимости от изменения нагрузки: 1 – результаты измерения времени разгона; 2 – расчетное время разгона

Аналогичная математическая модель была получена для двухвального смесителя непрерывного действия, на каждом рабочем валу которого установлено по 30 месильных и по 2 скребковых лопатки (рисунок 7).

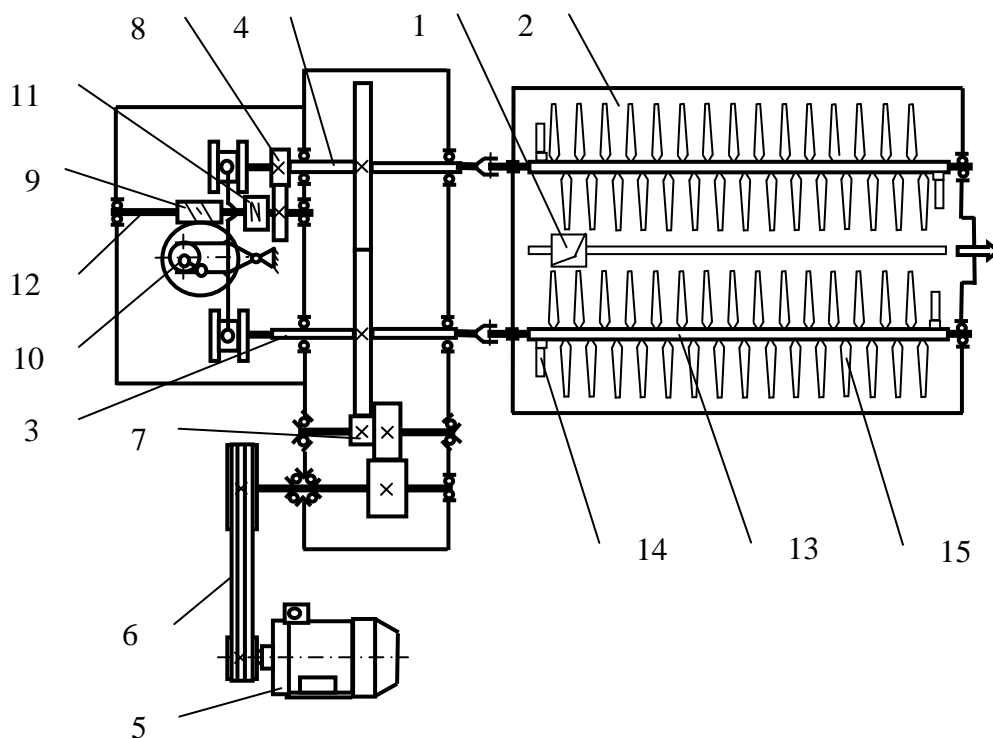


Рисунок 7 – Кинематическая схема двухвального смесителя: 1 – загрузочный патрубок; 2 – рабочая камера; 3, 4 – приводные валы; 5 – электродвигатель; 6 – ременная передача; 7 – двухступенчатая зубчатая передача; 8 – одноступенчатая зубчатая передача; 9 – червячная передача; 10 – механизм возвратно-поступательного движения; 11 – предохранительная муфта; 12 – вал, 13 – рабочий вал (2 шт.), 14 – скребковые лопатки (4 шт.), 15 – месильные лопатки (60 шт.)

В четвертом разделе «Методика проектирования лопастных смесителей» представлена методика проектирования смесителей для получения макаронного теста, включающая в себя определение нагрузок на рабочий орган от внешних механических воздействий, приведенных к ведущему валу; расчет времени разгона механизма в зависимости от изменения нагрузок за время простоев; уравнивание рабочего вала с учетом точности изготовления его элементов; результаты апробирования методики в условиях производства и внедрения в учебный процесс.

В части определения нагрузок методика включает в себя три блока (рисунок 8): 1 – задаваемые параметры; 2 – параметры, определяемые по известным методикам (Чернов М. Е., Драгилев А. И., Антипов С. Т.); 3 – параметры, определяемые по экспериментальным данным и уточняющие методику (предложение автора). Значения нагрузки от внешних механических воздействий на каждую лопатку получали с использованием аналитических зависимостей, описывающих графики на рисунках 2–5. Суммарная нагрузка на каждый ряд лопаток рассчитывалась, как сумма усилий, приходящихся на каждую лопатку в зависимости от их расположения на рабочем валу. Максимальная нагрузка на рабочих валах определялась в зависимости от угла поворота вала.

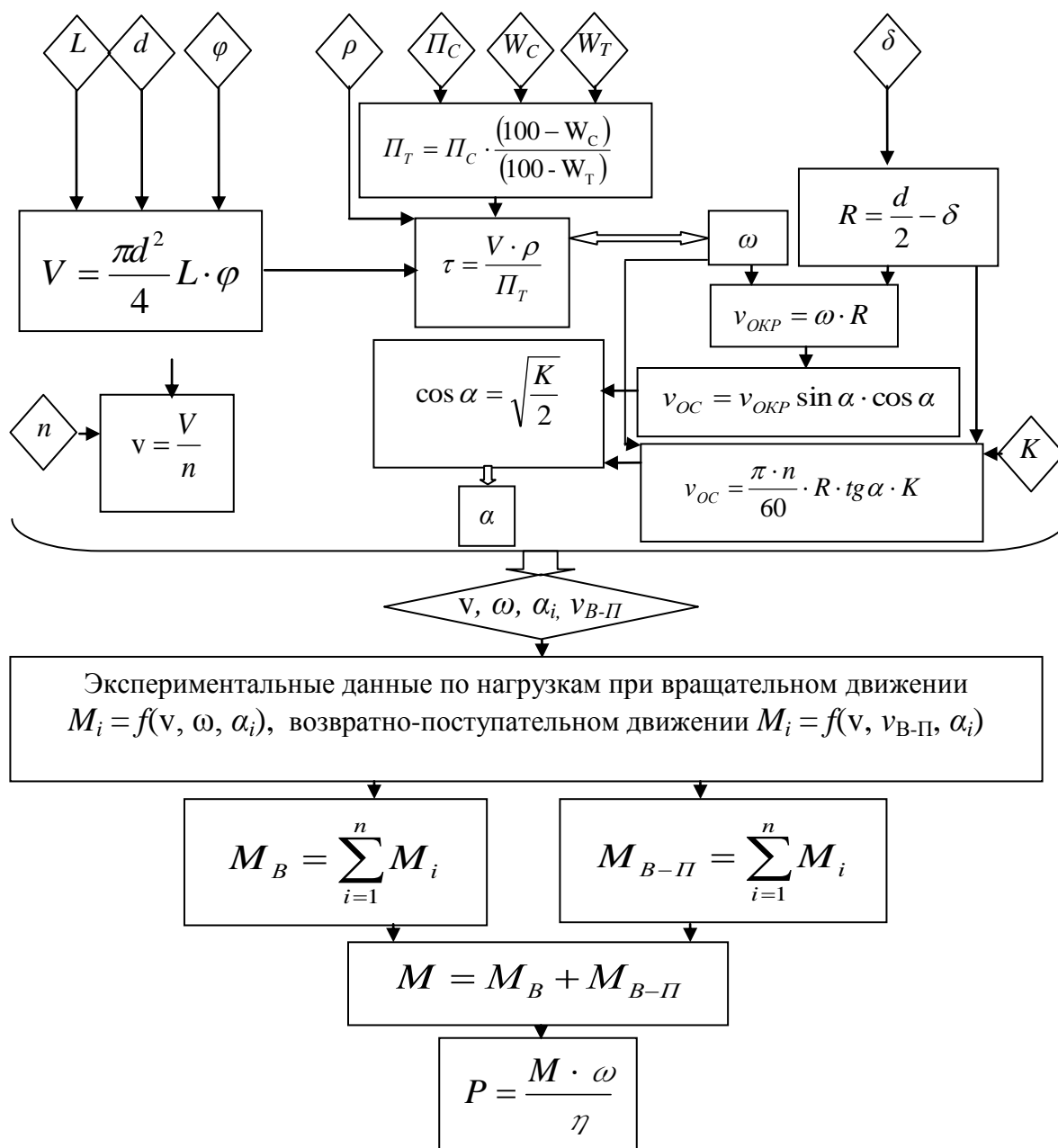


Рисунок 8 – Структурная схема методики проектирования механизмов смесителей.
 ρ – плотность макаронного теста, кг/м^3 ; W_C – влажность сухих изделий, %; W_T – влажность макаронного теста, %; L, d – длина и диаметр рабочей камеры, м; φ – коэффициент заполнения рабочей камеры, δ – величина зазора между стенкой рабочей камеры и концом месильной лопатки; n – количество месильных лопаток; V – объем смеси, одновременно находящейся в рабочей камере, м^3 ; v – объем смеси, приходящейся на одну лопатку, м^3 ; τ – время перемешивания смеси, мин; ω – угловая скорость рабочего вала, с^{-1} ; R – расстояние от оси вращения рабочего вала до самой удаленной точки лопатки, м; v_{OKP}, v_{OC} – окружная и осевая скорости перемещения смеси, м/с; K – коэффициент объемной подачи смеси; n – частота вращения рабочего вала, мин^{-1} ; α_i – угол установки i -той лопатки, град; $v_{B-П}$ – частота возвратно-поступательного движения рабочего вала, дв. ход./с; M_i – нагрузка на i -тую лопатку, Н·м; M_B – суммарная нагрузка на рабочие валы при их вращательном движении, Н·м; $M_{B-П}$ – суммарная нагрузка на рабочие валы при их возвратно-поступательном движении, Н·м; M – общая нагрузка на рабочие валы, Н·м; P – необходимая мощность для осуществления процесса перемешивания, Вт; η – КПД передаточного механизма смесителя (определяется по известной методике)

Общая нагрузка от внешних механических воздействий, приводилась к ведущему валу с учетом передаточного отношения и КПД передаточного механизма.

Мощность, необходимая для приведения в движение рабочих органов смесителя, рассчитывалась в соответствии с полученными значениями приведенных моментов и угловой скорости ведущего вала.

В этой же главе приведены графические зависимости (рисунок 9) для определения значений производительности смесителя, потребной мощности, приведенного момента сопротивлений и времени прохождения смеси через рабочую камеру при частотах вращения от 70 до 120 мин⁻¹.

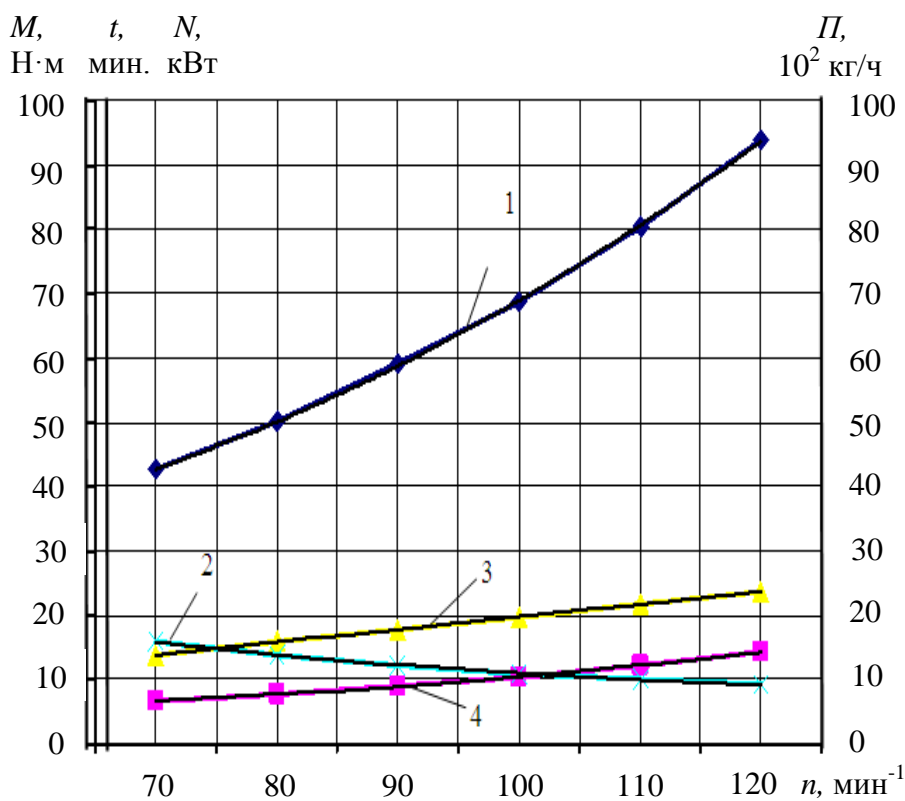


Рисунок 9 – Взаимосвязь технико-эксплуатационных параметров: 1 – нагрузка, приведенная к валу электродвигателя, Н·м; 2 – время технологического процесса, мин; 3 – производительность, 10² кг/ч; 4 – мощность, необходимая для осуществления технологического процесса при заданных параметрах, кВт

Для определения времени разгона механизма смесителя предлагается использовать алгоритм расчета времени разгона экспериментальной установки, учитывающий момент движущих сил, момент сопротивлений, соответствующий нагрузке от внешних механических воздействий, приведенной к ведущему валу, и момент инерции приведенных масс механизма смесителя. Для снижения пусковых моментов при повторном запуске двухвального смесителя

после простоя предложено специальное устройство в виде предохранительной муфты (рисунок 7, поз. 11). Применение этого устройства позволяет сократить время простоев агрегата и время выхода его на стационарный режим при повторном запуске, что способствует повышению эффективности работы смесителя.

Для уравнивания рабочего вала была предложена расчетная модель (рисунок 10, а). С помощью системы трехмерного твердотельного моделирования Компас 3D были получены значения масс элементов ротора (месильных лопаток) m_i и расстояния e_i до центров масс S_i при номинальных размерах.

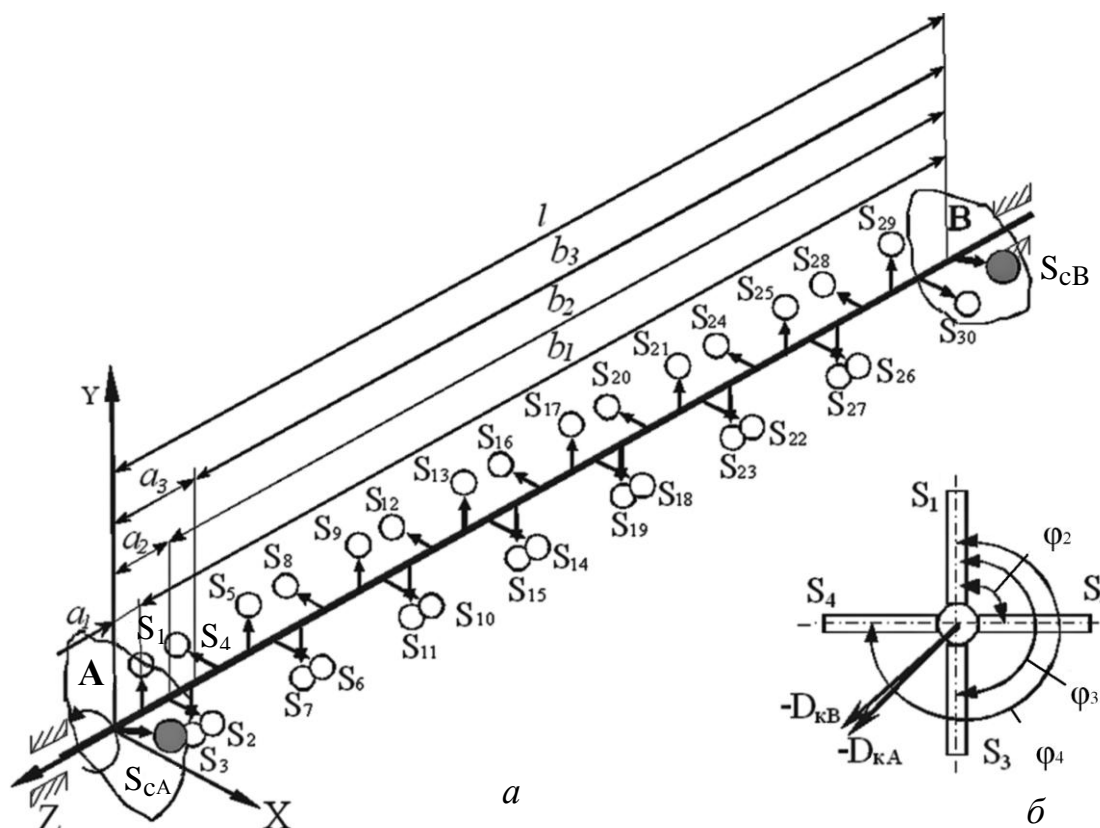


Рисунок 10 – Расчетная модель рабочего вала (ротора) двухвального смесителя непрерывного действия автоматической линии: а) пространственная система дисбалансов; б) схема расположения векторов корректирующих дисбалансов.

Зная расстояния от одной из плоскостей приведения A до осей лопаток a_i (рисунок 10, а) и углы между осью OY и радиус-векторами φ_i (рисунок 10, б), были получены значения дисбалансов неуравновешенных масс по формуле:

$$\bar{D}_i = \bar{e}_i \cdot m_i, \quad (3)$$

где \bar{e}_i – радиус-вектор центров масс элементов рабочего вала (ротора).

Для уравнивания ротора были назначены две плоскости приведения A и B , перпендикулярные оси вращения Z (рисунок 10), в которых находятся центры масс скребковых лопаток (S_{cA} , S_{cB}). Расстояние между плоскостями l . Дисбалансы $\bar{D}_1, \bar{D}_2, \dots, \bar{D}_i$ всех неуравновешенных масс были приведены к плоскостям A и B , т.е. каждый вектор дисбаланса был заменен двумя, параллельными этому вектору и расположенными в плоскостях приведения A и B .

Векторы дисбалансов, приведенных к плоскостям A и B , определялись в соответствии с выражениями:

$$\bar{D}_{iA} = \frac{\bar{D}_i \cdot b_i}{l}, \quad \bar{D}_{iB} = \frac{\bar{D}_i \cdot a_i}{l}, \quad (4)$$

где b_i – расстояние от i -го элемента рабочего вала до плоскости приведения B ; a_i – расстояние от i -го элемента рабочего вала до плоскости приведения A .

В соответствии с расчетной моделью рабочего вала смесителя были получены результаты величин дисбалансов при номинальных размерах элементов вала.

Кроме того, с помощью трехмерного твердотельного моделирования были построены объемные модели рабочего вала смесителя непрерывного действия с

месильными лопатками, выполненными с различной точностью в соответствии с квалитетами с IT6 по IT18, а затем получены минимальные и максимальные значения дисбалансов с учетом точности изготовления рабочих поверхностей месильных лопаток.

В результате приведения пространственная система дисбалансов $\bar{D}_1, \bar{D}_2, \dots, \bar{D}_i$ (рисунок 10) была заменена двумя плоскими системами (рисунок 11).

Сложив дисбалансы, расположенные в каждой из плоскостей, получили:

$$\bar{D}_A = \sum \bar{D}_{iA}; \bar{D}_B = \sum \bar{D}_{iB}, \quad (5)$$

Таким образом, неуравновешенность заданного ротора можно представить двумя скрещивающимися векторами дисбалансов \bar{D}_A и \bar{D}_B , расположенными в плоскостях приведения А (верхний многоугольник на рисунок 11) и В (нижний многоугольник на рисунок 11). В этом случае они будут одновременно и плоскостями коррекции.

В качестве условия полной балансировки можно записать:

$$\bar{D}_{\kappa A} = -\bar{D}_A, \bar{D}_{\kappa B} = -\bar{D}_B, \quad (6)$$

Методом математического моделирования уравнивания рабочего вала при различной точности изготовления его элементов были получены численные значения и угловые координаты корректирующих векторов $D'_{\kappa A}$ и $D'_{\kappa B}$, причем с увеличением квалитета, увеличивались их отклонения от $D_{\kappa A}$ и $D_{\kappa B}$, полученных при номинальных размерах (рисунок 12).

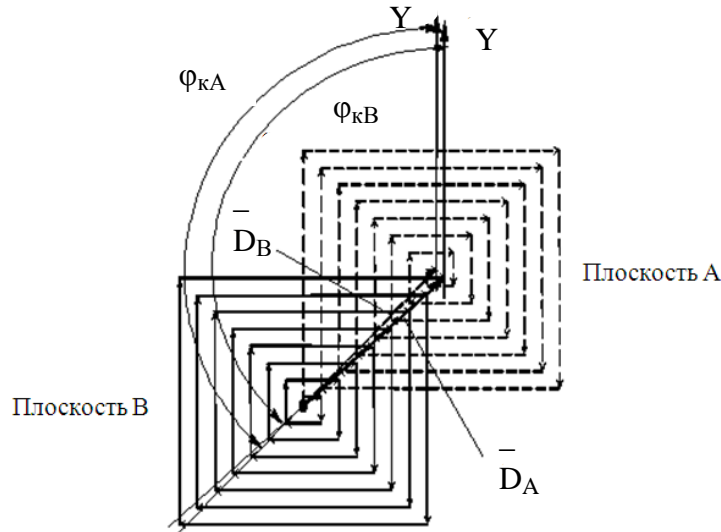


Рисунок 11 – План дисбалансов (при номинальных размерах элементов рабочего вала)

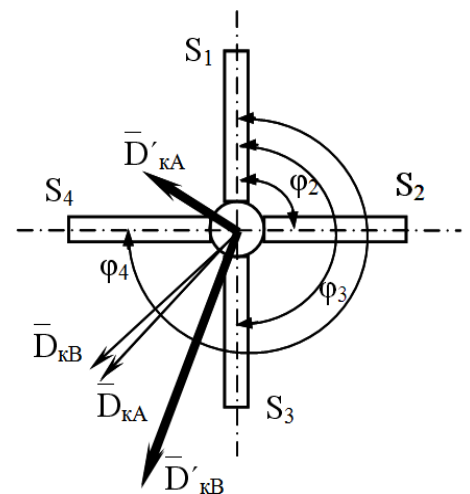


Рисунок 12 – Корректирующие векторы дисбалансов при низкой точности изготовления элементов месильного вала

По результатам анализа данных были получены наибольшие и наименьшие отклонения значений корректирующих дисбалансов от номинальных в процентном соотношении (рисунок 13), и разработаны рекомендации по точности изготовления месильных лопаток в соответствии с ГОСТ 22061-76.

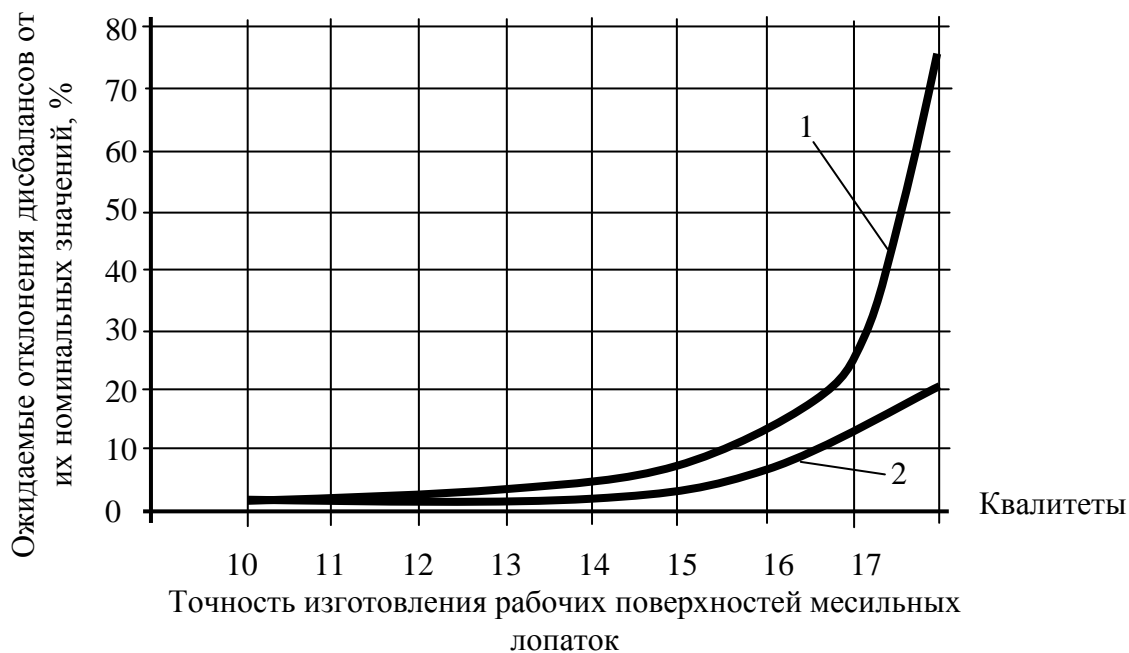


Рисунок 13 – Зависимость отклонений величин корректирующих дисбалансов от точности изготовления рабочих поверхностей месильных лопаток: 1 – максимальное отклонение от номинальных значений, %; 2 – минимальное отклонение от номинальных значений, %

Результаты исследований были переданы руководству ОАО «Новосибирская макаронная фабрика», что подтверждено актами приема-передачи работ. Внедрение данных рекомендаций в производственный процесс позволит повысить производительность смесителя на 20%. Экспериментальная установка и разработанная методика внедрены в учебный процесс по подготовке специалистов по специальности 260601 «Машины и аппараты пищевых производств» и бакалавров по направлению 151000 «Технологические машины и оборудование» (профиль подготовки «Машины и аппараты пищевых производств»).

Заключение:

1. На основании структурного и геометрического синтеза и кинематического анализа создана экспериментальная установка, позволяющая получать значения нагрузок на месильную лопатку рабочего органа смесителя от внешних механических воздействий при минимальном влиянии сил инерции конечного звена механизма привода возвратно-поступательного движения.

2. Экспериментально получены функциональные зависимости нагрузки на месильную лопатку от частоты вращения рабочего органа, угла установки лопатки и объема смеси в диапазоне изменения частоты вращения рабочего органа от 40 до 160 мин⁻¹, угла установки лопатки от 0° до 90°, объема смеси от 4·10⁻³ до 6·10⁻³ м³, позволяющие рассчитывать нагрузки на рабочих органах лопастных смесителей для макаронного теста.

3. Разработана математическая модель механизма двухвального смесителя, позволяющая определять время его разгона, а также предельные нагрузки на его рабочие органы, при которых возможен выход на рабочий режим.

4. На основе установленных функциональных зависимостей нагрузок на месильную лопатку рабочего органа смесителя от угла ее установки, объема сме-

си и частоты вращения рабочего органа, разработана методика проектирования лопастных смесителей, позволяющая определять уточненные значения: суммарных нагрузок на рабочие органы смесителя; нагрузки, приведенной к ведущему валу смесителя; мощности, необходимой для осуществления технологического процесса; времени разгона механизма смесителя в зависимости от внешних механических воздействий на его рабочие органы; корректирующих дисбалансов, обеспечивающих уравнивание рабочих органов.

5. Установлено, что предложенная методика позволяет на основе уточненных значений нагрузок на месильные лопатки от внешних механических воздействий модернизировать существующие смесители с возможностью увеличения их производительности до 60% за счет повышения частоты вращения рабочих органов.

6. Предложена защищенная патентом конструкция устройства, отключающего привод возвратно-поступательного движения двухвального смесителя при возрастании пусковых моментов, позволяющая сократить время выхода его на стационарный режим после простоев.

7. Разработанные технологические рекомендации переданы ОАО «Новосибирская макаронная фабрика», внедрение которых в производство в условиях существующей технологической линии позволит повысить производительность смесителя на 20%. Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе при чтении лекционных курсов, проведении лабораторного практикума, выполнении дипломных и курсовых работ при подготовке специалистов по специальности «Машины и аппараты пищевых производств» и бакалавров по направлению «Технологические машины и оборудование».

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Афанасьев, Ю. А. Исследование неустановившегося движения двойной мешалки автоматической линии BRAIBANTI [Текст] / Ю. А. Афанасьев, Ю. И. Подгорный, Т. Г. Мартынова // Научный вестник НГТУ. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2007. – № 1 (26). – С. 141–151.

2. Подгорный, Ю. И. Влияние точности изготовления месильных лопаток на уравнивание рабочего вала смесителя непрерывного действия [Текст] / Ю. И. Подгорный, Т. Г. Мартынова // Научный вестник НГТУ. – 2010. – № 3 (40). – С. 119–126.

3. Мартынова, Т. Г. Экспериментальные исследования нагрузочных характеристик смесителя [Текст] / Т. Г. Мартынова, Ю. И. Подгорный, С. В. Птицын // Научный вестник НГТУ. – 2011. – № 2 (43). – С. 183–188.

4. Пат. 2455826 Российская Федерация, МПК А 21 С 1/06. Тестомесильная машина непрерывного действия [Текст] / Ю. И. Подгорный, Т. Г. Мартынова, Е.В. Войнова; Заявитель и патентообладатель Новосиб. гос. техн. ун-т. – № 2011105541/12; заявл. 14.02.2011; опубл. 20.07.2012, Бюл. № 20. – 4 с.: ил.

5. Подгорный, Ю. И. Исследование состояния автоматической линии по выборке макаронных изделий BRAIBANTI на ОАО «Новосибирская макаронная фабрика» [Текст] / Ю. И. Подгорный, С. В. Птицын, Т. Г. Мартынова // Сборник научных трудов НГТУ. – 2004. – № 1 (35). – С. 15–18.

6. Мартынова, Т. Г. Исследование режимов сушки длинных макарон на автоматической линии BRAIBANTI [Текст] / Т. Г. Мартынова, Ю. И. Подгорный // Сборник научных трудов НГТУ. – 2005. – № 4 (42). – С. 45–50.
7. Афанасьев, Ю. А. Кинематическая схема автоматической линии BRAIBANTI [Текст] / Ю. А. Афанасьев, Ю. И. Подгорный, Т. Г. Мартынова // Сборник научных трудов НГТУ. – 2006. – № 2 (44). – С. 3–8.
8. Мартынова, Т. Г. Влияние градиента влажности на интенсивность высушивания длинных макарон в высокотемпературной сушилке автоматической линии BRAIBANTI [Текст] / Т. Г. Мартынова, Ю. И. Подгорный // Сборник научных трудов НГТУ. – 2006. – № 2 (44). – С. 21–27.
9. Мартынова, Т. Г. Исследование уравновешенности рабочего вала мешалки непрерывного действия [Текст] / Т. Г. Мартынова, Ю. И. Подгорный // Сборник научных трудов НГТУ. – 2008. – № 2 (52). – С. 41–46.
10. Мартынова, Т. Г. Исследование удельного сопротивления перемешиванию макаронного теста [Текст] / Т. Г. Мартынова, С. В. Птицын, А. В. Горбунов // Сборник научных трудов НГТУ. – 2008. – № 3 (53). – С. 113–116.
11. Мартынова, Т. Г. Уравновешивание рабочего вала смесителя непрерывного действия [Текст] / Т. Г. Мартынова, Ю. И. Подгорный // Новые материалы. Создание, структура, свойства – 2009 : всерос. конф. с элементами науч. шк. для молодежи : труды, Томск, 8–11 сент. 2009 г. – Томск : Изд-во ТПУ, 2009. – С. 294–297.
12. Подгорный, Ю. И. Исследование автоматической линии BRAIBANTI [Текст] / Ю. И. Подгорный, С. В. Птицын, Т. Г. Мартынова // Наука. Технологии. Инновации : материалы Всерос. науч. конф. молодых ученых, Новосибирск, 2–5 дек. 2004 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2004. – Ч. 3. – С. 40–41.
13. Мартынова, Т. Г. Исследование неустановившегося движения двойной мешалки автоматической линии BRAIBANTI [Текст] / Т. Г. Мартынова ; науч. рук. Ю. И. Подгорный // Наука. Технологии. Инновации : материалы всерос. науч. конф. молодых ученых, Новосибирск, 7–10 дек. 2006 г. : в 7 ч. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2006. – Ч. 3. – С. 22–24.
14. Горбунов, А. В. Исследование зависимости удельного сопротивления перемешиванию макаронного теста от времени простоя мешалки [Текст] / А. В. Горбунов, С. В. Птицын, Т. Г. Мартынова; науч. рук. Ю. И. Подгорный // Наука. Технологии. Инновации: материалы Всерос. науч. конф. молодых ученых, Новосибирск, 6–9 дек. 2007 г. : в 7 ч. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2007. – Ч. 2. – С. 73–75.
15. Горбунов, А. В. Анализ движения рабочих органов смесителя непрерывного действия [Текст] / А. В. Горбунов ; науч. рук. : С. В. Птицын, Т. Г. Мартынова // Наука. Технологии. Инновации : материалы всерос. науч. конф. молодых ученых, 4–7 дек. 2008 г. : в 7 ч. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2008. – Ч. 2. – С. 9–11.
16. Подгорный, Ю. И. Уравновешивание рабочего вала смесителя непрерывного действия [Текст] / Ю. И. Подгорный, Т. Г. Мартынова, Е. В. Войнова // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на

современном этапе : материалы 8 Всерос. науч.-практ. конф., 24 марта 2010 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. – С. 127–129.

17. Мартынова, Т. Г. Влияние скорости осевого перемещения рабочих валов на частоту свободных колебаний механизма двухвальной машины [Текст] / Т. Г. Мартынова, А. С. Романов, С. А. Тимофеев // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе : материалы 9 Всерос. науч.-практ. конф., 16 марта 2011 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ. – 2011. – С. 103–108.

18. Исследование процесса перемешивания сыпучих сред [Текст] / С. В. Птицын, Т. Г. Мартынова, Н. О. Петрушина, Т. И. Трофимова, Д. Е. Пудовкин // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе : материалы 9 Всерос. науч.-практ. конф. 16 марта 2011 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ. – 2011. – С. 115–117.

19. Мартынова, Т. Г. Обоснование выбора материала для изготовления мессильной лопатки [Текст] / Т. Г. Мартынова, Д. А. Акиншин, Ю. В. Хлунова // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе : материалы 9 Всерос. науч.-практ. конф. 16 марта 2011 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ. – 2011. – С. 109–111.

20. Обоснование параметров и режимов работы смесителя периодического действия [Текст] / Ю. И. Подгорный, Т. Г. Мартынова, Д. А. Дыров, Т. В. Родькина // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе : материалы 9 Всерос. науч.-практ. конф. 16 марта 2011 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ. – 2011. – С. 112–114.

21. Мартынова Т. Г. Экспериментальные исследования силовых характеристик рабочего органа лопастного смесителя / Т. Г. Мартынова, Ю.И. Подгорный, С.В. Птицын, В.Ю. Скиба // Современные технологии в машиностроении: сборник статей XV междунар. научно-практической конф. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2011. – С. 170–172.

22. Обоснование выбора передаточного механизма экспериментальной установки смесителя для макаронного теста / Т. Г. Мартынова, Д. А. Акиншин, Ю. И. Подгорный, К. А. Фомина, Ю. В. Хлунова // Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы: сборник статей VI междунар. научно-практической конф. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2012. – С. 61–63.

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
тел./факс (383) 346-08-57

Формат 60×84/16 объем 1.25 п.л., тираж 100 экз.

Заказ № _____ подписано в печать _____.20__ г.