

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенская государственная сельскохозяйственная академия»

**ОПТИМИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА
АГРЕГАЦИИ МИКРОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ
С ВСТРЕЧНОВРАЩАЮЩИМИСЯ
ЛЕНТАМИ МЁБИУСА**

Пенза 2014

УДК 631.242.34+637.23

ББК 36.95:40.7

О-62

Рецензенты: доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Тракторы, автомобили и теплоэнергетика» ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА» А.П. Уханов;
доктор технических наук, профессор кафедры «Механизация технологических процессов АПК» ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА» А.В. Мачнев

Оптимизация устройства агрегации микрометрических тел с встречновращающимися лентами Мёбиуса: моногр. / А.В. Яшин, В.С. Парфенов, В.Н. Стригин, И.Н. Сёмов. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 164 с.

ISBN 978-5-9282-1099-1

Приводятся основные сведения о проблеме, связанной с агрегацией микрометрических тел. Описаны методики, оборудование и приборное обеспечение для определения физико-механических свойств жидкостей, в которые входят микрометрические тела, на примере сливок, проведение поисковых опытов, полнофакторного эксперимента, а также исследований в производственных условиях.

Осуществлено теоретическое и экспериментальное обоснование конструктивных и кинематических параметров устройства агрегации периодического действия с механизмом сбивания в виде двух встречновращающихся лент Мёбиуса. Установлены аналитические выражения по определению мощности привода устройства и экспериментальные зависимости по оценке степени агрегации, процента агрегатов, энергоёмкости образования агрегатов в зависимости от конструктивно-кинематических параметров. Разработана методика гидравлического моделирования, позволяющая проектировать агрегаторы с требуемой производительностью.

Монография подготовлена на кафедре «Механизация и автоматизация производства» и предназначена для научных и инженерно-технических работников, специалистов машиностроения, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

ISBN 978-5-9282-1099-1

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2014

© Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2014

© Яшин А.В., Парфенов В.С.,
Стригин В.Н., Сёмов И.Н., 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ. СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СЛИВОЧНОГО МАСЛА	7
1.1. Ассортимент сливочного масла	7
1.2. Существующие технологии производства сливочного масла	11
1.3. Классификация и анализ существующих конструкций для получения сливочного масла	14
1.3.1. Маслообразователи	14
1.3.2. Маслоизготовители	17
1.4. Состояние исследований производства сливочного масла	28
Выводы по 1 разделу	33
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАСЛОИЗГОТОВИТЕЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ	34
2.1. Теоретический анализ работы маслоизготовителя	34
2.2. Анализ вида (режима) движения сливок и влияния, оказываемого изменением конструктивно-кинематических параметров	36
2.3. Силы взаимодействия между потоком сливок и механизмом сбивания маслоизготовителя. Мощность на валу маслоизготовителя	41
Выводы по 2 разделу	52
3. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАСЛОИЗГОТОВИТЕЛЯ	53
3.1. Программа и методика экспериментальных исследований	53
3.1.1. Методика определения физико-механических свойств сливочного масла	55
3.1.2. Методика проведения поискового опыта	62
3.1.3. Методика проведения отсеивающего эксперимента	64
3.1.4. Методика проведения трехфакторного эксперимента	69
3.1.5. Методика исследований в производственных условиях	70
3.2. Результаты экспериментальных исследований	71
3.2.1. Результаты определения физико-механических свойств сливочного масла	71
3.2.2. Результаты исследований поискового опыта	71
3.2.3. Результаты отсеивающего эксперимента	73
3.2.3.1. Результаты отсеивающего эксперимента по исследованию влияния конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя на степень использования жира	74

3.2.3.2. Результаты отсеивающего эксперимента по исследованию влияния конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя на процент выхода масла ...	76
3.2.3.3. Результаты отсеивающего эксперимента по исследованию влияния конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя на энергоемкость сбивания масла	78
3.2.4. Результаты трехфакторного эксперимента	83
3.2.4.1. Результаты трехфакторного эксперимента по исследованию влияния конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя на степень использования жира	84
3.2.4.2. Результаты трехфакторного эксперимента по исследованию влияния конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя на процент выхода масла.....	87
3.2.4.3. Результаты трехфакторного эксперимента по исследованию влияния конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя на энергоемкость сбивания масла	90
3.2.5. Результаты исследований в производственных условиях	93
Выводы по 3 разделу.....	96
4. МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДЛАГАЕМОГО МАСЛОИЗГОТОВИТЕЛЯ	98
4.1. Методика инженерного расчета маслоизготовителя периодического действия.....	98
4.2. Экономическая оценка эффективности применения предлагаемого маслоизготовителя.....	104
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	106
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	107
ПРИЛОЖЕНИЯ	115

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время перед машиностроением стоит проблема создания эффективных устройств для агрегации частиц в составе различных жидкостей.

Результаты анализа существующих их конструкций с учетом основных положений теории агрегации позволяют считать одним из основных направлений совершенствования такого оборудования – применение устройств с неподвижной емкостью и активным рабочим органом. Исследование работы устройств периодического действия (на примере сливок) показывает, что процесс характеризуется повышенной энергоемкостью, вследствие продолжительности процесса образования масляного зерна (30...120 минут). Применение быстродействующих устройств, ускоряет процесс образования масляного зерна, однако это приводит к повышению затрат энергии и отхода жира в пахту.

Сливочное масло – продукт с массовой долей жира 50...85%, предназначенный для непосредственного употребления, вырабатываемый из коровьего молока, который является одним из важных продуктов животноводства [1, 39].

Производство сливочного масла проводится, в основном, по двум технологиям: преобразования высокожирных сливок и сбивания (прерывная и непрерывная), применение которых обуславливается объемами производства и сортностью масла [22, 41, 69, 98].

Производство сливочного масла, по указанным технологиям, на фермах и предприятиях перерабатывающей молочной промышленности

осуществляется с помощью разнообразных по принципу действия и конструкции машинами.

Применение маслообразователей с использованием технологии преобразования высокожирных сливок и маслоизготовителей непрерывного действия с использованием технологии сбивания определяется большими объемами переработки сливок на предприятиях молочной промышленности [26, 43, 101].

При наличии значительного числа перерабатывающих фермерских хозяйств с небольшими объемами производства масла возникает необходимость в маслоизготовителях периодического действия.

Результаты анализа существующих их конструкций с учетом основных положений теории образования масляного зерна [1...22, 25...28, 35, 40...42, 51, 53...56, 60, 61, 63, 74, 79, 88...92, 100, 101, 107] позволяют считать одним из основных направлений совершенствования такого оборудования – применение маслоизготовителей с неподвижной емкостью и активным рабочим органом. Исследование работы маслоизготовителей периодического действия показывает, что сбивание масла характеризуется повышенной энергоемкостью, вследствие продолжительности процесса образования масляного зерна (30...120 минут). Применение быстродействующих маслоизготовителей ускоряет процесс образования масляного зерна, однако это приводит к повышению затрат энергии и отхода жира в пахту.

Поэтому исследования, направленные на изыскание и определение оптимальных параметров маслоизготовителя периодического действия, обеспечивающего высокие качественные и энергосберегающие показатели работы, являются актуальными и практически значимыми для аграрного производства.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ. СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СЛИВОЧНОГО МАСЛА

Целью настоящих исследований явилось снижение энергоемкости производства сливочного масла с обоснованием конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя.

В задачи исследований входит:

- обосновать конструктивную схему маслоизготовителя периодического действия;
- провести теоретические исследования маслоизготовителя периодического действия;
- изготовить опытный образец маслоизготовителя периодического действия и экспериментально исследовать оптимальные значения его конструктивно-кинематических параметров;
- провести опытно-производственную проверку маслоизготовителя и выполнить его технико-экономическую оценку.

1.1. Ассортимент сливочного масла

Сливочное масло единственный жировой продукт животного происхождения, предназначенный для непосредственного употребления. Его уникальность – в совокупности органолептических показателей (окраски, консистенции, вкуса и запаха), пищевой и биологической ценности, диетических свойств [1].

В нашей стране основным законодательным документом, позволяющим классифицировать сливочное масло как жировой продукт и относить его к тому или иному виду, является разработанный ВНИИМСом ГОСТ Р 52176–2003 «Продукты маслоделия и сыроделия. Термины и определения» [49]. Согласно этому документу сливочное масло – это масло из коровьего молока с массовой долей жира от 50...85% включительно, представляющее собой дисперсную систему В/Ж (вода в жире).

Молоко, предназначенное к переработке на масло, должно соответствовать требованиям ГОСТ 13264–88 «Молоко коровье. Требования при заготовке» [48, 72, 73].

Для маслоделия весьма существенное значение имеет концентрация и физическое состояние молочного жира, в частности, его дисперсность и состояние оболочки жировых шариков. Чем крупнее шарики, тем выработка идет быстрее, а, следовательно, экономичнее, рентабельнее, ведь к тому же уменьшается отход жира в пахту. Более крупные жировые шарики наблюдаются в молоке в начале и в середине лактации, в летний пастбищный период, при соблюдении режима доения.

Как видно из табл. 1.1 размер жировых шариков оказывает существенное влияние на процесс маслообразования и на степень использования жира при сбивании.

Т а б л и ц а 1.1

Степень использования жира в зависимости от размеров жировых шариков

Размер жировых шариков, мкм	Степень использования жира, %
0...1	0
1...2	33
2...3	68
3...4	78
4...5	95
5...6	97
6...8	99
свыше 8	100

При выборе жирности сливок исходят из требования обеспечить наименьший отход жира в пахту и наилучшую консистенцию масла при максимальном сокращении времени, рабочей силы и энергии на единицу вырабатываемого продукта. Если масло вырабатывается из сливок пониженной жирности оно обычно более ароматно, что объясняется высоким содержанием плазмы. Однако использование сливок более высокой жирности способствует значительному увеличению пропускной способности предприятия, повышению производительности труда [69, 98].

Сливочное масло в соответствии с ГОСТ Р 52253–2003 «Масло и паста масляная из коровьего молока. Общие технические условия» в зависимости от особенностей вкуса и запаха подразделяется на сладко- и кисло-сливочное, соленое и несоленое [50].

Сладко-сливочное масло – разновидность сливочного масла из пастеризованных сливок с приятным сливочным вкусом и привкусом пастеризации, формирующимся из веществ свежих сливок (сладких) и образующихся в процессе их обработки.

Кисло-сливочное масло – разновидность сливочного масла из пастеризованных сливок с приятным кисло-молочным вкусом, обусловленным наличием молочной кислоты и ароматобразующих веществ (диацетила, ацетоина, летучих жирных кислот), переходящих из сливок и образующихся в процессе их биологического сквашивания.

Соленое сливочное масло – разновидность масла сладко- или кисло-сливочного с характерным для них вкусом и запахом с умеренно выраженным соленым привкусом.

Ассортимент производимого коровьего масла в Российской Федерации приведен в табл. 1.2 [37, 38, 45, 68].

Таблица 1.2

Ассортимент коровьего масла производимого в Российской Федерации

№ п/п	Вид масла	Разновидность	Массовая доля, %			Энергетическая ценность, кДж/100г
			жира	воды	СОМО	
1	Сливочное традиционное	Сладко-сливочное несоленое	82,5	16,0	1,5	3113
		соленое	81,5	16,0	1,5	3090
		Кисло-сливочное несоленое	82,5	16,0	1,5	3113
		соленое	81,5	16,0	1,5	3090
2	Вологодское	Сладко-сливочное несоленое	82,5	16,0	1,5	3113
3	Любительское	Сладко-сливочное несоленое	78,0	20,0	2,0	2961
		соленое	77,0	20,0	2,0	2929
		Кисло-сливочное несоленое	78,0	20,0	2,0	2961
		соленое	77,0	20,0	2,0	2929
4	Крестьянское	Сладко-сливочное несоленое	72,5	25,0	2,5	2776
		соленое	71,5	25,0	2,5	2726
		Кисло-сливочное несоленое	72,5	25,0	2,5	2776
5	Российское	Сладко-сливочное несоленое	70,0	27,0	3,0	2686
		Кисло-сливочное несоленое	70,0	27,0	3,0	2686
6	Бутербродное	Сладко-сливочное несоленое	61,5	35,0	3,5	2378
		Кисло-сливочное несоленое	61,5	35,0	3,5	2378
7	Стерилизованное	Сладко-сливочное несоленое	82,5	16,0	1,5	3113

В состав получаемого сливочного масла входит до 85% молочного жира, около 16% воды, 1...2% белков, лактозы, минеральных веществ, образующих плазму масла. В масле насчитывается около 50 различных химических компонентов (за исключением триглицеридов различных жирных кислот). В нем в очень малых количествах содержатся белки, молочный сахар, соли. В масле содержатся жирорастворимые (А – до 7,5 мг/кг, Е – 20 мг/кг, каротина – 5 мг/кг) и водорастворимые витамины (В₁, В₂, РР и др.), полиненасыщенные жирные кислоты (линолевая – до 4%, линоленовая – 2,7%, арахидоновая – 0,2%), фосфатиды и минеральные вещества. Сливочное масло обладает высокой энергетической ценностью 2728...3130 кДж/100г и усвояемостью 95...98% [38, 39, 101].

Сливочное масло – многокомпонентная, многофазовая полидисперсная система переменного состава; показатели его качества во многом определяются устойчивостью, долговечностью структуры, показателями условной вязкости и пластичности, устойчивостью к тепловому воздействию, определенными реологическими характеристиками [1, 71, 86].

Под структурой сливочного масла подразумевают пространственное расположение и взаимосвязь между отдельными компонентами. Твердость масла, его упруго-вязкие показатели, включая консистенцию, другие механические характеристики, являются производными физической структуры и в свою очередь влияют на его вкус и запах, консистенцию, цвет, хранимоспособность.

Физическая структура сливочного масла предопределяется его составом, методом производства и режимом выработки.

Сливочное масло классического состава является сложной структурированной системой, основу которой составляет молочный жир, находящийся в различном агрегатном состоянии (в жидком и в твердом кристаллическом). Кристаллические образования молочного жира, соприкасаясь между собой, образуют пространственную структуру – кристаллический каркас. Тип связи структурных элементов предопределяет тип структуры: коагуляционный или кристаллизационный [39, 41]. Сливочное масло следует рассматривать как систему с выраженными признаками структуры кристаллизационно-коагуляционного или конденсационно-кристаллизационного типа.

Конденсационно-кристаллизационная структура образуется за счет прочных химических связей в состоянии покоя. Она представляет собой сетку-каркас из сросшихся и переплетенных между собой микрокристаллов. Обладает упруго- и эластично-хрупкими свойствами, значительной прочностью и резко выраженной способностью к необратимому разрушению при механическом воздействии.

С повышением температуры кристаллизационные фазовые контакты нарушаются и превалирующими становятся структуры коагуляционного типа. И, наоборот, при понижении температуры доля коагуляционных контактов уменьшается, а число истинных фазовых контактов в единице объема системы возрастает [39, 41].

Кристаллизационно-конденсационный тип структуры образуется за счет сил главных валентностей или за счет непосредственного срастания монокристаллов. Образованию конденсационно-кристаллизационной структуры предшествует ряд переходных состояний в структурах промежуточного типа – коагуляционно-кристаллизационные или коагуляционно-конденсационные.

На формирование структуры оказывает влияние распределение дисперсной фазы – плазмы, большая часть которой находится в виде мель-

чайших капелек, изолированных друг от друга; значительная часть их соединена тончайшими протоками и каналами, пронизывающими всю массу продукта. Часть плазмы существует в связанном состоянии и прочно удерживается на поверхности жировых агрегатов и жидком жире, и на сохранившихся оболочках жировых шариков.

Характерным признаком для сливочного масла является смешанный тип структуры – кристаллизационно-коагуляционный с преобладанием последней, обеспечивающей массу (классического состава) достаточно хорошую консистенцию: не слишком твердую, пластичную при 10...15°C, не дающую опущения песчанности и мучности, и сохранение формы при температуре потребителей 18...22°C.

1.2 Существующие технологии производства сливочного масла

Разработанные в разное время технологии производства сливочного масла [22, 39, 43, 69, 70, 98, 101] можно разделить на:

- преобразования высокожирных сливок;
- сбивания сливок (прерывная и непрерывная).

Каждому способу производства свойственны определенные технологические операции (рис. 1.1).

При производстве сливочного масла путем преобразования высокожирных сливок производится получение сливок, жирность которых равна жирности сливочного масла и придания им структуры и консистенции сливочного масла.

В процессе приготовления, сливки жирностью 35...40%, предназначенные для выработки масла, подвергают пастеризации при температуре 85...90°C. Затем их сепарируют и получают сливки жирностью 83%. Высокожирные сливки подают в маслообразователь, где быстро охлаждают до температуры 12...14°C и подвергают механической обработке. В результате обработки происходит кристаллизация молочного жира, образуется однородная структура масла с равномерно распределенной влагой.

Сущность преобразования высокожирных сливок заключается в обращении фаз жировой эмульсии типа Ж/В (жир в воде) в эмульсию В/Ж (вода в жире) посредством интенсивной термомеханической обработки высокожирных сливок. Высокожирные сливки охлаждаются в результате контакта с охлаждаемой стенкой аппарата при продавливании их насосом через маслообразователь. При этом происходит интенсивное образование центров кристаллизации, отвердевание значительной части жира, обращение фаз жировой эмульсии и диспергирование образующихся кристаллоагрегатов жира.

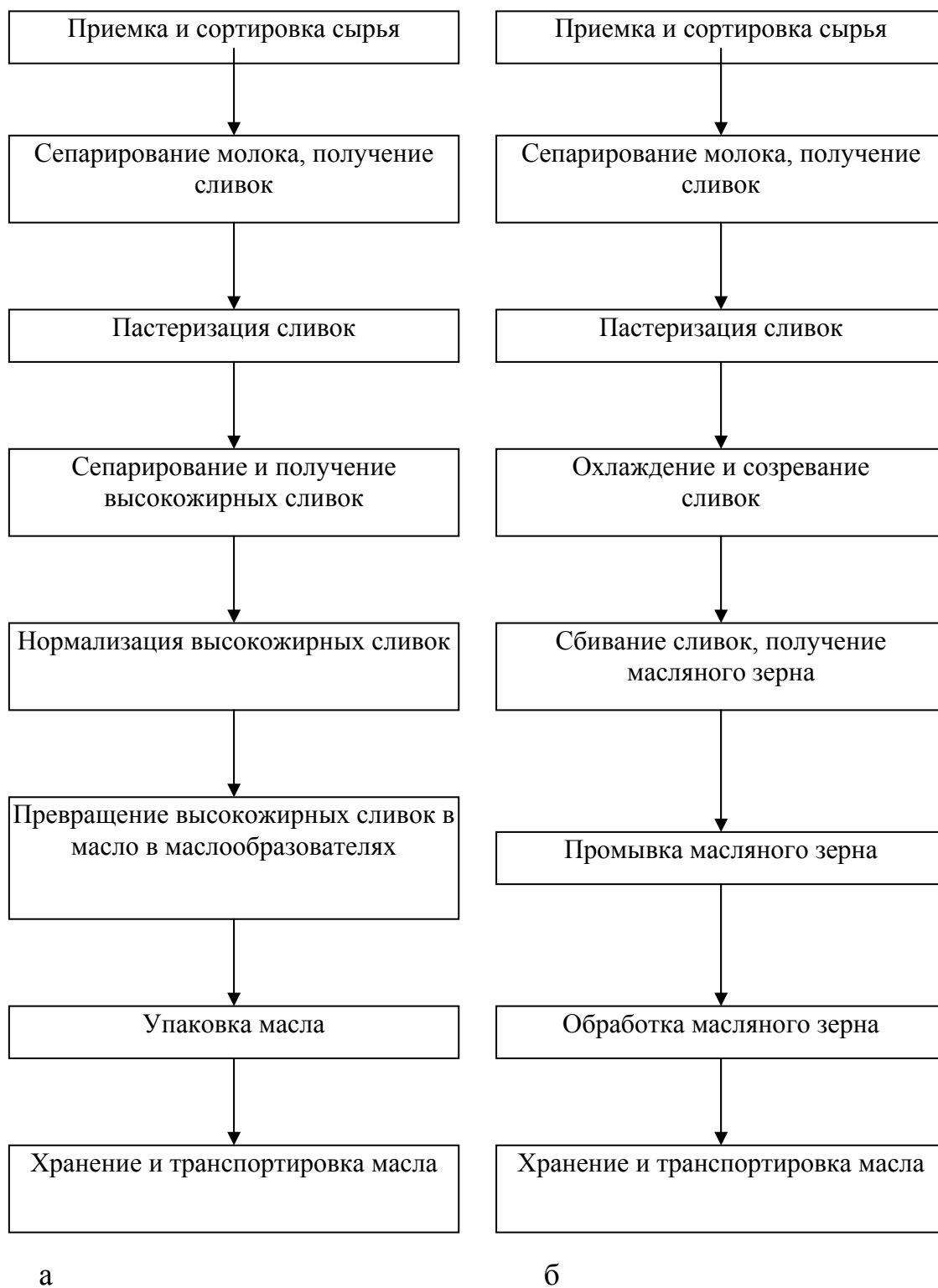


Рис. 1.1. Технологическая схема производства сливочного масла:
 а) способом преобразования высокожирных сливок; б) способом сбивания

Масло полученное по технологии преобразования высокожирных сливок, имеет ярко выраженный вкус и аромат (по сравнению с маслом полученным способом сбивания сливок). Существенным недостатком данного способа является то, что примерно 30% масла имеет пороки консистенции (крошливая, термонеустойчивая) и сложность технологического процесса при малых объемах производства.

Производство по технологии сбивания дает возможность получения сливочного масла с хорошей пластичной и термоустойчивой консистенцией.

При производстве сливочного масла по технологии сбивания производится подготовка сливок, их сбивание на маслоизготовителях периодического или непрерывного действия, промывания масла водой, механической обработки масла (формовка), фасования и упаковывания. В процессе производства масла жирностью 30...45% пастеризуют при температуре 85...90°C, с последующим быстрым охлаждением до 2...8°C и выдержкой в течение 2...12 ч.

При производстве сливочного масла важным в процессе сбивания является устанавливаемая температура сливок. Выбор температуры зависит от времени года, качества сливок, условий их подготовки (созревания), от механических факторов сбивания. Ориентировочно применяют следующие температуры сбивания: для летнего периода 8...10°C, для зимнего 10...14°C.

Сущность процесса сбивания сливок заключается в агрегации (слипани) содержащихся в них жировых шариков. Процесс происходит под воздействием внешней силы, сопровождается постепенным уменьшением количества жировых шариков (их слипани) и заканчивается образованием масляного зерна. Основу жесткого каркаса образующихся структурных агрегатов масляного зерна составляют связи между частицами твердого жира. Жидкий жир обеспечивает сцепление твердых частиц в результате взаимодействия сил слипания.

Процесс агрегации жировых частиц можно условно разделить на сближение жировых шариков под действием внешней силы без изменения свободной энергии системы и слипания в результате преодоления их энергетического и структурно-механического барьера.

Существует много теорий, объясняющих механизм агрегации жировых шариков и образование масляного зерна, которые свидетельствуют о сложности процесса сбивания сливок.

Таким образом, можно сказать, что изготовление сливочного масла производится двумя направлениями: по технологии преобразования высокожирных сливок и сбивания (прерывным и непрерывным). Применение этих технологий обуславливается возможностями маслозавода (наличием необходимого количества сливок), качеством сырья.

1.3. Классификация и анализ существующих конструкций для получения сливочного масла

В настоящее время существует множество конструкций для изготовления сливочного масла [1...21, 81, 88, 90, 110]. Их использование регламентируется в зависимости от жирности сливок, от условий применения, от способа получения масляного зерна. При этом поиск оптимальных конструкций далеко не завершен.

Конструкции для изготовления сливочного масла (рис. 1.2) классифицируют: по способу получения масляного зерна; по характеру рабочего процесса; по типу привода; по способу движения рабочего органа; по типу рабочих органов; по расположению рабочего органа; по форме емкости.

По способу получения сливочного масла устройства можно разделить на маслоизготовители и маслообразователи.

1.3.1. Маслообразователи

Маслообразователи подразделяются по виду рабочих органов на аппараты пластинчатого и цилиндрического типа. Маслообразователи цилиндрического типа используют для охлаждения высокожирных сливок при одновременном интенсивном механическом перемешивании кристаллизующейся массы продукта.

Параметры термомеханической обработки устанавливают с учетом вида вырабатываемого масла, периода года и состава жира. Температура высокожирных сливок на входе в маслообразователь составляет 60...70°C. Масло на выходе из аппарата 13...15°C и 16...17°C соответственно в осеннее-зимний и весеннее-летний периоды года. Скорость охлаждения продукта в аппарате составляет 0,2°C/с. Используемый хладоноситель – рассол, имеющий температуру на входе в аппарат 2..3°C и не выше 0°C на выходе [39...42, 56, 98, 101].

В пластинчатых маслообразователях, с учетом особенностей конструкции процесс условно подразделяют на охлаждение высокожирных сливок и механическую обработку кристаллизующейся массы продукта. Контрольными показателями при охлаждении продукта являются удельные энергозатраты мощности (энергии) на перемешивание продукта, температура продукта и скорость охлаждения. При механической обработке – удельные энергозатраты мощности на механическую обработку кристаллизующейся массы продукта, ее продолжительность и температура масла на выходе из аппарата. Температура высокожирных сливок на входе в маслообразователь составляет 70°C. Масло на выходе из аппарата вне зависимости от периода года 16,5...18°C. В качестве хладоносителя – рассол с температурой на входе в аппарат не ниже – 10°C.

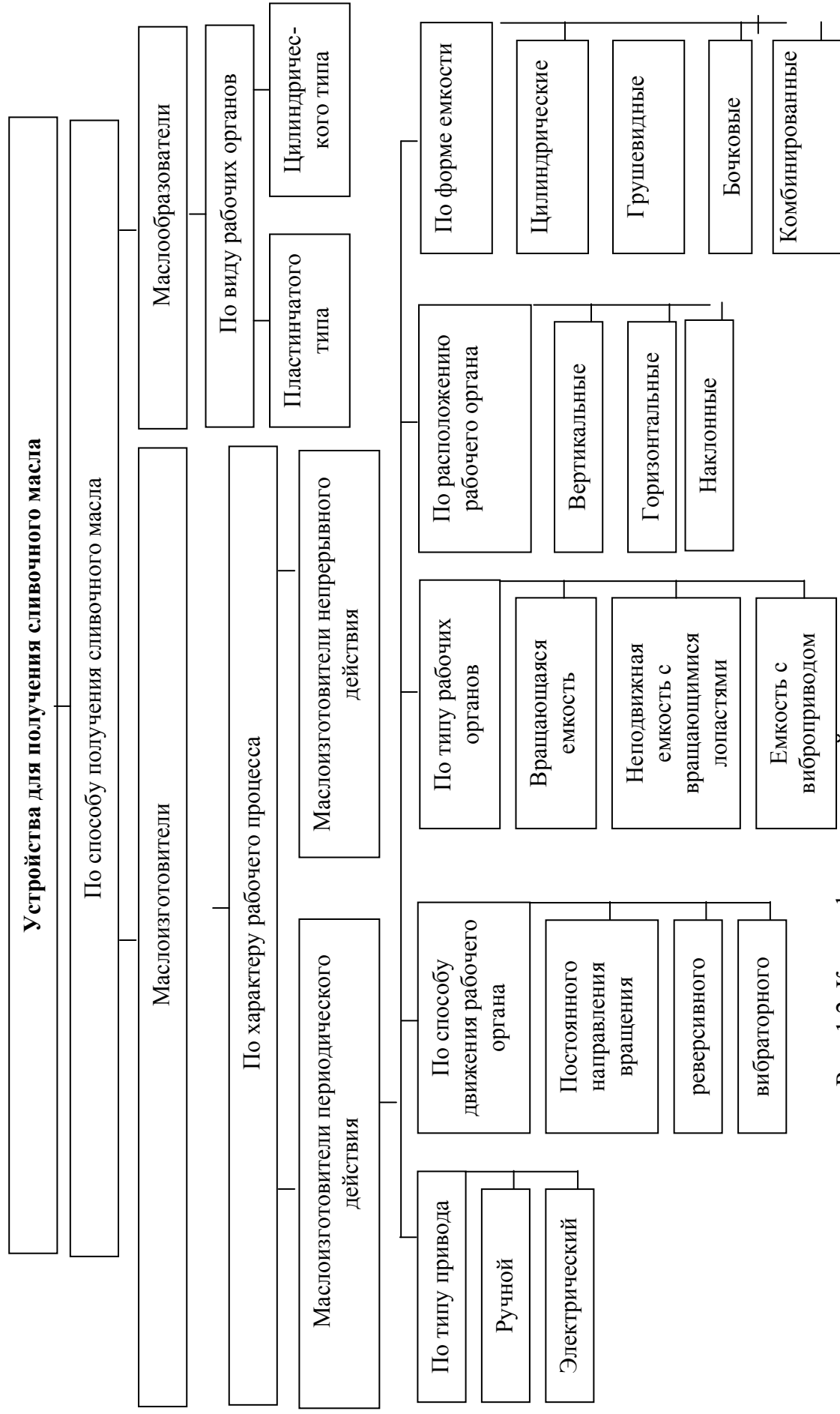


Рис. 1.2. Классификация устройств для получения сливочного масла

Принципиального различия процесса маслообразования при эксплуатации аппаратов цилиндрического и пластинчатого типа не имеют.

В качестве примера рассмотрим маслообразователь (рис. 1.3) предназначенный для производства сливочного масла методом преобразования из высокожирных сливок. Аппарат содержит первый 1 и второй 2 по ходу технологического процесса пластинчатые скребковые охладители, а также устройство 3 для механической обработки сливок, установленное таким образом, что его подводящий патрубок 4 связан посредством трубопровода с отводящим патрубком 5 охладителя 1, а отводящий патрубок 6 – с подводящим патрубком 7 охладителя 2. [15]

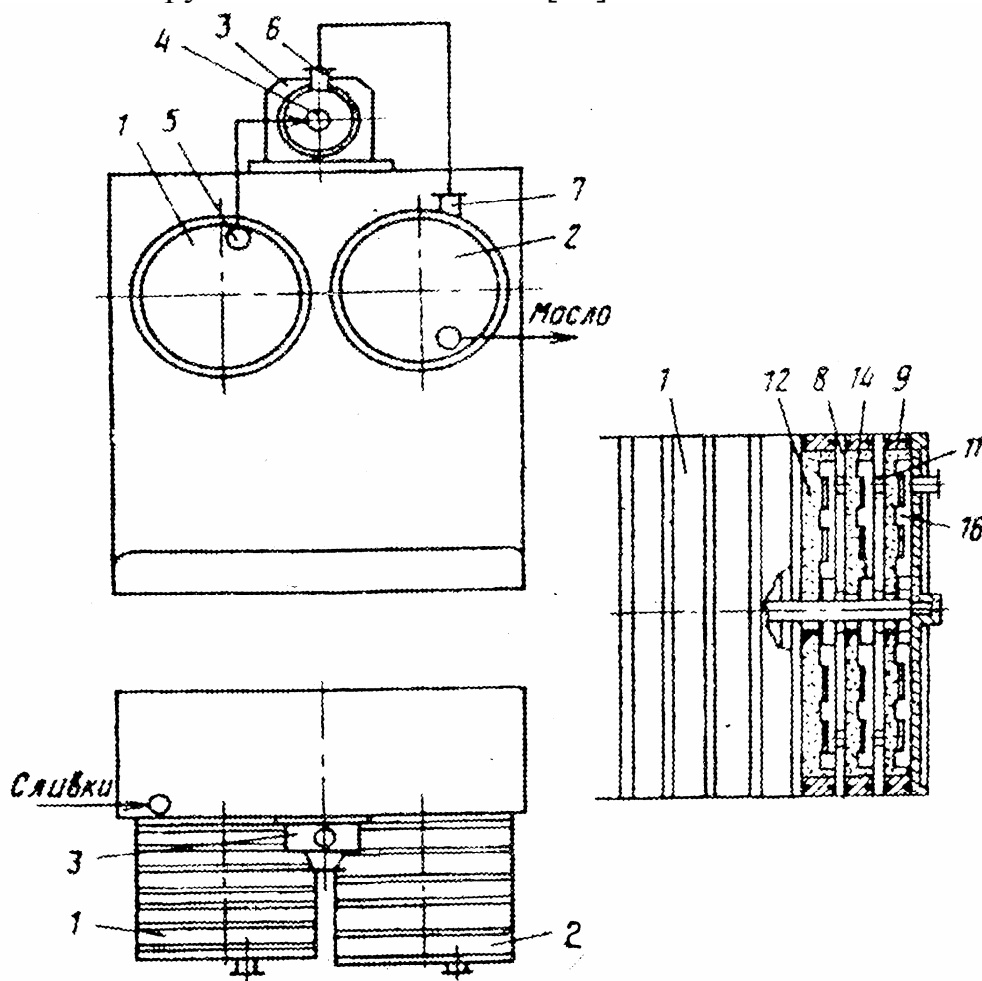


Рис. 1.3. Маслообразователь по а.с. 1540743:

- 1, 2 – пластинчатые скребковые охладители; 3 – устройство для механической обработки сливок; 4, 7 – подводящие патрубки; 5, 6 – отводящие патрубки; 8 – охлаждаемая пластина; 9, 10 – продуктовые кольца; 11 – перегородочное отверстие; 12, 13 – продуктовые камеры; 14, 15 – крыльчатка; 16 – плавающие скребки

Пластинчатые скребковые охладители 1 и 2 состоят из охлаждаемых пластин 8 и продуктовых камер 12 и 13, в которых на крыльчатках 14 и 15 поочередно с одной и другой стороны установлены плавающие скребки 16. Ширина продуктовых колец 10 охладителя 2 в два раза больше ширины

продуктовых колец 9 охладителя 1, а каждая из его крыльчаток, расположенных в соответствующих этим кольцам камерах 13, представляет собой две взаимно перпендикулярные лопасти 17, закрепленные на торцах втулок 18, охватывающих приводной вал 19. Высота втулок 18 соответствует ширине продуктовых камер 13 охладителя 2.

Маслообразователь работает следующим образом. Сливки заданной жирности непрерывно под давлением подают в первый по ходу технологического процесса пластинчатый скребковый охладитель 1, в котором они последовательно проходят через продуктовые камеры 12, 13. При этом, постепенно охлаждаясь от теплопередающих поверхностей охлаждаемых пластин 8, а плавающие скребки 16, расположенные поочередно с одной и другой стороны крыльчаток 14, очищают последние и активно перемешивают сливки, оказывая на них необходимое механическое воздействие.

Охлажденные до температуры массовой кристаллизации жира сливки через отводящий патрубок 5 по трубопроводу поступают в устройство для механической обработки 3, в котором подвергаются интенсивной гидромеханической обработке, после чего попадают во второй по ходу технологического процесса пластинчатый охладитель 2. В этом охладителе происходит дополнительное охлаждение дестабилизированных сливок, при этом вязкость их резко возрастает по мере перемещения к зоне выгрузки и снижения температуры.

Готовый продукт с заданными температурой и структурно-механическими свойствами из второго охладителя 2 поступает на фасовку.

Недостатком данного устройства являются высокие затраты энергии на предварительный нагрев продукта и последующее его охлаждение. При этом примерно 30% вырабатываемого масла имеет пороки консистенции. Его структура термонеустойчива и имеет склонность к крошению, поэтому дополнительно требуется прессование.

1.3.2 Маслоизготовители

Маслоизготовители предназначены для получения сливочного масла по технологии сбивания. Маслоизготовители по характеру рабочего процесса (см. рис. 1.2) бывают периодического и непрерывного действия.

Маслоизготовители непрерывного действия применяются на маслозаводах, где обеспечивается непрерывная подача сливок (объем производства свыше 300 литров в смену).

Маслоизготовители периодического действия можно рекомендовать для фермерских хозяйств и предприятий с небольшим объемом переработки молока (объем обрабатываемого сырья 10...300 литров в смену). Такие устройства, можно классифицировать по следующим признакам:

- по типу привода маслоизготовители могут быть: ручного и электрического;
- по способу движения рабочего органа – постоянного направления вращения, реверсивного и вибраторного;
- по типу рабочих органов – вращающаяся емкость, неподвижная емкость с вращающимися лопастями и емкость с виброприводом;
- по расположению рабочего органа – вертикальные, горизонтальные и наклонные;
- по форме емкости – цилиндрические, бочкообразные, грушеобразные и комбинированные.

В маслоизготовителе периодического действия с рабочим органом в виде вращающейся емкости процесс образования сливочного масла осуществляется в результате гравитационного перемешивания сливок, путем вращения заполненной на 30...40% рабочей емкости маслоизготовителя. При этом сливки сначала поднимаются на определенную высоту, а затем сбрасываются под действием силы тяжести, подвергаясь механическому воздействию. В устройствах с рабочими органами в виде неподвижной емкости с вращающимися лопастями процесс образования сливочного масла происходит при перемешивании сливок лопастями.

Рассмотрим устройство, служащее для сбивания масла методом непрерывного сбивания (рис. 1.4). Маслоизготовитель содержит установленный на станине 1 вертикальный цилиндр-сбиватель 2 с охлаждающей рубашкой 3, и вращающейся бильной мешалкой 4, закрепленной на полом валу 5. Над цилиндром-сбивателем размещен приемник 6 сливок с регулятором 7 подачи сливок. Внутри приемника имеется поплавковый регулятор, обеспечивающий постоянный напор сливок в маслоизготовитель. В верхней части цилиндра-сбивателя расположено выгрузочное окно 8. Конический перфорированный барабан 9 установлен на роликах 10, закрепленных на поддоне 11, который укреплен на шарнирах 12. Во входном участке барабана имеются отверстия диаметром 25 мм, закрытые снаружи нержавеющей сеткой. Выходная часть барабана выполнена с меньшими отверстиями. Рычажно-винтовой механизм 13 с маховиком 14 служит для изменения угла наклона оси барабана относительно горизонтальной плоскости. Резервуар 15 предназначен для сбора пахты периодически откачиваемой центробежным насосом 16 [4].

Маслоизготовитель работает следующим образом. Сливки с температурой 9...11°C и жирностью 30...40% поступают в приемник, откуда с помощью регулятора подачи они проходят по полуму валу 5 в цилиндр-сбиватель 2 и поступают на била мешалки 4, где, подвергаясь интенсивному механическому воздействию, сбиваются в тонком кольцевом зазоре между билами и внутренней стенкой цилиндра-сбивателя.

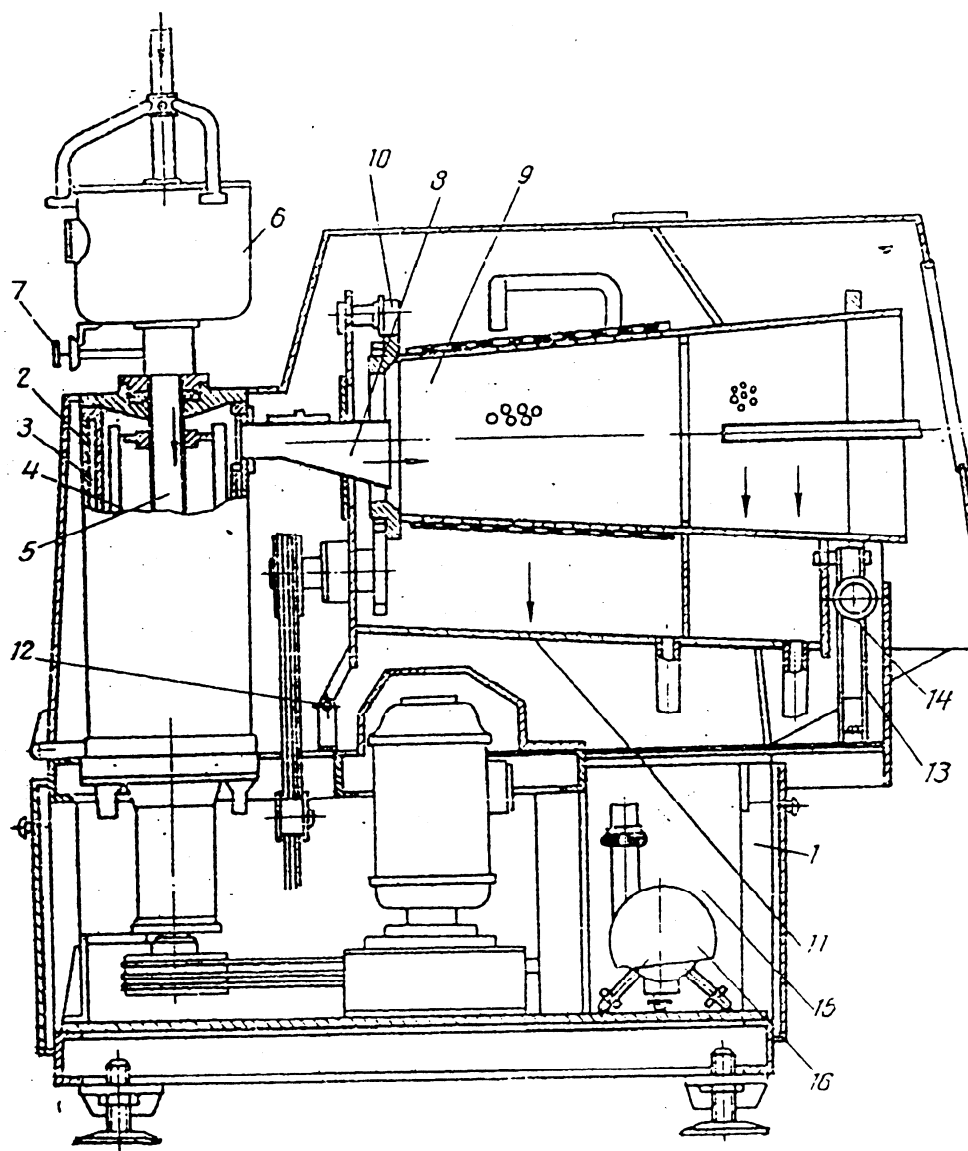


Рис. 1.4. Маслоизготовитель непрерывного действия по а.с. 379234:
 1 – станина; 2 – цилиндр-сбиватель; 3 – охлаждающая рубашка; 4 – бильная мешалка; 5 – вал; 6 – приемник сливок; 7 – регулятор; 8 – выгрузочное окно; 9 – бара-бан; 10 – ролик; 11 – поддон; 12 – шарнир; 13 – рычажно-винтовой механизм; 14 – маховик; 15 – резервуар; 16 – насос

Образовавшееся в результате этого масляное зерно и пахта под гидравлическим напором вновь поступающих сливок и под действием центробежных сил цилиндра-сбивателя выбрасываются через выгрузочное окно в барабан 9 вдоль его оси, где разделяются на две фазы. Масляное зерно движется по внутренней поверхности вращающегося барабана к выходу из маслоизготовителя, а пахта, отделяясь через сетку, закрывающую входной участок барабана, стекает через патрубок в первой части поддона в резервуар 15.

Применение устройства следует рекомендовать для крупных маслозаводов, когда обеспечивается непрерывное поступление сливок в течение смены. На производствах, где характерны кратковременные

работы, применение подобных устройств, проблематично из-за высокой доли подготовительно-заключительных мероприятий.

Известен маслоизготовитель (рис. 1.5) производства Германии предназначенный для выработки сливочного масла методом непрерывного сбивания, состоящий из станины 1, на которой расположен цилиндр-сбиватель 2, в котором сливки перерабатываются в масляное зерно и пахту, последние через напорную шахту 3 подаются в маслообработник 4. В корпусе 5 маслообработника на концах двух вращающихся валов 6 крепятся шнеки 7 и 8. Плоскостью раздела между ними служат два перфорированных диска 9, работающих в качестве фильтра [2].

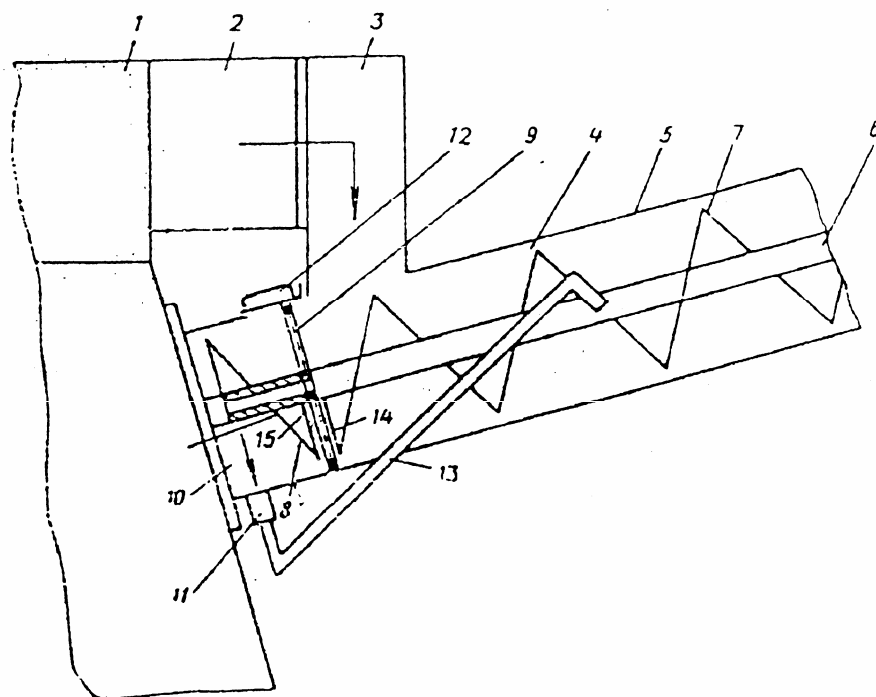


Рис. 1.5. Маслоизготовитель непрерывного действия по а.с. 295220:
 1 – станина; 2 – цилиндр-сбиватель; 3 – напорная шахта; 4 – маслообработник;
 5 – корпус маслообработника; 6 – вал; 7,8 – шнеки; 9 – перфорированный диск;
 10 – камера; 11 – приспособление для выпуска пахты; 12 – крышка;
 13 – труба; 14,15 – начальные витки

Пространство, ограниченное перфорированными дисками и корпусом маслообработника, образуют камеру 10 для сбора пахты. В нижней ее части встроено приспособление 11 для выпуска пахты. С целью наблюдения за состоянием дисков крышка 12 выполнена съемной. Для регулирования уровня пахты в маслообработнике служит труба 13. Для очистки перфорированных дисков шнеки имеют начальные витки 14 и 15.

Маслоизготовитель работает следующим образом. Смесь из масляных зерен и пахты образовавшихся в цилиндре-сбивателе, через напорную шахту попадает в маслообработник. Шнеки подают масляные зерна в переднюю часть маслообработника, а пахта через перфорированные диски попадает в камеру 10, откуда удаляется по приспособлению 11 и трубе 13.

При вращении валов начальные витки 15 шнека 8 слегка отжимают пахту назад через диски и тем самым с них непрерывно смываются масляные зерна, которые захватываются начальными витками 14 шнека 7.

Недостатком данного устройства являются высокое содержание воздуха в вырабатываемом продукте и высокие потери жира в пахту (до 1%).

Известно устройство для сбивания масла, имеющий в качестве рабочего органа вращающуюся емкость (рис. 1.6) [88], содержащее рабочую емкость 1, выполненную в виде усеченного конуса, донная часть 2 которой выполнена в виде поверхности полутора, а верхняя закрыта крышкой с отверстием 3, отбортованным внутрь рабочей емкости. Рабочая емкость опирается на коническую шестерню 4, с помощью которой ей от рукоятки 5 передается вращение.

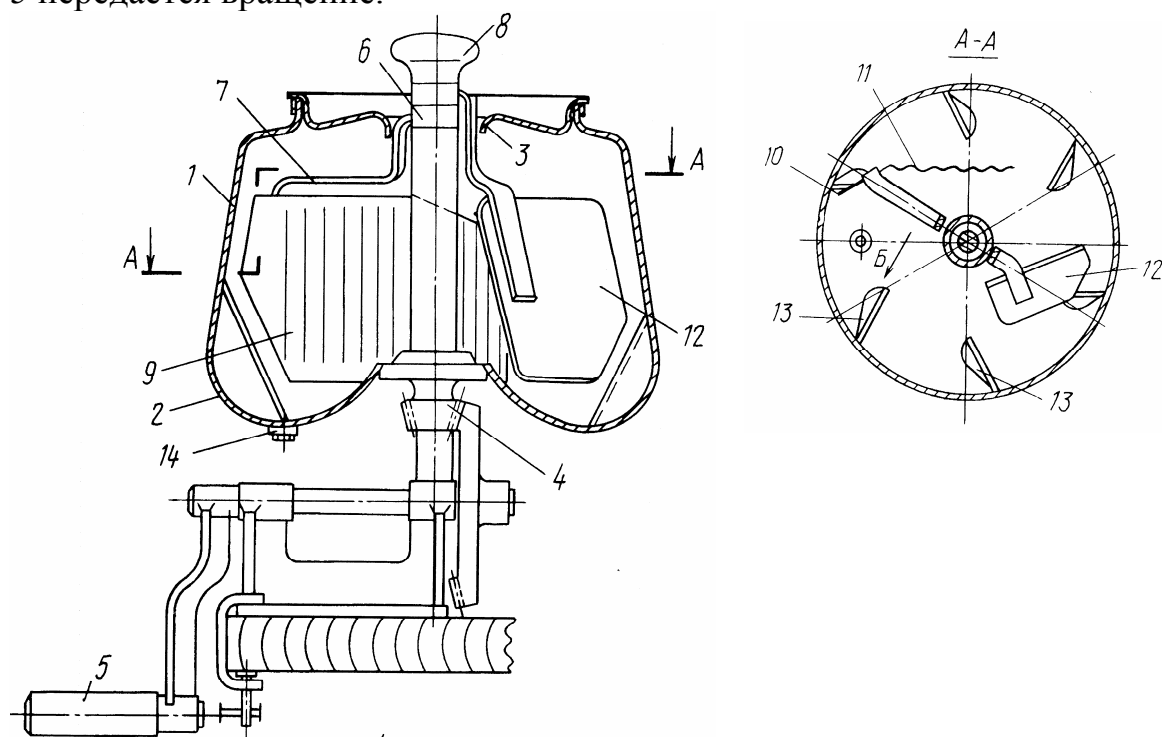


Рис. 1.6. Маслоизготовитель периодического действия с рабочим органом в виде вращающейся емкости по пат. 2047289:

- 1 – емкость; 2 – донная часть емкости; 3 – крышка; 4 – коническая шестерня; 5 – рукоятка; 6 – неподвижный вал; 7 – рычаги; 8 – ручка; 9 – лопасти; 10 – направ ляющий участок лопасти; 11 – гофрированный участок лопасти; 12 – лопасть; 13 – направляющие лопатки; 14 – сливная пробка

Устройство работает следующим образом. При вращении рабочей емкости вокруг вертикальной оси сливки под действием центробежной силы от направляющих лопаток 13 перераспределяется к периферии, образуя воронку. При этом толщина пристенного слоя сливок больше величины зазора между краем плоскости направляющего участка 10 лопасти 9 сбивателя, за счет чего поток разделяется на две части. Часть потока по участку 10 поступает на гофрированную поверхность 11 лопасти

9, где происходит начальная стадия образования масляных зерен. Другая часть потока продолжает движение по стенкам рабочей емкости. Поток сливок, проходя гофрированную часть лопасти 9, отрывается от нее, ударяется о плоскую поверхность лопасти 12, и, отражаясь, направляется навстречу потоку, движущемуся по стенкам емкости. В результате происходит торможение и смешение потоков, и образование масляного зерна.

Сложность конструкции предопределяет сложность выемки масляного зерна, а также увеличение энергоемкости процесса и отхода жира в пахту из-за ударных воздействий.

Из маслоизготовителей периодического сбивания, имеющих в качестве рабочего органа вращающуюся емкость, известен ММ – 1000 (рис. 1.7), который состоит из двух основных узлов – металлической бочки, вращающейся вокруг собственной оси и приводного механизма, смонтированного на станине. Внутри бочки укреплены 4 металлические лопасти, имеющие форму спиральных полос. Вдоль оси всей бочки проходит струна, которая способствует улучшению обработки масла [79].

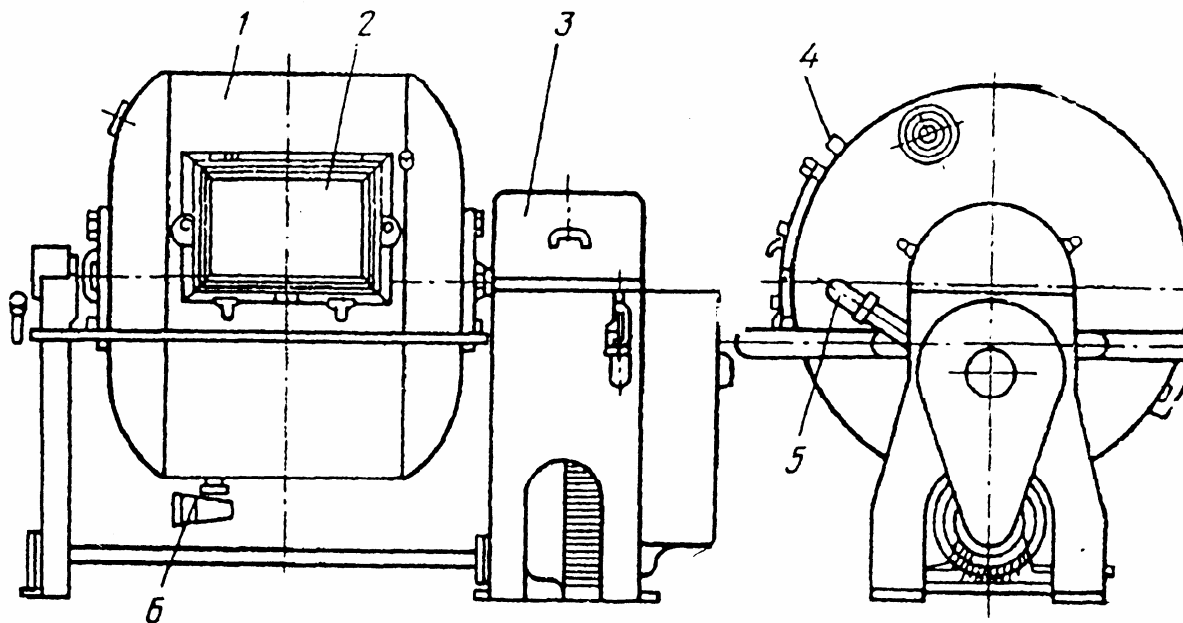


Рис. 1.7. Маслоизготовитель периодического действия ММ – 1000 с рабочим органом в виде вращающейся емкости:
1 – емкость; 2 – смотровое окно; 3 – привод; 4 – сапун; 5 – рукоятка; 6 – штуцер

Масло при обработке падает на осевую струну и разделяется на две части, вследствие этого смягчаются удары масла о стенки бочки.

Недостатком данного маслоизготовителя является низкая производительность и высокая энергоемкость (продолжительность сбивания составляет 40...80 мин).

Известен маслоизготовитель периодического сбивания имеющий в качестве рабочего органа вращающуюся емкость (рис. 1.8), которое содержит установленный в подшипниковых опорах 2 и 3 рамы 1 барабан 4 с

крышкой 5. Барабан 4 выполнен в виде опорного днища с обечайкой 7. Перпендикулярно днищу 6 закреплена Г-образная стойка 8, в полке 9 которой расположен регулируемый упор 10 с маховиком 11. Ось упора 10 перпендикулярна плоскости днища 6 и совпадает с его центром. Барабан 4 с емкостью 19 вращается в опорах по цапфам 16 и 17. Ось емкости 19 крестообразно меняет свое положение относительно оси вращения 18 [18].

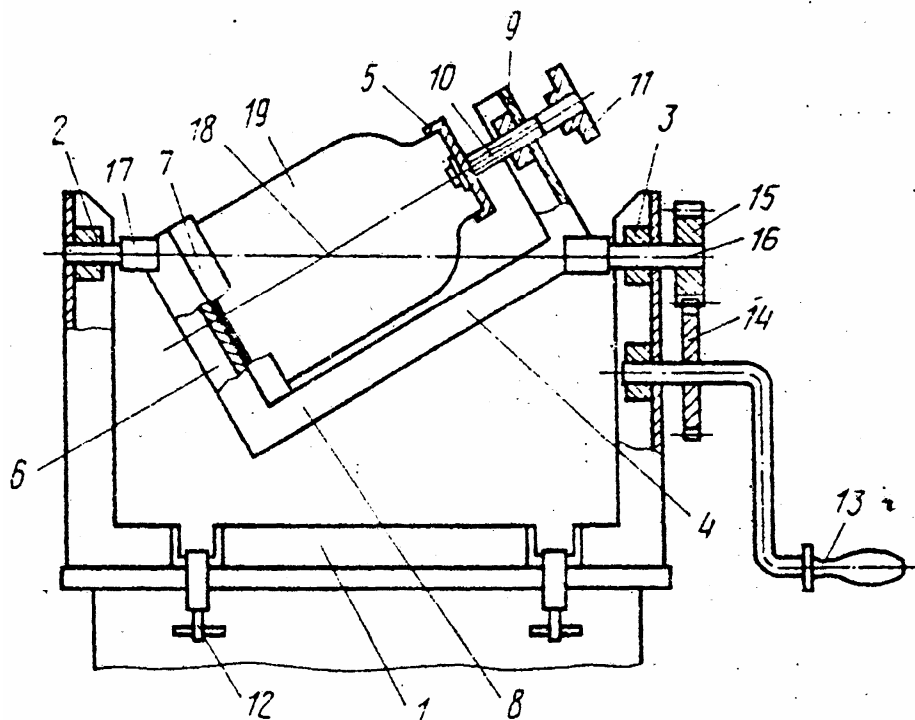


Рис. 1.8. Маслоизготовитель периодического действия с рабочим органом в виде вращающейся емкости по а.с. 1692425:

1 – рама; 2,3 – подшипниковые опоры; 4 – барабан; 5 – крышка; 6 – днище; 7 – обечайка; 8 – стойка; 9 – полка; 10 – упор; 11 – маховик; 12 – трубочина; 13 – цапфа; 14,15 – шестерни; 16,17 – опорные цапфы

Устройство работает следующим образом. Емкость 19 вынимают из ротора 4 и наполняют сливками на $\frac{3}{4}$ объема, после чего устанавливают на днище 6 в обечайку 7 и герметизируют крышкой 5, перемещая упор 10, затем вращают приводную цапфу 13. Ротор 4 с емкостью 19 начинает вращение в опорах по цапфам 16 и 17. При этом ось емкости крестообразно меняет свое положение относительно оси 18 вращения. Сливки в емкости 19 постоянно перемещаются вдоль оси симметрии и перемешиваются.

Недостатком данного устройства являются высокие инерционные нагрузки, вызванные несовпадением оси симметрии ротора и оси вращения.

Известен маслоизготовитель периодического действия (рис. 1.9) имеющий в качестве рабочего органа вращающуюся емкость, который содержит барабан 1, имеющий большую 2 и малую 3 полости, разделенный торцевой перегородкой 4, выполненный в виде усеченного конуса [14].

Один из торцов барабана 1 закрывается стеклом 5, прижимаемым к торцу крышки 6 и винтами 7. Герметичность обеих полостей 2 и 3 обеспечивается кольцевым уплотнением 8, устанавливаемым в торце барабана 1. Крышка 6 выполнена с отверстиями для визуального контроля процесса обработки материала и неподвижно соединена с приводной цапфой 9. цапфа 9 конусной поверхностью установлена в ведомой втулке 10 приводного вала 11 редуктора и закреплена винтом 12. Вал 11 редуктора снабжен рукоятью 13 и закреплен на опоре 14 винтовым зажимом 15. Одна из полостей барабана 1 заполняется обрабатываемым материалом 16.

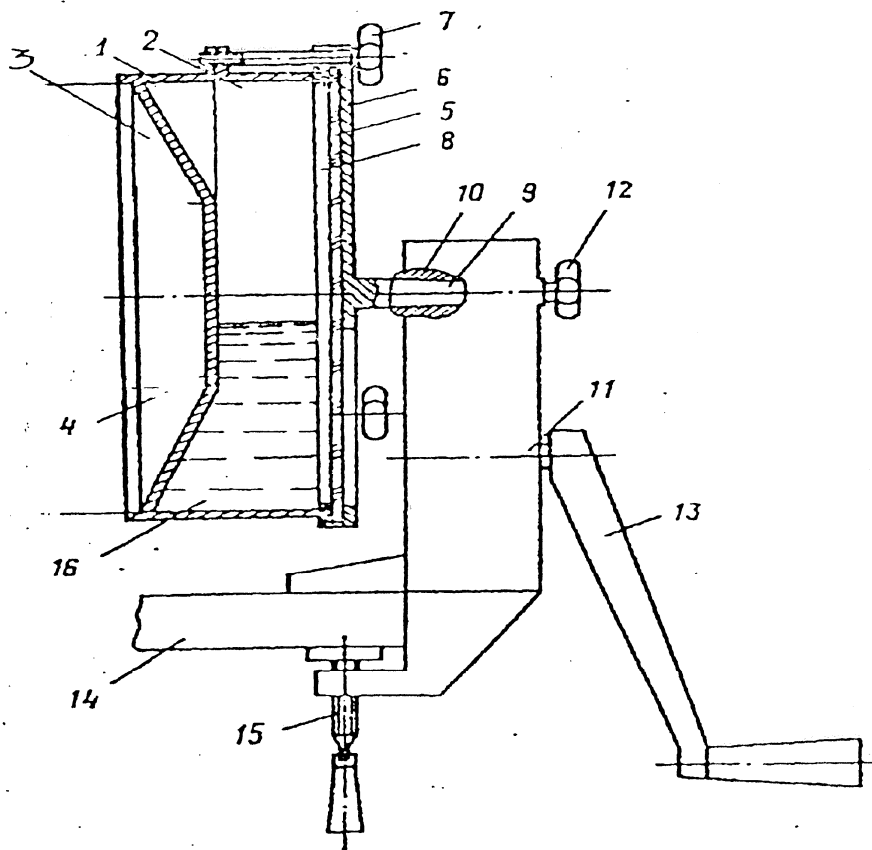


Рис. 1.9. Маслоизготовитель периодического действия с рабочим органом в виде вращающейся емкости по а.с. 1517860:

- 1 – барабан; 2 – большая полость; 3 – малая полость; 4 – перегородка;
 5 – стекло; 6 – крышка; 7, 12 – винт; 8 – уплотнение; 9 – приводная цапфа;
 10 – втулка; 11 – вал; 13 – рукоятка; 14 – опора; 15 – винтовой зажим

Маслоизготовитель работает следующим образом. Барабан 1 устанавливается вертикально на торец и одна из его полостей через противоположный торец заполняется порцией обрабатываемого материала 16. После заполнения в торце полости устанавливается уплотнение 8, которое закрывается стеклом 5, прижимается к торцу крышки 6 и винтом 7. Барабан 1 цапфой 9 устанавливается в ведомой втулке 10 и фиксируется винтом 12.

Барaban 1 посредством вала 11 повышающего редуктора приводится во вращение рукоятью 13. Материал под действием центробежных сил поднимается вместе со стенкой полости 4 и стекает или сбрасывается вниз. При этом происходит процесс сбивания сливок в масло.

Недостатком данного маслоизготовителя является невысокая производительность, вызванная тем, что достижение барабаном определенного числа оборотов приведет к тому, что исходный продукт внутри него не движется.

Из маслоизготовителей периодического действия имеющих в качестве рабочего органа неподвижную емкость с вращающимися лопастями известно устройство (рис. 1.10) содержащее корпус 1, в котором установлена стойка 2, с размещенной на ней емкостью 3 для перерабатываемого продукта закрытый крышкой 4 [19].

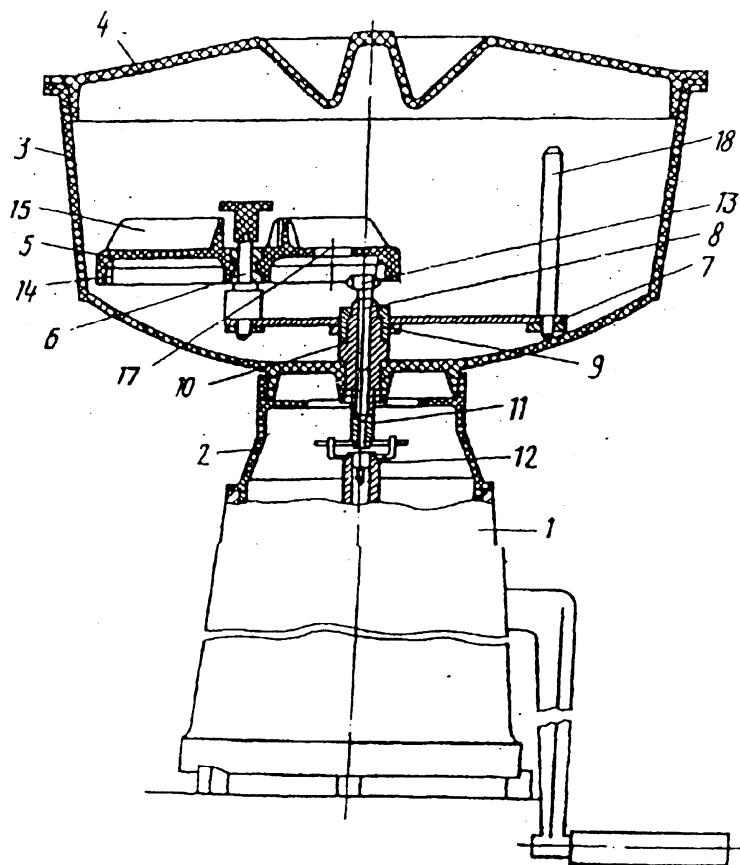


Рис. 1.10. Маслоизготовитель периодического действия с рабочим органом в виде неподвижной емкости с вращающимися лопастями по а.с. 2020806: 1 – корпус; 2 – стойка; 3 – емкость; 4 – крышка; 5 – диск; 6 – ось; 7 – водило; 8 – вал; 9 – втулка; 10 – подшипник; 11, 12 – полумуфты; 13 – шестерня; 14 – зубчатый венец; 15 – лопасть; 17 – отверстие; 18 – ручка

В емкости 3 расположен механизм сбивания, содержащий диск 5, установленный с возможностью вращения на оси 6 закрепленной на плечо водила 7. Водило 7 установлено с возможностью вращения вокруг приводного вала 8 на подшипниковой втулке 9 подшипника 10. Вал 8 получает

вращение от вала сепаратора через полумуфту 11 и 12. На конце вала 8 установлена шестерня 13, взаимодействующая с зубчатым венцом 14. Диск 5 снабжен лопастями 15. Выпуклые поверхности 16 соседних лопастей обращены друг к другу, а между лопастями расположено отверстие 17.

Устройство для сбивания масла работает следующим образом. Вращательное движение от вала сепаратора через полумуфты 11, 12 передается приводному валу 8 механизма сбивания. Шестерня 13, находящаяся в зацеплении с зубчатым венцом 14, вращает диск 5 вокруг оси 6. Перерабатываемый продукт активно перемешивается лопатками 15, перемещаясь вдоль образующей емкости 3, что ведет к образованию масляного зерна.

Недостатком данного устройства является то, что перемешивание сливок ведется ударным воздействием лопастей, что приводит к разбиванию жировых шариков. В результате чего увеличивается отход жира в пахту.

Известен маслоизготовитель периодического действия [90] (рис. 1.11) содержащий корпус 1, на котором установлена неподвижная емкость 2, по оси которой на приводном валу 3 с возможностью вращения в подшипниковых узлах 4 закреплен механизм сбивания, выполненный в виде двойного конуса с углом при основании 30° . В двойном конусе 5 зафиксированы двенадцать попарно расположенных направляющих лопаток 6 с возможностью варьирования их угла наклона к оси вращения $40...50^\circ$. Для залива (слива) сливок и визуального наблюдения у неподвижной емкости 2 имеется окно 7. Мощность, необходимую для обеспечения требуемой частоты вращения, дает привод 8.

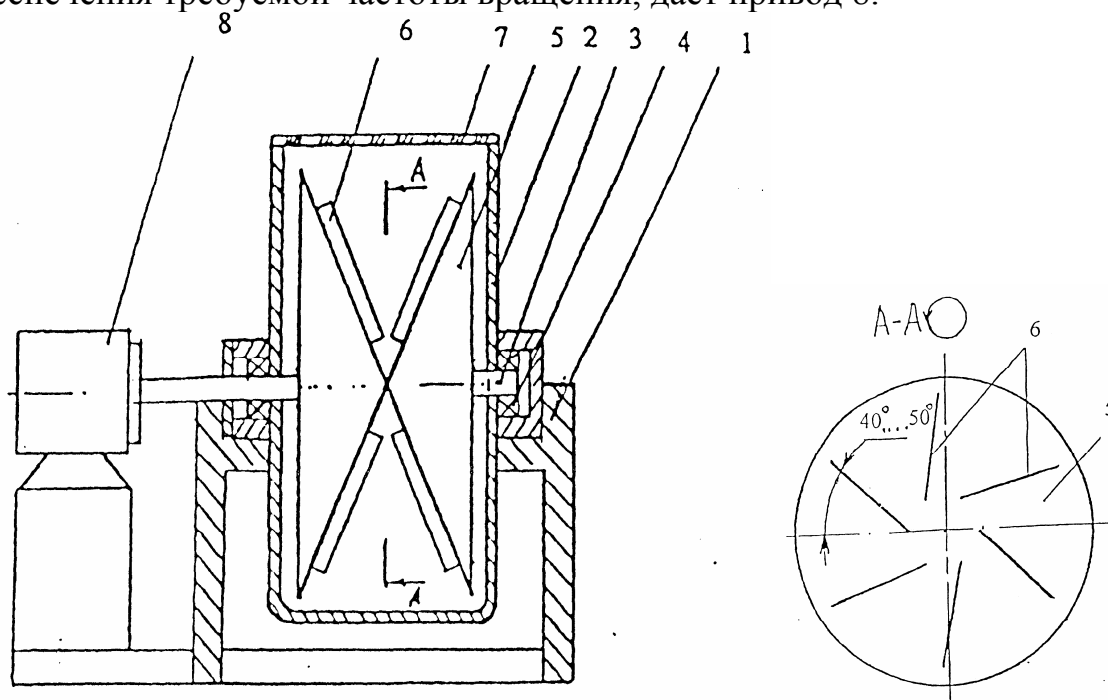


Рис. 1.11. Маслоизготовитель периодического действия по пат. 2186487:
1 – корпус; 2 – емкость; 3 – вал; 4 – узел подшипниковый; 5 – конус двойной;
6 – лопатки направляющие; 7 – окно; 8 – привод

Маслоизготовитель работает следующим образом. Через открытое окно 7 сливки заливают в неподвижную емкость 2, после чего окно закрывают. При включении привода 8 приводится во вращение двойной конус 5 с закрепленными на нем направляющими лопатками 6. При этом направляющими лопатками 6 осуществляется подача потока сливок на образующие двойного конуса, где частицы сливок движутся с различными линейными скоростями, что приводит к их перемешиванию. Процесс образования масляного зерна контролируется визуально через окно 7.

Недостатком данного маслоизготовителя является то, что перемешивание сливок ведется ударным воздействием и приводит к увеличению отхода жира в пахту, а также невозможность извлечения образовавшегося масляного зерна при завершении процесса.

Известен маслоизготовитель [21] (рис. 1.12), который содержит емкость 1 для размещения сбиваемого продукта в виде бачка цилиндрической формы и крышку 2, закрепленную на бачке.

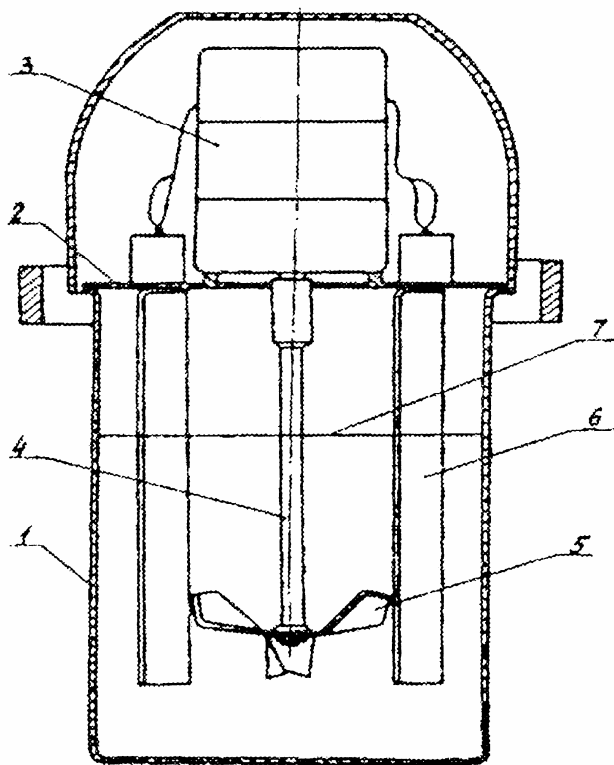


Рис. 1.12. Маслоизготовитель периодического действия по а.с. 2094983:
 1 – емкость; 2 – крышка; 3 – двигатель; 4 – вал; 5 – рабочая лопасть;
 6 – неподвижные била; 7 – уровень заполнения емкости

На крышке фланцем установлен приводной двигатель 3, на роторе которого жестко закреплен вал мешалки 4 с рабочими лопастями 5. Неподвижные била 6 установлены в емкости у ее стенок. Сбиваемый продукт заполняет емкость примерно на 60..70% до уровня 7.

При вращении вала двигателя вращается укрепленная на нем мешалка, которая приводит во вращательное движение сбиваемый продукт. Это движение дает начало процессу сбивания.

Недостатком такого маслоизготовителя является низкая производительность, так как турбулентный режим движения сливок не обеспечивается, из-за образования застойных зон, где воздействие на обрабатываемый продукт незначительное.

1.4. Состояние исследований производства сливочного масла

Существует множество теорий и гипотез маслообразования, объясняющих механизм агрегации жировых шариков и образование масляного зерна [26, 35, 41, 51, 53...56, 60, 61, 63, 74, 92, 100, 107]. Это свидетельствует о сложности и многофакторности этого процесса. Имеющиеся расхождения обусловлены тем, что механизм этих процессов зависит от множества факторов – метода и условий производства, состава и качества используемых сливок, степени их физического созревания и другие.

Профессор Зайковский разделяет теории маслообразования на «объясняющие процесс маслообразования явлениями коллоидального характера» и теории «базирующиеся на гидродинамическом характере процесса» [24, 61].

Среди множества существующих теорий сбивания сливок наиболее четко обозначены:

1. Теория обращения фаз, которая одной из первых была сформулирована Фишером и Гукером в 1917 г. Основана на том, что устойчивость жировой дисперсии в сливках нарушается в том случае, когда дисперсная фаза (жировая) по каким-либо причинам начинает преобладать над дисперсной средой (плазмой). В процессе сбивания сливок жировые шарики объединяются в комочки, образуют масляные зерна, а затем пласт масла с включенными каплями плазмы, то есть происходит обращение фаз и образуется структура плазмы в жире, характерная для сливочного масла [26].

Теория американских исследователей опровергалась О. Раном, указавшим, что еще в 1902 г. Флейшмен доказал, что в сливках, подготовленных к сбиванию, жир находится в твердом состоянии. Дисперсия твердого жира в водной фазе не является эмульсией, а суспензией. Обращение фаз возможно только в системах с жидкими фазами.

Главным недостатком теории обращения фаз в том, что сливки рассматриваются как эмульсия, а не эмульго-суспензия.

2. Пенная теория, которая была предложена в 1921 г. О. Раном, требовала наличие пены: белковая оболочка жировой частицы переходит в поверхность пузырька пены, а жировой шарик втягивается в стенку пены, где и застывает. Жировые шарики в пене располагаются очень плотно друг к другу и спрессовываются благодаря поверхностному давлению пленок

пены. Таким образом, возникают комочки, которые быстро растут. Пена опадает или потому, что масляные комочки настолько увеличились, что разрушили ее своим весом, или потому, что «вещество пены» затвердело и пена потеряла свою эластичность [24, 26].

Таким образом, в последствии О. Ран, Н. Поккельс и другие объясняли получение масла из сливок физико-химическими изменениями, происходящими в сливках под воздействием внешних факторов – температурных и механического воздействия.

3. Флотационная или физико-химическая теория сбивания сливок наиболее обстоятельно проработана А.П. Белоусовым [27].

Основой процесса агрегации жировых шариков, согласно этой теории, является вовлечение (флотация) жирового шарика в пограничную поверхность «сливки-воздух», которая образуется при перемешивании сливок в результате включения в них воздуха в виде воздушных пузырьков. Причиной флотации, согласно А.П. Белоусову, является различная активность липопротеинового комплекса оболочек жировых шариков и белков плазмы – обращенных к жиру своей гидрофобной частью, состоящей из лецитина и к плазме гидрофильной белковой частью. Наиболее важными являются изменения оболочек жировых шариков – основного стабилизирующего агента жировой дисперсии сливок. При сбивании сливок такие изменения возможны в двух направлениях: перестройка структуры нативной оболочки жировых шариков и образование новой оболочки за счет адсорбции капиллярно-активных компонентов молочной плазмы. При соприкосновении жирового шарика с воздушным пузырьком наиболее поверхностно активные компоненты оболочек жировых шариков переходят в пограничную поверхность и вытесняют из нее белки плазмы в объеме сливок. В результате такого перераспределения поверхность жирового шарика полностью или частично лишается защитной оболочки, и жировой шарик вовлекается на пограничную поверхность сливки-воздух.

Молекулярный механизм прилипания жировых шариков к воздушному пузырьку не изучен. А.П. Белоусов выделяет две стадии процесса агрегации жировых шариков на поверхности воздушного пузырька:

– вовлечение жировых шариков в пограничную поверхность воздушных пузырьков и концентрация их происходит в момент образования воздушного пузырька. В результате накопления в поверхности жировых шариков они, соприкасаясь в силу аутогезионного воздействия, объединяются в поверхностные агрегаты, образуя на внутренней поверхности воздушных пузырьков жировой слой, состоящий из жировых шариков, слипшихся посредством жидкой фракции жира;

– образование агрегатов на наружной поверхности воздушных пузырьков при сдавливании последних, а также скопления жировых шариков, окружающих воздушные пузырьки и «прилипших» к их поверхности.

Воздушные пузырьки увлекаются потоками жидкости в свободную поверхность сливок, где разрушаются. В момент разрушения воздушных пузырьков в свободной поверхности допускается возможность агрегации жировых шариков.

В процессе сбивания сливок размер образующихся жировых агрегатов увеличивается в результате столкновения их между собой и с жировыми шариками.

4. Гидродинамическая теория сбивания сливок Г.А. Кука и Р.П. Асейкина, разработанная в 1953 г., которую позднее развил А.Д. Грищенко [54...56, 74].

Сближение жировых шариков, согласно этой теории, вызывается сепарирующим эффектом вихрей, возникающих в сбиваемых сливках, а разрушение оболочек жировых шариков – результат вращения их вокруг своей оси и большой угловой скорости. А.Д. Грищенко, в развитие этой теории, обосновал возможный механизм микропроцесса агрегации жировых шариков в вихревом потоке.

При вращении лопастной мешалки в пограничном слое жидкости, на поверхности цилиндра сбивания происходит резкое смещение отдельных слоев, что приводит к столкновению жировых шариков и нарушению целостности их оболочки. Из пограничного слоя сливок в ядре их потока отбрасываются циклоны. Подобные циклоны также образуются и у поверхностей вращающихся валцов и кромок лопастей мешалки, и принимают форму вихревых шнуров. При этом жировые шарики перемещаются к оси вихря, а также совершают относительное движение в его слоях, что вызывает их вращение. В сложном гидродинамическом процессе движения шнуров и вихрей, в перемешиваемых сливках, жировые шарики приобретают огромные угловые скорости, а при соприкосновении разрушают (стирают) свои оболочки и соединяются, образуя зерна масла. Объясняя на основе гидродинамической теории механизм маслообразования в маслоизготовителях непрерывного действия, Г.А. Кук исключает полезное действие пены.

Полагая, что скорость перемешивания жирового шарика в поле действия центробежных сил вихря подчиняется закону Стокса, Г.А. Кук получил расчетным путем зависимость (1.1).

Таким образом, длительность процесса сбивания сливок должна сокращаться обратно пропорционально скорости потока во второй степени.

$$T = \frac{C}{v^2}, \text{ мин,} \quad (1.1)$$

где v - скорость потока сливок, м/с; C – эмпирическая постоянная.

5. Кавитационная теория образования масляного зерна, разработанная в 1948 г. В.Д. Сурковым [100], согласно которой потоки сливок в

маслоизготовителе движутся с различной скоростью. Это служит причиной образования в жидкости пустот и создания новых поверхностей раздела сливки-воздух. Последующее «обрушение» этих пустот потоками жидкости (сливок) имеет характер гидравлического удара, что и служит причиной агрегации жировых шариков. Последующими работами В.Д. Суркова совместно с В.М. Карнаухом с использованием стробоскопа и скоростной киносъемки «разрывное течение» сливок в маслоизготовителях было подтверждено.

Энергичное сбивание сливок, по мнению В.Д. Суркова, начинается после достижения кавитационных условий, то есть когда:

$$P_0 - \frac{\rho \cdot v^2}{2g} - \Sigma y \leq 0, \quad (1.2)$$

где P_0 – внешнее давление, Па; ρ – плотность, кг/м³; v – скорость потока, м/с; Σy – сумма сопротивлений, возникающих при движении сливок, Па.

Сурков В.Д. различает два цикла сбивания:

– в течение первого цикла происходит образование новых поверхностей раздела, которыми являются кавитационные полости, заполнение их газами и парами жидкости и выделение жировых шариков на эти поверхности раздела;

– во втором цикле происходит «обрушение» полостей потоками жидкости со скоростью около 400...500 м/с и под давлением в несколько сот атмосфер.

Это явление носит характер мощного удара, при котором в полости происходит сжатие газа и повышение его температуры, в результате чего поверхности жировых шариков оплавляются. В течение второго цикла шарики сдавливаются и, соединяясь оплавленными поверхностями, образуют комочки масла (зерна). По мнению В.Д. Суркова, пена имеет значение только при сравнительно малых скоростях движения сливок в маслоизготовителе периодического действия и теряет свое значение при больших скоростях в маслоизготовителях периодического действия.

Существенный вклад в познание теории маслообразования методом сбивания сливок внесли отечественные исследователи: М.М. Казанский рассматривал коллоидно-химическую сторону сбивания сливок [63]; Я.С. Зайковский предложил физико-химическую гипотезу образования масляного зерна [61]; Ю.Ф. Глаголев рассматривал термодинамическую гипотезу маслообразования [51]; П.А. Гордиенко занимался вопросами беспенного сбивания сливок [53].

Общими элементами всех существующих теорий и гипотез сбивания сливок (маслообразования) являются процессы нарушения стабилизирующей способности липопротеиновых оболочек жировых шариков и

агрегация жировых частиц. По этим признакам все существующие теории (маслообразования) можно разделить на три группы:

- характеризующие агрегацию жировых шариков как процесс, протекающий в водной фазе (внутри объема) сливок под влиянием внешних воздействий;

- считающие, что процесс агрегации жировых шариков при сбивании сливок осуществляется на пограничной поверхности при участии раздела воздух-сливки;

- примиряющие эти крайние точки зрения.

В зависимости от того, каким факторам придается первостепенная значимость, каждая теория (считай – ее автор) по своему объясняет процесс маслообразования. Однако ни одна из существующих теорий не дает всеобъемлющего ответа.

В плане изложенного сложилась коллизия, когда прогресс в развитии технологии производства сливочного масла и конструирования оборудования, основывающиеся на накопленном практическом опыте; теоретические же исследования при этом в известной мере пытаются объяснить уже свершившиеся явления и факты.

Из всего изученного можно заключить, что условием нормального осуществления процесса маслообразования при сбивании сливок является диспергирование в них воздушной фазы и образование пены.

Образование пены осуществляется за счет кинетической энергии, сообщаемой сливкам вращающейся мешалкой, либо емкостью. Подтверждением активной роли воздушной дисперсии в процессах маслообразования при сбивании сливок является резкое возрастание продолжительности сбивания в случае заполнения маслоизготовителя периодического действия более чем на $3/4$, так как это препятствует свободному пенообразованию.

При сбивании сливок объем пены сравнительно быстро достигает максимума, а затем постепенно снижается. Максимальный объем пены и положение максимума во времени зависит от температуры сбивания, массовой доли жира и кислотности сливок, продолжительности созревания. Продолжительность существования пены при сбивании сливок находится в пределах 70...80% от общей продолжительности процесса.

При сбивании сливок, в маслоизготовителях периодического действия, агрегация жировых шариков происходит как в поверхности раздела плазма-воздух, так и в объеме молочной плазмы. В объемной фазе (молочной плазме) агрегация жировых шариков происходит не вследствие простых столкновений их друг с другом, а в основном при активном содействии пены и флотации на воздушных пузырьках жировых шариков.

Процесс агрегации жировых шариков в молочной плазме состоит из двух последовательных операций:

- флокуляции жировых шариков с сохранившимися на них защитными оболочками, хотя и несколько измененными;
- агрегации глицеридных ядер жировых шариков, сопровождающейся разрушением их защитных оболочек.

Для того, чтобы столкновения жировых шариков были эффективными и завершились агрегацией они должны обладать кинетической энергией, достаточной для преодоления энергетического и структурно-механического барьеров. В маслоизготовителях периодического действия, характеризующихся невысокими скоростями движения сливок, подобную энергию может приобретать лишь сравнительно небольшая часть жировых шариков. В этом причина большой продолжительности и низкой эффективности (повышенная жирность пахты) сбивания сливок при исключении воздушной фазы (пены).

Выводы по 1 разделу

Анализ литературных источников показывает, что в работах, посвященных маслодельной промышленности, достаточно большое внимание уделено исследованиям по образованию масляного зерна.

Различная трактовка механизма процесса маслообразования привела к значительному количеству конструкций маслообразователей и маслоизготовителей.

Однако, с учетом сложившейся экономической ситуации в стране, все большим спросом пользуются маслоизготовители периодического действия. Они широко применяются на предприятиях с небольшими объемами переработки молока (10...300 литров в смену). Обзор маслоизготовителей периодического действия с рабочими органами в виде вращающейся емкости показывает, что процесс образования масляного зерна продолжителен по времени (30...120 мин). Применение быстродействующих маслоек с рабочими органами в виде вращающихся лопастей снижает время сбивания, но приводит к повышенному отходу жира в пахту (1...3%).

Таким образом, совершенствование технологического процесса и разработка конструкции маслоизготовителя периодического действия, позволяющие снизить время изготовления сливочного масла и повысить степень использования жира, является актуальной и практически значимой для аграрного производства задачей.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАСЛОИЗГОТОВИТЕЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

2.1. Теоретический анализ работы маслоизготовителя

На основе вышеизложенного нами предложена новая конструктивная схема маслоизготовителя периодического действия [111, 112].

В основу положено, патент на полезную модель РФ № 61506 [91] и решение о выдаче патента на изобретение РФ по заявке № 2005135936/13 (приложение А), следующее техническое решение:

– повышение производительности и снижение энергоемкости сбивания масла достигается за счет того, что цилиндрическая емкость маслоизготовителя расположена горизонтально, а механизм сбивания выполнен в виде двух колес, расположенных в левой и правой части емкости, и, имеющих возможность вращения в разные стороны, посредством редуктора расположенного между ними, каждое из которых состоит из спицы, жестко соединенной с приводным валом, и ленты, концы которой развернуты на 180° , соединены между собой и закреплены жестко к спице.

Маслоизготовитель периодического действия (рис. 2.1) содержит неподвижную цилиндрическую ёмкость 1, имеющая подножку 2, по оси которой на приводном валу 3 с возможностью вращения в подшипниковых узлах 4 и 5 закреплён жёстко механизм сбивания, выполненный в виде двух рабочих колёс 6 и 7, расположенных в левой и правой части ёмкости 1, и имеющих возможность вращения в разные стороны посредством редуктора 8, расположенного между ними, который удерживается от прямого вращения благодаря упору 9 на ёмкости 1 и рычага 10 закреплённого на корпусе редуктора 8. Рабочие колёса (рис. 2.1 и 2.2) состоят из спиц 11 и 12, жёстко соединённой с приводным валом 3 и ленты, концы которой развёрнуты на 180° , соединены между собой и закреплены жёстко к спице. Мощность, необходимую для обеспечения требуемой частоты вращения, даёт электродвигатель 13, закреплённый фланцем на крышке ёмкости 14.

Маслоизготовитель работает следующим образом. Через открытую крышку 14 сливки заливают в ёмкость 1, после чего крышку закрывают и укладывают на подножки 2. При включении электродвигателя 13 приводится во вращение механизм сбивания. При этом рабочие колёса 6 и 7 вращаются в разные стороны, посредством редуктора 8, и осуществляется интенсивное перемешивание сливок, что приводит к образованию турбулентного режима движения материала (свёрнутая лента рабочего колеса вызывает образование двух воронок, направленных друг от друга), и, как итог – ускорение образования масляного зерна, вследствие чего повышается производительность технологического процесса маслоизго-

товителя. По окончании технологического процесса ёмкость устанавливается на дно, крышка 14 снимается, и полученный продукт извлекается.

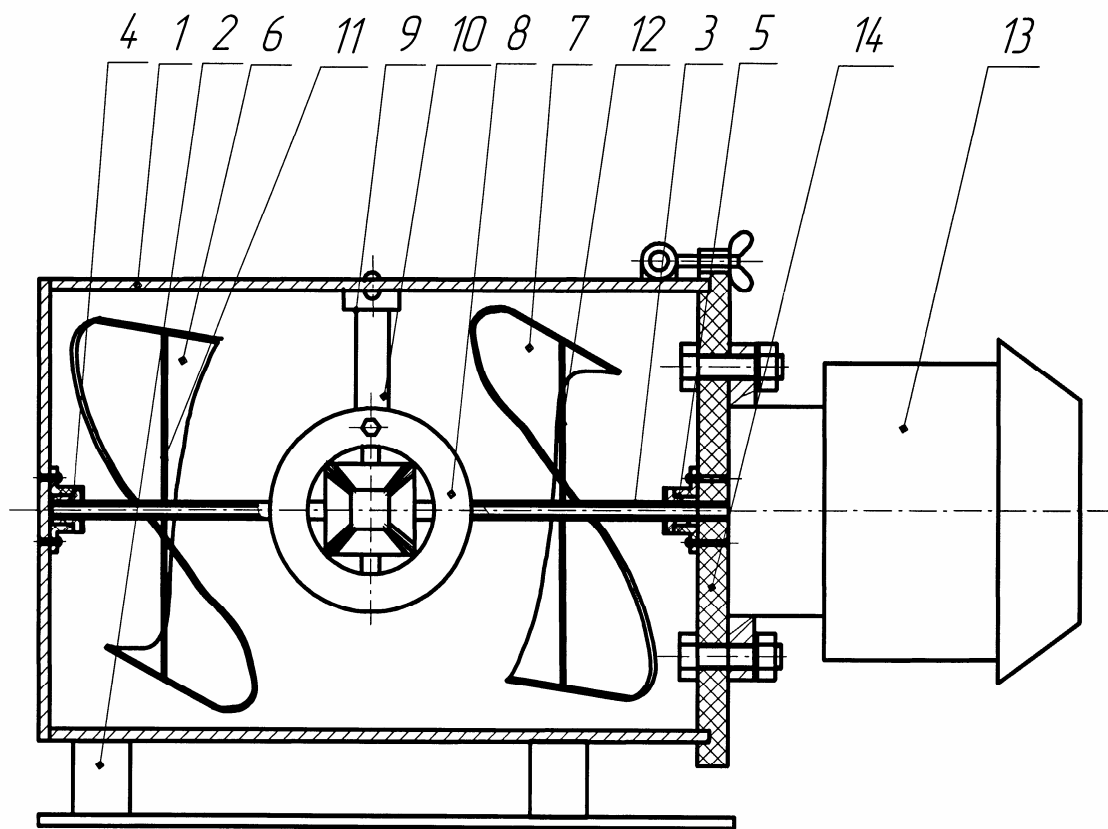


Рис. 2.1. Маслоизготовитель периодического действия по патенту на полезную модель РФ № 61506:
 1 – емкость неподвижная; 2 – подножка; 3 – вал приводной; 4,5 – узлы подшипниковые; 6,7 – колеса рабочие; 8 – редуктор; 9 – упор; 10 – рычаг; 11, 12 – спицы; 13 – электродвигатель; 14 – крышка

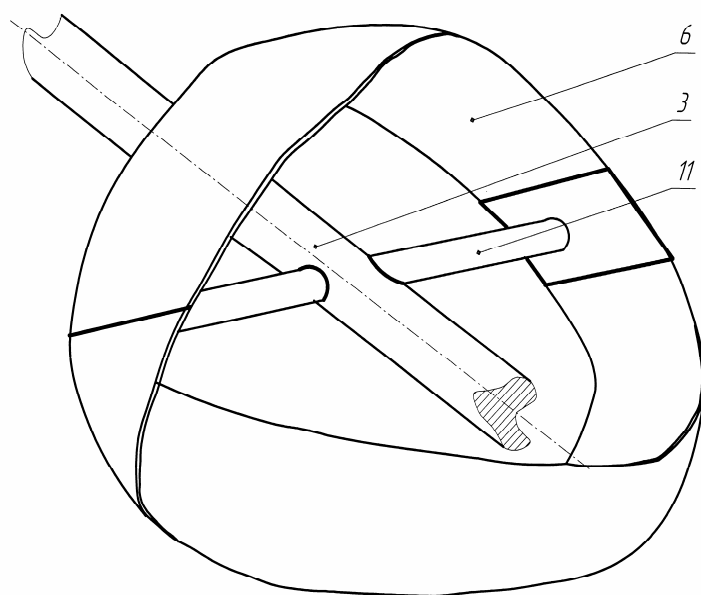


Рис. 2.2. Рабочее колесо механизма сбивания

2.2. Анализ вида (режима) движения сливок и влияния, оказываемого изменением конструктивно-кинематических параметров

Рассматривая гидравлическую сторону работы маслоизготовителя, прежде всего приходится сталкиваться с вопросом динамического взаимодействия механизма сбивания со сливками и взаимодействие сливок со стенками и дном емкости. Характер этого взаимодействия обуславливается в первую очередь скоростью и направлением возникающих потоков.

Из гидромеханики известно, что силы динамического взаимодействия имеют вихревую природу и единственным видом устойчивого движения жидкости, совершающегося с постоянным запасом энергии, является винтовое движение жидкости [29, 44, 59, 81, 94, 95, 114].

Рассмотрение структуры потока в маслоизготовителе начнем с анализа вращательного движения жидкости и последствий этого движения.

Известны два вида вращательного движения жидкости:

– **статическое**, то есть совершающееся по принципу вращения твердого тела.

Основные условия статического вращения – постоянство угловой скорости для всех точек вращающегося тела:

$$\omega = \text{const} . \quad (2.1)$$

Скорости и ускорения частиц жидкости связаны с радиусом вращения следующими уравнениями:

$$v = \omega \cdot r , \text{ м/с}; \quad (2.2)$$

$$a_{\text{ц}} = \omega^2 \cdot r , \text{ м/с}^2 , \quad (2.3)$$

где r – радиус вращения, м.

Если принять условие, что $r \rightarrow 0$, то $v \rightarrow 0$ и $a_{\text{ц}} \rightarrow 0$, а при $r \rightarrow \infty$, то $v \rightarrow \infty$ и $a_{\text{ц}} \rightarrow \infty$.

– **динамическое** вращение рассматривается в гидродинамике и характеризуется тем, что произведение окружной скорости частицы на расстояние ее до оси вращения должно оставаться постоянным для всей массы жидкости:

$$v \cdot r = c = \text{const} . \quad (2.4)$$

После анализа выражений (2.2), (2.3) и (2.4) имеем для случая динамического вращения жидкости:

$$\omega = \frac{c}{r^2} , \text{ с}^{-1}; \quad (2.5)$$

$$a_{\text{ц}} = \frac{c^2}{r^3} , \text{ м/с}^2 . \quad (2.6)$$

То есть при динамическом вращении угловая скорость изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния частицы от оси вращения, а ускорение центробежной силы обратно пропорционально кубу расстояния.

Если принять условие, что $r \rightarrow \infty$, то $v \rightarrow 0$ и $a_{ц} \rightarrow 0$, а при $r \rightarrow 0$, то $v \rightarrow \infty$ и $a_{ц} \rightarrow \infty$.

В соответствии с уравнением Д. Бернулли [94] и предполагая потери энергии равные нулю, имеем:

$$z + \frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2g} = \text{const}, \quad (2.7)$$

где z – геометрическая высота, м; P – давление, Па; ρ – плотность жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

Принимая во внимание, что $z = \text{const}$ и (2.4), получим:

$$\frac{P}{\rho} = \text{const} - \frac{c^2}{2gr^2}. \quad (2.8)$$

Выражение (2.8) показывает, что давление в жидкости уменьшается с уменьшением радиуса вращения, вследствие чего образуется воронка в центре свободной поверхности вращающейся жидкости.

Для самой же оси вращения, то есть при $r \rightarrow 0$ и $v \rightarrow \infty$, из (2.7) получим $P \rightarrow \infty$, поэтому ось динамического вращения является местом разрыва сплошности течения.

В пограничном подслое 3 (рис. 2.3) имеет место наибольший градиент скорости. Как установлено многочисленными исследованиями в трубах и лотках [83], распределение скоростей в этом подслое может быть выражено уравнением:

$$v = v_0 \left(\frac{x}{f} \right)^n, \text{ м/с}, \quad (2.9)$$

где f – толщина пограничного подслоя, м; x – расстояние от стенки вдоль радиуса емкости, м; v_0 – скорость у верхней границы подслоя, м/с; n – показатель степени, зависящий от шероховатости стенки и числа Рейнольдса.

Из гидромеханики известно, что жидкость, составляющая однородный конечный цилиндрический вихрь, вращающийся вокруг оси статически, то есть как твердое тело, а вокруг себя вызывает динамическое вращение жидкости.

Таким образом, статическое и динамическое вращение жидкости неразрывно связаны друг с другом и сопутствуют друг другу. Подобное комбинированное вращение жидкости в гидромеханике называют комбинированным вихрем Ренкина [25, 29, 31, 65].

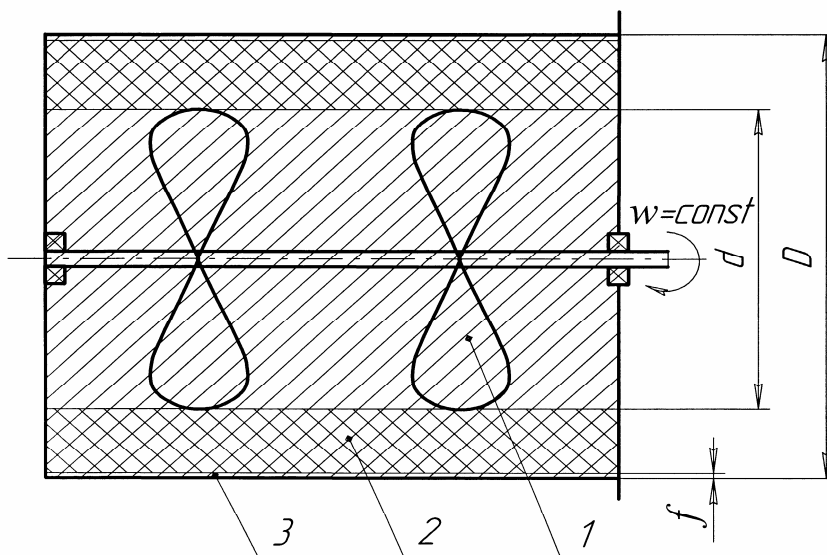


Рис. 2.3. Схема расположения областей вращения жидкости в маслоизготовителе:
 1 – область статического вращения жидкости; 2 – область динамического вращения жидкости; 3 – пограничный подслой

Наличие областей статического и динамического вращения жидкости подтверждается не только характером распределения скоростей в потоке, но и формой свободной поверхности, образующейся при вращении жидкости.

В емкости наблюдается сложное вихревое движение жидкости, при котором возможно одновременное существование нескольких областей и режимов течения: турбулентного, промежуточного, ламинарного (в пределах выступов шероховатости стенок емкости) и наличие вихреобразований различного характера [57, 99, 104, 106, 114...119].

Поток жидкости, создаваемый механизмом сбивания, имеет три составляющие скорости (рис. 2.4), записанные в цилиндрической системе координат (r, φ, z) :

$$v_r = \frac{v}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \varphi}}; \quad (2.10)$$

$$v_t = \frac{v \operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \varphi}}; \quad (2.11)$$

$$v_z = \frac{v \operatorname{tg} \varphi}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \varphi}, \quad (2.12)$$

где v_r – радиальная составляющая результирующей скорости жидкости, м/с; v_t – тангенциальная составляющая результирующей скорости жидкости, м/с; v_z – осевая составляющая результирующей скорости жидкости, м/с; v – результирующая скорость жидкости в любой точке

маслоизготовителя, м/с; α – угол, определяющий отклонение вектора результирующей скорости от вертикальной плоскости, проходящей через ось маслоизготовителя и начало этого вектора, град; φ – угол, определяющий отклонение вектора результирующей скорости от горизонтальной плоскости, перпендикулярной к оси аппарата (плоскость вращения механизма сбивания), град.

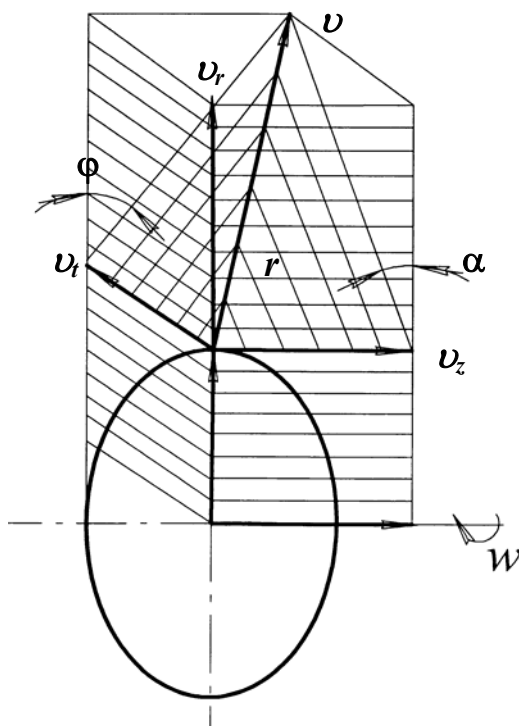


Рис. 2.4. Схема разложения результирующей скорости жидкости в маслоизготовителе с механизмом сбивания

Течение жидкости в емкости, вызванное механизмом сбивания изображается линиями тока, которые являются воображаемыми линиями, показывающими путь элементарной частицы при ее движении [80, 82, 87], в зависимости от направлений различают следующие типы течения:

- тангенциальное течение, при котором жидкость в емкости движется параллельно пути, описываемому рабочими колесами механизма сбивания;
- радиальное течение, при котором жидкость течет от рабочих колес механизма сбивания перпендикулярно оси вращения;
- осевое течение, при котором жидкость поступает и вытекает из рабочего колеса параллельно оси ее вращения.

Как видно на рис. 2.5 силовое поле с наибольшей концентрацией энергии располагается под некоторым углом к горизонтали. При одновременной работе двух рабочих колес механизма сбивания образуется не одна AB – в случае с одним рабочим колесом (см. рис. 2.5 а), а три линии раздела токов AB , DC и EF (см. рис. 2.5 б, в), что приводит к более сильной турбулизации режима движения сливок.

Можно отметить, что наибольшая турбулизация режима движения сливок, наблюдается при использовании конструктивной схемы механизма сбивания маслоизготовителя с редуктором (см. рис. 2.5 в), который дает возможность вращения рабочих колес в противоположных направлениях и встречному направлению потоков верхнего и нижнего колеса MQ и NR , что позволяет более быстрое разрушение белковой оболочки молочного жира с его последующей агрегацией.

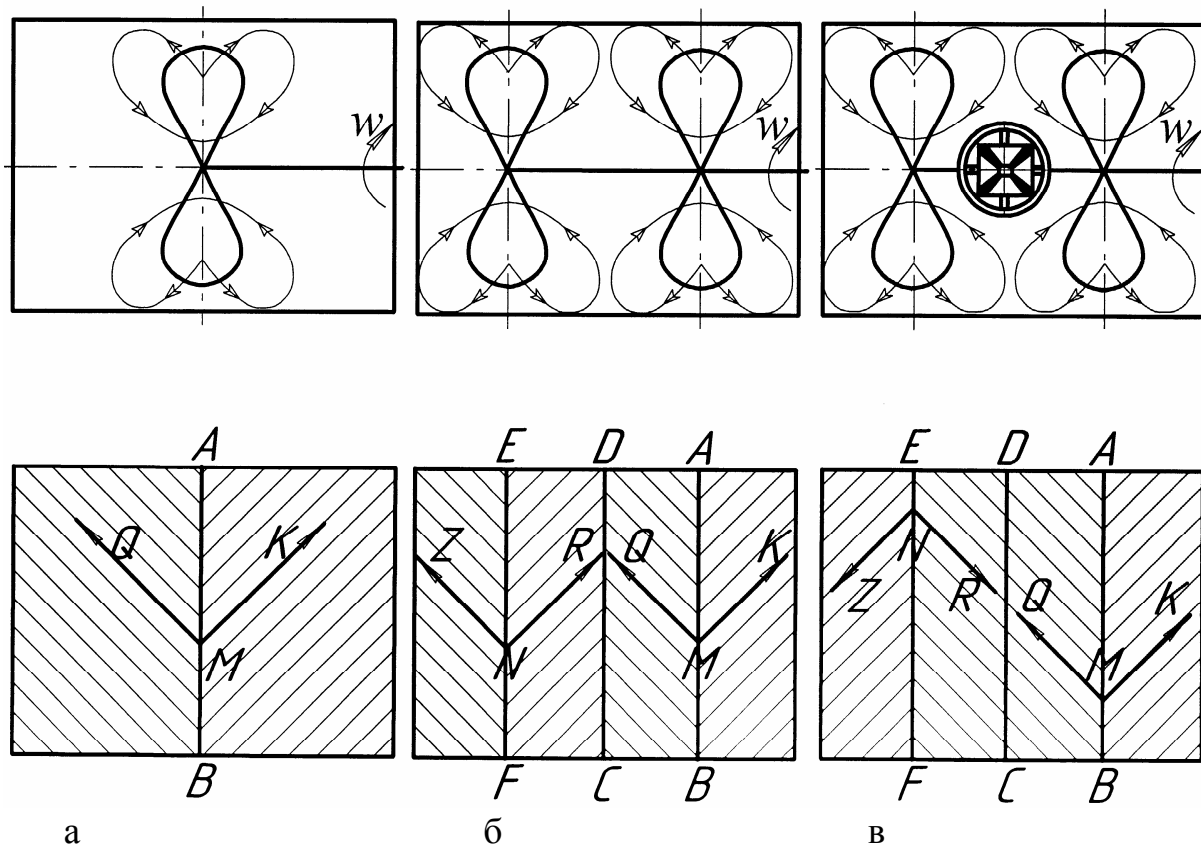


Рис. 2.5. Схема движения сливок в маслоизготовителе:
 а – с одним рабочим колесом; б – с двумя рабочими колесами без редуктора;
 в – с двумя рабочими колесами и редуктором

Угол отклонения линии тока от горизонтали увеличивается с ростом числа оборотов механизма сбивания. У дна емкости вторичные потоки всегда направлены от периферии к центру емкости и вид траекторий движения отдельных частиц близок к логарифмическим спиральям. Наличие вторичных потоков, вызывающих продольно-винтовое движение частиц перемешиваемой среды, является одним из основных факторов, способствующих интенсификации турбулентного режима, для чего необходимо горизонтальное размещение маслоизготовителя.

Сложный характер движения жидкости приводит к образованию зон пониженного давления и возникновение кавитации при резком повороте потока, отрыве его от обтекаемой поверхности, динамического взаимодействия

потоков в областях сопряжения нескольких направляющих поверхностей [66], что способствует интенсификации образования масляного зерна.

2.3. Силы взаимодействия между потоком сливок и механизмом сбивания маслоизготовителя. Мощность на валу маслоизготовителя

Для дальнейшего рассмотрения работы механизма сбивания введем следующее ограничение:

– сливки поступают и вытекают из рабочего колеса параллельно оси ее вращения.

При осевом перемещении, передача энергии с вала сливкам происходит при помощи рабочих колес механизма сбивания. Так как рабочее колесо, вращаясь, удерживается в осевом направлении, а концы ленты развернуты на 180° , соединены между собой, то есть под углом к плоскости вращения, то колесо тянет на себя сливки, либо отталкивает, несколько закручивая и перемещая вдоль оси.

Для рассмотрения работы механизма сбивания воспользуемся теорией решетки профилей [77, 93, 96, 97, 103, 105].

Рассекая рабочее колесо цилиндрической поверхностью радиусом r и развертывая эту поверхность с сечениями ленты, получаем плоскую решетку профилей (рис. 2.6), из которой видно, что лента содержит по два рабочих участка A_1B_1 , A_2B_2 и C_1D_1 , C_2D_2 , имеющих разнонаправленность воздействия на перемешиваемую жидкость. Участок A_2B_2 по отношению к A_1B_1 , равно как C_2D_2 по отношению к C_1D_1 имеет смещение относительно осевой линии решетки профилей, что указывает на ступенчатость.

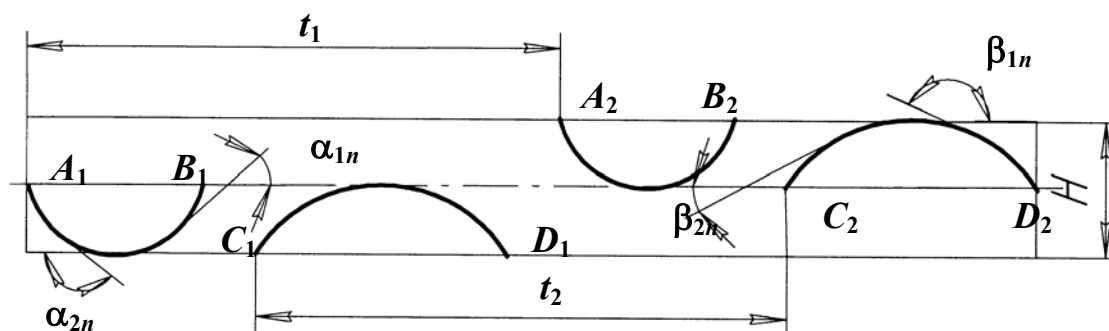


Рис. 2.6. Решетка профилей рабочего колеса развернутая на плоскость

Основные величины, характеризующие геометрию решетки, следующие:

t_1 , t_2 – соответственно шаги профилей, равные расстоянию между сходственными точками, измеренному в направлении движения решетки, м;

H – ширина решетки – размер, параллельный оси вращения, м;

α_{1n}, α_{2n} и β_{1n}, β_{2n} – соответственно профильные углы на входе и выходе соответствующих профилей, град.

Основные кинематические параметры потока проходящего, через решетку характеризующие параллелограммы скоростей, следующие:

u_1, c_1, v_1 и u_2, c_2, v_2 – соответственно переносная, относительная и абсолютная скорости на входе и выходе, м/с;

$\beta_{1вог}, \beta_{2вог}$ и $\beta_{1выг}, \beta_{2выг}$ – соответственно углы входа и выхода соответствующих профилей – углы между осью решетки и относительными скоростями на входе и выходе, град;

ε – угол атаки (между касательной к средней линии лопасти и относительной скоростью на входе, град).

Из планов скоростей (рис. 2.7) следует, что решетка профилей изменяет величины и направления относительной и абсолютной скоростей. Характерными особенностями является закручивание потока решеткой, так как $v_{2u} \neq v_{1u}$.

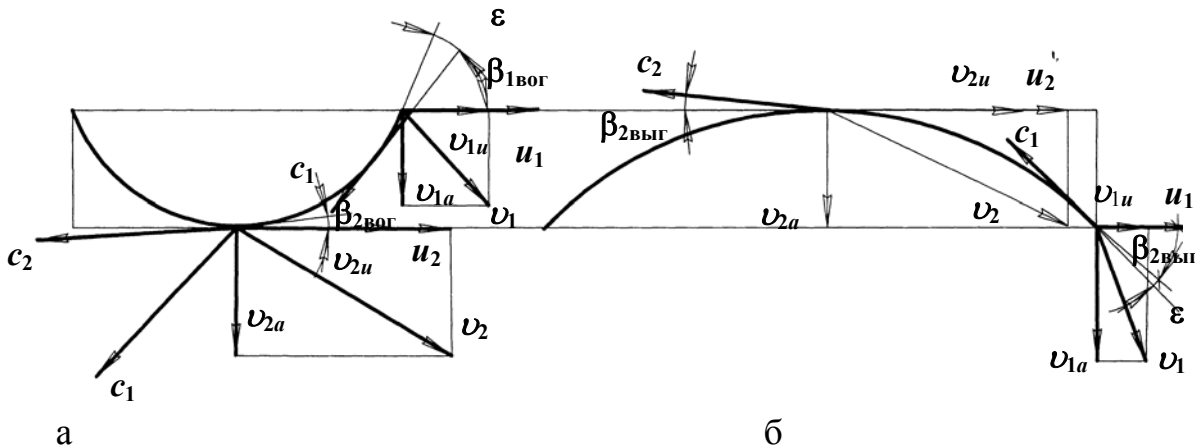


Рис. 2.7. Планы скоростей профилей рабочего колеса решетки:
а – вогнутый профиль рабочего колеса; б – выгнутый профиль рабочего колеса

Применим уравнение неразрывности потока

$$\rho_1 \cdot S_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot S_2 \cdot v_2, \quad (2.13)$$

где ρ_1, ρ_2 – плотность жидкости соответственно у входного и выходного сечения, кг/м³; S_1, S_2 – площадь соответственно входного и выходного сечения, м²;

Полагая площади входного и выходного сечения одинаковыми $S_1=S_2$ и нормальными к оси маслоизготовителя, тогда векторы v_1 и v_2 соответственно нормальны к этим плоскостям. Для несжимаемой жидкости $\rho_1=\rho_2$.

Из рис. 2.7 следует, что $v_{1a}=c_{1a}$, а $v_{2a}=c_{2a}$, следовательно, уравнение неразрывности потока может быть записано так:

$$\left. \begin{aligned} v_{1a} = v_{2a} = v \\ c_{1a} = c_{2a} = c \end{aligned} \right\}. \quad (2.14)$$

Энергия, сообщаемая потоку рабочей лопастной решеткой, может быть рассчитана по основному уравнению центробежной машины [59, 94, 105], в котором следует полагать $u_2 = u_1 = u$:

$$L_T = u(v_{2u} - v_{1u}) = u \cdot \Delta v_u. \quad (2.15)$$

Из планов скоростей (см. рис. 2.7) следует

$$\begin{aligned} v_{2u} &= u_2 - v_{2a} \cdot \operatorname{ctg} \beta_2; \\ v_{1u} &= u_1 - v_{1a} \cdot \operatorname{ctg} \beta_1. \end{aligned} \quad (2.16)$$

Подставив значения v_{2u} и v_{1u} в выражение (2.15) и учтя (2.14), получим:

$$L_T = u \cdot c_a (\operatorname{ctg} \beta_1 - \operatorname{ctg} \beta_2). \quad (2.17)$$

Применим уравнение количества движения, служащее для расчета сил взаимодействия между потоком и лопастями решетки скоростей.

Принимая во внимание, что рабочим органом является бесконечная лента, которая разделяет поток на две составляющие и одновременно воздействует на обрабатываемый материал, как верхней частью, так и нижней, то целесообразно рассматривать профиль решетки, как две симметричных лопасти. Тогда пусть лопасть длиной Δr (рис. 2.8) действует на поток с силой P . Проекции этой силы: P_a – на ось маслоизготовителя и P_u – на ось решетки.

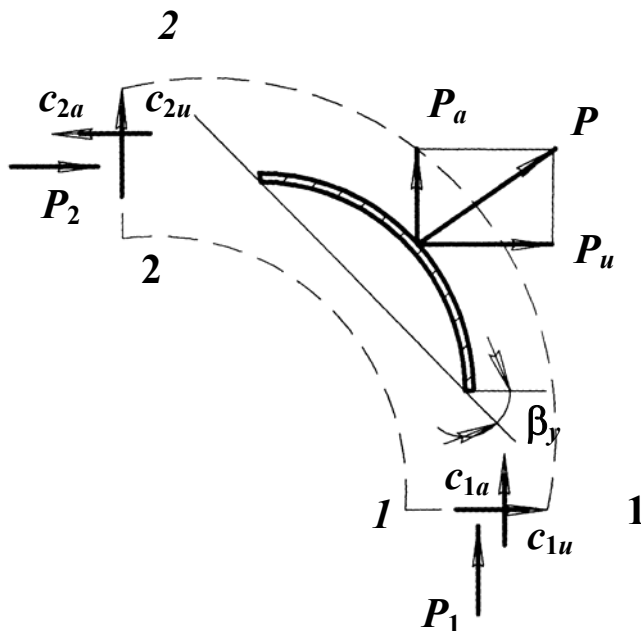


Рис. 2.8. Применение теоремы импульсов к определению сил, действующих на лопасть

Применим уравнение количества движения, служащее для расчета сил взаимодействия между потоком и лопастями решетки скоростей. Принимая во внимание, что рабочим органом является бесконечная лента,

которая разделяет поток на две составляющие и одновременно воздействует на обрабатываемый материал, как верхней частью, так и нижней, то целесообразно рассматривать профиль решетки, как две симметричных лопасти. Тогда пусть лопасть длиной Δr (см. рис. 2.8) действует на поток с силой P . Проекции этой силы: P_a – на ось маслоизготовителя и P_u – на ось решетки.

Рассмотрим поток при относительном движении с шириной, равной шагу решетки. Через сечение 1–1 проходит в секунду масса $\Delta r \cdot t \cdot c_{1a} \cdot \rho_1$, обладающая в направлении оси устройства количеством движения $\Delta r \cdot t \cdot c_{1a} \cdot \rho_1 \cdot c_{1a}$. Аналогично для сечения 2–2 $\Delta r \cdot t \cdot c_{2a} \cdot \rho_2 \cdot c_{2a}$.

Если p_1 и p_2 – давление в сечениях 1–1 и 2–2 потока, то обуславливаемые им силы будут $\Delta r \cdot t \cdot p_1$ и $\Delta r \cdot t \cdot p_2$.

Импульс внешних сил, действующих на поток в направлении начальной скорости, равен изменению количества движения потока, поэтому:

$$(P_a + \Delta r \cdot t \cdot p_1 - \Delta r \cdot t \cdot p_2) \cdot 1c = -(\Delta r \cdot t \cdot \rho_2 \cdot c_{2a}^2 - \Delta r \cdot t \cdot \rho_1 \cdot c_{1a}^2). \quad (2.18)$$

Знак минус в правой части равенства указывает на то, что изменение количества движения рассматриваемого объема жидкости вызывает силу, действующую на лопасть в направлении, обратном P_a , следовательно:

$$P_a = \Delta r \cdot t (p_2 - p_1) + \Delta r \cdot t (\rho_1 \cdot c_{1a}^2 - \rho_2 \cdot c_{2a}^2), \text{ Н.} \quad (2.19)$$

Для несжимаемой жидкости в соответствии с выражением (2.14) получим:

$$P_a = \Delta r \cdot t (p_2 - p_1), \text{ Н.} \quad (2.20)$$

Как видно из выражения (2.20), что осевая сила, приложенная к потоку, расходуется на повышение давления.

Применим уравнение количества движения для определения тангенциальной составляющей P_u . Для этого запишем уравнение количества движения в проекции на ось решетки.

Количество движения в сечениях 1–1 и 2–2 можно записать, как $\Delta r \cdot t \cdot c_{1a} \cdot \rho_1 \cdot c_{1u}$ и $\Delta r \cdot t \cdot c_{2a} \cdot \rho_2 \cdot c_{2u}$. Следовательно, уравнение количества движения можно записать как:

$$P_u \cdot 1c = -\Delta r \cdot t (c_{2a} \cdot \rho_2 \cdot c_{2u} - c_{1a} \cdot \rho_1 \cdot c_{1u}), \text{ Н.} \quad (2.21)$$

Для несжимаемой жидкости в соответствии с выражением (2.14) получим:

$$P_u = \Delta r \cdot t \cdot c_{1a} (c_{1u} - c_{2u}), \text{ Н.} \quad (2.22)$$

Результирующая получается геометрическим сложением сил P_a и P_u :

$$P = \sqrt{P_a^2 + P_u^2}, \text{ Н.} \quad (2.23)$$

Для упрощения нахождения тангенциальной составляющей силы давления P_u на перемешиваемый поток сливок механизмом сбивания маслоизготовителя необходимо рассмотреть вращение решетки профилей рабочего колеса (см. рис. 2.6) относительно оси Y с постоянной угловой скоростью ω (рис. 2.9).

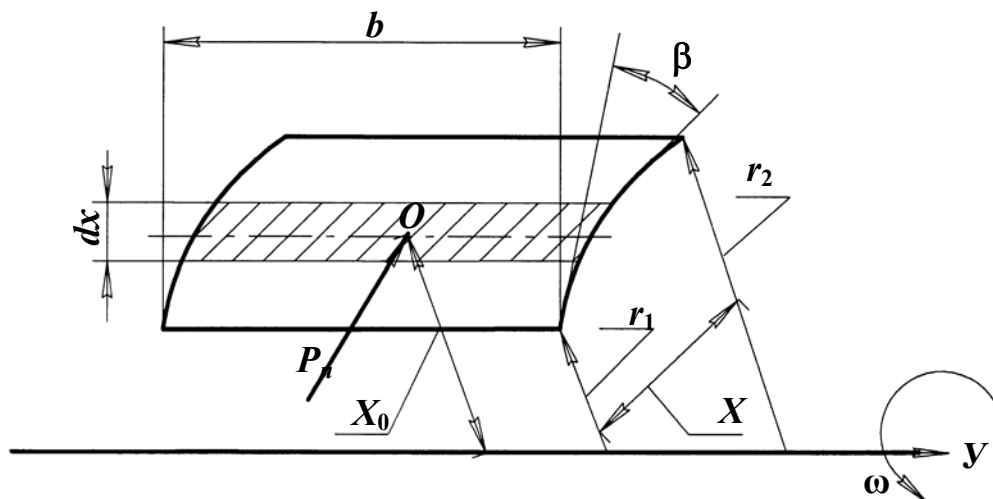


Рис. 2.9. Схема к расчету мощности маслоизготовителя

Исходя из теории обтекания жидкостью тел, для определения усилий действующих на пластинку расположенную под углом β к направлению вращения найдем сопротивление среды по формуле Ньютона – Кармана [64]:

$$P_u = \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot \sin \beta, \text{ Н.} \quad (2.24)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м^3 ; v – окружная скорость движения тела, м/с ; S – площадь пластинки, м^2 ; β – угол наклона пластинки к направлению движения, град.

Таким образом, при своем движении тело сдвигает в единицу времени объем $S \cdot v$, сообщая этому объему количество движения, равное массе, умноженной на скорость $\rho \cdot v$.

Рассмотрим элемент поверхности $dS = b \cdot dx$ (см. рис. 2.9) и с учетом, что $v = \omega \cdot x$, получим:

$$dP_u = c \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot b \cdot \sin \beta \cdot x^2 dx, \quad (2.25)$$

где c – коэффициент сопротивления; b – ширина ленты рабочих колес, м.

Проинтегрируем выражение (2.25) по пределам r_1, r_2 , получим силу давления на всю лопасть

$$P_u = c \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot b \cdot \sin \beta \cdot \int_{r_1}^{r_2} x^2 dx. \quad (2.26)$$

Тогда получаем:

$$P_u = \frac{1}{3} c \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot b \cdot (r_2^3 - r_1^3) \cdot \sin \beta, \text{ Н.} \quad (2.27)$$

Точка O (см. рис. 2.9) приложения силы давления P_u на профиль находится на оси его симметрии и на глубине $2/3 b$.

Теперь определим точку приложения силы P_u . В общем виде имеем

$$x_0 = \frac{1}{P_u} \int x dP_u. \quad (2.28)$$

С учетом выражения (2.25) и (2.27) и проинтегрировав по пределам r_1, r_2 , имеем

$$x_0 = \frac{3}{4} \cdot \frac{r_2^4 - r_1^4}{r_2^3 - r_1^3}, \text{ м.} \quad (2.29)$$

Мощность идущая на вращение лопасти определится из выражения [23, 64, 75]

$$N = P \cdot \omega \cdot x_0, \text{ Вт.} \quad (2.30)$$

Таким образом, для определения мощности, необходимой на перемешивание сливок, следует определить мощность затраченную каждым профилем с соответствующим углом наклона к плоскости вращения β и радиусами r_1, r_2 .

Ввиду того, что механизм сбивания выполнен в виде двух рабочих колес, то мощность необходимая на перемешивание сливок определится так [99]:

$$N_2 = 0,7 \cdot n \cdot N, \text{ Вт,} \quad (2.31)$$

где n – число рабочих колес.

В выражение (2.31) определения мощности по рекомендации ряда авторов [64, 81, 99] вводим поправочный коэффициент, равный 1,5, с целью учета относительной неравномерности значений c при воздействии ленты рабочих колес механизма сбивания маслоизготовителя на весь объем обрабатываемых сливок, что позволяет более точно и объективно оценить затраты энергии на процесс сбивания масла.

Известно [64], что коэффициент сопротивления c , в выражении (2.27), для квадратичной области (автомодельный режим) является величиной постоянной и принимается в расчетах $c=0,44$.

Мощность на привод маслоизготовителя будет определяться суммой мощности холостого хода и мощности необходимой на перемешивание сливок механизмом сбивания:

$$N_{\text{пр}} = N_2 + N_{\text{хх}}, \text{ Вт,} \quad (2.32)$$

где $N_{\text{хх}}$ – мощность холостого хода, Вт.

На основании результатов исследований ряда авторов [25, 57, 81], а также данных экспериментальных исследований предлагаемого маслоизготовителя можно принять, что $N_{\text{xx}} = 0,15 \cdot N_2$, и мощность необходимая на привод будет определяться:

$$N_{\text{пр}} = 1,15 \cdot N_2, \text{ Вт.} \quad (2.33)$$

Для более детального изучения вопроса затрат мощности на перемешивание сливок в маслоизготовителе периодического действия, возникает необходимость вывода критериального уравнения. На основании теоретического анализа вопроса и результатов опытов можно сделать вывод, что мощность, потребляемая маслоизготовителем периодического действия данного конструктивного типа зависит от следующих параметров.

1. Физические параметры:

а) плотность сливок ρ , кг/м³;

б) динамическая вязкость жидкости μ , $\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$;

2. Кинематические и динамические параметры:

а) частота вращения n , с⁻¹;

б) ускорение свободного падения g , м/с²;

3. Геометрические параметры системы (механизма сбивания и емкости):

а) диаметр рабочего колеса d , м;

б) диаметр емкости D , м;

в) длина емкости, l_e , м;

г) ширина ленты рабочего колеса b , м;

д) высота слоя сливок H_o , м;

е) расстояние между стенкой емкости и рабочим колесом, l_o , м;

ж) расстояние между рабочими колесами, $l_{\text{р.к}}$, м;

Запишем следующую функцию с учетом наиболее значимых переменных, а остальные геометрические параметры будут давать симплексы геометрического подобия:

$$N = f_0(\rho, n, d, \mu, g), \text{ Вт.} \quad (2.34)$$

Воспользуемся методом анализа размерностей, который позволяет выразить общую функциональную зависимость для любого исследуемого процесса в виде уравнения связи между определенным числом безразмерных комплексов, состоящих из физических величин с соответствующей размерностью, выраженной с помощью основных единиц измерения. [23, 33, 67, 106].

В основу метода анализа размерностей положена теорема Букингама (Пи-теорема).

Введем следующие допущения:

– известно заранее (из практических данных), от каких именно параметров процесса и переменных зависит рассматриваемая физическая величина;

– связь между всеми существенными для исследуемого процесса физическими величинами выражается в виде степенного многочлена.

Тогда (2.34) примет следующий вид

$$N = f(\rho, n, d, \mu, g, N) = 0. \quad (2.35)$$

Размерность всех входящих в зависимость (2.35) величин можно выразить с помощью трех основных переменных m, l, t (масса, длина и время соответственно) следующим образом:

$$N = ml^2t^{-3} \text{ или } \text{Вт} = \text{Н} \cdot \frac{\text{М}}{\text{с}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{М}^2}{\text{с}^3};$$

$$\mu = ml^{-1}t^{-1} \text{ или } \text{Па} \cdot \text{с} = \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{М}^2} = \frac{\text{кг}}{\text{М} \cdot \text{с}};$$

$$\rho = ml^{-3} \text{ или } \frac{\text{кг}}{\text{М}^3};$$

$$g = lt^{-2} \text{ или } \frac{\text{М}}{\text{с}^2};$$

$$n = t^{-1} \text{ или } \frac{1}{\text{с}};$$

$$d = l \text{ или } \text{м}.$$

Составим критериальное уравнение:

$$F(\pi_1, \pi_2, \pi_3) = 0, \quad (2.36)$$

где π_i – независимый безразмерный комплекс.

Следовательно с учетом (2.35) для каждого π_i имеем систему:

$$\left. \begin{aligned} \pi_1 &= \rho^{x_1} \cdot n^{y_1} \cdot d^{z_1} \cdot \mu \\ \pi_2 &= \rho^{x_2} \cdot n^{y_2} \cdot d^{z_2} \cdot g \\ \pi_3 &= \rho^{x_3} \cdot n^{y_3} \cdot d^{z_3} \cdot N \end{aligned} \right\}. \quad (2.37)$$

Находим теперь для каждого π_i числовые значения показателей степени x_i, y_i, z_i . Для π_1 , заменяя величины ρ, n, d, μ их размерностями, получим

$$[ml^{-3}]^{x_1} [t^{-1}]^{y_1} [l]^{z_1} [ml^{-1}t^{-1}]. \quad (2.38)$$

Или, что то же

$$m^{x_1+1} l^{-3x_1+z_1-1} t^{-y_1-1}. \quad (2.39)$$

Выражение (2.39) должно быть безразмерным и показатели степени при m, l, t должны быть равны нулю:

$$\left. \begin{aligned} x_1 + 1 &= 0 \\ -y_1 - 1 &= 0 \\ -3x_1 + z_1 - 1 &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (2.40)$$

Решая эту систему, находим

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= -1 \\ y_1 &= -1 \\ z_1 &= -2 \end{aligned} \right\}.$$

Таким образом, получим следующее выражение π_1

$$\pi_1 = \rho^{-1} \cdot n^{-1} \cdot d^{-2} \cdot \mu = \frac{\mu}{\rho \cdot n \cdot d^2} = \frac{1}{R_{\text{еи}}}. \quad (2.41)$$

Аналогично в том же порядке вычисляем π_2, π_3 .

Для π_2 , заменяя величины ρ, n, d, g их разностями, получим:

$$\left[ml^{-3} \right]^{x_2} \left[t^{-1} \right]^{y_2} \left[l \right]^{z_2} \left[lt^{-2} \right]. \quad (2.42)$$

Или, что то же:

$$m^{x_2} l^{-3x_2+z_2+1} t^{-y_2-2}. \quad (2.43)$$

Аналогично выражение (2.43) должно быть безразмерным и показатели степени при m, l, t должны быть равны нулю:

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= 0 \\ -y_2 - 2 &= 0 \\ -3x_2 + z_2 + 1 &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (2.44)$$

Решая эту систему, находим

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= 0 \\ y_2 &= -2 \\ z_2 &= -1 \end{aligned} \right\}.$$

Таким образом, получим следующее выражение π_2

$$\pi_2 = \rho^0 \cdot n^{-2} \cdot d^{-1} \cdot g = \frac{g}{n^2 \cdot d} = \frac{1}{F_{\text{ри}}}. \quad (2.45)$$

Аналогично для π_3 , заменяя величины ρ, n, d, μ их разностями, получим

$$\left[ml^{-3} \right]^{x_3} \left[t^{-1} \right]^{y_3} \left[l \right]^{z_3} \left[ml^2 t^{-3} \right]. \quad (2.46)$$

Или, что то же

$$m^{x_3+1} l^{-3x_3+z_3+2} t^{-y_3-3}. \quad (2.47)$$

Выражение (2.47) должно быть безразмерным и показатели степени при m, l, t должны быть равны нулю:

$$\left. \begin{aligned} x_3 + 1 &= 0 \\ -y_3 - 3 &= 0 \\ -3x_3 + z_3 + 2 &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (2.48)$$

Решая эту систему, находим

$$\left. \begin{aligned} x_3 &= -1 \\ y_3 &= -3 \\ z_3 &= -5 \end{aligned} \right\}.$$

Таким образом, получим следующее выражение π_3

$$\pi_3 = \rho^{-1} \cdot n^{-3} \cdot d^{-5} \cdot N = \frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5} = K_N. \quad (2.49)$$

Искомое критериальное уравнение (2.36) примет вид

$$F \left[\frac{1}{R_{eu}}; \frac{1}{F_{ru}}; K_N \right] = 0. \quad (2.50)$$

Пользуясь (2.34), можно получить

$$\frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5} = \Phi \left(\frac{1}{R_{eu}}; \frac{1}{F_{ru}} \right). \quad (2.51)$$

Тогда получим

$$N = \rho \cdot n^3 \cdot d^5 \Phi \left(\frac{1}{R_{eu}}; \frac{1}{F_{ru}} \right), \text{ Вт.} \quad (2.52)$$

Для учета влияния остальных геометрических характеристик системы в полученное критериальное уравнение необходимо добавить симплексы геометрического подобия и окончательно получим критериальное урав-

нение, содержащее в соответствии с π -теоремой 8 безразмерных переменных:

$$\frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5} = c \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^{a_1} \cdot \left(\frac{l_e}{d}\right)^{a_2} \cdot \left(\frac{b}{d}\right)^{a_3} \cdot \left(\frac{H_0}{d}\right)^{a_4} \times \\ \times \left(\frac{l_0}{d}\right)^{a_5} \cdot \left(\frac{l_{p.k.}}{d}\right)^{a_6} \cdot \left(\frac{1}{R_{eu}}\right)^{a_7} \cdot \left(\frac{1}{F_{ry}}\right)^{a_8}, \quad (2.53)$$

где $c, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8$ – эмпирические показатели.

Таким образом, получили безразмерные комбинации:

– симплексы геометрического подобия:

$$\Gamma_D = \left(\frac{D}{d}\right); \Gamma_{l_e} = \left(\frac{l_e}{d}\right); \Gamma_b = \left(\frac{b}{d}\right); \\ \Gamma_{H_0} = \left(\frac{H_0}{d}\right); \Gamma_{l_0} = \left(\frac{l_0}{d}\right); \Gamma_{l_{p.k.}} = \left(\frac{l_{p.k.}}{d}\right); \quad (2.54)$$

– центробежный критерий Рейнольдса, характеризующий гидромеханическое подобие:

$$R_{eu} = \frac{\rho \cdot n \cdot d^2}{\mu}; \quad (2.55)$$

– центробежный критерий Фруда, характеризующий гравитационное подобие:

$$F_{ry} = \frac{n^2 \cdot d}{g}; \quad (2.56)$$

– критерий мощности или центробежный критерий Эйлера, характеризующий гидравлическое сопротивление при вращении механизма сбивания в сливках:

$$K_N = \frac{N}{\rho \cdot n^3 \cdot d^5}. \quad (2.57)$$

Выводы по 2 разделу

Проведенное теоретическое обоснование работы и параметров маслоизготовителя показало, что:

- область вращения жидкости в маслоизготовителе условно можно подразделить на: область статического вращения, область динамического вращения и пограничный подслой;

- в емкости маслоизготовителя наблюдается сложное вихревое движение жидкости, при котором возможно одновременное существование нескольких областей и режимов течения: турбулентного, промежуточного, ламинарного и наличие вихреобразований различного характера;

- при одновременной работе двух рабочих колес механизма сбивания образуются три линии раздела токов, что приводит к более сильной турбулизации режима движения сливок;

- наибольшая турбулизация режима движения сливок наблюдается при использовании механизма сбивания маслоизготовителя с редуктором, в силу встречной направленности потоков верхнего и нижнего рабочего колеса;

- при сложном характере движения сливок возникают кавитационные зоны в местах его отрыва от обтекаемых поверхностей, динамического взаимодействия потоков в областях сопряжения несколькими направляющими поверхностями;

- выражение (2.23) позволяет определить силу давления на профиль ленты рабочего колеса механизма сбивания;

- мощность необходимую на перемешивание сливок механизмом сбивания можно определить по формуле (2.30);

- мощность для привода вала маслоизготовителя с учетом потерь позволяет определить выражение (2.33);

- полученное критериальное уравнение (2.53) методом анализа размерностей позволяет определить потребную мощность маслоизготовителя;

- для проверки критериального уравнения (2.53) необходимо определить значения показателей степенных переменных и свободного члена на основании результатов производственных исследований маслоизготовителя с оптимальными конструктивно-кинематическими параметрами.

3. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАСЛОИЗГОТОВИТЕЛЯ

3.1. Программа и методика экспериментальных исследований

Целью экспериментальных исследований явилось определение оптимальных конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя на основе планирования многофакторного эксперимента. Исходными данными для разработки программы исследований явились задачи исследований, теоретические разработки, а также общая программа исследований с учетом рекомендаций Г.В. Веденяпина, В.В. Коновалова, С.В. Мельникова и других [30, 34, 52, 68, 76, 83, 101, 102].

Программа экспериментальных исследований предусматривала:

- проведение поискового опыта для определения конструктивной схемы механизма сбивания маслоизготовителя периодического действия, обеспечивающей наиболее производительный процесс сбивания масла;

- отсеивающий эксперимент, который необходим для сокращения числа опытов и определения наиболее значимых факторов, а также получения регрессионных уравнений описывающих процесс маслоизготовления (степени использования жира, процента выхода масла, энергоемкости сбивания);

- реализация D-оптимального плана для 3-х факторов. Получение регрессионных уравнений процесса маслоизготовления, а также определения оптимальных значений конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя;

- проведение опытно-производственной проверки выбранных оптимальных конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя, а также определения функциональной зависимости критериального уравнения (2.53) и оценки сходимости полученных экспериментальных и теоретических зависимостей.

Объектом исследований явился технологический процесс прерывного сбивания сливочного масла.

Предметом исследований служили закономерности, условия и режимы сбивания сливок при прерывном технологическом процессе, а также качество получаемого сливочного масла.

Обработка полученных результатов проводилась с помощью компьютерных программ Statistica 6.0, MathCAD 11 и Excel [30, 68].

Критериями оценки работы являлись качественные, количественные и энергетические показатели [30, 83, 101].

К качественным показателям относятся процент выхода масла и степень использования жира.

Процент выхода масла зависит от массы заливаемых сливок и пахты:

$$C = \frac{(M - m) \cdot 100}{M}, \%, \quad (3.1)$$

где M – масса заливаемых сливок, кг; m – масса пахты, отобранной после образования масляного зерна, кг.

Отбор пахты производился после омывания смотрового окна маслоизготовителя, что свидетельствует о получении масляного зерна размером 3...4 мм [69, 108].

Правильность процесса сбивания оценивалась по степени использования жира, то есть по количеству жира, перешедшего из сливок в масло [39...42, 62, 72, 78, 98, 109]:

$$S = 100 - k, \%, \quad (3.2)$$

где k – жирность пахты, определенная по ГОСТ 5867–90, %.

К количественным показателям относится производительность сбивания масла

$$Q = \frac{V \cdot \rho \cdot C}{t}, \text{ кг/ч}, \quad (3.3)$$

где V – объем заливаемых сливок, м³; ρ – плотность сливок, кг/м³; t – время сбивания, ч.

К энергетическим показателям относится мощность, потребляемая электроприводом, которая замерялась мультиметром электронным М890G.

Энергоемкость сбивания масла зависит от производительности и затрачиваемой мощности

$$\mathcal{E} = \frac{N}{Q}, \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}, \quad (3.4)$$

где N – потребляемая мощность, Вт;

Степень использования жира и процент выхода масла являются ограничениями при нахождении экстремума критерия оценки – энергоемкости сбивания масла, без которого невозможна технико-экономическая эффективность устройства.

Таблица 3.1

Применяемое оборудование для измерений

Параметр измерения	Наименование прибора, оборудования	Стандарт на прибор, оборудование	Точность измерений
Линейные размеры	Штангельциркуль ШЦ–2	ГОСТ 166–80	0,1 мм
	Рулетка металлическая РЗ–10	ГОСТ 7502–80	1,0 мм
Объем	Пипетки	ГОСТ 29169–91	-
	Цилиндр	ГОСТ 1770–82	5,0 мл
	Дозатор	ГОСТ 6859–82	0,1 мл
Температура	Термометр ртутный стеклянный	ГОСТ 28498–90	1,0 ⁰ С
Частота вращения	Тахометр часового типа ТЧ–10Р	ГОСТ 21339–75	1,0 мин ⁻¹
Мощность	Мультиметр электронный М890G	ГОСТ 7502–93	0,01 Вт
Жирность	Жироскопы стеклянные	ТУ 25–2024.019–82	0,02 %
Масса	Весы лабораторные	ГОСТ 21104–88	0,01 г
	Весы измерительные МРШ15–2.5	ТУ 4274–008–45915116–2001	0,001 г

3.1.1. Методика определения физико-механических свойств сливочного масла

Определение параметров сливочного масла проводилось в лаборатории маслозавода ОАО «Молоко» Лопатинского района Пензенской области.



Рис. 3.1. Лаборатория маслозавода ОАО «Молоко»

Определение жирности пахты. Правильность процесса сбивания оценивают по степени использования жира, то есть по количеству жира, перешедшего из сливок в масло [39...42, 62, 72, 78, 98].

Количество пахты определяют по разности массы сливок и масла. При нормальных условиях сбивания степень использования жира должна быть не ниже 99,6%, жирность пахты не должна превышать 0,4%.

Определение жирности пахты проводят согласно ГОСТ 5867–90. В два жиромера, горловины которых со стороны градуированной части закрыты пробками, осторожно, стараясь не смочить горловину, отмеривают серную кислоту. Затем отмеривают исследуемый продукт в каждый жиромер при помощи пипетки вместимостью 10,77 см³ (по два раза), осторожно сливая его по стенке жиромера [32, 47].

Дозатором добавляют в жиромеры по 2 см³ изоамилового спирта. Жиромеры закрывают большими пробками и встряхивают до полного растворения белковых веществ, время от времени переворачивая.

Жиромеры устанавливают большой пробкой вниз на 5 минут в емкость с водой температурой 65±2°C.

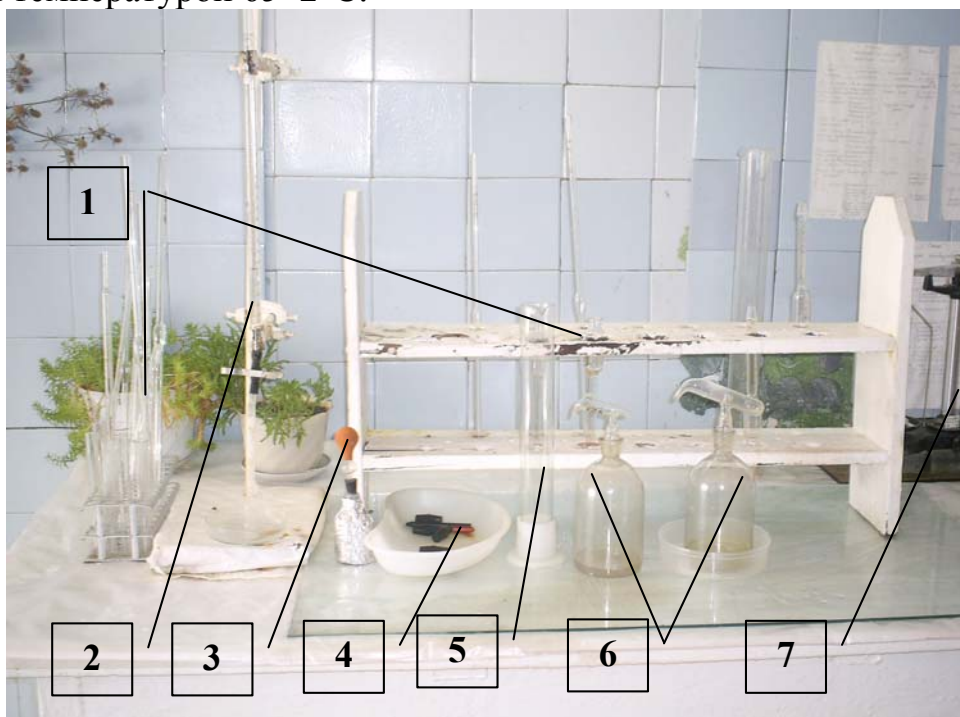


Рис. 3.2. Применяемая аппаратура и материалы для определения параметров масла:

1 – колбы и палочки стеклянные; 2 – дозатор для отмеривания изоамилового спирта или серной кислоты; 3 – груша резиновая; 4 – пипетки и пробки резиновые; 5 – цилиндр; 6 – емкости; 7 – весы лабораторные

Вынув из емкости подогретые жиромеры, устанавливают в центрифугу градуированной частью к центру. Центрифугируют три раза по 5 минут или два раза по 10 минут. Между центрифугированием жиромеры термостатируют по 5 минут в емкости с водой при температуре 65±2°C.

После первого центрифугирования, для облегчения регулирования уровня в жиромере, маленькую пробку слегка приоткрывают, не вынимая ее полностью. С помощью большой пробки устанавливают верхний уровень жидкости в градуированной части жиромера. Затем меньшее отверстие плотно закрывают.



Рис. 3.3. Центрифуга лабораторная

После второго центрифугирования и выдерживания в емкости с водой проверяют положение уровня жидкости.

Обычно после второго центрифугирования заметного отделения жира не наблюдается.

После третьего центрифугирования вынимают из жиромеров маленькие пробки, помещают на 5 минут в емкость с водой при температуре $65 \pm 2^\circ\text{C}$ и следят, чтобы уровень жидкости не поднимался выше деления шкалы.

Вынув жиромеры из емкости, и регулируя большой пробкой, устанавливают нижнюю границу жира на нулевом или ближайшем целом делении шкалы и быстро производят отсчет жира.

Определение влаги в масле. Одним из показателей сортности масла является количество влаги, выражаемое в процентах. Так в крестьянском

масле согласно ГОСТ 37–91 «Масло коровье» и ТУ 49200–72 содержание влаги допускается не более 25%, в любительском 20%, сладко-сливочном 16% [46].

Определение влаги в масле проводят по ГОСТ 3626–73 [45]. Методика проведения анализа следующая. В сухой алюминиевый стакан взвешивают 5 или 10 г исследуемого сливочного масла с погрешностью не более 0,01 г.



Рис. 3.4. Весы лабораторные

С помощью специального металлического держателя или щипцов алюминиевый стакан осторожно, особенно в начале, нагревают, поддерживая спокойное и равномерное кипение, не допуская вспенивания и разбрызгивания. Нагревание производят до прекращения отпотевания холодного зеркала или стекла, поддерживаемого над стаканом.

Признаком конечного периода испарения воды служит прекращение вспенивания и треска, и появления лёгкого побурения. После высушивания стакан охлаждают на чистом, гладком, металлическом листе и взвешивают.

Массовую долю влаги (W) в процентах вычисляют по формуле

$$W = \frac{(m - m_1) \cdot 100}{m_0}, \% \quad (3.5)$$

где m – масса алюминиевого стакана с навеской продукта до нагревания, г; m_1 – масса алюминиевого стакана с навеской продукта после удаления влаги, г; m_0 – навеска продукта, г.

Расхождение между параллельными определениями для сливочного масла не должно быть более 0,2%. За окончательный результат применяют среднее арифметическое двух параллельных определений.

Определение жирности масла. Кроме содержания влаги определяется его жирность. Норма содержания жира, согласно ГОСТ 37–91 «Масло коровье» и ТУ 49200–72, в крестьянском масле, составляет 72,5%, в любительском 78,5%, в сладко-сливочном 82,5% [46].

При определении жирности масла пользуются ГОСТ 5867–90, где производится анализ содержания сухого вещества по ГОСТ 3626–73 после определения содержания влаги в продукте [45, 47].

В алюминиевый стакан вкладывают оплавленную стеклянную палочку и взвешивают. В стакан отвешивают 10 г сливочного масла. Производят определение содержания влаги. Остаток в алюминиевом стакане, после определения содержания влаги слабо подогревают до расплавления жира, приливают 50 мл бензина или эфира, смесь тщательно перемешивают палочкой и оставляют в покое на 3...5 минут для осаждения осадка. Плавающие на поверхности бензина частицы, не осаждаются на дно, указывают на неполное выпаривание влаги. В этом случае определение должно быть повторено. После отстаивания осадка бензино-жировой раствор осторожно сливают, не взмучивая осадка, оставляя в стакане 1–2 мл бензино-жирового раствора. Обработку осадка бензином повторяют три раза. Остаток в стакане нагревают на слабом пламени спиртовки до полного удаления бензина. Полное удаление бензина определяют по рассыпчатости остатка при перемешивании его стеклянной палочкой. Стакан с содержимым охлаждают до комнатной температуры и взвешивают.

Содержание сухого обезжиренного вещества масла (C) в процентах вычисляют по формуле:

$$C = \frac{(G - G_1) \cdot 100}{G_0}, \quad (3.6)$$

где G – вес стакана с остатком после удаления бензино-жирового раствора, г; G_1 – вес пустого стакана со стеклянной палочкой, г; G_0 – навеска масла, г.

Массовую долю жира в масле вычисляют по формуле, согласно ГОСТ 5867–90:

$$X = 100 - (B + C), \quad (3.7)$$

где X – массовая доля жира в масле, %; B – массовая доля влаги в масле, определенная по ГОСТ 3626–73, %; C – массовая доля обезжиренного сухого вещества в масле, определяемая по ГОСТ 3626–73, %; 100 – коэффициент пересчета массовой доли жира на 100 г продукта.

Определение содержания воздуха. В масле всегда содержится воздух, как в виде механически захваченных пузырьков, так и растворённый в плазме. Основная часть газовой фазы (76...81%) находится в масле в

свободном состоянии, и только меньшая её часть (19...24%), растворена в плазме [39, 41, 69].

Воздух, содержащийся в масле, влияет на качество масла и его стойкость при хранении. От количества воздуха зависит консистенция масла – при снижении содержания воздуха продукт становится более плотным и твердым, и часто имеет крошливую и колющуюся консистенцию. Чрезмерное увеличение количества газовой фазы разрыхляет монолит масла и служит причиной появления рыхлой консистенции. Оптимальное содержание воздуха в масле (2...3 мл в 100 г) обуславливает пластичную консистенцию и его высокую стойкость при хранении [41, 69].

От количества воздуха зависит цвет продукта. Масло с повышенным содержанием воздуха имеет более бледную окраску, что объясняется рассеиванием пузырьками воздуха света, падающего на срез.

Содержание воздуха в масле зависит от способа его изготовления. В сладко-сливочном масле, полученном способом прерывного сбивания, количество воздуха 2,4...3,3% [46].

Для определения содержания воздуха применяют гидростатический метод. Сущность гидростатического метода определения содержания воздуха в масле заключается в следующем. С помощью неравноплечных весов оборудованных дополнительно сменной деталью – пробоносителем, определяют в начале величину подъемной силы взвешенного образца масла в воде, а потом вычисляют количество воздуха в нем.

Пробоноситель подвешивают с помощью проволочки к крючку опорной подвески весов. Его используют для удержания образца масла под водой в период гидростатического взвешивания, а при взвешивании масла на технхимических весах – в качестве подставки. Пробоноситель можно изготовить в виде перфорированного металлического колпака или полого цилиндра с толщиной стенки около 4 мм, высотой 30 мм и внешним диаметром 45 мм. Внутри цилиндра при его диаметре впаивают металлическую пластинку с отверстием для подвешивания пробоносителя к весам.

Пробоноситель с помощью тонкой проволочки диаметром 0,3...0,5 мм и длиной 7... 10мм подвешивают к короткому плечу маслопробных весов. На нулевое деление процентной шкалы навешивают четыре рейтера по 0,5 г каждый. Под пробоноситель подводят стакан (глубиной не менее 15 см) с кипяченой и охлажденной до 20°C дистиллированной водой, таким образом, чтобы пробоноситель и часть проволочки (2...3 см) над ним погрузились в воду. С помощью тарировочных гаек весы приводят к положению равновесия, затем пробоноситель извлекают из воды и насухо вытирают. Из исследуемого масла при 18...20°C вырезают образец массой 40...50 г и помещают его в пробоноситель. На технхимических весах находят в начале общую массу, а потом по разности массу образца.

Пробоноситель с маслом погружают в подготовленную емкость с дистиллированной водой и подвешивают на проволоке к маслопробным весам. В течение 30...40 с весы уравнивают, перемещая рейтеры с нулевого деления вправо по процентной шкале, а затем находят величину подъемной силы, исходя из того, что перемещение каждого из рейтеров на одно малое деление соответствует 0,01 г.

Содержание воздуха в масле вычисляют по формуле:

$$W = \frac{100 \cdot 2q}{P} + 0,1B - 5,62, \quad (3.8)$$

где W – содержание воздуха в 100г масла, мл; q – подъемная сила гидростатируемого образца масла, г; P – масса образца масла, г; B – содержание влаги в масле, %.

Определение кислотности масла. Кислотность масла, определяется по ГОСТ 3624-92 в соответствии с ГОСТ 37-91, выражают в градусах Кеттстофера или титруемости [46]. Кислотность масла не должна превышать 23°. Под градусами Кеттстофера понимают количество миллилитров 0,1н раствора едкого натра (калии), необходимого для нейтрализации 5 г масла, умноженного на два.

Методика проведения анализа следующая. В коническую колбу вместимостью от 50 до 100 мг отвешивают 5 г масла. Слегка нагревают колбу в теплой воде для расплавления масла, прибавляют в нее 20 мг нейтральной смеси спирта с эфиром, 3 капли раствора фенолфталеина и титруют при постоянном помешивании раствором едкого натра (калии) до появления слабо розового окрашивания, не исчезающего в течение одной минуты. Кислотность в градусах Кеттстофера равна количеству миллилитров 0,1н раствора едкого натра (калии), затраченного на нейтрализацию 5 г продукта умноженного на два.

Расхождение между параллельными определениями должно быть не выше 0,2° кислотности Кеттстофера.

Оценка консистенции пробой на срез. Проба масла на срез позволяет характеризовать твердость, плотность, упругость, связность структуры, то есть определить консистенцию продукта [69, 78].

В день выработки отбирают пробы масла массой 200 г, обворачивают в пергамент и для завершения процесса кристаллизации жира выдерживают в течение суток при минусовой температуре, затем их отепляют в комнатных условиях до 5°C. От подготовленной пробы заостренным шпателем отрезают пластинку толщиной 1,5...2 мм, длиной 5...7 см и испытывают на деформацию изгибом.

Характеристику консистенции устанавливают по шкале оценки в зависимости от вида срезов:

хорошая консистенция – пластинка имеет плотную ровную поверхность и края, при легком нажатии прогибается;

удовлетворительная – пластинка выдерживает небольшой изгиб, затем медленно ломается;

крошлиявая – пластинка имеет неровные края, при изгибе ломается;

колющаяся – при отрезании пластинка распадается на кусочки;

слоистая – при отрезании и изгибе пластинка разделяется на слои;

излишне рыхлая – пластинка при нажиме легко сминается.

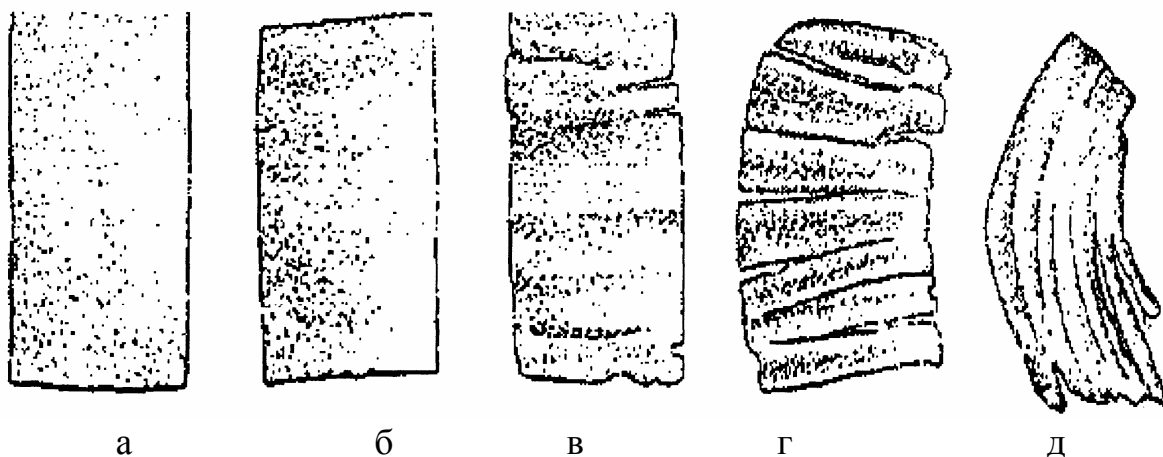


Рис. 3.5. Шкала оценки консистенции пробой на срез:
а – хорошая; б – удовлетворительная; в – крошлиявая;
г – колющаяся; д – слоистая

3.1.2. Методика проведения поискового опыта

Поисковый опыт на изготовленном макете маслоизготовителя (рис. 3.6) проводился с целью определения конструкции механизма сбивания (рис. 3.7 и 3.8), обеспечивающей наиболее производительный процесс сбивания масла.

Макет маслоизготовителя состоит из неподвижной ёмкости 1 (см. рис. 3.6), по оси которой на приводном валу 1 (см. рис. 3.7 и 3.8) с возможностью вращения в подшипниковых узлах 4 закреплён механизм сбивания, выполненный в виде двух рабочих колёс 2 и 3, расположенных в нижней и средней части ёмкости, каждое из которых состоит из свёрнутой ленты, образованной путём соединения её концов, развёрнутых на 180 градусов между собой и закрепленной к приводному валу с помощью спиц. Привод маслоизготовителя осуществляется от электродвигателя. Залив сливок и выгрузка сливочного масла и пахты осуществляется через съёмную крышку 2 (см. рис. 3.6).

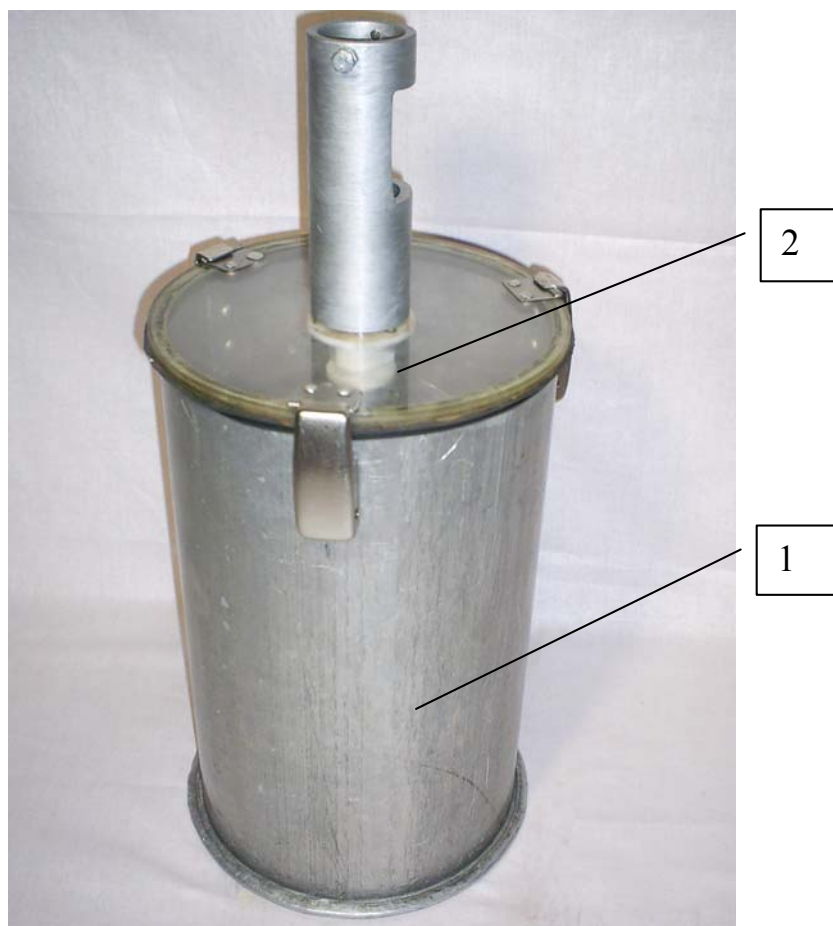


Рис. 3.6. Макет маслоизготовителя

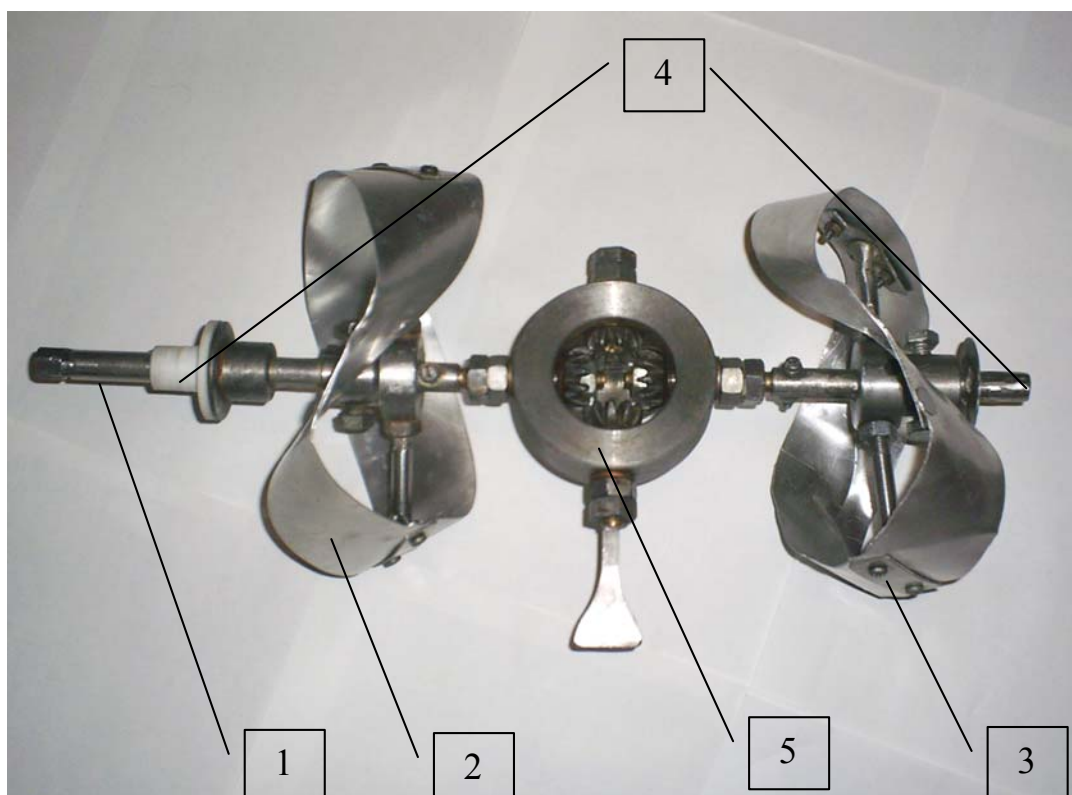


Рис. 3.7. Механизм сбивания с редуктором

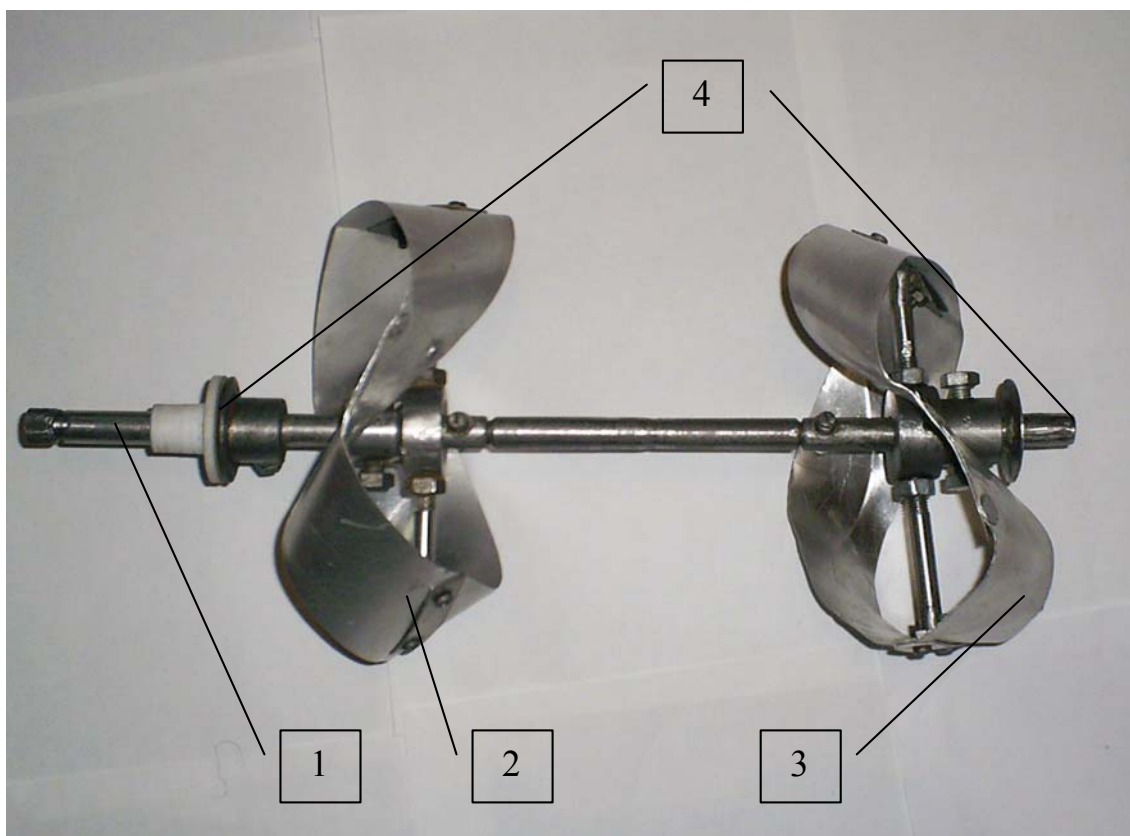


Рис. 3.8. Механизм сбивания без редуктора

Критерием оценки было принято время сбивания (продолжительность появления масляного зерна). В процессе проведения опытов изменялась конструкция механизма сбивания, при помощи установки редуктора 5 (см. рис. 3.7), расположенного между рабочими колесами 2 и 3 (см. рис. 3.7 и 3.8). Емкость имела вертикальное положение. Степень заполнения емкости составляла 50% (6,25 л), ширина установленных лент составляла 0,05 м, направление навивки каждого рабочего колеса была одна – левая, частота вращения механизма сбивания составляла 120 мин^{-1} . Жирность сливок при проведении опытов была постоянной 40%, температура 10°C . Используемые сливки отвечали требованиям ГОСТ 13264–88 «Молоко коровье. Требования при заготовке». Исходя из условия, что предельная ошибка во всех опытах приближенно равна возможной наибольшей статистической, и задаваясь надежностью исследований $P=0,95$ [52, 83], была выбрана трехкратная повторность опытов.

3.1.3. Методика проведения отсеивающего эксперимента

Качество получаемого сливочного масла, а также энергоемкость технологического процесса зависит от множества факторов. При исследовании невозможно охватить влияние всех факторов и их взаимодействия. Поэтому, на основании априорной информации, результатов поискового

опыта, а также исходя из конкретных задач исследования, были выделены наиболее существенные факторы.

Выделенными факторами были: частота вращения, ширина ленты рабочих колес, степень заполнения емкости, направление навивки верхнего и нижнего рабочего колеса, расстояние между рабочими колесами, вид ленты рабочих колес, угол наклона емкости к горизонтали.

Отсеивающий эксперимент проводился с целью исключения малозначимых факторов для сокращения последующего числа опытов.

Суть метода заключается в том, что если факторы расположить в порядке убывания их доли, вносимой в дисперсию оптимизации, то получится ранжированный ряд вида убывающей экспоненты. Небольшим числом опытов воспроизводят этот ряд и при помощи регрессионного анализа оценивают наиболее значимые эффекты факторов на шумовом поле, создаваемом несущественными факторами [83].

Построение ранжированного ряда проводили в две стадии. В начале проводили серию опытов по специально составленной матрице, а затем строили диаграммы рассеяния для визуальной оценки степени влияния того или иного фактора и оценивали ее количественно.

Исследования проводились на лабораторной установке (рис. 3.9).

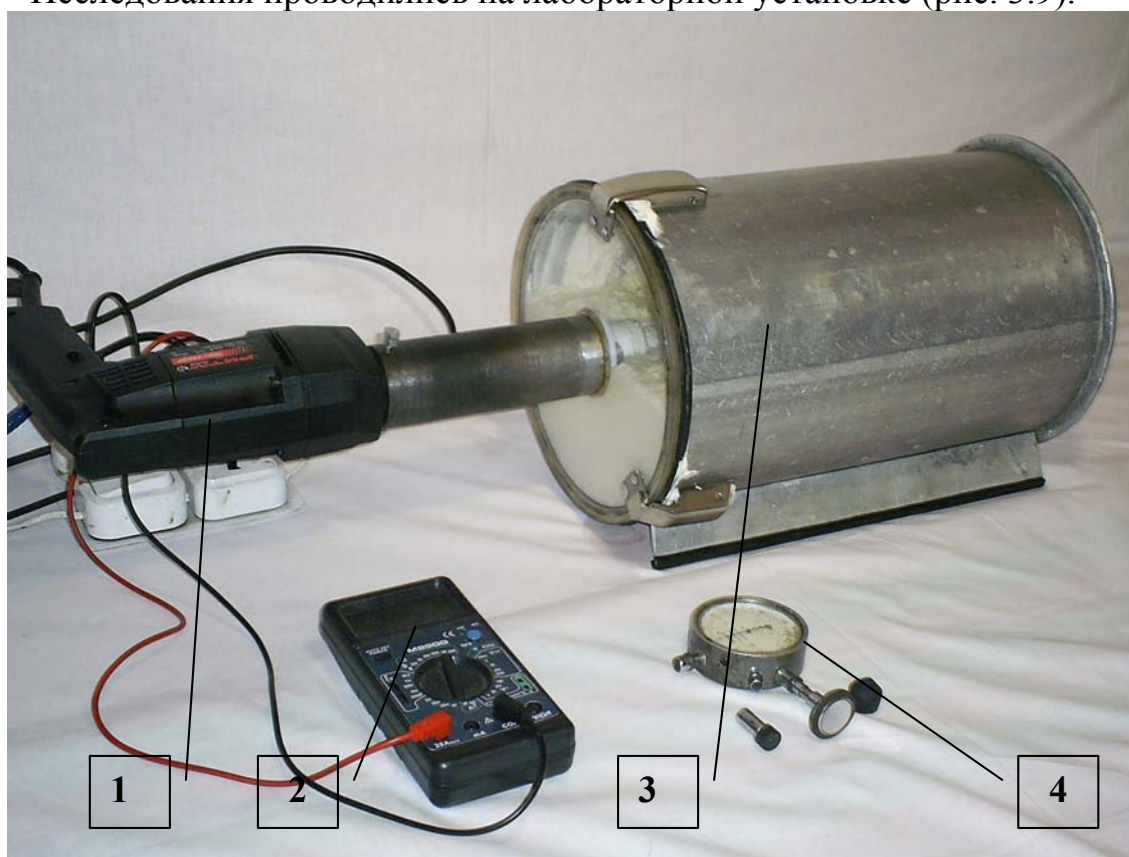


Рис. 3.9. Лабораторная установка маслоизготовителя:
1 – электрическая дрель с регулируемой частотой вращения; 2 – мультиметр электронный M890G; 3 – маслоизготовитель;
4 – тахометр часового типа ТЧ-10Р

При отсеивающем эксперименте предполагалось, что поверхность отклика описывается линейной моделью вида

$$Y=B_0+ B_1\cdot X_1+ B_2\cdot X_2+ \dots+ B_{n-1}\cdot X_{n-1}+A, \quad (3.9)$$

где B_0, B_1, \dots, B_n – коэффициент регрессии при выделенных линейных членах; n – общее число линейных эффектов; l – число эффектов отсеянных; A – составляющая отклика, отсеянная к шумовому полю вместе с ошибкой опыта.

Планы проведения экспериментов и методики обработки результатов подробно описаны во многих источниках [1, 26, 28, 55, 58, 68, 83, 86]. В соответствии с ними проводились опыты и математическая обработка данных.

При проведении исследований маслоизготовителя частота вращения менялась с помощью реостата электродрели, а корректировка и замер показаний осуществлялись с помощью тахометра часового типа ТЧ – 10Р. Мощность определялась при помощи мультиметра электронного М890G. Ширина лент рабочих колес механизма сбивания, направление навивки (рис. 3.10 и рис. 3.11) и вид (рис. 3.12 и 3.13) изменялись с помощью комплекта сменных лент. Жирность сливок при проведении опытов была постоянной и составляла 40%, температура – 10°С.

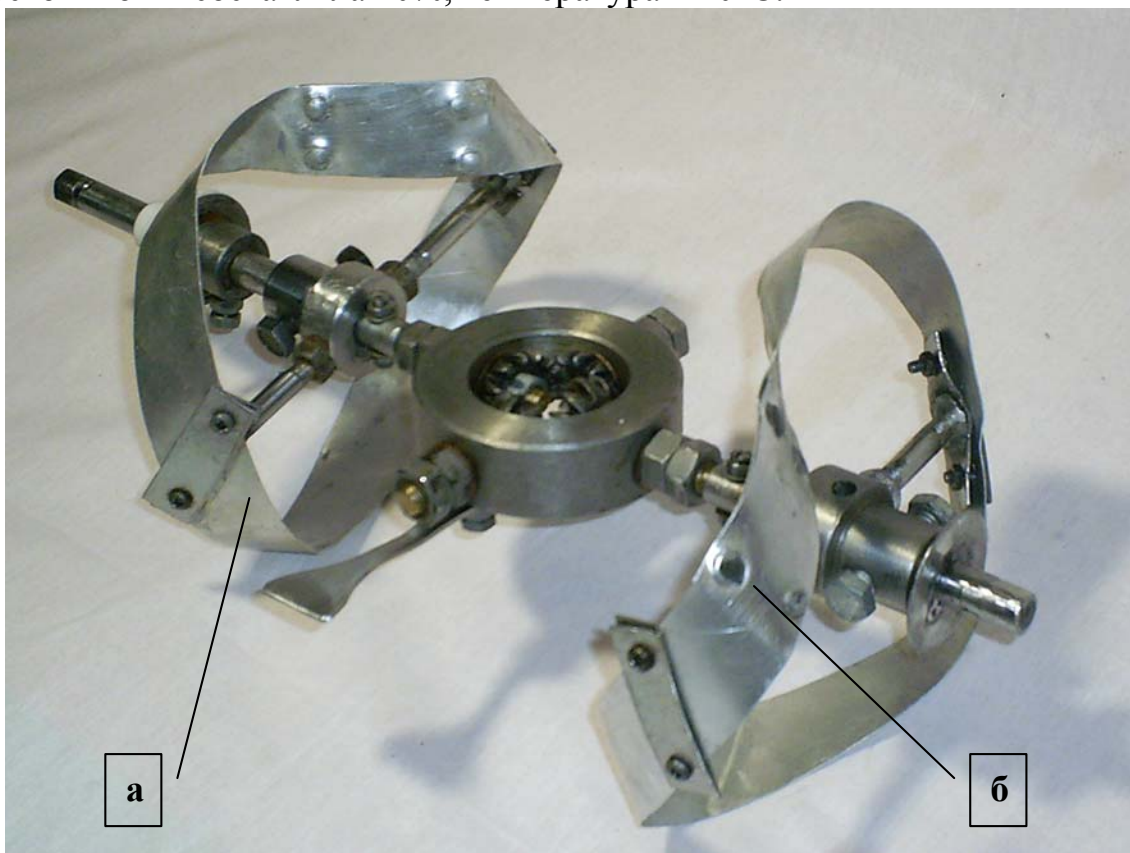


Рис.3.10. Механизм сбивания с комплектом лент рабочих колес шириной 30 мм:
а – левая навивка; б – правая навивка

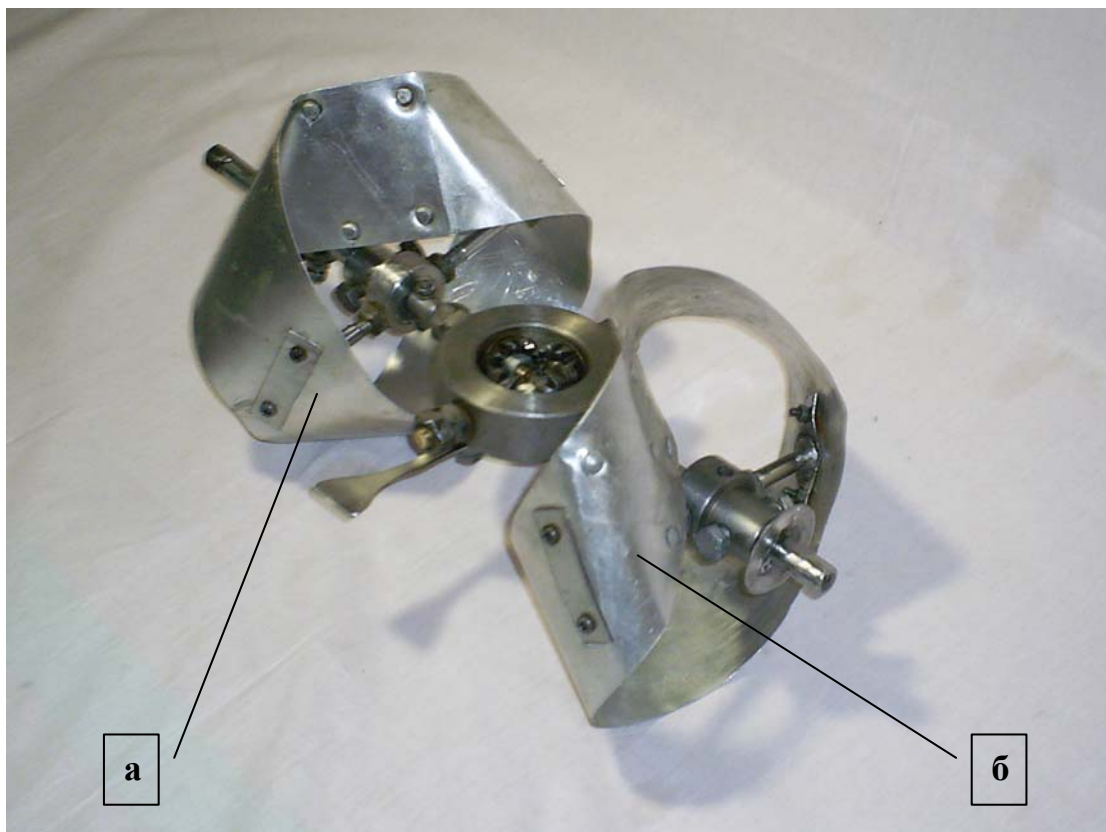


Рис. 3.11. Механизм сбивания с комплектом лент рабочих колес шириной 70 мм:
а – левая навивка; б – правая навивка



Рис. 3.12. Механизм сбивания с комплектом лент рабочих колес шириной 30 мм:
а – без отверстий; б – с отверстиями

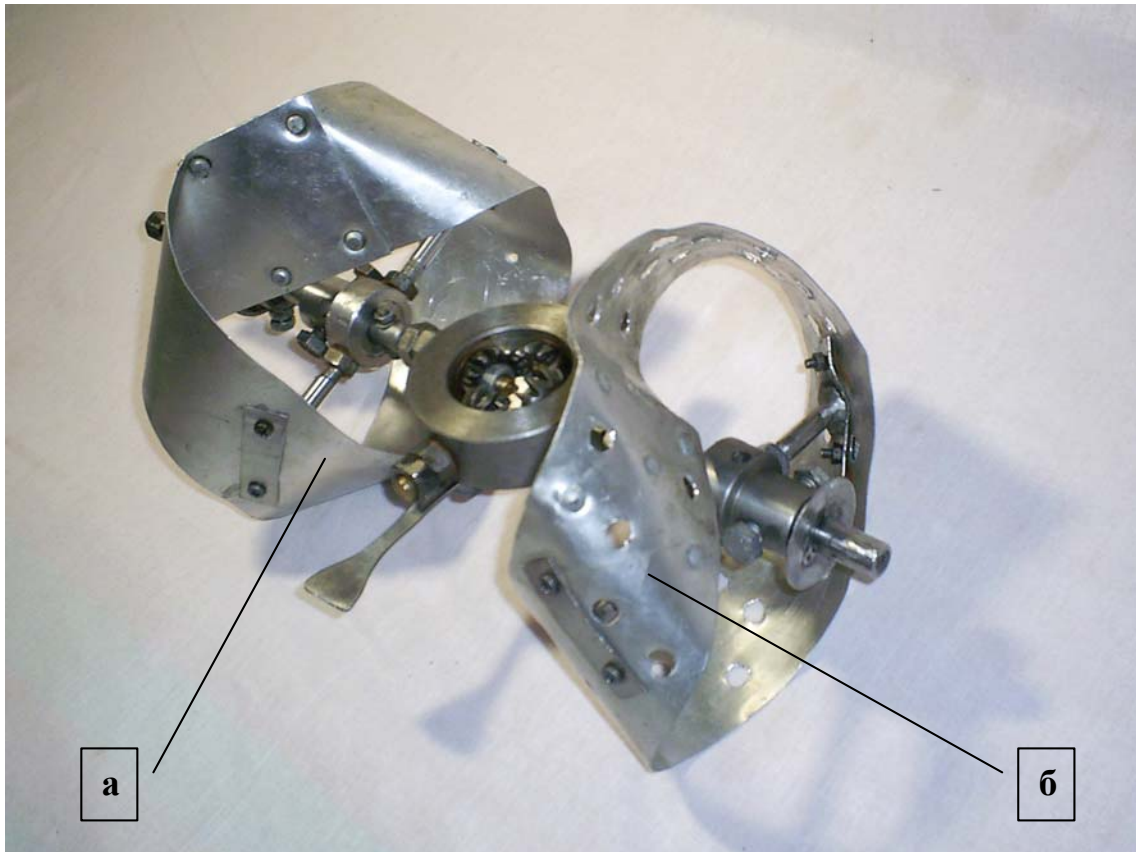


Рис. 3.13. Механизм сбивания с комплектом лент рабочих колес шириной 70 мм: а – без отверстий; б – с отверстиями

Используемые сливки отвечали требованиям ГОСТ 13264–88 «Молоко коровье. Требования при заготовке».

Исходя из условия, что предельная ошибка во всех опытах приближенно равна возможной наибольшей статистической, и задаваясь надежностью исследований $P=0,95$ [52, 83] была выбрана трехкратная повторность опытов.

Факторы и уровни их варьирования представлены в табл. 3.2.

Т а б л и ц а 3.2

Факторы и уровни их варьирования

Обозначение	Наименование фактора	Уровни варьирования	
		-1	+1
X1	Частота вращения, мин ⁻¹	100	300
X2	Ширина ленты рабочего колеса, м	0,03	0,07
X3	Степень заполнения емкости, % (л)	50 (6,25)	90 (11,25)
X4	Направление навивки верхнего рабочего колеса	левое	правое
X5	Направление навивки нижнего рабочего колеса	левое	правое
X6	Расстояние между рабочими колесами, м	0,16	0,2
X7	Вид ленты рабочих колес	с отверстиями	без отверстий
X8	Угол наклона емкости к горизонтали, град.	0	90

Критериями оценки при изучении процесса сбивания масла были энергоемкость – основной, а степень использования жира и процент выхода масла являлись ограничениями.

3.1.4. Методика проведения трехфакторного эксперимента

На основании проведенного отсеивающего эксперимента были определены наиболее значимые факторы: частота вращения, ширина ленты рабочих колес и степень заполнения емкости.

В основу трехфакторного эксперимента был положен D-оптимальный план, который проводился с целью получения регрессионных уравнений процесса маслоизготовления и определения оптимальных значений конструктивно-кинематических параметров.

При проведении трехфакторного эксперимента критерием оценки была принята энергоемкость маслоизготовления, а степень использования жира и процент выхода масла использовались как ограничения.

Для реализации трехфакторного эксперимента, с целью придания фактору X2 (ширина ленты рабочих колес) промежуточного (нулевого) значения уровня варьирования, был изготовлен комплект сменных рабочих колес с шириной 0,05 м (рис. 3.14).

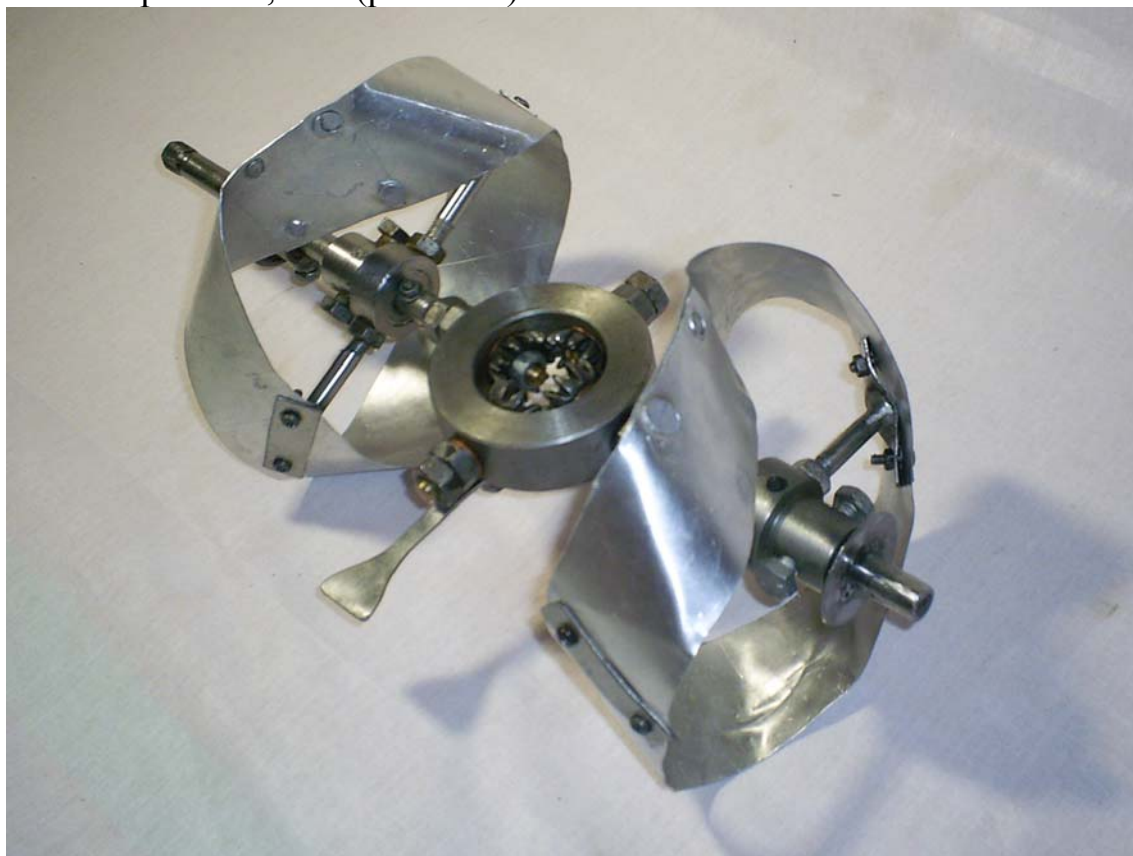


Рис. 3.14. Механизм сбивания с комплектом лент рабочих колес шириной 50 мм

Факторы и уровни их варьирования представлены в табл. 3.3.

Т а б л и ц а 3.3

Факторы и уровни их варьирования

Обозначение	Наименование фактора	Уровни варьирования		
		-1	0	+1
X1	Частота вращения, мин ⁻¹	100	200	300
X2	Ширина ленты рабочих колес, м	0,03	0,05	0,07
X3	Степень заполнения емкости, % (л)	50 (6,25)	70 (8,75)	90 (11,25)

Аппаратура и оборудование для проведения исследований соответствует подразд. 3.1.2.

Жирность сливок при проведении опытов была постоянной и составляла 40%, температура – 10°C. Используемые сливки отвечали требованиям ГОСТ13264–88 «Молоко коровье. Требования при заготовке».

Исходя из условия, что предельная ошибка во всех опытах приближенно равна возможной наибольшей статистической, и задаваясь надежностью исследований $P=0,95$ [52, 83] была выбрана трехкратная повторность опытов.

3.1.5. Методика исследований в производственных условиях

Производственные исследования маслоизготовителя проводились на маслозаводе ОАО «Молоко» Лопатинского района Пензенской области с целью проверки выбранных оптимальных значений конструктивно-кинематических параметров и определения эмпирических показателей критериального уравнения (2.53), а также оценки сходимости экспериментальных и теоретических зависимостей.

Для определения зависимости энергоемкости от частоты вращения механизма сбивания был проведен однофакторный эксперимент. Фактор и уровни его варьирования представлены в таблице 3.4. По экспериментальным данным потребляемой мощности и оптимальных значений конструктивно-кинематических параметров определялись степенные показатели и свободный член критериального уравнения (2.53).

Т а б л и ц а 3.4

Фактор и уровни его варьирования

Фактор	Уровни варьирования фактора, мин ⁻¹	Критерий оценки
Частота вращения n , мин ⁻¹	100; 150; 180; 200; 250; 300	Энергоемкость сбивания масла ε , $\frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$; Потребляемая мощность N , Вт

Используемые сливки отвечали требованиям ГОСТ 13264–88 «Молоко коровье. Требования при заготовке». Жирность сливок при проведении опытов была постоянной и составляла 40%, температура – 10°С.

Аппаратура и оборудование для проведения исследований соответствует подразд. 3.1.2.

3.2. Результаты экспериментальных исследований

3.2.1. Результаты определения физико-механических свойств сливочного масла

Определение физико-механических свойств сливочного масла проводилось как при отсеивающем эксперименте, так и при трехфакторном, которые были необходимы для качественной оценки производимого продукта. Сбивание сливок и получение масляного зерна производилось на лабораторной установке (см. рис. 3.9), а промывка и обработка по стандартной технологии, существующей на маслозаводе ОАО «Молоко» Пензенской области. Результаты исследований свойств сливочного масла представлены в прил.А.

3.2.2. Результаты исследований поискового опыта

Результаты исследований поискового опыта, по определению конструкции механизма сбивания маслоизготовителя периодического действия, обеспечивающей наиболее производительный процесс сбивания масла представлены в табл. 3.5.

Т а б л и ц а 3.5

Результаты эксперимента по определению конструкции механизма сбивания маслоизготовителя

Кинематическая схема	Время сбивания, мин			
	Y1	Y2	Y3	Y _{ср}
С редуктором	27	28	27	27,333
Без редуктора	31	33	32	32

В результате обработки полученных экспериментальных данных однофакторного плана в программе MathCAD (методика обработки представлена в прил. Б) получен $G_{расч}$ – критерий Кохрена, равный 0,75.



Рис. 3.15. Сливочное масло, изготовленное на макете маслоизготовителя

Поскольку $G_{\text{расч}}=0,75$ меньше $G_{\text{табл}}=0,9985$, то условие оказалось не ложным и гипотезу следует принять (не опровергнуть), то есть, мы должны сделать вывод об однородности (воспроизводимости) эксперимента.

Из анализа (табл. 3.5 и рис. 3.16) видно, что механизм сбивания маслоизготовителя с редуктором обеспечивает меньше затрат времени для производства сливочного масла – 27,3 мин против 32 мин для механизма сбивания без редуктора. Исходя из этого в дальнейших исследованиях необходимо использовать механизм сбивания с редуктором.

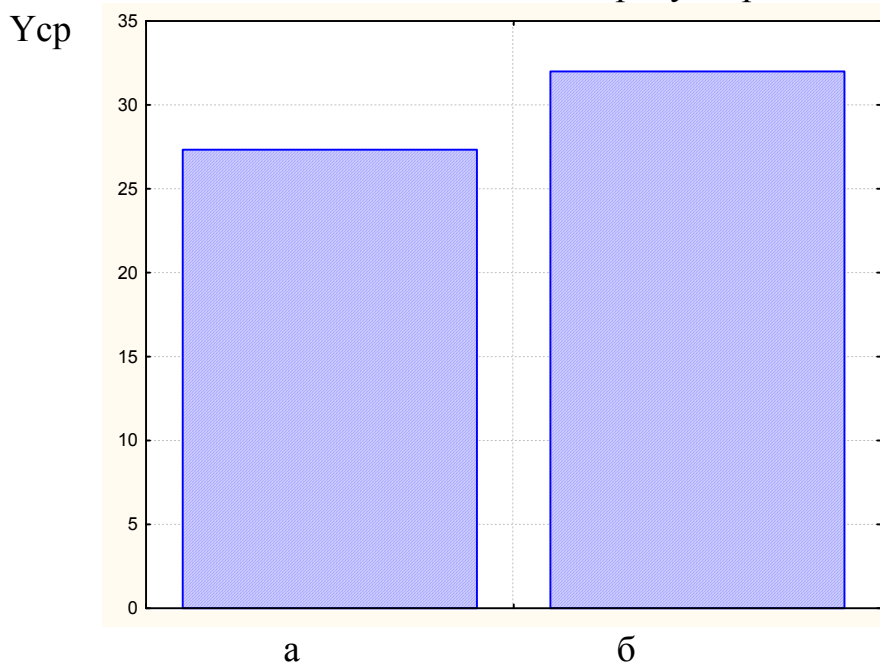


Рис. 3.16. Зависимость времени сбивания от конструктивной схемы механизма сбивания маслоизготовителя:
а – с редуктором; б – без редуктора

3.2.3. Результаты отсеивающего эксперимента

Матрица отсеивающего эксперимента и результаты его проведения сведены в табл. 3.6.

Т а б л и ц а 3.6

Матрица и результаты отсеивающего эксперимента

№ опыта	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	S, %	C, %	Э, Вт·ч кг
1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	99,56	59,9	9,696
2	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	99,60	60,7	11,366
3	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	99,64	61,1	12,930
4	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	99,54	59,4	12,089
5	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	99,54	59,5	13,449
6	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	99,70	62,7	12,879
7	1	1	-1	1	1	1	-1	1	99,60	60,7	15,412
8	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	99,62	61,1	12,111
9	-1	1	-1	1	1	1	1	-1	99,58	60,3	12,259
10	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	99,66	61,9	12,511



Рис. 3.17. Сливочное масло, изготовленное на лабораторной установке маслоизготовителя

3.2.3.1. Результаты отсеивающего эксперимента по исследованию влияния конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя на степень использования жира

Результаты исследований были обработаны модулем Multiple Regression программы Statistica 6.0 и представлены в прил. В.

Т а б л и ц а 3.7

Уровни значимости факторов на степень использования жира

	Бета	Стандарт. ошибка Бета	В	Стандарт. ошибка В	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(1)	p-level
Intercept			99,59000	0,055114	1806,998	0,000352
X1	-0,15109	3,107500	-0,00750	0,154252	-0,049	0,969071
X2	1,81310	5,733531	0,09000	0,284605	0,316	0,805018
X3	-0,30218	3,569094	-0,01500	0,177165	-0,085	0,946228
X4	-1,30946	3,569094	-0,06500	0,177165	-0,367	0,776138
X5	-0,90655	3,951563	-0,04500	0,196150	-0,229	0,856434
X6	0,55400	1,013555	0,02750	0,050312	0,547	0,681547
X7	0,60437	1,923085	0,03000	0,095459	0,314	0,806152
X8	1,38170	4,657943	0,07000	0,235982	0,297	0,816421

Как видно (табл. 3.7), наиболее значимым является фактор X2 (ширина ленты рабочих колес). Он наиболее существенно влияет на степень использования жира, так как у него наблюдается наибольшее значение коэффициента регрессии В. Однако, табличное значение критерия Стьюдента при доверительной вероятности $P=0,95$, $t(1)$ равно 12,706, что выше полученного значения ($t_{X2}=0,316$) и уровень значимости ошибки ($p\text{-level}_{X2}=0,805018$) больше заданной величины ($p\text{-level}=0,05$).

Получено уравнение регрессии степени использования жира

$$S=99,59 - 0,0075 \cdot X1 + 0,09 \cdot X2 - 0,015 \cdot X3 - 0,065 \cdot X4 - 0,045 \cdot X5 + 0,0275 \cdot X6 + 0,03 \cdot X7 + 0,07 \cdot X8, \% \quad (3.9)$$

Множественный коэффициент корреляции $R=0,81931$, множественная мера определенности 67,127%, а F-тест=0,562127, который показывает степень плотности (разброса) опытных и расчетных значений. Как видно (рис. 3.19), имеется несколько точек, выпадающих из 95%-го доверительного интервала. Остатки, неучтенные уравнением регрессии (прил. В) не подчиняются нормальному закону. Следовательно, полученная модель неадекватно описывает результаты опытов.

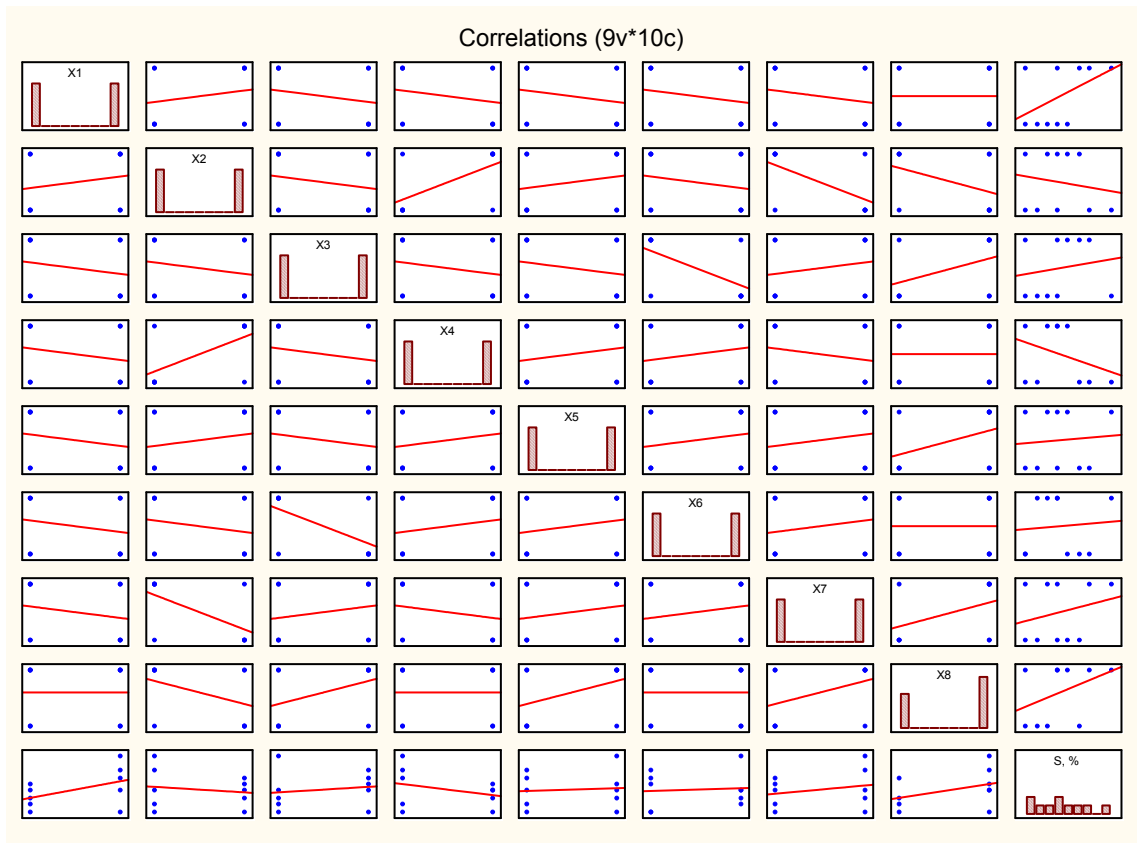


Рис. 3.18. График корреляции конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя влияющих на степень использования жира

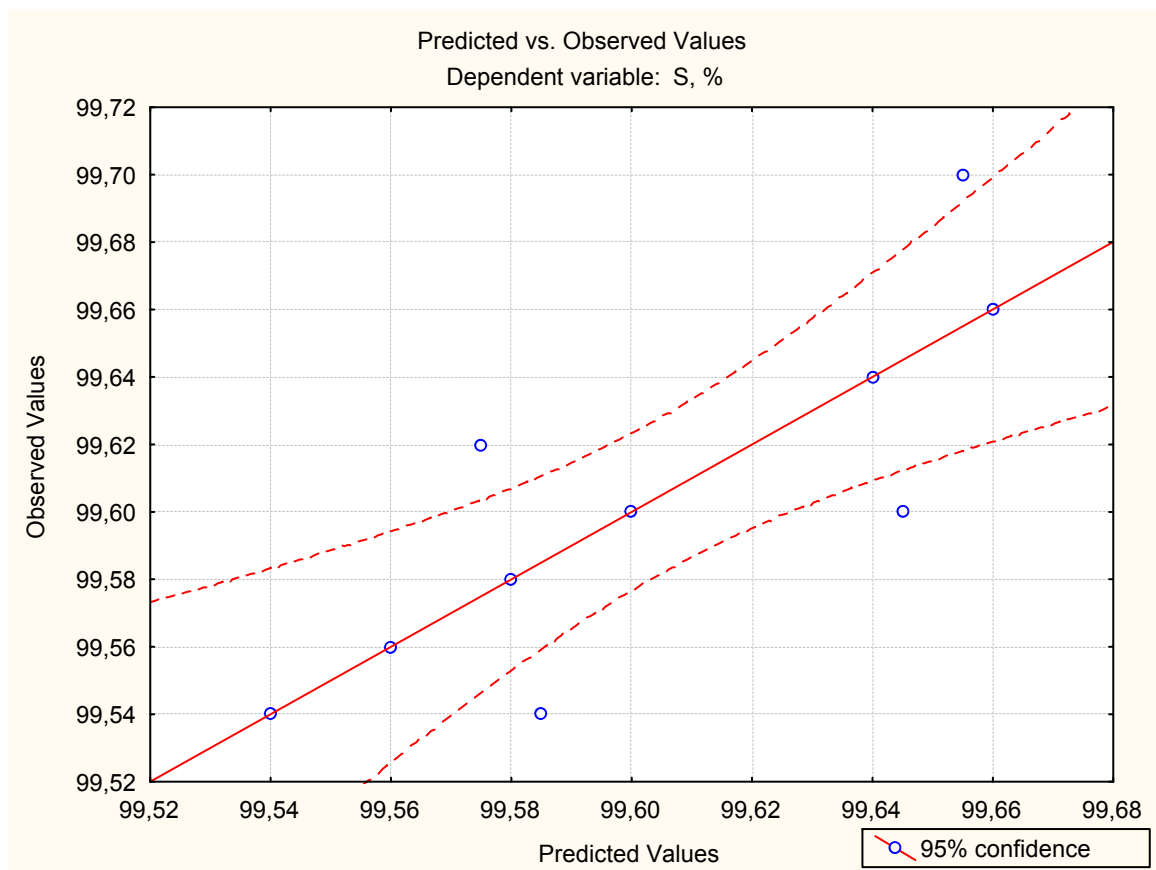


Рис. 3.19. Попадание экспериментальных значений в 95%-й доверительный интервал

3.2.3.2. Результаты отсеивающего эксперимента по исследованию влияния конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя на процент выхода масла

В результате обработки модулем Multiple Regression программы Statistica 6.0 получены значения уровней значимости факторов на процент выхода масла. Данные представлены в табл. 3.8. Результаты обработки экспериментальных исследований изложены в приложении Г.

Т а б л и ц а 3.8

Уровни значимости факторов на процент выхода масла

	Бета	Стандарт. ошибка Бета	В	Стандарт. ошибка В	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(1)	p-level
Intercept			60,37500	1,132889	53,29295	0,011944
X1	-0,39383	3,222557	-0,38750	3,170740	-0,12221	0,922582
X2	2,13432	5,945818	2,10000	5,850214	0,35896	0,780598
X3	-0,66062	3,701242	-0,65000	3,641729	-0,17849	0,887556
X4	-1,47370	3,701242	-1,45000	3,641729	-0,39816	0,758771
X5	-1,19420	4,097872	-1,17500	4,031982	-0,29142	0,819476
X6	0,47006	1,051082	0,46250	1,034181	0,44721	0,732280
X7	0,73685	1,994288	0,72500	1,962221	0,36948	0,774686
X8	1,76756	4,830405	1,77500	4,850741	0,36592	0,776680

Как видно (табл. 3.8), наиболее значимым является фактор X2 (ширина ленты рабочих колес). Он наиболее существенно влияет на процент выхода масла, так как у него наблюдается наибольшее значение коэффициента регрессии В. Однако, табличное значение критерия Стьюдента при доверительной вероятности P=0,95, t(1) равно 12,706, что выше полученного значения (t_{X2}=0,35896) и уровень значимости ошибки (p-level_{X2}=0,780598) больше заданной величины (p-level=0,05).

Получено уравнение регрессии процента выхода масла

$$C = 60,375 - 0,3875 \cdot X1 + 2,1 \cdot X2 - 0,65 \cdot X3 - 1,45 \cdot X4 - 1,175 \cdot X5 + 0,4625 \cdot X6 + 0,725 \cdot X7 + 7,775 \cdot X8, \% \quad (3.10)$$

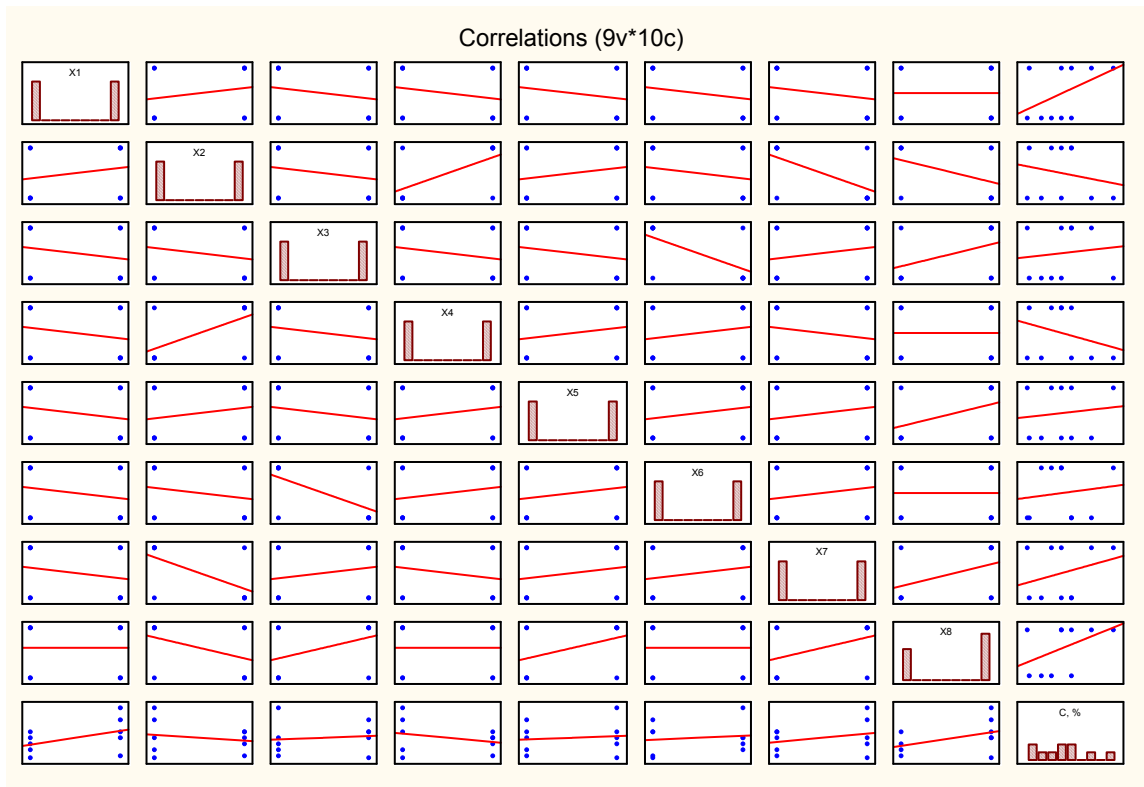


Рис.3.20. График корреляции конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя влияющих на процент выхода масла

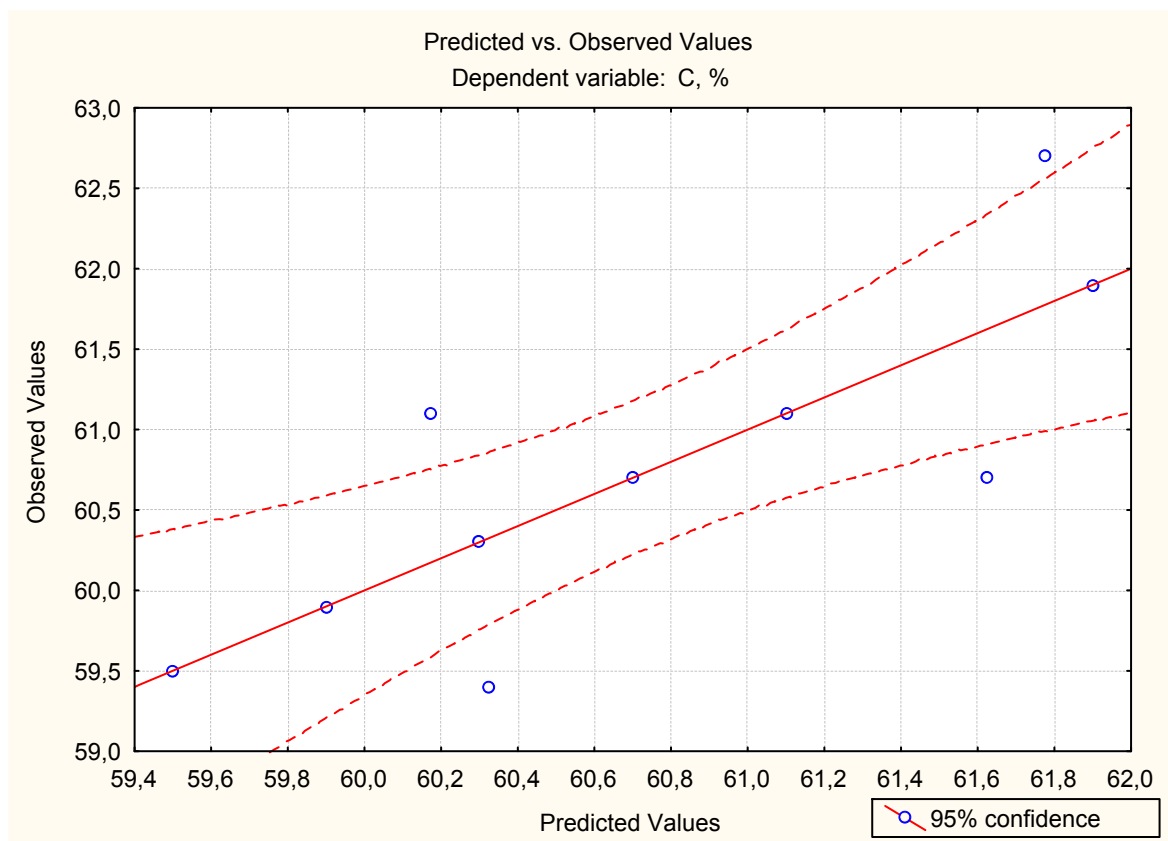


Рис. 3.21. Попадание экспериментальных значений в 95%-й доверительный интервал

Как видно (рис. 3.21), имеется несколько точек выпадающих из 95%-ного доверительного интервала. Множественный коэффициент корреляции $R=0,80404$, множественная мера определенности 64,647%, а F-тест=0,526066, который показывает степень плотности (разброса) опытных и расчетных значений. Следовательно, полученная модель неадекватно описывает результаты опытов.

3.2.3.3. Результаты отсеивающего эксперимента по исследованию влияния конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя на энергоемкость сбивания масла

В результате обработки модулем Multiple Regression программы Statistica 6.0 получены значения уровней значимости факторов на энергоемкость сбивания масла. Данные представлены в табл. 3.9. Результаты обработки экспериментальных исследований изложены в прил. Д.

Т а б л и ц а 3.9

Уровни значимости факторов на энергоемкость сбивания масла

	Бета	Стандарт. ошибка Бета	B	Стандарт. ошибка B	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(1)	p-level
Intercept			12,55050	0,768834	16,32408	0,038950
X1	1,080785	1,551858	1,49863	2,151819	0,69645	0,612721
X2	-0,257823	2,863274	-0,35750	3,970240	-0,09004	0,942830
X3	0,411977	1,782374	0,57125	2,471454	0,23114	0,855392
X4	0,599124	1,782374	0,83075	2,471454	0,33614	0,793562
X5	0,702253	1,973376	0,97375	2,736299	0,35586	0,782347
X6	0,068783	0,506160	0,09538	0,701846	0,13589	0,914015
X7	-0,119356	0,960371	-0,16550	1,331659	-0,12428	0,921284
X8	-0,283705	2,326135	-0,40150	3,291949	-0,12196	0,922737

Как видно (табл. 3.9 и рис. 3.22) наиболее значимым является фактор X1 (частота вращения). Он наиболее существенно влияет на энергоемкость сбивания масла, так как у него наблюдается наибольшее значение коэффициента регрессии B.

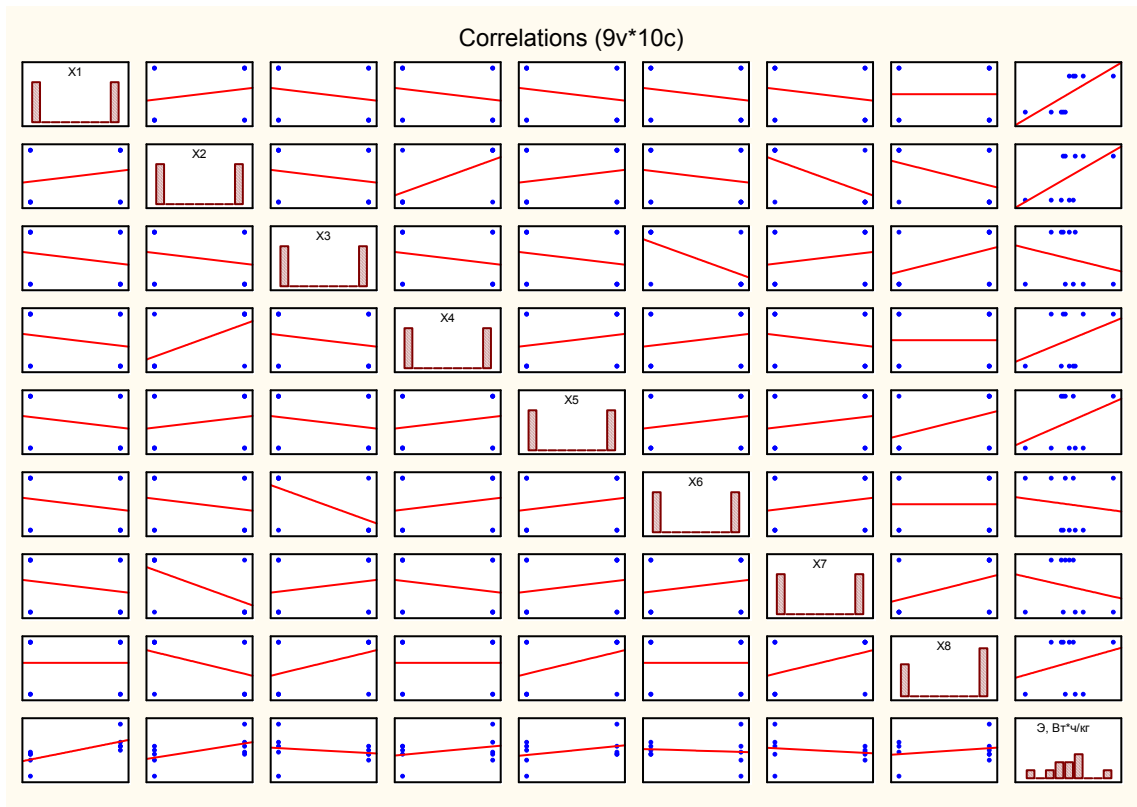


Рис. 3.22. График корреляции конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя влияющих на энергоёмкость сбивания масла

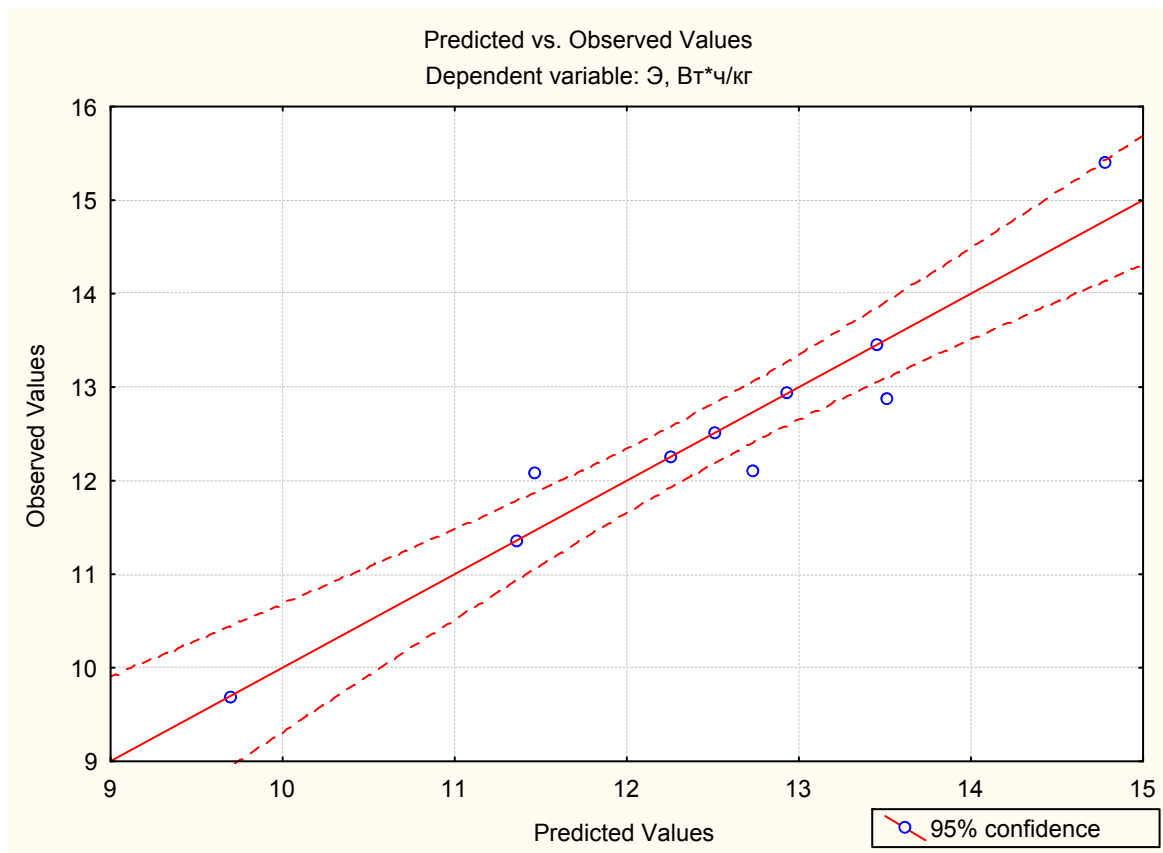


Рис. 3.23. Попадание экспериментальных значений в 95%-й доверительный интервал

Однако, табличное значение критерия Стьюдента при доверительной вероятности $P=0,95$, $t(1)$ равно 12,706, что выше полученного значения ($t_{X1}=0,69645$) и уровень значимости ошибки ($p\text{-level}_{X2}=0,612721$) больше заданной величины ($p\text{-level}=0,05$).

Получено уравнение регрессии энергоемкости сбивания масла

$$\begin{aligned} \text{Э} = & 12,5505 + 1,49863 \cdot X1 - 0,3575 \cdot X2 + 0,57125 \cdot X3 + 0,83075 \cdot X4 + \\ & + 0,97375 \cdot X5 + 0,09538 \cdot X6 - 0,1655 \cdot X7 - 0,4015 \cdot X8, \text{ (Вт}\cdot\text{ч)/кг.} \quad (3.11) \end{aligned}$$

Как видно (рис. 3.23), имеется несколько точек выпадающих из 95%-ного доверительного интервала. Множественный коэффициент корреляции $R=0,958132$, множественная мера определенности 91,802%, а F-тест=0,900695, который показывает степень плотности (разброса) опытных и расчетных значений. Следовательно, полученная модель неадекватно описывает результаты опытов.

Поскольку линейное уравнение регрессии неадекватно описывает экспериментальные данные, поэтому необходимо перейти к планам второго порядка. Для сокращения количества экспериментов и времени их проведения потребуется отсеять часть факторов.

При выборе факторов, оказывающих наиболее значительное влияние на процесс образования масляного зерна, будем исходить из полученных данных по энергоемкости сбивания масла, поскольку это позволит нам сделать вывод о целесообразности разработки устройства. Данные значений по степени использования жира и по проценту выхода масла будем использовать как ограничения.

Для выявления значимых факторов производим необходимые расчеты для построения диаграмм рассеяния (рис. 3.24 и табл. 3.10). Определяем разность между средними значениями факторов, соответствующих уровням как (-1), так и (+1).

Анализ графических и табличных результатов позволяет сделать вывод о значимости факторов (в порядке убывания): $X1$, $X2$, $X3$, $X7$, $X8$, $X5$, $X4$, $X6$.

$X1$ (частота вращения) является наиболее значимым по энергоемкости и повышает ее, а также степень использования жира и процент выхода масла. Поэтому, используем его в последующих исследованиях.

$X2$ (ширина лент рабочих колес) используем в последующих исследованиях, так как существенно влияет на энергоемкость сбивания масла, увеличивая ее, а также снижает степень использования жира и процент выхода масла.

$X3$ (степень заполнения емкости) является значимым фактором, поэтому используем его в последующих исследованиях. При этом он снижает энергоемкость сбивания масла, улучшает степень использования жира и увеличивает процент выхода масла.

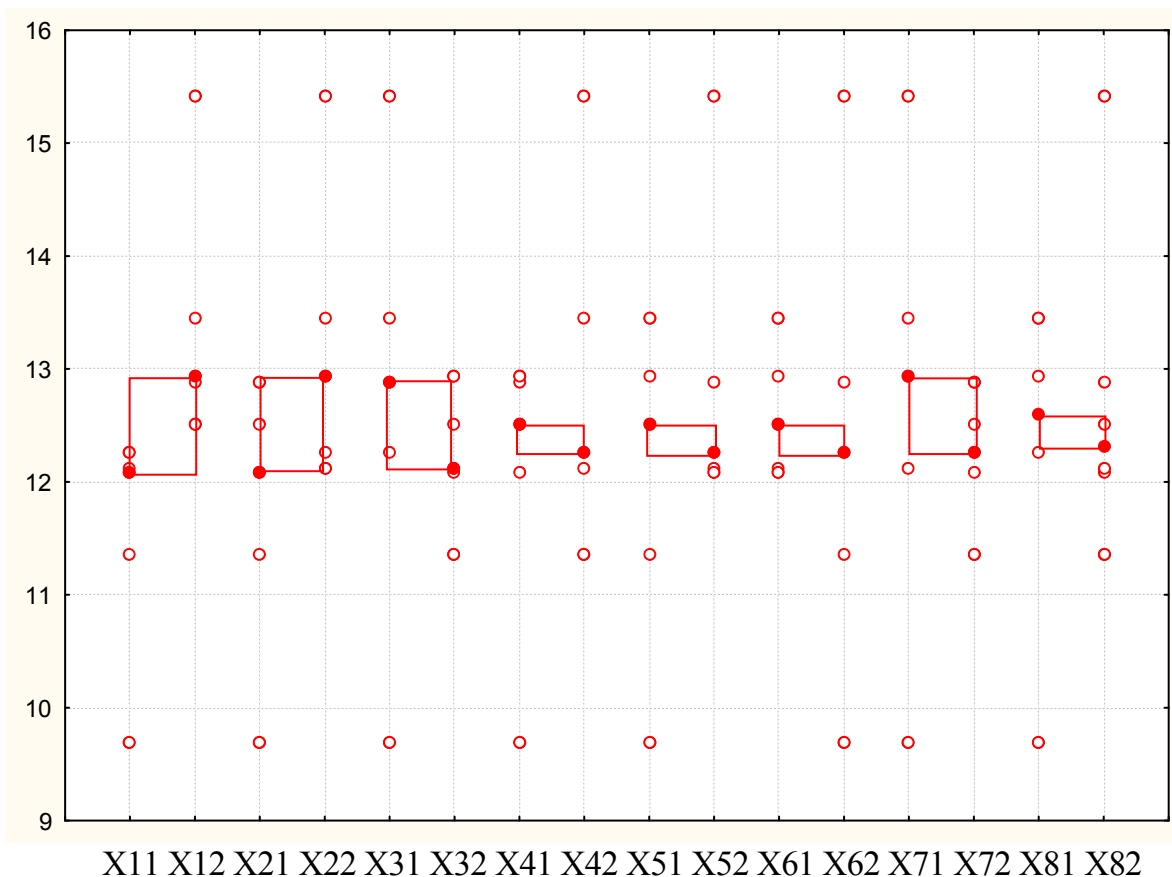


Рис. 3.24. Диаграмма рассеяния результатов наблюдений по уровням факторов

X4 (направление навивки верхнего рабочего колеса) является незначимым фактором, и придание ему промежуточного (нулевого) значения в последующих исследованиях невозможно, то принимаем его по нижнему уровню варьирования (-1), так как он снижает степень использования жира, процент выхода масла и повышает энергоемкость сбивания.

X5 (направление навивки нижнего рабочего колеса) незначимый фактор и придание ему промежуточного (нулевого) значения в последующих исследованиях невозможно, то принимаем его по верхнему уровню варьирования (+1), так как улучшает степень использования жира, повышает процент выхода масла, но при этом увеличивает энергоемкость.

X6 (расстояние между рабочими колесами) не оказывает существенного воздействия на энергоемкость, при этом понижая ее, а также улучшает степень использования жира и увеличивает процент выхода масла, поэтому закрепим его значение по верхнему уровню варьирования (+1).

Таблица 3.10

Результаты расчетов диаграмм наблюдения по уровням факторов

	X11	X12	X21	X22	X31	X32	X41	X42	X51	X52	X61	X62	X71	X72	X81	X82
	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
	9,696	12,930	9,696	12,930	9,696	11,366	9,696	11,366	9,696	12,089	12,930	9,696	9,696	11,366	9,696	11,366
	11,366	13,449	11,366	13,449	13,449	12,930	12,930	13,449	11,366	12,879	12,089	11,366	12,930	12,089	12,930	12,089
	12,089	12,879	12,089	15,412	12,879	12,089	12,089	15,412	12,930	15,412	13,449	12,879	13,449	12,879	13,449	12,879
	12,111	15,412	12,879	12,111	15,412	12,111	12,879	12,111	13,449	12,111	12,111	15,412	15,412	12,259	12,259	15,412
	12,259	12,511	12,511	12,259	12,511	12,511	12,511	12,259	12,511	12,259	12,511	12,259	12,111	12,511		12,111
																12,511
МАКС	12,259	15,412	12,879	15,412	15,412	12,930	12,930	15,412	13,499	15,412	13,449	15,412	15,412	12,879	13,449	15,412
МИН	9,696	12,511	9,696	12,111	9,696	11,366	9,696	11,366	9,696	12,089	12,089	9,696	9,696	11,366	9,696	11,366
МЕДИАНА	12,089	12,930	12,089	12,930	12,879	12,111	12,511	12,259	12,511	12,259	12,511	12,259	12,930	12,259	12,5945	12,311
РАЗНОСТЬ	0,841		0,841		0,768		0,252		0,252		0,252		0,671		0,2835	
R	0,69664		0,549542		-0,193854		0,323956		0,346024		-0,106591		-0,179863		0,227706	
ЗНАЧИМОСТЬ ФАКТОРОВ	1		2		3		7		6		8		4		5	

X7 (вид ленты рабочих колес) является менее значимым фактором. Придание ему промежуточного (нулевого) значения в последующих исследованиях невозможно и при использовании лент рабочих колес с отверстиями ухудшается очищаемость от масляного зерна, то есть возникает его налипание. Кроме того наблюдается снижение энергоемкости, повышение степени использования жира и процента выхода масла, то закрепим значение фактора по верхнему уровню варьирования (+1).

X8 (угол наклона емкости к горизонтали) является незначимым фактором, а придание ему промежуточного (нулевого) значения ведет к усложнению конструкции и при этом увеличивается энергоемкость, степень использования жира, процент выхода масла, то закрепим его по нижнему уровню варьирования (-1).

Таким образом, при проведении следующего этапа экспериментальных исследований необходимо определить влияние и оптимальные значения факторов X1, X2, X3, а остальные примут следующие значения: X4 – левое направление навивки верхнего рабочего колеса; X5 – правое направление навивки нижнего рабочего колеса; X6 – расстояние между рабочими колесами 0,2 м; X7 – вид ленты рабочего колеса – без отверстий; X8 – угол наклона емкости к горизонтали 0 град.

3.2.4. Результаты трехфакторного эксперимента

Матрица и результаты трехфакторного эксперимента представлены в табл. 3.11.

Т а б л и ц а 3.11

Матрица и результаты трехфакторного эксперимента

№ опыта	X1	X2	X3	S, %	C, %	Э, $\frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$
1	1	1	1	99,54	59,0	13,318
2	1	1	-1	99,58	59,8	13,621
3	1	-1	1	99,56	59,4	12,958
4	1	-1	-1	99,58	59,7	13,826
5	-1	1	1	99,58	59,8	12,230
6	-1	1	-1	99,60	60,2	13,019
7	-1	-1	1	99,58	59,8	10,595
8	-1	-1	-1	99,58	59,8	11,634
9	1	0	0	99,60	60,1	12,350
10	-1	0	0	99,62	60,4	10,898
11	0	1	0	99,62	60,3	12,034
12	0	-1	0	99,62	60,3	11,341
13	0	0	1	99,60	60,1	11,974
14	0	0	-1	99,62	60,4	12,763

В результате статистической обработки результатов трехфакторного эксперимента получены соответствующие модели степени использования жира, процента выхода масла и энергоемкости.

3.2.4.1. Результаты трехфакторного эксперимента по исследованию влияния конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя на степень использования жира

В результате обработки модулем Multiple Regression программой Statistica 6.0 получены значения уровней значимости факторов на степень использования жира. Результаты эксперимента изложены в прил. Е.

Т а б л и ц а 3.12

Уровни значимости факторов на степень использования жира

	Бета	Стандарт. ошибка Бета	В	Стандарт. ошибка В	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(10)	p-level
Intercept			99,59143	0,006421	15511,16	0,000000
X1	-0,358715	0,272516	-0,01000	0,007597	-1,32	0,217442
X2	0,000000	0,272516	0,00000	0,007597	0,00	1,000000
X3	-0,358715	0,272516	-0,01000	0,007597	-1,32	0,217442

Как видно (табл. 3.12), значимыми факторами являются X1 (частота вращения) и X3 (степень заполнения емкости). Они наиболее существенно влияют на степень использования жира, так как у них наблюдаются наибольшие значения коэффициентов регрессии В. В свою очередь фактор X2 (ширина лент рабочих колес) не оказывает воздействия на степень использования жира. Однако, табличные значения критерия Стьюдента при доверительной вероятности $P=0,95$, $t(10)$ равно 2,228, что выше полученных значений факторов и уровень значимости ошибки больше заданной величины ($p\text{-level}=0,05$).

Получено уравнение регрессии степени использования жира

$$S=99,59143 - 0,01 \cdot X1 - 0,01 \cdot X3, \% \quad (3.12)$$

Как видно (рис. 3.25), имеется большинство точек выпадающих из 95%-го доверительного интервала. Остатки, неучтенные уравнением регрессии не подчиняются нормальному закону распределения (прил. Е). Множественный коэффициент корреляции $R=0,50729$, множественная мера определенности 25,735%, а F-тест=0,02043, который показывает степень плотности (разброса) опытных и расчетных значений. Следовательно, полученная модель неадекватно описывает результаты опытов, поэтому необходимо перейти к уравнению второго порядка.

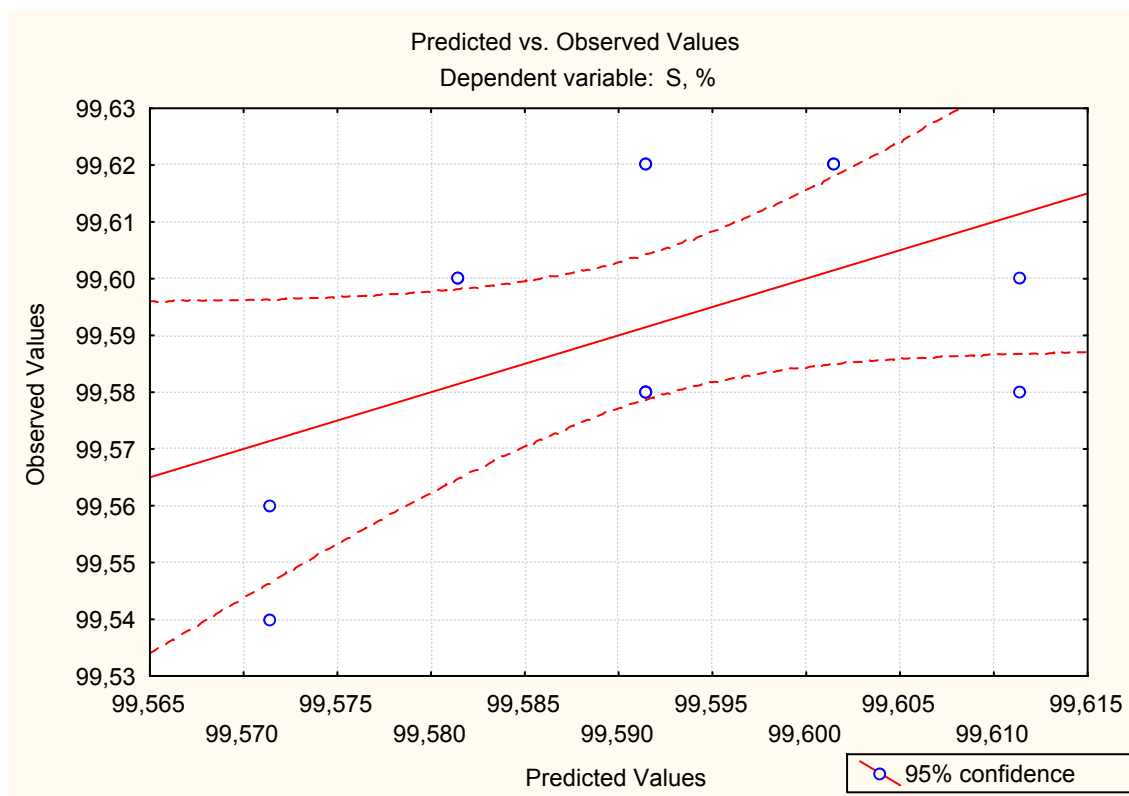


Рис. 3.25. Попадание экспериментальных значений в 95%-й доверительный интервал

Экспериментальные данные обработаны статистически модулем Nonlinear Estimation программой Statistica 6.0 (приложение Е) и получено уравнение регрессии степени использования жира:

$$S = 99,6325 - 0,01 \cdot X_1 - 0,01 \cdot X_3 - 0,005 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,005 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,005 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,0225 \cdot X_1^2 - 0,0125 \cdot X_2^2 - 0,0225 \cdot X_3^2, \% \quad (3.13)$$

Множественный коэффициент корреляции $R=1$, множественная мера определенности 100%, финальный остаток – 0, а F-тест=0,999971. Следовательно, полученная модель адекватно описывает результаты опытов.

Для определения зоны оптимума степени использования жира, полученные данные были обработаны в программе MathCAD. В результате реализации модели MathCAD получены сечения указанной поверхности отклика (рис. 3.26, 3.27, 3.28). Результаты обработки отражены в прил. Е.

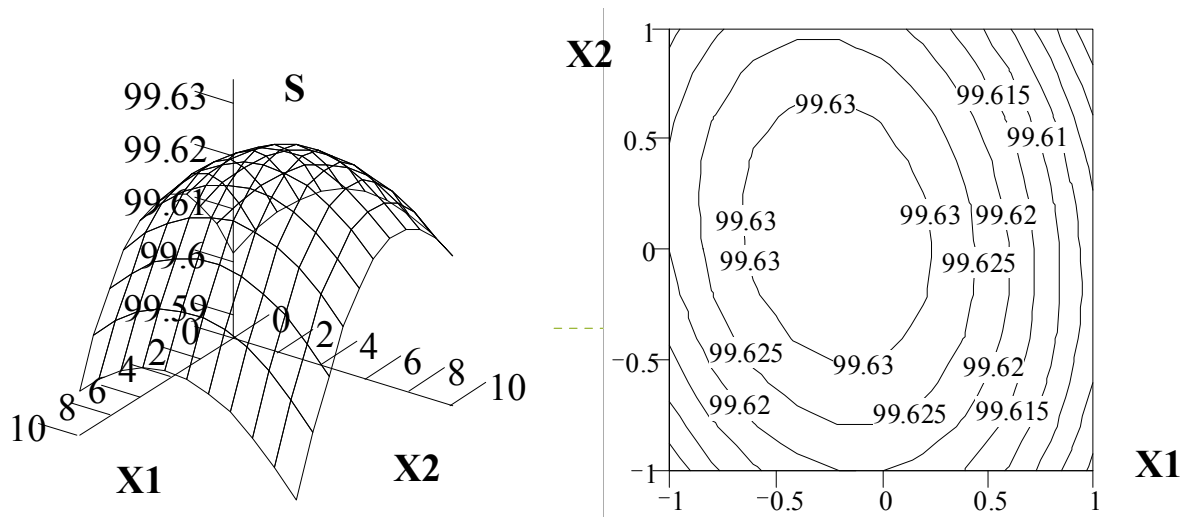


Рис. 3.26. График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости степени использования жира от частоты вращения X_1 и ширины ленты рабочих колес X_2

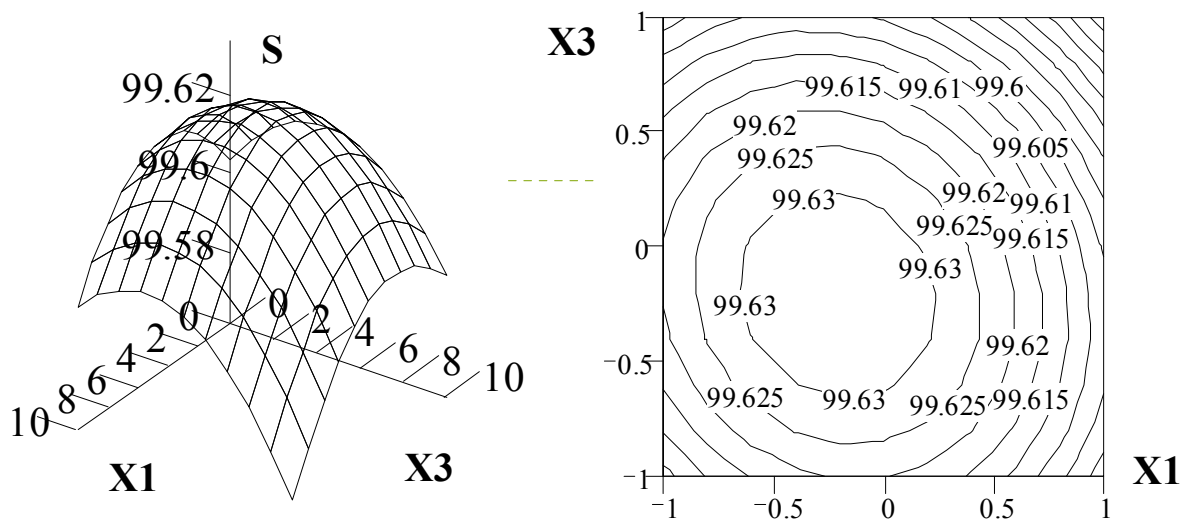


Рис. 3.27. График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости степени использования жира от частоты вращения X_1 и степени заполнения емкости X_3

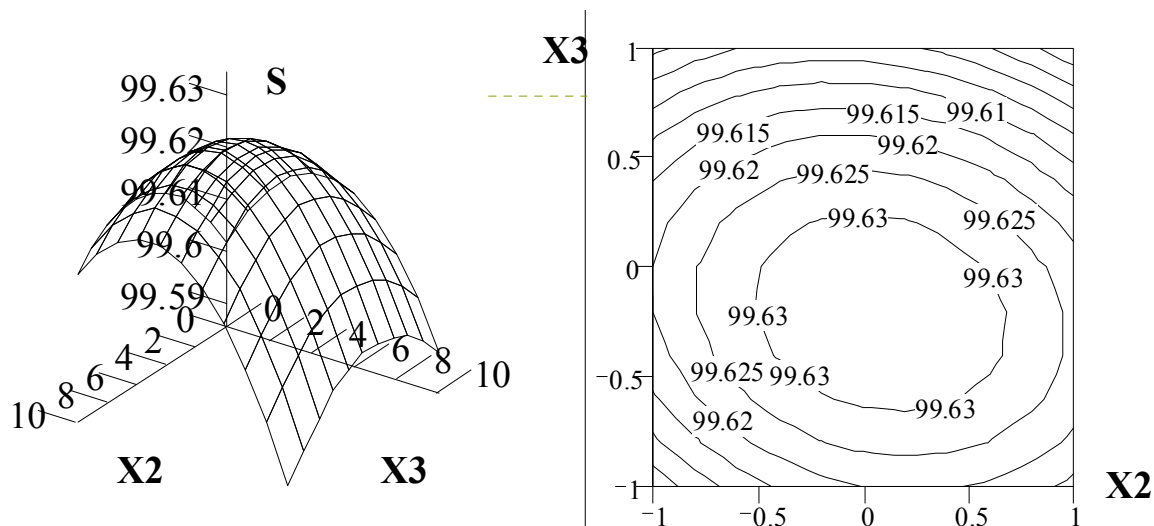


Рис. 3.28. График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости степени использования жира от ширины ленты рабочих колес X_2 и степени заполнения емкости X_3

Из анализа (рис. 3.26, 3.27 и 3.28) следует, что зона оптимума степени использования жира находится при частоте вращения $-0,6...0,2$ ($140...220 \text{ мин}^{-1}$), ширине ленты рабочих колес $-0,5...0,7$ ($0,04...0,06 \text{ м}$), степени заполнения емкости $-0,6...0,2$ ($58...74\%$). Оптимальные значения (прил. Е) при частоте вращения 180 мин^{-1} , ширине ленты рабочих колес $0,05 \text{ м}$ и степени заполнения емкости 66% ($8,25 \text{ л}$). Степень использования жира при этом составит $99,63\%$.

3.2.4.2. Результаты трехфакторного эксперимента по исследованию влияния конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя на процент выхода масла

Результаты исследований были обработаны модулем Multiple Regression программой Statistica 6.0 и представлены в приложении Ж.

Т а б л и ц а 3.13

Уровни значимости факторов на процент выхода масла

	Бета	Стандарт. ошибка Бета	В	Стандарт. ошибка В	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(10)	p-level
Intercept			59,93571	0,099540	602,1284	0,000000
X1	-0,435179	0,256271	-0,20000	0,117777	-1,6981	0,120331
X2	0,021759	0,256271	0,01000	0,117777	0,0849	0,934012
X3	-0,391661	0,256271	-0,18000	0,117777	-1,5283	0,157427

Как видно (табл. 3.13), значимым фактором является X1 (частота вращения). Он наиболее существенно влияет на процент выхода масла, так как у него наблюдается наибольшее значение коэффициента регрессии В. Однако, табличные значения критерия Стьюдента при доверительной вероятности $P=0,95$, $t(10)$ равно 2,228, что выше полученных значений факторов и уровень значимости ошибки больше заданной величины ($p\text{-level}=0,05$).

Получено уравнение регрессии процента выхода масла

$$C = 59,93571 - 0,2 \cdot X_1 + 0,01 \cdot X_2 - 0,18 \cdot X_3, \% \quad (3.14)$$

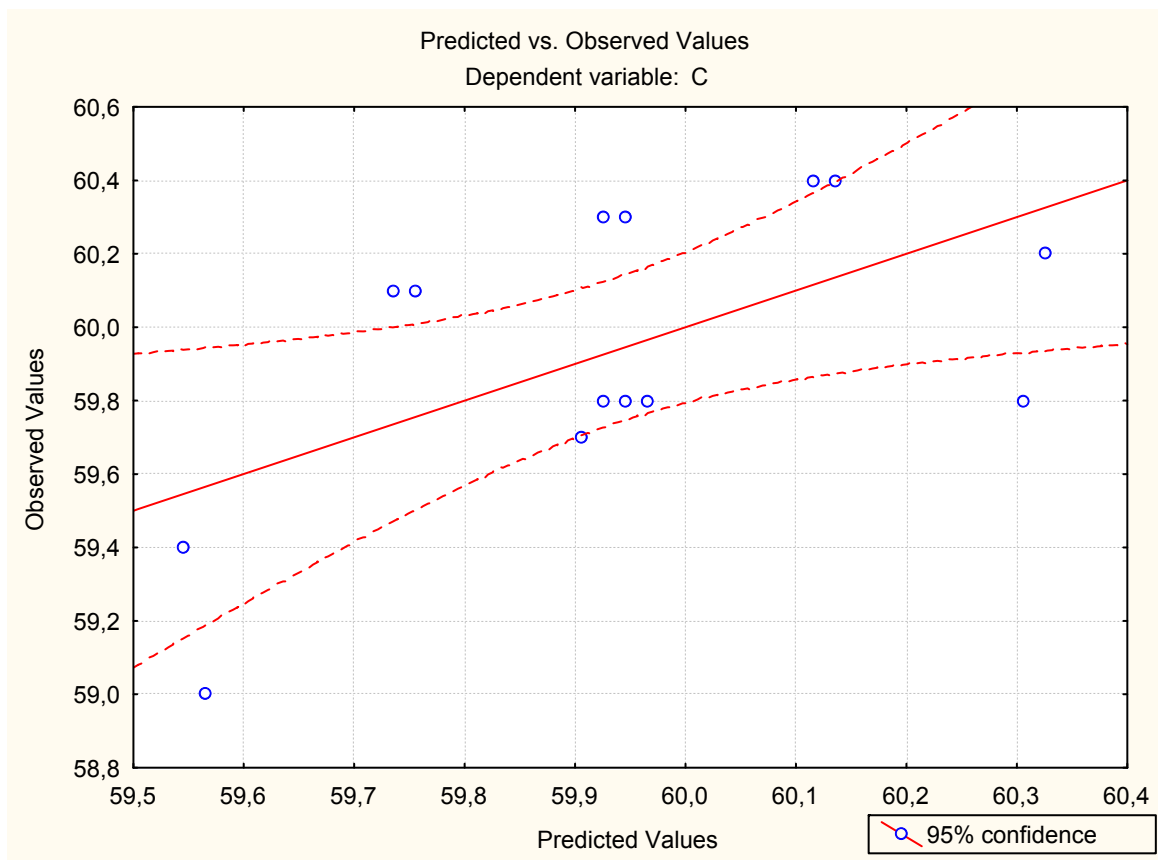


Рис. 3.29. Попадание экспериментальных значений в 95%-й доверительный интервал

Как видно (рис. 3.29), имеется большинство точек выпадающих из 95%-го доверительного интервала. Остатки, неучтенные уравнением регрессии не подчиняются нормальному закону распределения (прил. Ж). Множественный коэффициент корреляции $R=0,585878$, множественная мера определенности 34,325%, а $F\text{-тест}=0,064386$, который показывает степень плотности (разброса) опытных и расчетных значений. Следовательно, полученная модель неадекватно описывает результаты опытов, поэтому необходимо перейти к уравнению второго порядка.

Экспериментальные данные обработаны статистически модулем Nonlinear Estimation программой Statistica 6.0 (прил. Ж) и получено уравнение регрессии процента выхода масла:

$$C = 60,55622 - 0,200028 \cdot X_1 + 0,010005 \cdot X_2 - 0,180026 \cdot X_3 - 0,087521 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,087521 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,112525 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,30625 \cdot X_1^2 - 0,256246 \cdot X_2^2 - 0,30625 \cdot X_3^2, \% \quad (3.15)$$

Множественный коэффициент корреляции $R=0,99763$, множественная мера определенности $99,527\%$, финальный остаток $-0,01$, а F-тест $=0,993504$. Следовательно, полученная модель адекватно описывает результаты опытов.

Для определения зоны оптимума процента выхода масла, полученные данные были обработаны в программе MathCAD. В результате реализации модели MathCAD получены сечения указанной поверхности отклика (рис. 3.30, 3.31, 3.32). Результаты обработки отражены в приложении Ж.

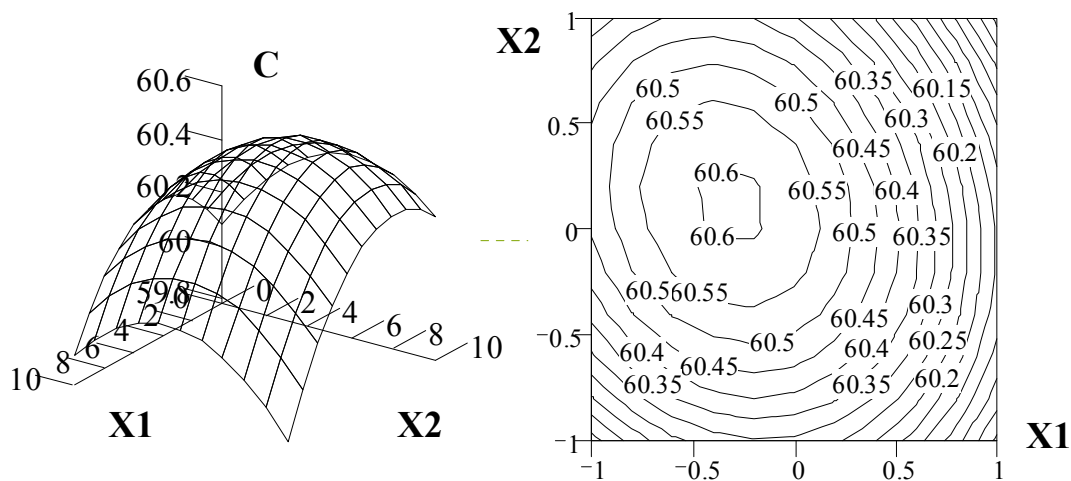


Рис. 3.30. График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости процента выхода масла от частоты вращения X_1 и ширины ленты рабочих колес X_2

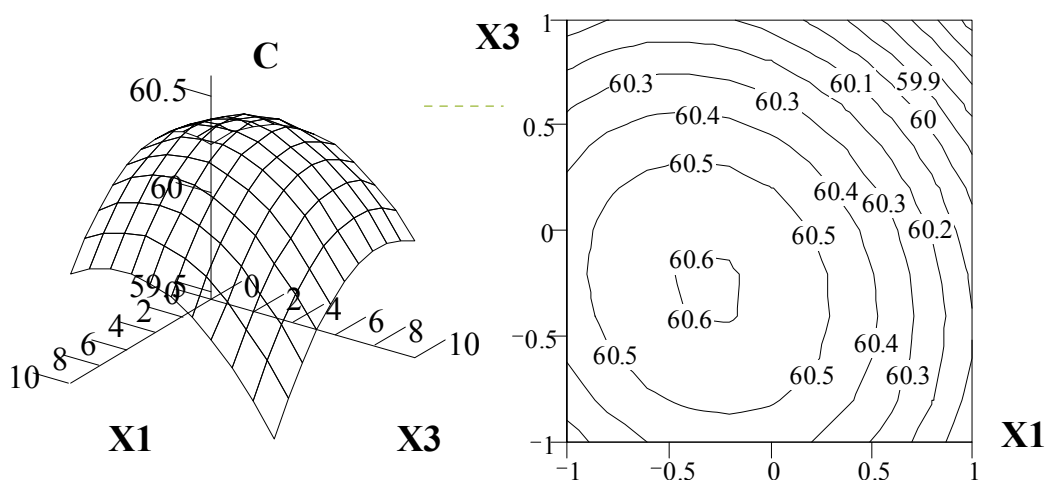


Рис. 3.31. График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости процента выхода масла от частоты вращения X_1 и степени заполнения емкости X_3

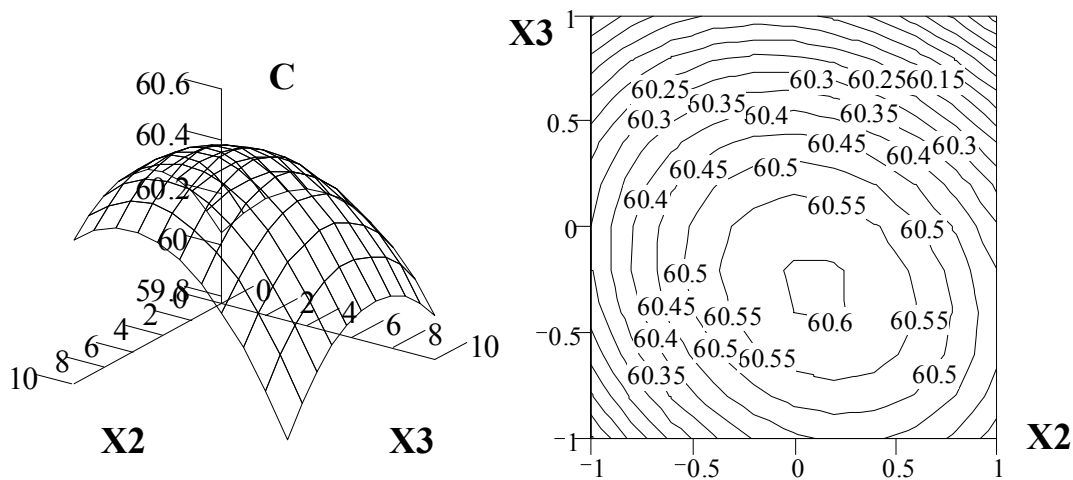


Рис. 3.32. График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости процента выхода масла от ширины ленты рабочих колес X2 и степени заполнения емкости X3

Из анализа (рис. 3.30, 3.31 и 3.32) следует, что зона оптимума процента выхода масла находится при частоте вращения $-0,4 \dots -0,15$ ($160 \dots 185 \text{ мин}^{-1}$), ширине ленты рабочих колес $-0,1 \dots 0,3$ ($0,048 \dots 0,056 \text{ м}$), степени заполнения емкости $-0,4 \dots 0,15$ ($62 \dots 67\%$).

С учетом ограничений по степени использования жира оптимальными значениями конструктивно-кинематических параметров будут: частота вращения 180 мин^{-1} , ширина ленты рабочих колес $0,05 \text{ м}$ и степень заполнения емкости 66% ($8,25 \text{ л}$). Процент выхода масла при этом составит $60,6\%$.

3.2.4.3. Результаты трехфакторного эксперимента по исследованию влияния конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя на энергоемкость сбивания масла

Результаты исследований были обработаны модулем Multiple Regression программой Statistica 6.0 и представлены в прил. 3.

Т а б л и ц а 3.14

Уровни значимости факторов на энергоемкость сбивания масла

	Бета	Стандарт. ошибка Бета	В	Стандарт. ошибка В	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(10)	p-level
Intercept			12,32579	0,165398	74,52201	0,000000
X1	0,683393	0,173757	0,76970	0,195701	3,93303	0,002806
X2	0,343428	0,173757	0,38680	0,195701	1,97648	0,076318
X3	-0,336325	0,173757	-0,37880	0,195701	-1,93560	0,081674

Как видно (табл. 3.14) значимым фактором является X1 (частота вращения). Он наиболее существенно влияет на энергоемкость сбивания масла. Табличные значения критерия Стьюдента при доверительной вероятности $P=0,95$, $t(10)$ равно 2,228. Значение критерия Стьюдента фактора X1 больше табличного ($t_{X1}=3,93303$). Уровень значимости ошибки незначителен, так как полученное значение уровня значимости ошибки X1 ($p\text{-level}_{X1}=0,002806$) меньше заданной величины ($p\text{-level}=0,05$).

Получено уравнение регрессии энергоемкости сбивания масла

$$\Xi = 12,32579 + 0,7697 \cdot X_1 + 0,3868 \cdot X_2 - 0,3788 \cdot X_3, \text{ (Вт}\cdot\text{ч)/кг.} \quad (3.16)$$

Как видно (рис. 3.33) имеется большинство точек выпадающих из 95%-го доверительного интервала. Остатки неучтенные уравнением регрессии не подчиняются нормальному закону распределения (прил. 3). Множественный коэффициент корреляции $R=0,835514$, множественная мера определенности 69,808%, а F-тест=0,526111, который показывает степень плотности (разброса) опытных и расчетных значений. Следовательно, полученная модель неадекватно описывает результаты опытов, поэтому необходимо перейти к уравнению второго порядка.

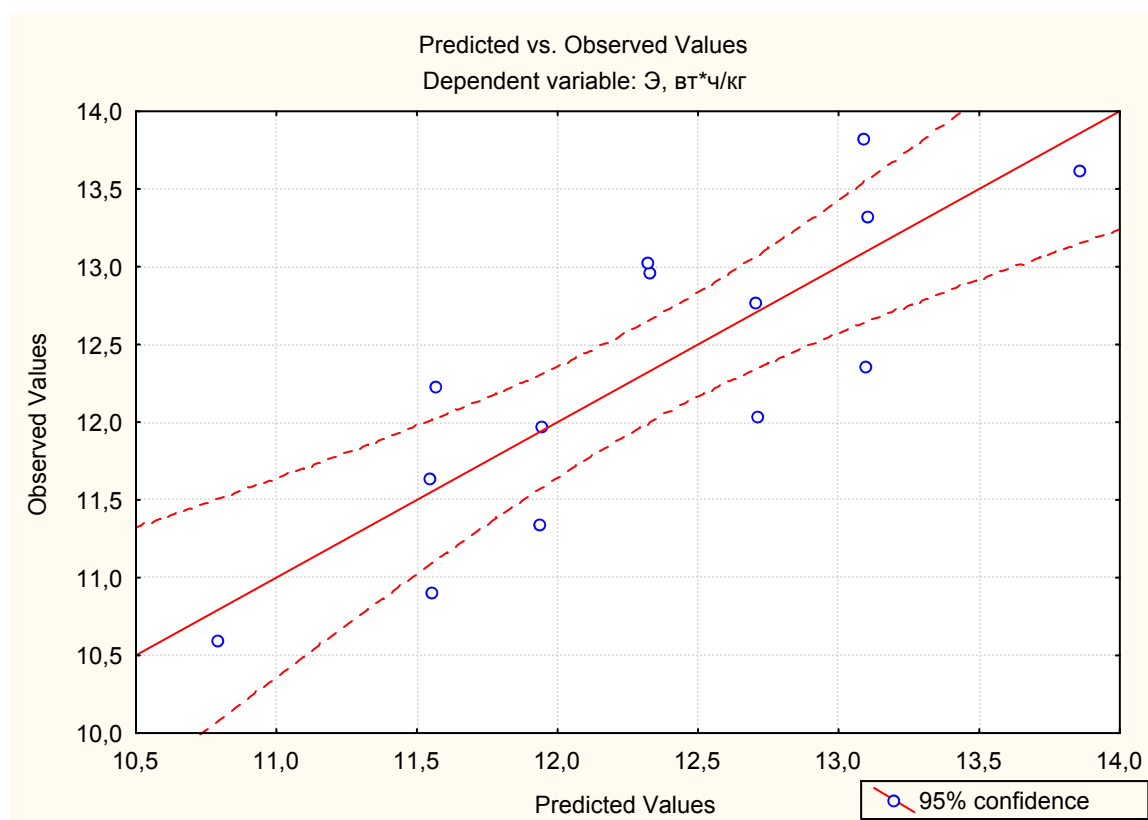


Рис. 3.33. Попадание экспериментальных значений в 95%-й доверительный интервал

Экспериментальные данные обработаны статистически модулем Nonlinear Estimation программой Statistica 6.0 (прил. 3) и получено уравнение регрессии энергоемкости сбивания масла:

$$\begin{aligned} \varepsilon = & 11,51492 + 0,769689 \cdot X_1 + 0,386786 \cdot X_2 - 0,378805 \cdot X_3 - \\ & 0,358145 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,082134 \cdot X_1 \cdot X_3 - \\ & - 0,101883 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,109064 \cdot X_1^2 + 0,172564 \cdot X_2^2 + 0,853563 \cdot X_3^2, \text{ (Вт}\cdot\text{ч)/кг.} \end{aligned} \quad (3.17)$$

Множественный коэффициент корреляции $R=0,99914$, множественная мера определенности $99,828\%$, финальный остаток $-0,022$, а F -тест $=0,997558$. Следовательно, полученная модель адекватно описывает результаты опытов.

Для определения зоны оптимума энергоемкости сбивания масла, полученные данные были обработаны в программе MathCAD. В результате реализации модели MathCAD получены сечения указанной поверхности отклика (рис. 3.34, 3.35 и 3.36). Результаты обработки отражены в прил. 3.

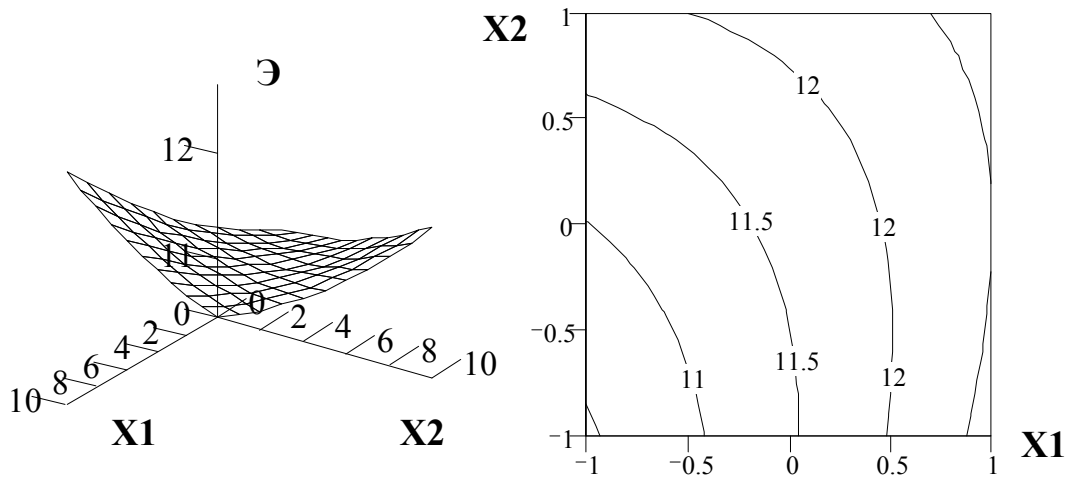


Рис. 3.34. График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости энергоемкости сбивания масла от частоты вращения X_1 и ширины ленты рабочих колес X_2

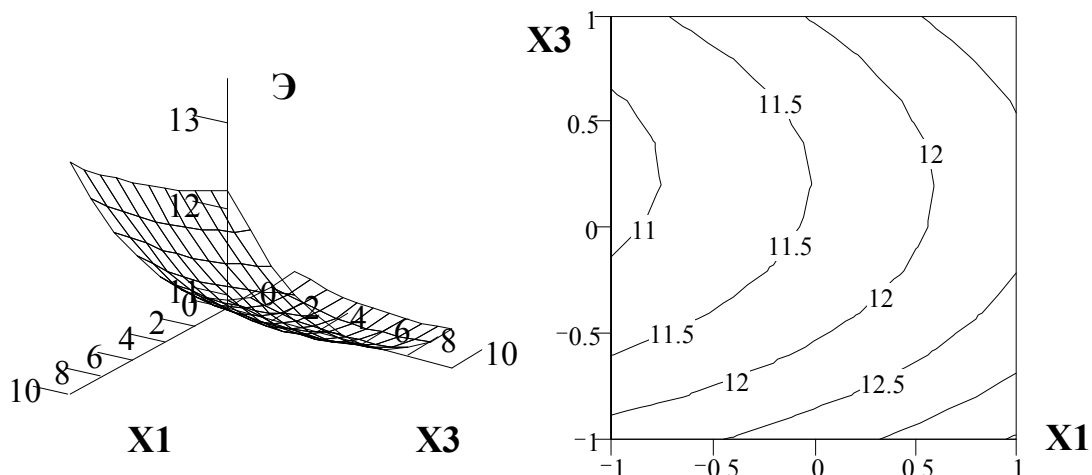


Рис. 3.35. График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости энергоемкости сбивания масла от частоты вращения X_1 и степени заполнения емкости X_3

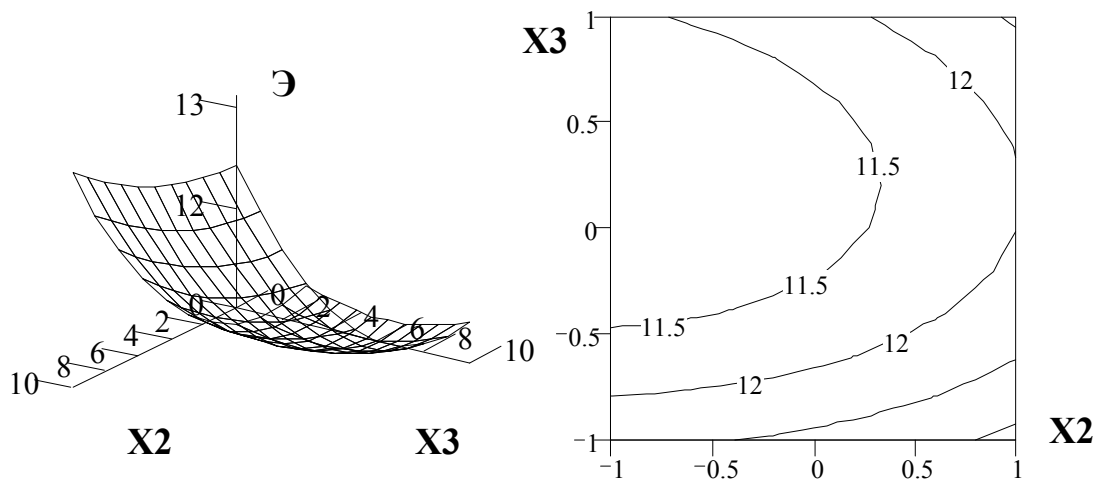


Рис. 3.36. График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости энергоемкости сбивания масла от ширины ленты рабочих колес X_2 и степени заполнения емкости X_3

Из анализа (рис. 3.34, 3.35 и 3.36) с учетом оптимальных значений по степени использования жира и процента выхода масла энергоемкость сбивания составит $11,5 \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$.

3.2.5. Результаты исследований в производственных условиях

На первом этапе производственных исследований для проверки выбранных оптимальных значений факторов, использовались следующие конструктивно-кинематические параметры:

- частота вращения – 180мин^{-1} ;
- ширина ленты рабочих колес – $0,05 \text{ м}$;
- степень заполнения емкости – 66% ($8,25 \text{ л}$);
- направление навивки верхнего рабочего колеса – левое;
- направление навивки нижнего рабочего колеса – правое;
- расстояние между рабочими колесами – $0,2 \text{ м}$;
- вид ленты рабочих колес – без отверстий;
- угол наклона емкости к горизонтали – 0 град .

Производственные исследования показали, что в рекомендуемом режиме устройство работает устойчиво. Из-за небольших габаритов маслоизготовителя периодического действия имеется возможность размещать его в любой удобной части цеха маслозавода и является как самостоятельной машиной, так и звеном единой технологической цепи производства сливочного масла. При этом энергоемкость сбивания масла составила $11,494 \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$, степень использования жира $99,62 \dots 99,63\%$, процент выхода масла $60,5 \dots 60,6\%$ (прил. А).

На втором этапе производственных испытаний, для определения функциональной зависимости критериального уравнения (2.53) и оценки сходимости полученных расчетных и теоретических определялось влияние частоты вращения на энергоемкость. Для чего была проведена серия опытов, результаты которых представлены в приложении И. Экспериментальные данные были обработаны статистически модулем Nonlinear Estimation программой Statistica 6.0.



Рис. 3.37. Сливочное масло, изготовленное при производственных исследованиях

Получено уравнение регрессии энергоемкости сбивания масла от частоты вращения при производственных исследованиях в раскодированном виде:

$$\Xi = 10,52378 + 0,00259 \cdot n + 0,00001 \cdot n^2, \text{ (Вт}\cdot\text{ч)/кг.} \quad (3.18)$$

Финальный остаток: 0,00469037, множественный коэффициент корреляции $R=0,99984$, множественная мера определенности 99,967%.

Для определения степенных показателей и свободного члена критериального уравнения (2.53) данные полученные при производственных исследованиях были обработаны модулем Nonlinear Estimation программой Statistica 6.0 (прил. И). Получено следующее критериальное уравнение мощности в конечном виде:

$$N = 0,631622 \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^{0,873032} \cdot \left(\frac{d}{l_e}\right)^{12,1775} \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^{35,1267} \cdot \left(\frac{d}{H_0}\right)^{0,381737} \times \\ \times \left(\frac{d}{l_0}\right)^{20,7933} \cdot \left(\frac{d}{l_{p.k.}}\right)^{0,530396} \cdot \left(\frac{1}{R_{eu}}\right)^{3,167601} \cdot (F_{ru})^{0,28094}, \text{ Вт.} \quad (3.19)$$

Финальный остаток: 2,1430554, множественный коэффициент корреляции $R=0,99982$, множественная мера определенности 99,964%.

Зависимости расчетных выражений (3.17) и (3.18) и критериального уравнения (3.19), теоретического выражения (2.33) отнесенного к производительности представлены на рис. 3.38.

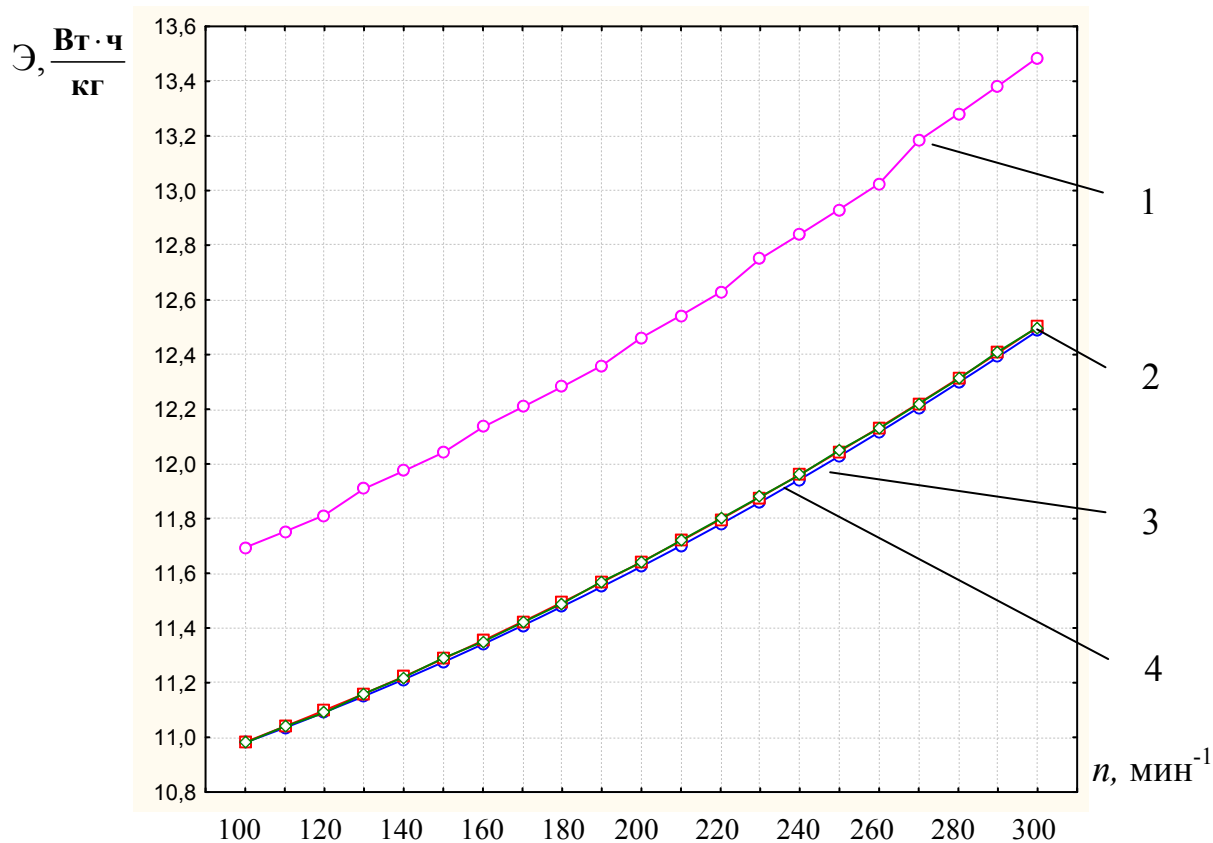


Рис. 3.38. Зависимость энергоемкости сбивания масла от частоты вращения:
 1 – по теоретическому выражению (2.33) с учетом производительности;
 2 – по уравнению регрессии производственных исследований (3.18);
 3 – по уравнению регрессии трехфакторного эксперимента (3.17);
 4 – по критериальному уравнению (3.19) с учетом производительности

Из анализа (рис. 3.38) можно заключить, что теоретическая зависимость (кривая 1) дает завышенное значение энергоемкости по сравнению с зависимостями определенными по уравнениям регрессии трехфакторного эксперимента (кривая 3) и производственных исследований (кривая 2), а также по критериальному уравнению (кривая 4) до 8%. В свою очередь зависимости определенные кривой 2 и 4 отличаются незначительно и расходятся с зависимостью по кривой 3 не более чем на 1%.

Выводы по 3 разделу

Проведение поискового эксперимента предопределило конструкцию механизма сбивания маслоизготовителя периодического действия. По результатам которого принят механизм сбивания с редуктором из-за наименьших затрат времени на производство сливочного масла – в среднем 27 мин против 32 мин у механизма сбивания без редуктора.

По результатам отсеивающего эксперимента установлено, что наиболее значимыми факторами, существенно влияющих на энергоемкость сбивания масла являются : X1 (частота вращения), X2 (ширина лент рабочих колес), X3 (степень заполнения емкости). В последующих опытах значения других факторов принимались постоянными: X4 – левое направление навивки верхнего рабочего колеса; X5 – правое направление навивки нижнего рабочего колеса; X6 – расстояние между рабочими колесами 0,2 м; X7 – вид ленты рабочего колеса – без отверстий; X8 – угол наклона емкости к горизонтали 0 град.

В качестве критерия оптимизации использовалась энергоемкость сбивания, так как она является технико-экономическим показателем процесса, а степень использования жира, которая не должна быть менее 99,6% (так как отход жира в пахту не более 0,4%) и процент выхода масла выступали в роли ограничений.

Для определения оптимальных значений конструктивно-кинематических параметров был использован трехфакторный D-оптимальный план. По итогам обработки экспериментальных данных программой Statistica 6.0 модулем Multiple Regression получены уравнения регрессии 1-го порядка для степени использования жира, процента выхода масла и энергоемкости сбивания, которые неадекватно описывают модель. При этом множественный коэффициент корреляции составил 0,5729...0,835514, экспериментальные значения не попадают в 95%-ый доверительный интервал и неучтенные остатки уравнениями регрессии, при получении линейных моделей, не подчиняются нормальному закону распределения. Проверка на существенность различий между опытными и расчетными значениями оказалась существенной, так как F-тест=0,02043...0,526111. Поэтому, возникла необходимость перехода к планам 2-го порядка.

В результате обработки опытных данных программой Statistica 6.0 модулем Nonlinear Estimation получены уравнения регрессии 2-го порядка для степени использования жира, процента выхода масла и энергоемкости сбивания, которые адекватно описывают модель, так как множественный коэффициент корреляции составил 0,99763...1, экспериментальные значения не существенно отличаются от расчетных – F-тест=0,993504...0,999971.

Выражения (3.9), (3.10) и (3.11) представляют собой уравнения регрессии 2-го порядка в кодированном виде и определяют зависимость между конструктивно-кинематическими параметрами маслоизготовителя и

соответственно степени использования жира, процента выхода масла и энергоемкости сбивания.

Получены оптимальные значения конструктивно-кинематических параметров маслоизготовителя периодического действия: частота вращения рабочих колес 180 мин^{-1} ; ширина лент рабочих колес 0,05 м; степень заполнения емкости 66% (8.25 л); левое направление навивки верхнего рабочего колеса; правое направление навивки нижнего рабочего колеса; расстояние между рабочими колесами 0,2 м; вид ленты рабочего колеса – без отверстий; угол наклона емкости к горизонтали 0 град, – при которых степень использования жира 99,63%, процент выхода масла 60,6% и энергоемкости сбивания $11,5 \frac{\text{Вт} \cdot \text{ч}}{\text{кг}}$.

В результате проведения исследований маслоизготовителя в производственных условиях подтверждены оптимальные значения выбранных конструктивно-кинематических параметров. Определены степенные показатели и свободный член критериального уравнения мощности (3.19), которое может использоваться для перерасчета при изменении конструктивно-режимных параметров и являться основой для моделирования натурального образца маслоизготовителя. В результате оценки сходимости полученных расчетных и теоретических выражений установлено, что их расхождение не превышает 8%, следовательно, можно утверждать о правомочности применения теоретических зависимостей.

4. МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДЛАГАЕМОГО МАСЛОИЗГОТОВИТЕЛЯ

4.1. Методика инженерного расчета маслоизготовителя периодического действия

В ряде случаев возникает необходимость увеличения, либо уменьшения технических показателей модели до натуральных значений. В виду сложности гидродинамических явлений, протекающих при перемешивании сливок в процессе сбивания масла, исключает пока возможность решения системы дифференциальных уравнений потока жидкости. Тогда подобными называют такие явления, для которых отношение сходственных и характеризующих их величин постоянны [57].

Различают следующие виды подобия [29, 33, 57, 67, 95, 106, 113] – геометрическое, временное, физических величин и гидродинамическое.

При геометрическом подобии предполагается, что сходственные размеры натуры и модели параллельны, а их отношение выражается постоянной величиной, то есть:

$$\frac{d_n}{d_m} = \frac{D_n}{D_m} = \frac{l_{ен}}{l_{ем}} = \frac{b_n}{b_m} = \frac{H_{0н}}{H_{0м}} = \frac{l_{0н}}{l_{0м}} = \frac{l_{р.к.н}}{l_{р.к.м}} = a_l, \quad (4.1)$$

где d_n , d_m – соответственно диаметр рабочего колеса механизма сбивания натуры и модели, м; D_n , D_m – соответственно диаметр емкости натуры и модели, м; $l_{ен}$, $l_{ем}$ – соответственно длина емкости натуры и модели, м; b_n , b_m – соответственно ширина лент рабочих колес механизма сбивания натуры и модели, м; $H_{0н}$, $H_{0м}$ – соответственно высота слоя жидкости в емкости натуры и модели, м; $l_{0н}$, $l_{0м}$ – соответственно расстояние между стенкой емкости и рабочим колесом натуры и модели, м; $l_{р.к.н}$, $l_{р.к.м}$ – соответственно расстояние между рабочими колесами механизма сбивания натуры и модели, м; a_l – константа геометрического подобия или масштабный множитель.

Константа подобия a_l характеризует отношение однородных сходственных величин в подобных системах (в данном случае – линейных размеров натуры и модели) и позволяет перейти от размеров одной системы (модели) к другой (натуре).

Временное подобие предполагает, что сходственные точки или части геометрически подобных систем (натуры и модели), двигаясь по геометрически подобным траекториям, проходят геометрически подобные

пути в промежутки времени, отношение которых является постоянной величиной:

$$\frac{t_{\text{н}}}{t_{\text{м}}} = \frac{\tau_{\text{н}}}{\tau_{\text{м}}} = a_{\tau}, \quad (4.2)$$

где $t_{\text{н}}$, $t_{\text{м}}$ – соответственно время прохождения сходственными частицами всего аппарата природы и модели, м; $\tau_{\text{н}}$, $\tau_{\text{м}}$ – время прохождения сходственными частицами соответственно подобных путей, м; a_{τ} – константа временного подобия.

Подобие физических величин предполагает, что в рассматриваемых подобных системах (природы и модели) отношение значений физических величин двух любых сходственных точек или частиц, подобно размещенных в пространстве и времени, есть величина постоянная.

$$\frac{\mu_{\text{н}}}{\mu_{\text{м}}} = a_{\mu}; \quad \frac{\rho_{\text{н}}}{\rho_{\text{м}}} = a_{\rho}; \quad \frac{g_{\text{н}}}{g_{\text{м}}} = a_g, \quad (4.3)$$

где $\mu_{\text{н}}$, $\mu_{\text{м}}$ – соответственно коэффициент динамической вязкости природы и модели, Па·с; $\rho_{\text{н}}$, $\rho_{\text{м}}$ – соответственно плотность жидкости природы и модели, кг/м³; $g_{\text{н}}$, $g_{\text{м}}$ – соответственно ускорение свободного падения природы и модели, м/с²; a_{μ} , a_{ρ} , a_g – соответственно константа подобия динамической вязкости, плотности жидкости и ускорения свободного падения.

Так как и в модели, и в природе за объект взяты сливки одной жирности и температуры, следовательно $a_{\mu}=1$, $a_{\rho}=1$, $a_g=1$.

При увеличении размеров модели до размеров промышленного аппарата условием сохранения гидродинамического подобия является идентичность векторов мгновенных скоростей, которая определяется равенством [106]:

$$\sum v_{\text{н}} = \sum v_{\text{м}}. \quad (4.4)$$

Если бы это условие всегда было выполнимо, то модельные системы можно было бы неограниченно увеличивать только на основании геометрического подобия.

Поскольку в системах с перемешиванием жидкости определение векторов мгновенных скоростей связано с чрезвычайными экспериментальными трудностями, то очевидно, что моделирование по этому условию практически неосуществимо.

Гидродинамическое подобие в данном случае (преобладание сил трения и тяжести) определяется идентичностью критериев Рейнольдса и Фруда, которые состоят из легко измеряемых величин.

Таким образом, справедливы следующие равенства:

$$(R_{\text{ец}})_{\text{н}} = (R_{\text{ец}})_{\text{м}}; \quad (4.5)$$

$$(F_{\text{рц}})_{\text{н}} = (F_{\text{рц}})_{\text{м}}, \quad (4.6)$$

где $(R_{\text{ец}})_{\text{н}}$ и $(R_{\text{ец}})_{\text{м}}$ – соответственно числа Рейнольдса для натуры и модели; $(F_{\text{рц}})_{\text{н}}$ и $(F_{\text{рц}})_{\text{м}}$ – соответственно числа Фруда для натуры и модели.

Соотношения между масштабными коэффициентами определяются по принятым критериям подобия. Можно составить следующие важные соотношения:

$$\left(\frac{a_v^2}{a_g \cdot a_l} \right)_{\text{н}} = \left(\frac{a_v^2}{a_g \cdot a_l} \right)_{\text{м}}; \quad (4.7)$$

$$\left(\frac{a_v \cdot a_l}{a_v} \right)_{\text{н}} = \left(\frac{a_v \cdot a_l}{a_v} \right)_{\text{м}}, \quad (4.8)$$

где a_v – константа подобия скорости.

В соответствии с [29, 33] и выражениями (4.7) и (4.8) известны масштабные коэффициенты, которые представлены в табл. 4.1.

Т а б л и ц а 4.1

Масштабные коэффициенты моделирования

Условие моделирования (критерий)	Масштабные коэффициенты										
	линейный размер	площадь	объем	время	скорость	угловая скорость	частота вращения	сила давления	производительность	мощность	энергоёмкость
$R_{\text{ец}}$	a	a^2	a^3	a^2	a^{-1}	a^{-2}	$a^{1,25}$	1	a	a^3	a^2
$F_{\text{рц}}$	a	a^2	a^3	$a^{0,5}$	$a^{0,5}$	$a^{-0,5}$	$a^{2,75}$	a^3	$a^{2,5}$	$a^{3,5}$	a
K_N	a	a^2	a^3	$2a^{-1}$	$a^2/2$	$a/2$	$a^{3,25}$	$a^6/4$	$a^4/2$	$a^5/8$	$a/4$

Однако идентичность критериев Рейнольдса и Фруда указывает только на одинаковый режим течения потока в обеих системах, но никак не на равенство мгновенных скоростей, которые могут существенно различаться и при одинаковых критериях Рейнольдса и Фруда.

Как уже отмечалось, что сложность гидродинамических процессов при сбивании масла исключает решение системы дифференциальных уравнений потока жидкости, поэтому, основные расчетные соотношения, описывающие процессы перемешивания сливок в процессе сбивания сливочного масла, выражаются в форме критериальных уравнений. Однако эти уравнения могут быть использованы для соответствующих расчетов только при условии, что в них на основании результатов соответствующих модельных опытов определены значения коэффициента и показателей степени у безразмерных переменных. Таким образом, модельные опыты являются основным источником данных, необходимых для получения обобщенных расчетных уравнений.

Поэтому, необходимо применить критериальное уравнение, которое позволяет по данным модельных опытов определить соотношения между геометрическими размерами и скоростью.

Так уравнение (3.19) с учетом (2.57) может быть записано следующим образом:

$$K_N = 0,631622 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^{0,873032} \cdot \left(\frac{d}{l_e}\right)^{12,1775} \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^{35,1267} \cdot \left(\frac{d}{H_0}\right)^{0,381737} \times \\ \times \left(\frac{d}{l_0}\right)^{20,7933} \cdot \left(\frac{d}{l_{p.k.}}\right)^{0,530396} \cdot \left(\frac{1}{R_{ec}}\right)^{3,167601} \cdot (F_{rc})^{0,28094}. \quad (4.9)$$

Эта критериальная зависимость позволяет рассчитать мощность, потребляемую маслоизготовителем в большом диапазоне чисел Рейнольдса и Фруда.

Определением соотношений между скоростью в модели и промышленном аппарате занимались многие исследователи [29, 33, 57, 67, 95, 106], однако наиболее подробно рассмотрел этот вопрос Раштон. Он установил соотношения скоростей в натурном и модельном аппаратах при изменении одной или двух переменных. Основным параметром, по которому определяются остальные величины Раштон выбрал критерий мощности K_N , так как нетрудно вычислить, ибо он составлен из легко измеримых величин.

Основанием такого выбора служит возможность уточнения расчетов, полученных из критериального уравнения (3.19), поправками на влияние геометрических величин, определяющих систему в том случае, когда необходимо увеличить (уменьшить) какую-либо геометрическую величину

иначе, чем на основании геометрического подобия, – в соответствии с уравнением (4.9). Полученные соотношения Раштоном, согласно [106], представлены в табл. 4.1.

Рассмотрим пример расчета модели, при условии увеличения геометрических параметров в 2 раза. Данные расчеты на основании табл. 4.1 сведены в табл. 4.2.

Из анализа табл. 4.2 можно заключить, что при моделировании промышленного аппарата на основании модели с увеличением геометрических параметров в 2 раза происходит повышение производительности при условии моделирования по критерию Рейнольдса $R_{\text{еи}}$ (по учету сил трения) в два раза при возрастании времени сбивания в 4 раза, по Фрудру $F_{\text{гц}}$ (по учету сил тяжести) в 5,5 раз при возрастании времени сбивания в 1,4 раза, по критерию мощности K_N (характеризующий гидравлическое сопротивление при вращении) в 8 раз при времени сбивания соответствующего времени сбивания модели. В соответствии с этим происходит увеличение энергоемкости в 4 раза по критерию Рейнольдса, в 2 раза по критерию Фруда и снижение энергоемкости в 2 раза по критерию мощности.

Наиболее полным и наиболее точным моделированием, как уже отмечалось выше, считается моделирование по критерию мощности или центробежному критерию Эйлера, который характеризует гидравлическое сопротивление при вращении механизма сбивания в сливках и учитывает соотношение скоростей в натурном и модельном аппаратах и имеющей возможность уточнения расчетов, полученных по критериальному уравнению, поправками на влияние геометрических величин.

Однако большинство авторов [29, 33, 57, 67, 95, 106] оговаривают, что возможность расхождения спроектированных значений с реальными существует и возникает необходимость уточнения их на натурном аппарате.

Таблица 4.2

Расчетные данные моделирования
при увеличении геометрических параметров в 2 раза

Условие моделирования (критерий)	Значения параметров															
	d , м	D , м	l_e , м	b , м	H_0 , м	l_0 , м	$l_{p.k.}$, м	V_e , л	t , ч	U , м/с	ω , с ⁻¹	n , мин ⁻¹	P , Н/м ²	N , Вт	Q , кг/ч	Ξ , Вт·ч/кг
$R_{\text{ец}}$	0,32	0,42	0,7	0,1	0,28	0,13	0,4	66	1,1	1,5	4,71	42,81	13,9	1640	35,6	46
$F_{\text{гц}}$	0,32	0,42	0,7	0,1	0,28	0,13	0,4	66	0,4	4,24	13,32	1210,9	11,2	2319, 3	100,7	23
K_N	0,32	0,42	0,7	0,1	0,28	0,13	0,4	66	0,28	6	18,84	1712,5	222,4	820	142,4	5,75
Модель	0,16	0,21	0,35	0,05	0,14	0,065	0,2	8,25	0,28	3	18,84	180	13,9	205	17,8	11,5

4.2. Экономическая оценка эффективности применения предлагаемого маслоизготовителя

Целью экономической оценки является выявление, путем сравнения тех положительных качеств, которые отличают предлагаемое решение от базового. Экономическая оценка проводилась при сравнении предлагаемого маслоизготовителя с серийно-выпускаемым ЭМБ–01 «Салют».

В основу оценки экономической эффективности были положены общепринятые методики [36, 37, 84, 85], когда серийно-выпускаемый промышленностью маслоизготовитель ЭМБ–01 «Салют» заменяется предлагаемым маслоизготовителем периодического действия.

Основные показатели технико-экономической эффективности для предлагаемого маслоизготовителя рассчитывались по методике [37, 83, 84] на основании данных исследований и производственных испытаний, а для серийно-выпускаемого маслоизготовителя ЭМБ–01 «Салют» взяты из технической характеристики. Исходные данные для расчета экономической эффективности представлены в табл. 4.3.

Т а б л и ц а 4.3

Технико-экономические показатели
для расчета экономической эффективности

№ п/п	Показатели	Серийно-выпускаемый ЭМБ–01 «Салют»	Предлагаемый маслоизготовитель
1	Оптовая цена, руб.	1800	2452
2	Объем заливаемых сливок, л	8	8,25
3	Производительность, кг/ч	9,6	17,8
4	Номинальная потребляемая мощность, Вт	400	205
5	Объем работ в сутки, кг	50	50
6	Годовой объем работ, кг	12460	12460
7	Число обслуживающего персонала, чел	1	1
8	Тарифная ставка, руб./ч	18,07	18,07
9	Стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч	1,82	1,82
10	Расход электроэнергии, кВт·ч	519	145
11	Время работы в году, ч	1298	700
11	Масса, кг	8	6,5

При сравнительных расчетах для серийно-выпускаемого маслоизготовителя ЭМБ–01 «Салют» принимали максимальную производительность, а для предлагаемого маслоизготовителя периодического действия – производительность при оптимальных конструктивно-кинематических и технологических параметрах. Основные сравнительные показатели экономической эффективности предлагаемого маслоизготовителя и серийно-выпускаемого приведены в табл. 4.4.

Т а б л и ц а 4.4

Показатели экономической оценки эффективности применения предлагаемого маслоизготовителя

№ п/п	Показатели	Серийно-выпускаемый ЭМБ–01 «Салют»	Предлагаемый маслоизготовитель
1	Капитальные вложения, руб.	2268	3090
2	Годовые эксплуатационные расходы, руб.	59853	46008
2.1	Заработная плата, руб.	57589	44299
2.2	Амортизационные отчисления, руб.	317	432
2.3	Отчисления на ТО и ремонт, руб.	409	557
2.4	Затраты на электроэнергию, руб.	945	264
2.5	Прочие, руб.	593	456
3	Приведенные затраты, руб.	60033	46253
4	Годовая экономия, руб.		13845
5	Годовой экономический эффект, руб.		13780
6	Срок окупаемости, лет		0,3

При введении в производство предлагаемого маслоизготовителя периодического действия можно рекомендовать использование двух сменных емкостей при одном и том же механизме сбивания, что позволит сократить подготовительно-заключительное время и тем самым повысить производительность.

Из анализа табл. 4.4 видно, что годовая экономия составляет 13845 руб. при годовом экономическом эффекте 13780 руб., за счет снижения эксплуатационных затрат, а срок окупаемости капитальных вложений составляет 0,3 года.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ существующих конструкций и основных положений теории образования масляного зерна позволяет считать наиболее перспективными маслоизготовители периодического действия с неподвижной емкостью и активным рабочим органом. Их несовершенство приводит к увеличению продолжительности образования масляного зерна и отхода жира в пахту за счет ударного воздействия на поток сливок, приводящее к дроблению жировых шариков. В связи с этим предложен маслоизготовитель с механизмом сбивания в виде двух колес и редуктором между ними, который устраняет данный недостаток за счет придания сливкам вращательного движения со встречной направленностью потоков и повышения сил трения между ними, что ведет к интенсификации их перемешивания и образования турбулентного режима движения, и как следствие, к разрушению белковой оболочки жировых шариков с последующей агрегацией.

2. По результатам теоретических исследований определено влияние частоты вращения механизма сбивания, размеров рабочего колеса, физико-механических свойств сливок на величину потребной мощности маслоизготовителя периодического действия. Определено критериальное уравнение мощности маслоизготовителя данного конструктивного типа. Разработана методика инженерного расчета конструктивно-кинематических и технологических параметров маслоизготовителя.

3. Проведенные экспериментальные исследования маслоизготовителя периодического действия позволили определить уравнения регрессии для степени использования жира, процента выхода масла и энергоемкости сбивания, а также оптимальные конструктивно-кинематические параметры: частота вращения – 180 мин^{-1} ; ширина лент рабочих колес – $0,05 \text{ м}$; степень заполнения емкости – 66% ($8,25 \text{ л}$); направление навивки верхнего рабочего колеса – левое; направление навивки нижнего рабочего колеса – правое; расстояние между рабочими колесами – $0,2 \text{ м}$; вид ленты рабочего колеса – без отверстий угол наклона емкости к горизонтали – 0° . Отход жира в пахту при этом удовлетворяет требованиям (не более $0,4\%$), процент выхода масла $60,6\%$, производительность маслоизготовителя $17,8 \text{ кг/ч}$, энергоемкость сбивания масла $11,5 \text{ Вт}\cdot\text{ч/кг}$.

4. В процессе опытно-производственных проверки маслоизготовителя были подтверждены данные лабораторных исследований, определена зависимость изменения энергоемкости сбивания от частоты вращения и проверка сходимости полученных расчетных и теоретических зависимостей. Выявлено, что расхождение расчетных и теоретических зависимостей не превышает 8% .

Экономический эффект от применения экспериментального маслоизготовителя периодического действия составляет 13780 руб. за счет снижения эксплуатационных затрат при годовом объеме работ 12460 кг .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абросимова, С.В. Разработка технологии сливочного масла на основе молочно-жировых дисперсий повышенной устойчивости [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / С.В. Абросимова. – М., 1987. – 196 с.
2. А.с. 288798 СССР, МКИ¹ А 01 J 15/12. Маслоизготовитель [Текст].
3. А.с. 295220 ГДР – СССР, МКИ¹ А 01 J 15/12. Маслоизготовитель [Текст].
4. А.с. 379234 СССР, МКИ¹ А 01 J 15/12. Маслоизготовитель [Текст].
5. А.с. 380086 СССР, МКИ¹ А 01 J 15/12. Маслоизготовитель [Текст].
6. А.с. 424539 СССР, МКИ¹ А 01 J 15/10. Устройство для получения сливочного масла [Текст].
7. А.с. 476859 СССР, МКИ¹ А 01 J 15/12. Маслосбиватель непрерывного действия [Текст].
8. А.с. 552936 СССР, МКИ² А 01 J 15/12. Маслоизготовитель непрерывного действия [Текст].
9. А.с. 1183028 СССР, МКИ⁴ А 01 J 15/04, А 47 J 43/04. Устройство для сбивания масла [Текст].
10. А.с. 1395225 СССР, МКИ⁴ А 01 J 15/06. Сбиватель маслоизготовителя непрерывного действия [Текст].
11. А.с. 1454368 СССР, МКИ⁴ А 47 J 43/06, А 01 J 15/04. Устройство для переработки молока и сливок в домашних условиях [Текст].
12. А.с. 1494885 СССР, МКИ⁴ А 01 J 15/12. Устройство для сбивания сливок [Текст].
13. А.с. 1496726 СССР, МКИ⁴ А 01 J 15/12. Маслоизготовитель непрерывного действия [Текст].
14. А.с. 1517860 СССР, МКИ⁴ А 01 J 15/04. Устройство для сбивания масла [Текст].
15. А.с. 1540743 СССР, МКИ⁵ А 01 J 15/12. Маслообразователь непрерывного действия [Текст].
16. А.с. 1591892 СССР, МКИ⁵ А 01 J 15/12. Сбиватель маслоизготовителя непрерывного действия [Текст].
17. А.с. 1692424 СССР, МКИ⁵ А 01 J 15/02. Маслоизготовитель периодического действия [Текст].
18. А.с. 1692425 СССР, МКИ⁵ А 01 J 15/02. Устройство для сбивания масла [Текст].
19. А.с. 2020806 РФ, МКИ⁵ А 01 J 15/04, А 47 J 43/04. Устройство для сбивания масла [Текст].
20. А.с. 2038008 РФ, МКИ⁶ А 01 J 15/02. Маслоизготовитель периодического действия [Текст].
21. А.с. 2094983 РФ, МКИ⁶ А 01 J 15/04. Устройство для сбивания масла [Текст].

22. Антонова, В.С. Технология молока и молочных продуктов [Текст]/ В.С. Антонова, С.А. Соловьев. – Оренбург: Издат. центр ОГАУ, 2001. – 440 с.
23. Бакланов, Н.А. Перемешивание жидкостей [Текст] / Н.А. Бакланов. – Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1979. – 63 с.
24. Барабанщиков, Н.В. Качество молока и молочных продуктов [Текст] / Н.В. Барабанщиков. – М.: Колос, 1980. – 241 с.
25. Баранов, Д.А. Процессы и аппараты химической технологии. Явление переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: Механические и гидромеханические процессы [Текст] / Д.А. Баранов [и др.]: в 5 т. – М.: Логос, 2002. – Т.2. – 600 с.
26. Баранов, Н.Н. Совершенствование технологии производства масла на непрерывных маслоизготовителях [Текст]: автореф. дис. ...канд. техн. наук / Н.Н. Баранов. – М., 1953. – 18 с.
27. Белоусов, А.П. Физико-химические процессы в производстве масла сбиванием сливок [Текст] / А.П. Белоусов. – М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1984. – 192 с.
28. Белянчиков, Н.Н. Исследование процесса маслоизготовления в условиях колхозов и совхозов [Текст]: автореф. дис. ...канд. техн. наук / Н.Н. Белянчиков. – М., 1953. – 24 с.
29. Большаков, В.А. Гидравлика [Текст]/ В.А. Большаков, В.Н. Попов. – Киев: Высшая школа, 1989. – 215 с.
30. Боровиков, В.В. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере [Текст] / В.В. Боровиков. – СПб.: Питер, 2001. – 656 с.
31. Брагинский, Л.Н. Перемешивание в жидких средах [Текст] / Л.Н. Брагинский, В.И. Бегачев, В.М. Барабаш. – Л.: Химия, 1984. – 336 с.
32. Брусиловский, Л.П. Приборы технологического контроля молочной промышленности [Текст]/ Л.П. Брусиловский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990. – 320 с.
33. Бутаев, Д.А. Сборник задач по машиностроительной гидравлике [Текст] / Д.А. Бутаев [и др.]. – 4-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1981. – 464 с.
34. Веденяпин, Н.Г. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных [Текст] / Н.Г. Веденяпин. – М.: Колос, 1967. – 159 с.
35. Влодомцев, И.Н. О макрокинетике маслообразования [Текст] / И.Н. Влодомцев // М.П. – 1952. – №12. – С. 21-23.
36. Волкова, Н.А. Экономическое обоснование инженерно-технических решений дипломных проектов [Текст] / Н.А. Волкова. – Пенза: Пензенская ГСХА, 2000. – 167 с.

37. Волкова, Н.А. Экономическая оценка инженерных проектов [Текст] / Н.А. Волкова, В.В. Коновалов, И.А. Спицын, А.С. Иванов. – Пенза: РИО ПГСХА, 2002. – 242 с.

38. Вышемирский, Ф.А. Ассортимент сливочного масла в соответствии с запросом времени [Текст] / Ф.А. Вышемирский, Е.В. Топникова, Е.Ф. Конева, М.В. Оборина // Масло. Сыр. Состояние, проблемы, перспективы развития. Сборник материалов НПК. – Углич, 2003. – С. 28 – 30.

39. Вышемирский, Ф.А. Масло из коровьего молока и комбинированное [Текст] / Ф.А. Вышемирский. – С. – Петербург: Гиорд, 2004. – 716 с.

40. Вышемирский, Ф.А. Маслоделие в России: история, состояние, перспективы [Текст] / Ф.А. Вышемирский. – М.: Агропромиздат, 1987. – 362 с.

41. Вышемирский, Ф.А. Производство сливочного масла [Текст] / Ф.А. Вышемирский. – М.: ОАО «Рыбинский дом печати», 1998. – 589 с.

42. Вышемирский, Ф.А. Сборник инструкций по производству сливочного и топленого масла [Текст] / Ф.А. Вышемирский. – Углич: ВНИИМС, 1994. – 364 с.

43. Вышемирский, Ф.А. Фактор повышения качества сливочного масла [Текст] / Ф.А. Вышемирский. – М.: Агропромиздат, 1971. – 234 с.

44. Гернет, М.М. Курс теоретической механики [Текст] / М.М. Гернет. – 5-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 1987. – 344 с.

45. ГОСТ 3626–73. Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества [Текст].

46. ГОСТ 37–91. Масло коровье. Техническое условие [Текст].

47. ГОСТ 5867–90 Молоко и молочные продукты. Методы определения жира [Текст].

48. ГОСТ 13264–88. Молоко коровье. Требования при заготовке [Текст].

49. ГОСТ Р 52176–2003. Продукты маслоделия и сыроделия. Термины и определения [Текст].

50. ГОСТ Р 52253–2004. Масло и паста масляная из коровьего молока. Общие технические условия [Текст].

51. Глаголев, Ю.Ф. О теоретических основах процесса маслообразования [Текст] / Ю.Ф. Глаголев // Тр. ВМИ. – 1953. – Т. 12. – 173 с.

52. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / В.Е. Гмурман. – 7-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2000. – 479 с.

53. Гордиенко, П.А. О влиянии пены и формы потока на процесс маслообразования [Текст] / П.А. Гордиенко // М.П. – 1949. – №12. – С. 14-16.

54. Грищенко, А.Д.. Кинетическая закономерность агрегации жировых шариков [Текст] / А.Д. Гордиенко // М.П. – 1966. – №4. – С. 28-29.

55. Грищенко, А.Д.. О влиянии термомеханических условий обработки сливок на агрегацию жировых шариков и кристаллизацию триглицеридов

молочного жира [Текст]: автореф. дис. ...д-ра техн. наук / А.Д. Грищенко. – Л., 1962. – 32 с.

56. Грищенко, А.Д. Сливочное масло [Текст] / А.Д. Грищенко. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 328 с.

57. Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты [Текст] / Ю.И. Дытнерский; в 3 т. – М.: Химия, 1992. – Т.1. – 416 с.

58. Завалишин, Ф.С. Методы исследования по механизации сельскохозяйственного производства [Текст] / Ф.С. Завалишин, М.Г. Мацнев. – М.: Колос, 1982. – 232 с.

59. Исаев, А.П. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов [Текст] / А.П. Исаев, Б.И. Сергеев, В.А. Дидур. – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с.

60. Ерьсько, Г.А. О центробежном разрушении оболочек жировых шариков в процессе сбивания сливок [Текст] / Г.А. Ерьсько // Тр. УкрНИИ мясомолпрома. – 1981. – С. 29-38.

61. Зайковский, Я.С. К теории сбивания сливок и структуры масла [Текст] / Я.С. Зайковский // М.П. – №8. – 1952. – С. 15-16.

62. Инихов, Г.С. Методы анализа молока и молочных продуктов [Текст] / Г.С. Инихов, И.П. Брио. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 423 с.

63. Казанский, М.М. О сущности и механизме процесса маслообразования [Текст] / М.М. Казанский // М.П. – 1953. – №1. – С. 10-11.

64. Канторович, З.Б. Машины химической промышленности [Текст] / З.Б. Канторович. – М.: Машиностроение, 1965. – 416 с.

65. Карасев, И.Н. К определению вихревой зоны, возникающей при перемешивании жидкостей механическими мешалками [Текст] / И.Н. Карасев, С.Я. Гзовский // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1967. – Т. 3. – С. 19

66. Карелин, В.Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах [Текст] / В.Я. Карелин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1975. – 336 с.

67. Киселева, П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам [Текст] / П.Г. Киселева. – 5-е изд. – М.: Энергия, 1974. – 312 с.

68. Коновалов, В.В. Практикум по обработке результатов научных исследований с помощью ПЭВМ [Текст] / В.В. Коновалов. – Пенза: ПГСХА, 2003. – 176 с.

69. Котова, О.Г. Повышение качества сливочного масла [Текст] / О.Г. Котова. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 127 с.

70. Кофтунова, Л.Е. Повышение качества масла [Текст] / Л.Е. Кофтунова. – М.: Наука, 1970. – 94 с.

71. Красуля, Н.Г. Исследование роли молочной плазмы в формировании структуры и качества масла [Текст]: дис. ...канд. техн. наук / Н.Г. Красуля. – Углич, 1981. – 140 с.

72. Крашенин, П.Ф. Исследование физико-химических свойств сливок и масла [Текст] / П.Ф. Крашенин. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 112 с.

73. Крусъ, Г.Н. Методы исследования молока и молочных продуктов [Текст] / Г.Н. Крусъ, А.М. Шалыгина, З.В. Волокитина. – М.: Колос, 2000 – 368 с.

74. Кук, Г.А. Гидродинамическая теория маслообразования [Текст] / Г.А. Кук // Тр. ЛИХПМ. – 1953. – Т. 4. – 318 с.

75. Курочкин, А.А. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств [Текст] / А.А. Курочкин, В.М. Зимняков. – М.: КолосС, 2006. – 320 с.

76. Лакин, Г.Ф. Биометрия [Текст] / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1973. – 343 с.

77. Ломакин, А.А. Центробежные и осевые насосы [Текст] / А.А. Ломакин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1966. – 364 с.

78. Мачтин, Д.И. Контроль использования сырья на маслодельных и сыродельных заводах [Текст] / Д.И. Мачтин. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 280 с.

79. Машины и оборудование для цехов и предприятий малой мощности по переработке с/х сырья. Каталог [Текст]. – М.: Информагротех, 1992. – 146 с.

80. Мельников, В.И. О некоторых гидродинамических особенностях работы мешалок [Текст] / В.И. Мельников // Тр. НИИХиммаш. – 1954. – Т.16. – С. 88-104.

81. Мельников, В.И. Об учете некоторых конструктивных и гидродинамических факторов при расчете мешалок [Текст] / В.И. Мельников // Тр. НИИХиммаш. – 1959. – Т.29. – С. 126-150.

82. Мельников, С.В. О движении жидкости в мешалке [Текст] / С.В. Мельников // Тр. НИИХиммаш. – 1954. – Т.16. – С. 105-120.

83. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов [Текст] / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рошин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1980. – 168 с.

84. Методика определения экономической эффективности технологии и сельскохозяйственной техники [Текст]. – М.: МСХ и продовольствия РФ, 1998. – 240 с.

85. Методы экономической оценки сельскохозяйственной техники [Текст]. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. – 25 с.

86. Мотекайтис, П.В. Влияние механической обработки на структуру и консистенцию сливочного масла [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / П.В. Мотекайтис. – Вильнюс, 1970. – 20 с.
87. Павлушенко, И.С. О движении потока жидкости при перемешивании [Текст] / И.С. Павлушенко, Е.М. Демьянова // ЖПХ. – 1966. – Т.39, №7. – С. 1492-1499.
88. Пат.2047289 РФ, МКИ⁶ А 01 J 15/04, А 47 J 43/04. Устройство для сбивания масла [Текст].
89. Пат.2134515 РФ, МКИ⁶ А 23 С 15/06, А 01 J 15/00, А 01 J 15/10. Способ и устройство для получения масла [Текст].
90. Пат.2186487 РФ, МКИ⁷ А 01 J 15/00, А 01 J 15/02, А 01 J 15/06. Маслоизготовитель периодического действия [Текст].
91. Пат. 61506 РФ, МКИ⁸ А01j 15/00. Маслоизготовитель периодического действия [Текст].
92. Пискарев, А.И. Роль коллоидно-химических явлений при выработке масла [Текст] / А.И. Пискарев // М.П. – 1952. – №10. – С. 25-26.
93. Поляков, В.В. Насосы и вентиляторы [Текст] / В.В. Поляков, Л.С. Скворцов. – М.: Стройиздат, 1990. – 336 с.
94. Попов, Д.Н. Гидромеханика [Текст] / Д.Н. Попов, С.С. Панайотти, М.В. Рябинин. – 2-е изд., стер. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 384 с.
95. Романов, П.Г. Гидромеханические процессы химической технологии [Текст] / П.Г. Романов, М.И. Курочкина. – 3-е изд., перераб. – Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1982. – 287 с.
96. Рычагов, В.В. Насосы и насосные станции [Текст] / В.В. Рычагов, М.М. Флоринский. – 4-е изд. – М.: Колос, 1975. – 416 с.
97. Семидубецкий, М.С. Насосы, компрессоры, вентиляторы [Текст] / М.С. Семидубецкий. – М.: Высшая школа, 1974. – 232 с.
98. Сирик, В.И. Производство масла [Текст] / В.И. Сирик. – М.: Пищевая промышленность, 1969. – 284 с.
99. Стренк, Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками [Текст] / Ф. Стренк. – Л.: Химия, 1975. – 384 с.
100. Сурков, В.Д. Теория кавитации и процесса сбивания масла [Текст] / В.Д. Сурков // М.П. – 1948. – № 10. – С. 21-22.
101. Терюшков, В.П. Повышение использования молочного жира за счет оптимизации параметров маслоизготовителя [Текст]: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / В.П. Терюшков. – Пенза, 2003. – 130 с.
102. Фетисов, Е.А. Статистические методы контроля качества молочной продукции [Текст] / Е.А. Фетисов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 238 с.

103. Чебаевский, В.Ф. Насосы и насосные станции [Текст] / В.Ф. Чебаевский, К.П. Вишневецкий, Н.Н. Накладов, В.В. Кондратьев. – М.: Агропромиздат, 1989. – 416 с.

104. Чепура, И.В. Нелинейные связи при турбулентном механическом перемешивании [Текст] / И.В. Чепура, С.В. Орлов, А.М. Кутепов // Химическая гидродинамика и теоретические основы нелинейных химико-технологических процессов. – М.: МГУИЭ, 1998. – С. 169-176.

105. Черкасский, В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры [Текст] / В.М. Черкасский. – М.: Энергия, 1977. – 424 с.

106. Штербачек, З. Перемешивание в химической промышленности [Текст] / З. Штербачек, П. Тауск; пер. с чешского – Л.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1963. – 416 с.

107. Шувалов В.Н. О некоторых закономерностях сбивания сливок [Текст] / В.Н. Шувалов // Коллоидный журнал. – 1953. – Т. 16, №5. – С. 31-33.

108. Яшин, А.В. Исследование влияния конструктивно-кинематических и технологических параметров маслоизготовителя на процент выхода масла [Текст] / А.В. Яшин // Совершенствование управления научно-техническим прогрессом в современных условиях: сб. материалов V междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – С. 227-229.

109. Яшин, А.В. Исследование влияния конструктивно-кинематических и технологических параметров маслоизготовителя на степень использования молочного жира [Текст] / А.В. Яшин // Совершенствование управления научно-техническим прогрессом в современных условиях: сб. материалов V междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – С. 229-232.

110. Яшин, А.В. К вопросу совершенствования маслоизготовителя периодического действия [Текст] / А.В. Яшин, В.С. Парфенов, В.Н. Стригин, В.П. Терюшков // Материалы XXXXIX науч.-техн. конф. молодых ученых и студентов инженерного факультета. – Пенза: РИО ПГСХА, 2004. – С. 133-135.

111. Яшин, А.В. Маслоизготовитель для фермерских хозяйств [Текст] / А.В. Яшин, В.С. Парфенов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – №3. – С.18.

112. Яшин, А.В. Маслоизготовитель периодического действия [Текст] / А.В. Яшин, В.С. Парфенов // Инновационные технологии в сельском хозяйстве: сб. материалов межрегиональной науч.-практ. конф. молодых ученых. – Пенза: РИО ПГСХА, 2006. – С. 69-70.

113. Яшин, А.В. Методика моделирования и основы инженерного расчета маслоизготовителя [Текст] / А.В. Яшин // Совершенствование управления научно-техническим прогрессом в современных условиях: сб. материалов V междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – С. 232-235.

114. Яшин, А.В. Элементы теории движения сливок и влияния оказываемого изменением конструктивно-режимных параметров маслоизготовителя [Текст]/ А.В. Яшин // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы: сборник материалов IV международной научно-практической конференции. – Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – С.109-111.
115. Hoogendorn, C.J. Model studies on mixers in the viscons flow region / C.J. Hoogendorn, A.P.Den. Hartog // Chem. Eng. Sci. – 1967. – Vol. 22. – P. 1689-1699.
116. Ito, H. Friction Factors for turbulent flow in curved piper / H. Ito // Basic Eng. Trans. ASME, Ser. D, 1959. – Vol. 81. – 123 p.
117. Nagata, S. Mixing. Principles and applications / S. Nagata. – Tokyo: Halsted press book, 1975. – 458 p.
118. Uhl, V.W. Mixing Theory and Practice / V.W. Uhl, J.B. Gray. – New York: T. I. Academic Press, 1966. – 237 p.
119. Yamamoto, K. Studies on turbulent flow in agitating tank / K. Yamamoto, Z. Kawahigasi // Kagaku kogaku, 1956. – Vol. 20, №12. – P. 685–693.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

<p align="center">РОСПАТЕНТ Федеральное государственное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам» (ФГУ ФИПС) Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-5, 123995 Телефон 240-60-15, Телекс 114818 ПДЧ, Факс 234-30-58</p>	<p align="center">Ф И П С 14 MAR 2007 О Т Л Е Ж * 13 [] (74) 440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30, ФГОУ ВПО "Пензенская государственная сельскохозяйственная академия"</p>	<p>Форма № 01 ИЗ-200: 10</p>
<p>На № 189/03-08 от 26.02.2007</p> <p>(21) Наш № 2005135936/13(040149)</p> <p><i>При переносе просим ссылаться на номер заявки и сообщить дату получения данной корреспонденции</i></p>		

РЕШЕНИЕ О ВЫДАЧЕ

ПАТЕНТА НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

- (21) Заявка № 2005135936/13(040149) (22) Дата подачи заявки 18.11.2005
- (24) Дата начала отсчета срока действия патента 18.11.2005
- (85) Дата начала рассмотрения международной заявки на национальной фазе
- ПРИОРИТЕТ УСТАНОВЛЕН ПО ДАТЕ
- (22) подачи заявки 18.11.2005
- (23) поступления дополнительных материалов от
 к ранее поданной заявке № _____ от _____
- (62) приоритета изобретения по первоначальной заявке № _____ от _____,
 из которой данная заявка выделена
 подачи первоначальной заявки № _____ от _____,
 из которой данная заявка выделена
- (66) подачи ранее поданной заявки № _____ от _____
- (30) подачи первой(ых) заявки(ок) в государстве-участнике Парижской конвенции
- | (31) Номер первой(ых) заявки | (32) Дата подачи первой(ых) заявки | (33) Код страны | Пункт формулы |
|------------------------------|------------------------------------|-----------------|---------------|
| 1. | | | |
- (86) Заявка № РСТ/_____ (96) Заявка № ЕА_____
- (87) Номер публикации и дата публикации заявки РСТ _____
- (72) Автор(ы) Парфенов В.С., Яшин А.В., Терюшков В.П., RU
- (73) Патентообладатель(и) ФГОУ ВПО "Пензенская государственная сельскохозяйственная академия", RU
- (54) Название изобретения Маслоизготовитель периодического действия

(см. на обороте)

01	1	ДОМ	28.02.2007	131103
----	---	-----	------------	--------

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 61506

**МАСЛОИЗГОТОВИТЕЛЬ ПЕРИОДИЧЕСКОГО
ДЕЙСТВИЯ**

Патентообладатель(ли): **ФГОУ ВПО "Пензенская
государственная сельскохозяйственная академия" (RU)**

Автор(ы): **Яшин Александр Владимирович (RU), Парфенов
Виктор Степанович (RU)**

Заявка № 2006143958

Приоритет полезной модели **11 декабря 2006 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации **10 марта 2007 г.**

Срок действия патента истекает **11 декабря 2011 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU⁽¹¹⁾

61 506⁽¹³⁾ U1



(51) МПК
A01J 15/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ(титульный лист)

(21), (22) Заявка: 2006143958/22, 11.12.2006
(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.12.2006
(45) Опубликовано: 10.03.2007 Бюл. № 7

Адрес для переписки:
440014, г.Пенза, ул. Ботаническая, 30, ФГОУ
ВПО "Пензенская государственная
сельскохозяйственная академия"

(72) Автор(ы):
Яшин Александр Владимирович (RU),
Парфенов Виктор Степанович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
ФГОУ ВПО "Пензенская государственная
сельскохозяйственная академия" (RU)

(54) МАСЛОИЗГОТОВИТЕЛЬ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

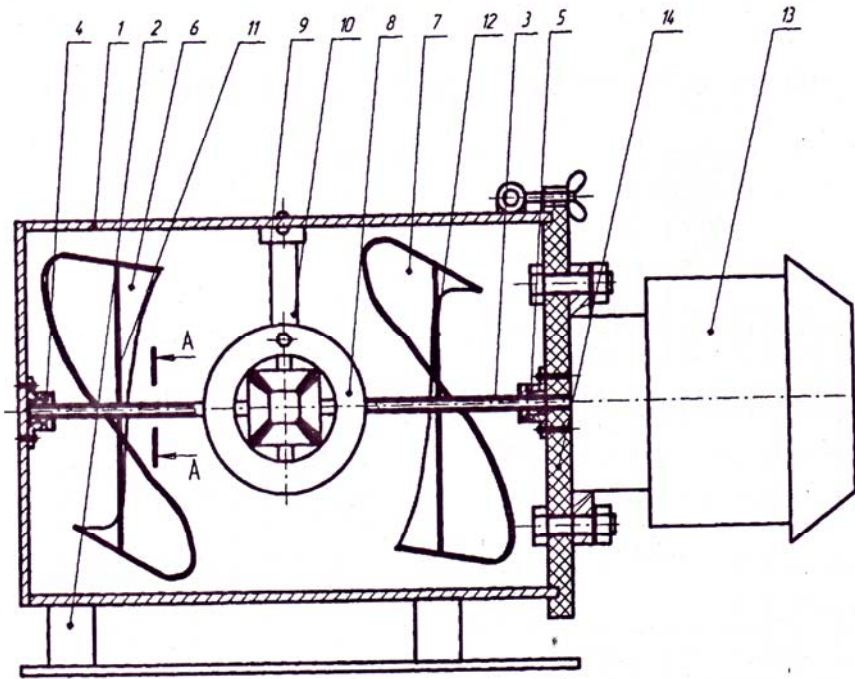
(57) Формула полезной модели

Маслоизготовитель периодического действия содержит неподвижную цилиндрическую емкость с механизмом сбивания, установленным на приводном валу по оси емкости, отличающийся тем, что цилиндрическая емкость маслоизготовителя расположена горизонтально, а механизм сбивания выполнен в виде двух рабочих колес, расположенных в левой и правой части емкости, и, имеющих возможность вращения в разные стороны, посредством редуктора расположенного между ними, каждое из которых состоит из спицы, жестко соединенной с приводным валом, и ленты, концы которой развернуты на 180°, соединены между собой и закреплены жестко к спице.

RU 61506 U1

RU 61506 U1

Продолжение прил. А



RU 61506 U1

RU 61506 U1

Стр.: 2

**Результаты исследования физико-механических свойств
сливочного масла при отсеивающем эксперименте**

№	Контролируемый параметр	Номер опыта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Жирность пахты, %	0,44	0,40	0,36	0,46	0,46	0,30	0,40	0,38	0,42	0,34
2	Степень использования жира, %	99,56	99,60	99,64	99,54	99,54	99,70	99,60	99,62	99,58	99,66
3	Влажность масла, %	17,5	15,8	15,7	17,6	15,9	15,8	15,8	17,5	16,8	16,5
4	Жирность масла, %	79,4	79,6	79	79,8	79,8	82,8	82,6	82,5	82,6	79,5
5	Содержание воздуха, %	2,7	2,6	2,6	2,5	2,6	2,6	2,6	2,5	2,7	2,7
6	Кислотность масла, К ⁰	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
7	Процент выхода масла, %	59,9	60,7	61,1	59,4	59,5	62,7	60,7	61,1	60,3	61,9

**Результаты исследования физико-механических свойств сливочного масла
при трехфакторном эксперименте**

№	Контролируе- мый параметр	Номер опыта													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Жирность пахты, %	0,46	0,42	0,44	0,42	0,42	0,40	0,42	0,42	0,40	0,38	0,38	0,38	0,40	0,38
2	Степень использования жира, %	99,54	99,58	99,56	99,58	99,58	99,60	99,58	99,58	99,60	99,62	99,62	99,62	99,60	99,62
3	Влажность масла, %	15,7	17,5	15,9	17,8	17,5	17,6	16,5	17,1	16,5	18,5	17,5	15,6	16,5	15,9
4	Жирность масла, %	76,5	78,6	78,4	78,2	78,5	81,2	82,6	82,5	81,8	79,6	80,3	80,1	82,1	80,0
5	Содержание воздуха, %	2,5	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,5	2,6	2,5
6	Кислотность масла, К ⁰	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
7	Процент выхода масла, %	59,0	59,8	59,4	59,7	59,8	60,2	59,8	59,8	60,1	60,4	60,3	60,3	60,1	60,4

**Результаты исследований макета маслоизготовителя
при поисковом опыте**

Количество факторов:

$$n1 := 1$$

Количество уровней фактора в опыте:

$$N := 2$$

Количество повторностей опыта:

$$k := 3$$

$$i := 1..2$$

$$jj := 1..3$$

Результаты проведения опыта:

$$Y_{1,1} := 27$$

$$Y_{2,1} := 31$$

$$Y_{1,2} := 28$$

$$Y_{2,2} := 33$$

$$Y_{1,3} := 27$$

$$Y_{2,3} := 32$$

Среднее значение результата:

$$Y_{cp_i} := \frac{\sum_{jj} y_{i,jj}}{k}$$

$$Y_{cp_i} =$$

27.333
32

Дисперсия каждого опыта:

$$S2_i := \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{jj} (y_{i,jj} - Y_{cp_i})^2$$

$$S2_i =$$

0.667
2

Наибольшее значение опыта:

$$S2_{max} := \max(S2)$$

$$S2_{max} = 2$$

Количество степеней свободы:

$$v1 := k-1$$

$$v1 = 2$$

Окончание прил. Б

$$v_2 := N - 1$$

$$v_2 = 1$$

Значение G-критерия Кохрена:

$$G := \frac{S_2 \max}{\sum_i S_2_i}$$

$$G = 0,75$$

Табличное значение критерия Кохрена:

$$G_{\text{табл}} = 0,9985$$

$$G < G_{\text{табл}}$$

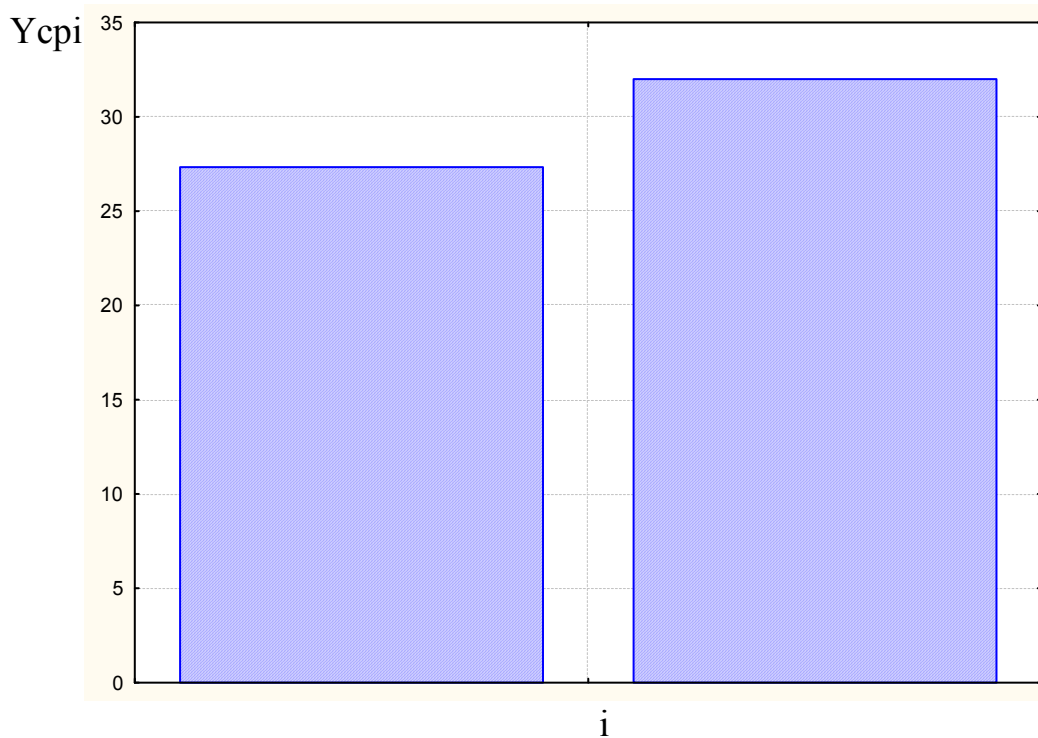


Диаграмма значимости уровней факторов

Приложение В

Результаты исследования маслоизготовителя по степени использования жира при отсеивающем эксперименте

Показатели:

R – множественный коэффициент корреляции

Variance explained – множественная мера определенности

Adjusted RI – скорректированный коэффициент корреляции

p – уровень значимости ошибки

Std. Err. – стандартная ошибка

F-тест – степень плотности (разброса) опытных и расчетных значений

$R=0,81930839$; Variance explained 67,127%; Adjusted RI=-----;
 $p<0,91687$; Std. Err.: 0,09; F-тест=0,562127

Т а б л и ц а 1

Результаты оценивания параметров переменных

	Стандар- тиз. коэффи- циент регрессии	Стандарт. ошибка ВЕТА	Не стандарт. коэф. регрес.	Стандарт. ошибка В	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
Своб. член	Beta	Std.Err. of Beta	В	Std.Err.	t(1)	p-level
Intercept			99,59000	0,055114	1806,998	0,000352
X1	-0,15109	3,107500	-0,00750	0,154252	-0,049	0,969071
X2	1,81310	5,733531	0,09000	0,284605	0,316	0,805018
X3	-0,30218	3,569094	-0,01500	0,177165	-0,085	0,946228
X4	-1,30946	3,569094	-0,06500	0,177165	-0,367	0,776138
X5	-0,90655	3,951563	-0,04500	0,196150	-0,229	0,856434
X6	0,55400	1,013555	0,02750	0,050312	0,547	0,681547
X7	0,60437	1,923085	0,03000	0,095459	0,314	0,806152
X8	1,38170	4,657943	0,07000	0,235982	0,297	0,816421

Т а б л и ц а 2

Анализ дисперсии зависимой переменной

	Сумма квадратов остатков	Степени свободы	Среднее квадратическое	Уровень зна- чимости ошибки
	Sums of Squares	df	Mean Squares	p-level
Regress.	0,016540	8	0,002067	0,916866
Residual	0,008100	1	0,008100	
Total	0,024640			

Продолжение прил. В
Таблица 3

Корреляция коэффициентов регрессии В

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
X1	1,000000	-0,968658	0,963293	0,963293	0,970448	0,456630	-0,893898	-0,973538
X2	-0,968658	1,000000	-0,943783	-0,983944	-0,979393	-0,353553	0,931695	0,979912
X3	0,963293	-0,943783	1,000000	0,935484	0,961482	0,567962	-0,898027	-0,968719
X4	0,963293	-0,983944	0,935484	1,000000	0,961482	0,340777	-0,898027	-0,968719
X5	0,970448	-0,979393	0,961482	0,961482	1,000000	0,410391	-0,919255	-0,984327
X6	0,456630	-0,353553	0,567962	0,340777	0,410391	1,000000	-0,421637	-0,426401
X7	-0,893898	0,931695	-0,898027	-0,898027	-0,919255	-0,421637	1,000000	0,898933
X8	-0,973538	0,979912	-0,968719	-0,968719	-0,984327	-0,426401	0,898933	1,000000

Таблица 4

Ковариация коэффициентов регрессии В

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
X1	0,023794	-0,042525	0,026325	0,026325	0,029363	0,003544	0,023794	-0,042525
X2	-0,042525	0,081000	-0,047588	-0,049613	-0,054675	-0,005063	-0,042525	0,081000
X3	0,026325	-0,047588	0,031388	0,029363	0,033413	0,005063	0,026325	-0,047588
X4	0,026325	-0,049613	0,029363	0,031388	0,033413	0,003038	0,026325	-0,049613
X5	0,029363	-0,054675	0,033413	0,033413	0,038475	0,004050	0,029363	-0,054675
X6	0,003544	-0,005063	0,005063	0,003038	0,004050	0,002531	0,003544	-0,005063
X7	-0,013163	0,025313	-0,015188	-0,015188	-0,017213	-0,002025	-0,013163	0,025313
X8	-0,035438	0,065813	-0,040500	-0,040500	-0,045563	-0,005063	-0,035438	0,065813

Таблица 5

Текущий статус размаха переменных матрицы

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	S, %
X1	-29,3750	52,500	-32,5000	-32,5000	-36,2500	-4,37500	16,2500	42,8661	-0,15109
X2	52,5000	-100,000	58,7500	61,2500	67,5000	6,25000	-31,2500	-79,6084	1,81310
X3	-32,5000	58,750	-38,7500	-36,2500	-41,2500	-6,25000	18,7500	48,9898	-0,30218
X4	-32,5000	61,250	-36,2500	-38,7500	-41,2500	-3,75000	18,7500	48,9898	-1,30946
X5	-36,2500	67,500	-41,2500	-41,2500	-47,5000	-5,00000	21,2500	55,1135	-0,90655
X6	-4,3750	6,250	-6,2500	-3,7500	-5,0000	-3,12500	2,5000	6,1237	0,55400
X7	16,2500	-31,250	18,7500	18,7500	21,2500	2,50000	-11,2500	-24,4949	0,60437
X8	42,8661	-79,608	48,9898	48,9898	55,1135	6,12372	-24,4949	-66,0000	1,38170
S, %	-0,1511	1,813	-0,3022	-1,3095	-0,9066	0,55400	0,6044	1,3817	0,32873

Продолжение прил. В
Таблица 6

Частные корреляции

	Стандартиз. коэф. регрессии	Частная корреляция	Общая корреляция	Толерантность	Коэф. детерминации	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
	Beta	Partial	Semipart	Tolerance	R-square	t(1)	p-level
X1	-0,15109	-0,048564	-0,027877	0,034043	0,965957	-0,048622	0,969071
X2	1,81310	0,301511	0,181310	0,010000	0,990000	0,316228	0,805018
X3	-0,30218	-0,084365	-0,048544	0,025806	0,974194	-0,084667	0,946228
X4	-1,30946	-0,344439	-0,210357	0,025806	0,974194	-0,366889	0,776138
X5	-0,90655	-0,223607	-0,131536	0,021053	0,978947	-0,229416	0,856434
X6	0,55400	0,479623	0,313392	0,320000	0,680000	0,546594	0,681547
X7	0,60437	0,299813	0,180187	0,088889	0,911111	0,314270	0,806152
X8	1,38170	0,284385	0,170075	0,015152	0,984848	0,296633	0,816421

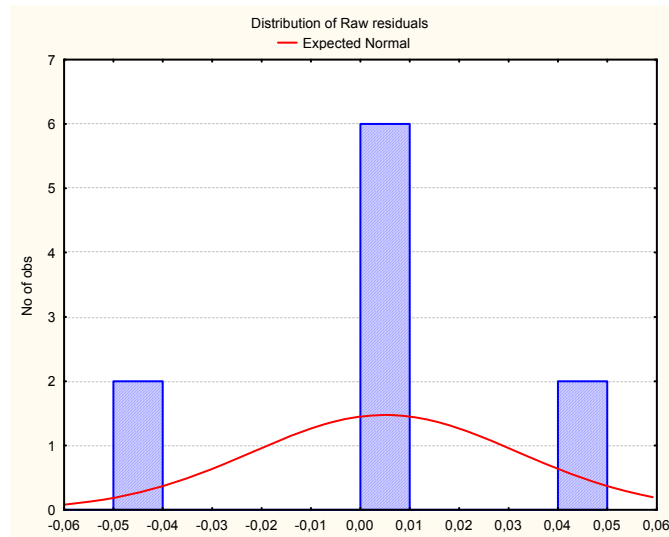
Таблица 7

Графики и значения опытных, расчетных показателей

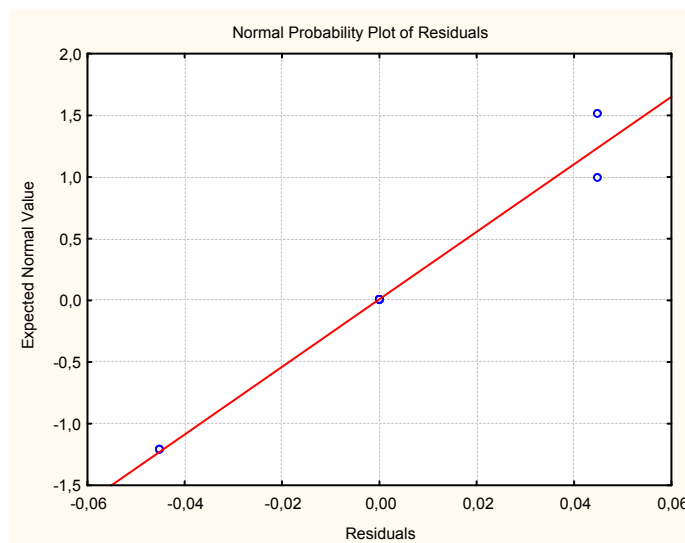
	Опытные	Расчетные
-3s ... 0 ... +3s	Observed	Predicted
1 ... * ...	99,56000	99,56000
2 ... * ...	99,60000	99,60000
3 ... * ...	99,64000	99,64000
4 ... * ...	99,54000	99,58500
5 ... * ...	99,54000	99,54000
6 ... * ...	99,70000	99,65500
7 ... * ...	99,60000	99,64500
8 ... * ...	99,62000	99,57500
9 ... * ...	99,58000	99,58000
10 ... * ...	99,66000	99,66000
Minimum ... * ...	99,54000	99,54000
Maximum ... * ...	99,70000	99,66000
Mean ... * ...	99,60400	99,60400
Median ... * ...	99,60000	99,59250

Значения коэффициентов корреляции

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	S, %
X1	1,000000	0,200000	-0,200000	-0,200000	-0,200000	-0,200000	-0,200000	0,000000	0,483494
X2	0,200000	1,000000	-0,200000	0,600000	0,200000	-0,200000	-0,600000	-0,408248	-0,161165
X3	-0,200000	-0,200000	1,000000	-0,200000	-0,200000	-0,600000	0,200000	0,408248	0,161165
X4	-0,200000	0,600000	-0,200000	1,000000	0,200000	0,200000	-0,200000	0,000000	-0,322329
X5	-0,200000	0,200000	-0,200000	0,200000	1,000000	0,200000	0,200000	0,408248	0,080582
X6	-0,200000	-0,200000	-0,600000	0,200000	0,200000	1,000000	0,200000	0,000000	0,080582
X7	-0,200000	-0,600000	0,200000	-0,200000	0,200000	0,200000	1,000000	0,408248	0,241747
X8	0,000000	-0,408248	0,408248	0,000000	0,408248	0,000000	0,408248	1,000000	0,394771
S, %	0,483494	-0,161165	0,161165	-0,322329	0,080582	0,080582	0,241747	0,394771	1,000000



Гистограмма распределения остатков неучтенных уравнением регрессии



Распределение остатков на нормальной бумаге

Приложение Г

**Результаты исследования маслоизготовителя
по проценту выхода масла при отсеивающем эксперименте**

Показатели:

R – множественный коэффициент корреляции

Variance explained – множественная мера определенности

Adjusted RI – скорректированный коэффициент корреляции

p – уровень значимости ошибки

Std. Err. – стандартная ошибка

F-тест – степень плотности (разброса) опытных и расчетных значений

$R=0,80403512$; Variance explained 64,647%; Adjusted RI=-----;
 $p<0,93016$; Std. Err.: 1,85; F-тест=0,526066

Таблица 1 – Результаты оценивания параметров переменных

	Стандартиз. коэффициент регрессии	Стандарт. ошибка БЕТА	Не стандарт. коэф. регресс.	Стандарт. ошибка В	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
Своб. Член	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err.	t(1)	p-level
Intercept			60,37500	1,132889	53,29295	0,011944
X1	-0,39383	3,222557	-0,38750	3,170740	-0,12221	0,922582
X2	2,13432	5,945818	2,10000	5,850214	0,35896	0,780598
X3	-0,66062	3,701242	-0,65000	3,641729	-0,17849	0,887556
X4	-1,47370	3,701242	-1,45000	3,641729	-0,39816	0,758771
X5	-1,19420	4,097872	-1,17500	4,031982	-0,29142	0,819476
X6	0,47006	1,051082	0,46250	1,034181	0,44721	0,732280
X7	0,73685	1,994288	0,72500	1,962221	0,36948	0,774686
X8	1,76756	4,830405	1,77500	4,850741	0,36592	0,776680

Т а б л и ц а 2

Анализ дисперсии зависимой переменной

	Сумма квадратов остатков	Степени свободы	Среднее квадратическое	Уровень значимости ошибки
	Sums of Squares	df	Mean Squares	p-level
Regress.	6,258500	8	0,782313	0,930157
Residual	3,422500	1	3,422500	
Total	9,681000			

Продолжение прил. Г
Таблица 3

Корреляция коэффициентов регрессии В

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
X1	1,000000	-0,968658	0,963293	0,963293	0,970448	0,456630	-0,893898	-0,973538
X2	-0,968658	1,000000	-0,943783	-0,983944	-0,979393	-0,353553	0,931695	0,979912
X3	0,963293	-0,943783	1,000000	0,935484	0,961482	0,567962	-0,898027	-0,968719
X4	0,963293	-0,983944	0,935484	1,000000	0,961482	0,340777	-0,898027	-0,968719
X5	0,970448	-0,979393	0,961482	0,961482	1,000000	0,410391	-0,919255	-0,984327
X6	0,456630	-0,353553	0,567962	0,340777	0,410391	1,000000	-0,421637	-0,426401
X7	-0,893898	0,931695	-0,898027	-0,898027	-0,919255	-0,421637	1,000000	0,898933
X8	-0,973538	0,979912	-0,968719	-0,968719	-0,984327	-0,426401	0,898933	1,000000

Таблица 4

Ковариация коэффициентов регрессии В

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
X1	10,0536	-17,9681	11,1231	11,1231	12,4066	1,49734	-5,56156	-14,9734
X2	-17,9681	34,2250	-20,1072	-20,9628	-23,1019	-2,13906	10,69531	27,8078
X3	11,1231	-20,1072	13,2622	12,4066	14,1178	2,13906	-6,41719	-17,1125
X4	11,1231	-20,9628	12,4066	13,2622	14,1178	1,28344	-6,41719	-17,1125
X5	12,4066	-23,1019	14,1178	14,1178	16,2569	1,71125	-7,27281	-19,2516
X6	1,4973	-2,1391	2,1391	1,2834	1,7113	1,06953	-0,85563	-2,1391
X7	-5,5616	10,6953	-6,4172	-6,4172	-7,2728	-0,85563	3,85031	8,5563
X8	-14,9734	27,8078	-17,1125	-17,1125	-19,2516	-2,13906	8,55625	23,5297

Таблица 5

Текущий статус размаха переменных матрицы

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	С, %
X1	-29,3750	52,500	-32,5000	-32,5000	-36,2500	-4,37500	16,2500	42,8661	-0,39383
X2	52,5000	-100,000	58,7500	61,2500	67,5000	6,25000	-31,2500	-79,6084	2,13432
X3	-32,5000	58,750	-38,7500	-36,2500	-41,2500	-6,25000	18,7500	48,9898	-0,66062
X4	-32,5000	61,250	-36,2500	-38,7500	-41,2500	-3,75000	18,7500	48,9898	-1,47370
X5	-36,2500	67,500	-41,2500	-41,2500	-47,5000	-5,00000	21,2500	55,1135	-1,19420
X6	-4,3750	6,250	-6,2500	-3,7500	-5,0000	-3,12500	2,5000	6,1237	0,47006
X7	16,2500	-31,250	18,7500	18,7500	21,2500	2,50000	-11,2500	-24,4949	0,73685
X8	42,8661	-79,608	48,9898	48,9898	55,1135	6,12372	-24,4949	-66,0000	1,76756
С, %	-0,3938	2,134	-0,6606	-1,4737	-1,1942	0,47006	0,7368	1,7676	0,35353

Продолжение прил. Г
Таблица 6

Частные корреляции

	Стандартиз. коэф. регрессии	Частная корреляция	Общая корреляция	Толерантность	Коэф. детерминации	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
	Beta	Partial	Semipart	Tolerance	R-square	t(1)	p-level
X1	-0,39383	-0,121309	-0,072665	0,034043	0,965957	-0,122211	0,922582
X2	2,13432	0,337854	0,213432	0,010000	0,990000	0,358961	0,780598
X3	-0,66062	-0,175710	-0,106125	0,025806	0,974194	-0,178487	0,887556
X4	-1,47370	-0,369919	-0,236740	0,025806	0,974194	-0,398163	0,758771
X5	-1,19420	-0,279782	-0,173273	0,021053	0,978947	-0,291420	0,819476
X6	0,47006	0,408248	0,265905	0,320000	0,680000	0,447214	0,732280
X7	0,73685	0,346579	0,219686	0,088889	0,911111	0,369479	0,774686
X8	1,76756	0,343639	0,217571	0,015152	0,984848	0,365923	0,776680

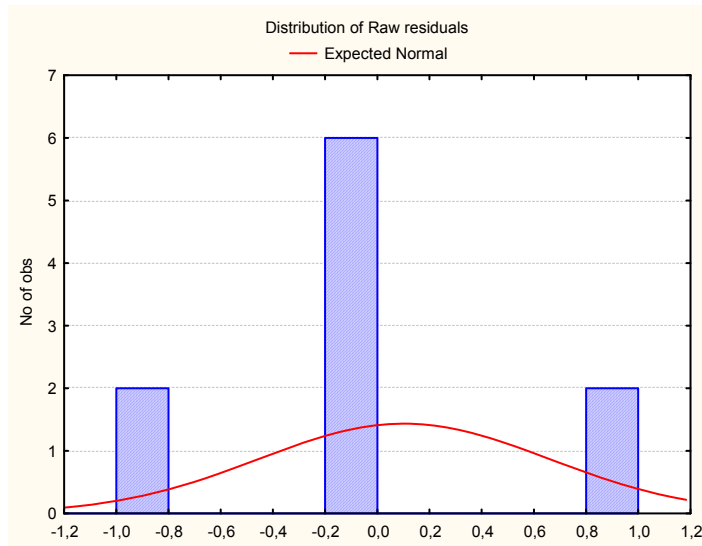
Таблица 7

Графики и значения опытных, расчетных показателей

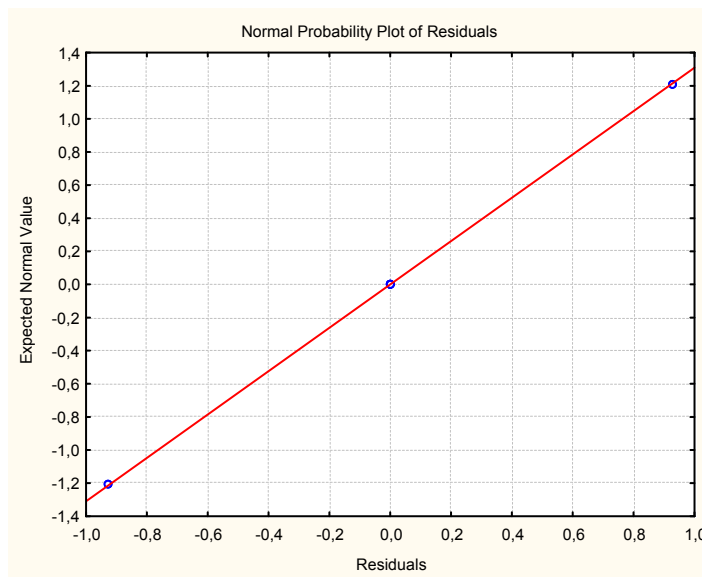
	Опытные	Расчетные
-3s ... 0 ... +3s	Observed	Predicted
1 ... * ...	59,90000	59,90000
2 ... * ...	60,70000	60,70000
3 ... * ...	61,10000	61,10000
4 ... * ...	59,40000	60,32500
5 ... * ...	59,50000	59,50000
6 ... * ...	62,70000	61,77500
7 ... * ...	60,70000	61,62500
8 ... * ...	61,10000	60,17500
9 ... * ...	60,30000	60,30000
10 ... * ...	61,90000	61,90000
Minimum ... * ...	59,40000	59,50000
Maximum ... * ...	62,70000	61,90000
Mean ... * ...	60,73000	60,73000
Median ... * ...	60,70000	60,51250

Значения коэффициентов корреляции

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	C, %
X1	1,000000	0,200000	-0,200000	-0,200000	-0,200000	-0,200000	-0,200000	0,000000	0,457354
X2	0,200000	1,000000	-0,200000	0,600000	0,200000	-0,200000	-0,600000	0,408248	-0,193105
X3	-0,200000	-0,200000	1,000000	-0,200000	-0,200000	-0,600000	0,200000	0,408248	0,111798
X4	-0,200000	0,600000	-0,200000	1,000000	0,200000	0,200000	-0,200000	0,000000	-0,274412
X5	-0,200000	0,200000	-0,200000	0,200000	1,000000	0,200000	0,200000	0,408248	0,111798
X6	-0,200000	-0,200000	-0,600000	0,200000	0,200000	1,000000	0,200000	0,000000	0,132124
X7	-0,200000	-0,600000	0,200000	-0,200000	0,200000	0,200000	1,000000	0,408248	0,274412
X8	0,000000	0,408248	0,408248	0,000000	0,408248	0,000000	0,408248	1,000000	0,439815
C, %	0,457354	-0,193105	0,111798	-0,274412	0,111798	0,132124	0,274412	0,439815	1,000000



Гистограмма распределения остатков неучтенных уравнением регрессии



Распределение остатков на нормальной бумаге

Приложение Д

Результаты исследования маслоизготовителя по энергоемкости сбивания масла при отсеивающем эксперименте

Показатели:

R – множественный коэффициент корреляции

Variance explained – множественная мера определенности

Adjusted RI – скорректированный коэффициент корреляции

p – уровень значимости ошибки

Std. Err. – стандартная ошибка

F-тест – степень плотности (разброса) опытных и расчетных значений

$R=0,95813183$; Variance explained 91,802%; Adjusted RI=0,26214938;
 $p<0,57747$; Std. Err.: 1,2555; F-тест=0,900695

Т а б л и ц а 1

Результаты оценивания параметров переменных

	Стандартиз. коэффициент регрессии	Стандарт. ошибка БЕТА	Не стандарт. коэф. регресс.	Стандарт. ошибка В	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
Своб. Член	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err.	t(1)	p-level
Intercept			12,55050	0,768834	16,32408	0,038950
X1	1,080785	1,551858	1,49863	2,151819	0,69645	0,612721
X2	-0,257823	2,863274	-0,35750	3,970240	-0,09004	0,942830
X3	0,411977	1,782374	0,57125	2,471454	0,23114	0,855392
X4	0,599124	1,782374	0,83075	2,471454	0,33614	0,793562
X5	0,702253	1,973376	0,97375	2,736299	0,35586	0,782347
X6	0,068783	0,506160	0,09538	0,701846	0,13589	0,914015
X7	-0,119356	0,960371	-0,16550	1,331659	-0,12428	0,921284
X8	-0,283705	2,326135	-0,40150	3,291949	-0,12196	0,922737

Т а б л и ц а 2–

Анализ дисперсии зависимой переменной

	Сумма квадратов остатков	Степени свободы	Среднее квадратическое	Уровень значимости ошибки
	Sums of Squares	df	Mean Squares	p-level
Regress.	17,65054	8	2,206318	0,577468
Residual	1,57628	1	1,576280	
Total	19,22682			

Продолжение прил. Д
Таблица 3

Корреляция коэффициентов регрессии В

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
X1	1,000000	-0,968658	0,963293	0,963293	0,970448	0,456630	-0,893898	-0,973538
X2	-0,968658	1,000000	-0,943783	-0,983944	-0,979393	-0,353553	0,931695	0,979912
X3	0,963293	-0,943783	1,000000	0,935484	0,961482	0,567962	-0,898027	-0,968719
X4	0,963293	-0,983944	0,935484	1,000000	0,961482	0,340777	-0,898027	-0,968719
X5	0,970448	-0,979393	0,961482	0,961482	1,000000	0,410391	-0,919255	-0,984327
X6	0,456630	-0,353553	0,567962	0,340777	0,410391	1,000000	-0,421637	-0,426401
X7	-0,893898	0,931695	-0,898027	-0,898027	-0,919255	-0,421637	1,000000	0,898933
X8	-0,973538	0,979912	-0,968719	-0,968719	-0,984327	-0,426401	0,898933	1,000000

Таблица 4

Ковариация коэффициентов регрессии В

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
X1	4,63032	-8,2755	5,12291	5,12291	5,7140	0,689623	-2,56146	-6,89623
X2	-8,27547	15,7628	-9,26065	-9,65472	-10,6399	-0,985175	4,92588	12,80728
X3	5,12291	-9,2606	6,10809	5,71402	6,5022	0,985175	-2,95553	-7,88140
X4	5,12291	-9,6547	5,71402	6,10809	6,5022	0,591105	-2,95553	-7,88140
X5	5,71402	-10,6399	6,50216	6,50216	7,4873	0,788140	-3,34960	-8,86658
X6	0,68962	-0,9852	0,98518	0,59111	0,7881	0,492588	-0,39407	-0,98518
X7	-2,56146	4,9259	-2,95553	-2,95553	-3,3496	-0,394070	1,77332	3,94070
X8	-6,89623	12,8073	-7,88140	-7,88140	-8,8666	-0,985175	3,94070	10,83693

Таблица 5

Текущий статус размаха переменных матрицы

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	Э, Вт·ч/кг
X1	-29,3750	52,500	-32,5000	-32,5000	-36,2500	-4,37500	16,2500	42,8661	1,080785
X2	52,5000	-100,000	58,7500	61,2500	67,5000	6,25000	-31,2500	-79,6084	-0,257823
X3	-32,5000	58,750	-38,7500	-36,2500	-41,2500	-6,25000	18,7500	48,9898	0,411977
X4	-32,5000	61,250	-36,2500	-38,7500	-41,2500	-3,75000	18,7500	48,9898	0,599124
X5	-36,2500	67,500	-41,2500	-41,2500	-47,5000	-5,00000	21,2500	55,1135	0,702253
X6	-4,3750	6,250	-6,2500	-3,7500	-5,0000	-3,12500	2,5000	6,1237	0,068783
X7	16,2500	-31,250	18,7500	18,7500	21,2500	2,50000	-11,2500	-24,4949	-0,119356
X8	42,8661	-79,608	48,9898	48,9898	55,1135	6,12372	-24,4949	-66,0000	-0,283705
Э, Вт·ч/кг	1,0808	-0,258	0,4120	0,5991	0,7023	0,06878	-0,1194	-0,2837	0,081983

Продолжение прил. Д
Таблица 6

Частные корреляции

	Стандартиз. коэф. регрессии	Частная корреляция	Общая корреляция	Толерантность	Коэф. детерминации	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
	Beta	Partial	Semipart	Tolerance	R-square	t(1)	p-level
X1	1,080785	0,571503	0,199412	0,034043	0,965957	0,696446	0,612721
X2	-0,257823	-0,089682	-0,025782	0,010000	0,990000	-0,090045	0,942830
X3	0,411977	0,225202	0,066182	0,025806	0,974194	0,231139	0,855392
X4	0,599124	0,318620	0,096246	0,025806	0,974194	0,336138	0,793562
X5	0,702253	0,335268	0,101894	0,021053	0,978947	0,355864	0,782347
X6	0,068783	0,134654	0,038910	0,320000	0,680000	0,135892	0,914015
X7	-0,119356	-0,123332	-0,035585	0,088889	0,911111	-0,124281	0,921284
X8	-0,283705	-0,121067	-0,034922	0,015152	0,984848	-0,121964	0,922737

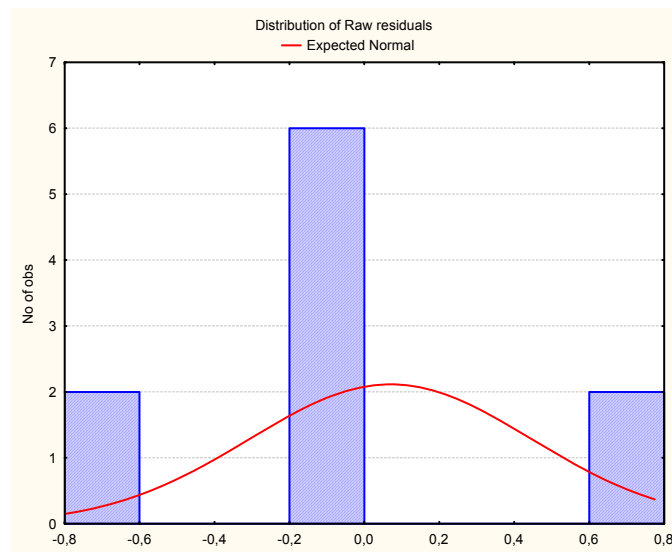
Таблица 7

Графики и значения опытных, расчетных показателей

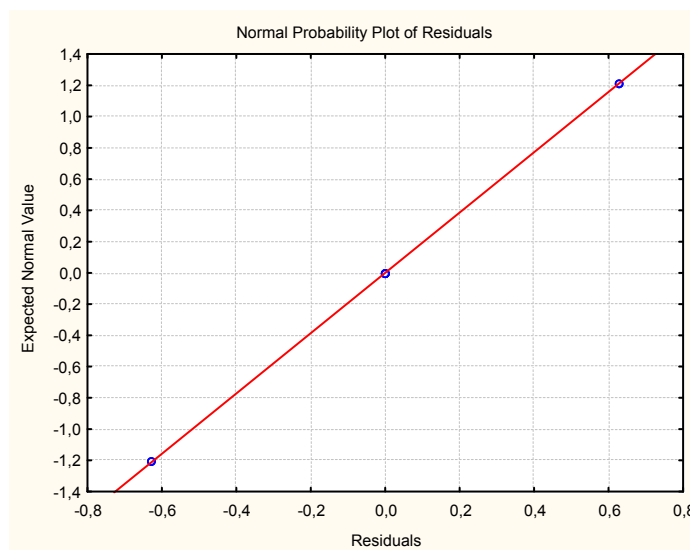
	Опытные	Расчетные
-3s ... 0 ... +3s	Observed	Predicted
... * ...	9,69600	9,69600
... * ...	11,36600	11,36600
... * ...	12,93000	12,93000
.... * ...	12,08900	11,46125
... * ...	13,44900	13,44900
... *	12,87900	13,50675
.... * ...	15,41200	14,78425
... *	12,11100	12,73875
... * ...	12,25900	12,25900
... * ...	12,51100	12,51100
Minimum ... *	9,69600	9,69600
Maximum * ...	15,41200	14,78425
Mean ... * ...	12,47020	12,47020
Median ... * ...	12,38500	12,62488

Значения коэффициентов корреляции

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	Э, Вт·ч/кг
X1	1,000000	0,200000	-0,200000	-0,200000	-0,200000	-0,200000	-0,200000	0,000000	0,696664
X2	0,200000	1,000000	-0,200000	0,600000	0,200000	-0,200000	-0,600000	-0,408248	0,549542
X3	-0,200000	-0,200000	1,000000	-0,200000	-0,200000	-0,600000	0,200000	0,408248	-0,193854
X4	-0,200000	0,600000	-0,200000	1,000000	0,200000	0,200000	-0,200000	0,000000	0,323956
X5	-0,200000	0,200000	-0,200000	0,200000	1,000000	0,200000	0,200000	0,408248	0,346024
X6	-0,200000	-0,200000	-0,600000	0,200000	0,200000	1,000000	0,200000	0,000000	-0,106591
X7	-0,200000	-0,600000	0,200000	-0,200000	0,200000	0,200000	1,000000	0,408248	-0,179863
X8	0,000000	-0,408248	0,408248	0,000000	0,408248	0,000000	0,408248	1,000000	0,227706
Э, Вт·ч/кг	0,696664	0,549542	-0,193854	0,323956	0,346024	-0,106591	-0,179863	0,227706	1,000000



Гистограмма распределения остатков неучтенных уравнением регрессии



Распределение остатков на нормальной бумаге

Приложение Е

**Результаты исследования маслоизготовителя
по степени использования жира при трехфакторном эксперименте**

Показатели:

R – множественный коэффициент корреляции

Variance explained – множественная мера определенности

Adjusted RI – скорректированный коэффициент корреляции

p – уровень значимости ошибки

Std. Err. – стандартная ошибка

F-тест – степень плотности (разброса) опытных и расчетных значений

Model – модель

Dep. var Q Loss: (OBS-PRED)**2 – способ оптимизации – метод наименьших квадратов

Final loss – финальный остаток

R=0,50729966; Variance explained 25,735%; Adjusted RI=0,03455882;
p<0,3743; Std. Err.: 0,02402; F-тест=0,02043

Т а б л и ц а 1

Результаты оценивания параметров переменных

	Стандартиз. коэффициент регрессии	Стандарт. ошибка БЕТА	Не стандарт. коэф. регресс.	Стандарт. ошибка В	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
Своб. Член	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err.	t(10)	p-level
Intercept			99,59143	0,006421	15511,16	0,000000
X1	-0,358715	0,272516	-0,01000	0,007597	-1,32	0,217442
X2	0,000000	0,272516	0,00000	0,007597	0,00	1,000000
X3	-0,358715	0,272516	-0,01000	0,007597	-1,32	0,217442

Т а б л и ц а 2

Анализ дисперсии зависимой переменной

	Сумма квадратов остатков	Степени свободы	Среднее квадратическое	Уровень значимости ошибки
	Sums of Squares	df	Mean Squares	p-level
Regress.	0,002000	3	0,000667	0,374299
Residual	0,005771	10	0,000577	
Total	0,007771			

Продолжение прил. Е
Таблица 3

Корреляция коэффициентов регрессии В

	X1	X2	X3
X1	1,000000	-0,000000	-0,000000
X2	-0,000000	1,000000	0,000000
X3	-0,000000	0,000000	1,000000

Таблица 4

Ковариация коэффициентов регрессии В

	X1	X2	X3
X1	0,000058	-0,000000	-0,000000
X2	-0,000000	0,000058	0,000000
X3	-0,000000	0,000000	0,000058

Таблица 5

Текущий статус размаха переменных матрицы

	X1	X2	X3	S,%
X1	-1,00000	0,00000	0,00000	-0,358715
X2	0,00000	-1,00000	-0,00000	0,000000
X3	0,00000	-0,00000	-1,00000	-0,358715
S,%	-0,35872	0,00000	-0,35872	0,742647

Таблица 6

Частные корреляции

	Стандартиз. коэф. регрессии	Частная корреляция	Общая корреляция	Толерантность	Коэф. детерминации	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
	Beta	Partial	Semipart	Tolerance	R-square	t(10)	p-level
X1	-0,358715	-0,384291	-0,358715	1,000000	0,00	-1,31631	0,217442
X2	0,000000	0,000000	0,000000	1,000000	0,00	0,00000	1,000000
X3	-0,358715	-0,384291	-0,358715	1,000000	0,00	-1,31631	0,217442

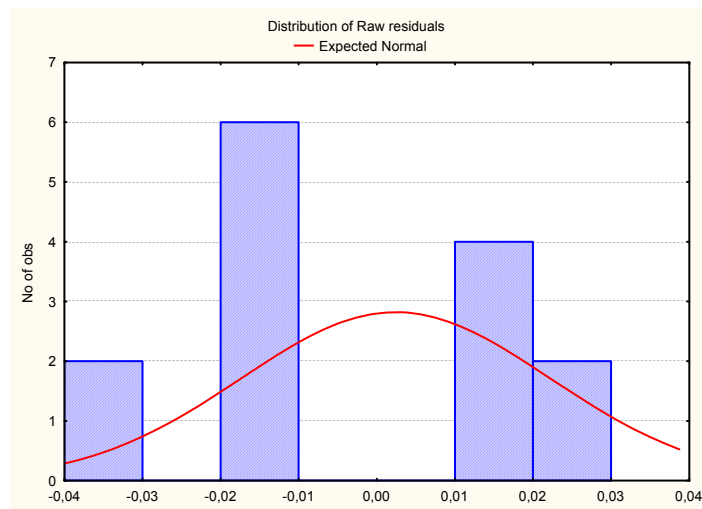
Таблица 7

Значения коэффициентов корреляции

	X1	X2	X3	S,%
X1	1,000000	0,000000	0,000000	-0,358715
X2	0,000000	1,000000	-0,000000	0,000000
X3	0,000000	-0,000000	1,000000	-0,358715
S,%	-0,358715	0,000000	-0,358715	1,000000

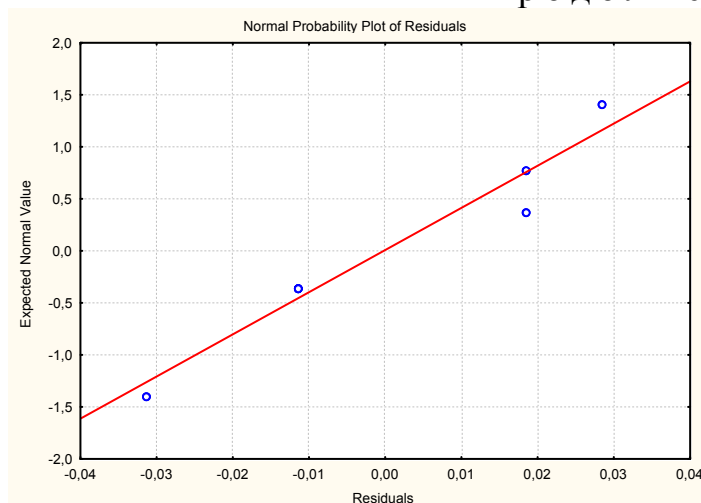
Графики и значения опытных, расчетных показателей

	Опытные	Расчетные
-3s ... 0 ... +3s	Observed	Predicted
1 ... * ...	99,54000	99,57143
2 ... * ...	99,58000	99,59143
3 ... * ...	99,56000	99,57143
4 ... * ...	99,58000	99,59143
5 ... * ...	99,58000	99,59143
6 ... * ...	99,60000	99,61143
7 ... * ...	99,58000	99,59143
8 ... * ...	99,58000	99,61143
9 ... * ...	99,60000	99,58143
10 ... * ...	99,62000	99,60143
11 ... * ...	99,62000	99,59143
12 ... * ...	99,62000	99,59143
13 ... * ...	99,60000	99,58143
14 ... * ...	99,62000	99,60143
Minimum ... * ...	99,54000	99,57143
Maximum ... * ...	99,62000	99,61143
Mean ... * ...	99,59143	99,59143
Median ... * ...	99,59000	99,59143



Гистограмма распределения остатков неучтенных уравнением регрессии

Продолжение прил Е



Распределение остатков на нормальной бумаге

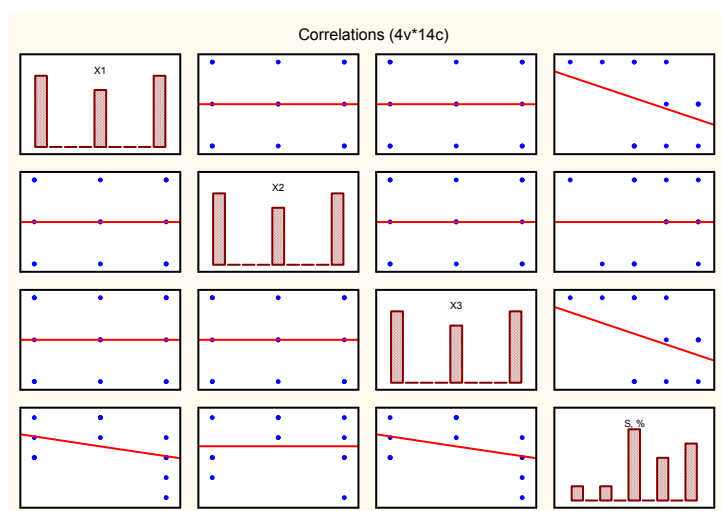


График корреляции конструктивно-режимных параметров маслоизготовителя, влияющих на степень использования жира

Model:

$$S = a_0 + a_1 * X_1 + a_3 * X_3 + a_{12} * X_1 * X_2 + a_{13} * X_1 * X_3 + a_{23} * X_2 * X_3 + a_{11} * X_1 * X_1 + a_{22} * X_2 * X_2 + a_{33} * X_3 * X_3$$

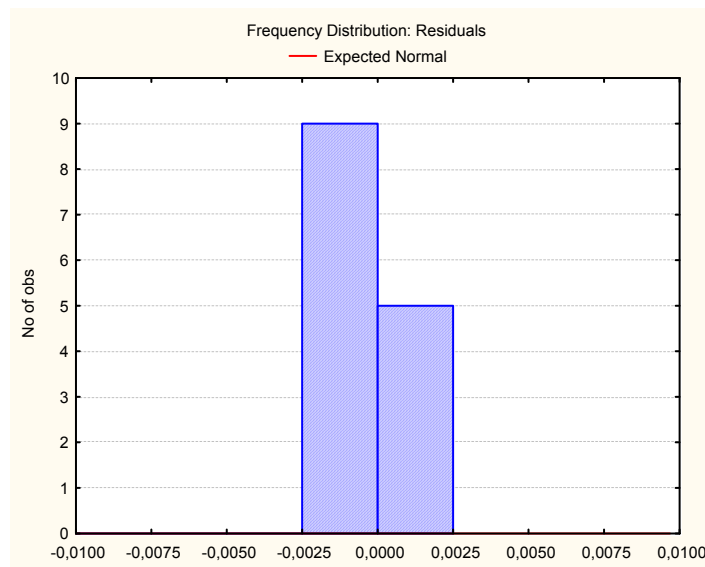
Dep. var: S Loss: (OBS-PRED)**2

Final loss: 0; R=1; Variance explained: 100,00%; F-тест=0,999971

	a0	a1	a3	a12	a13	a23	a11	a22	a33
Estimate	99,6325	-0,01	-0,01	-0,005	-0,005	-0,005	0,0225	0,0125	0,0225

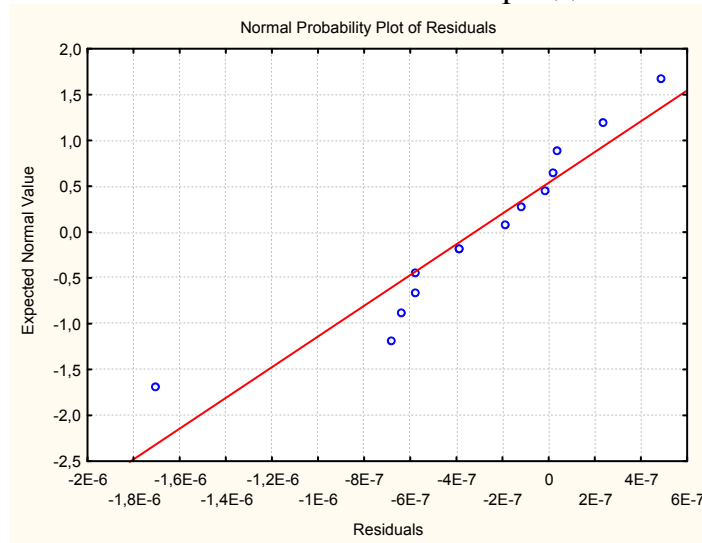
Значения опытных и расчетных показателей

	Опытные	Расчетные	Разница
	Observed	Predicted	Residuals
1	99,54000	99,54000	-0,000002
2	99,58000	99,58000	0,000000
3	99,56000	99,56000	-0,000001
4	99,58000	99,58000	0,000000
5	99,58000	99,58000	-0,000000
6	99,60000	99,60000	0,000000
7	99,58000	99,58000	0,000000
8	99,58000	99,58000	-0,000001
9	99,60000	99,60000	-0,000001
10	99,62000	99,62000	-0,000000
11	99,62000	99,62000	-0,000000
12	99,62000	99,62000	-0,000000
13	99,60000	99,60000	-0,000001
14	99,62000	99,62000	-0,000000



Гистограмма распределения остатков неучтенных уравнением регрессии

Продолжение прил. Е



Распределение остатков на нормальной бумаге

Значения коэффициентов уравнения регрессии:

$$\begin{aligned}
 a_0 &:= 99.6325 \\
 a_1 &:= -0.01 \\
 a_3 &:= -0.01 \\
 a_{12} &:= -0.005 \\
 a_{13} &:= -0.005 \\
 a_{23} &:= -0.005 \\
 a_{11} &:= -0.0225 \\
 a_{22} &:= -0.0125 \\
 a_{33} &:= -0.0225
 \end{aligned}$$

Многочлен рассматриваемого полинома:

$$a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_3 \cdot X_3 + a_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + a_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + a_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + a_{11} \cdot (X_1)^2 + a_{22} \cdot (X_2)^2 + a_{33} \cdot (X_3)^2$$

Система уравнений, полученная дифференцированием по переменным X_1 , X_2 и X_3 :

$$\begin{aligned}
 a_1 + a_{12} \cdot X_2 + a_{13} \cdot X_3 + 2 \cdot a_{11} \cdot X_1 &= 0 \\
 a_{12} \cdot X_1 + a_{23} \cdot X_3 + 2 \cdot a_{22} \cdot X_2 &= 0 \\
 a_3 + a_{13} \cdot X_1 + a_{23} \cdot X_2 + 2 \cdot a_{33} \cdot X_3 &= 0
 \end{aligned}$$

Решение системы:

$$\text{Find}(X_1, X_2, X_3) = \begin{pmatrix} -0.208 \\ 0,083 \\ -0.208 \end{pmatrix}$$

Первое сечение:

$$i := 0..10$$

$$j := 0..10$$

Экспериментальные факторы:

Частота вращения, мин⁻¹ $X1_i := -1+i\cdot0.2$
 Ширина ленты рабочих колес, м $X2_j := -1+j\cdot0.2$
 Степень заполнения емкости, % $X3 := -0.208$

Уравнение регрессии:

$$S1_{i,j} := a0+a1\cdot X1_i+a3\cdot X3$$

$$S2_{i,j} := a11\cdot(X1_i)^2+a22\cdot(X2_j)^2+a33\cdot(X3)^2$$

$$S3_{i,j} := a12\cdot X1_i\cdot X2_j + a13\cdot X1_i\cdot X3+a23\cdot X2_j\cdot X3$$

$$S_{i,j} := S1_{i,j} + S2_{i,j} + S3_{i,j}$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	99.602	99.607	99.612	99.616	99.618	99.62	99.621	99.62	99.619	99.617	99.614
1	99.609	99.614	99.619	99.622	99.625	99.626	99.627	99.626	99.625	99.622	99.619
2	99.614	99.62	99.624	99.627	99.63	99.631	99.631	99.63	99.629	99.626	99.622
3	99.618	99.623	99.627	99.63	99.632	99.634	99.634	99.633	99.631	99.628	99.624
4	99.62	99.625	99.629	99.632	99.634	99.634	99.634	99.633	99.631	99.628	99.624
5	99.62	99.625	99.628	99.631	99.633	99.634	99.633	99.632	99.63	99.626	99.622
6	99.618	99.623	99.626	99.629	99.63	99.631	99.63	99.629	99.626	99.623	99.618
7	99.615	99.619	99.622	99.625	99.626	99.626	99.626	99.624	99.621	99.618	99.613
8	99.61	99.614	99.617	99.619	99.62	99.62	99.619	99.617	99.614	99.611	99.606
9	99.602	99.606	99.609	99.611	99.612	99.612	99.611	99.609	99.606	99.602	99.597
10	99.594	99.597	99.6	99.602	99.602	99.602	99.601	99.599	99.595	99.591	99.586

$S =$

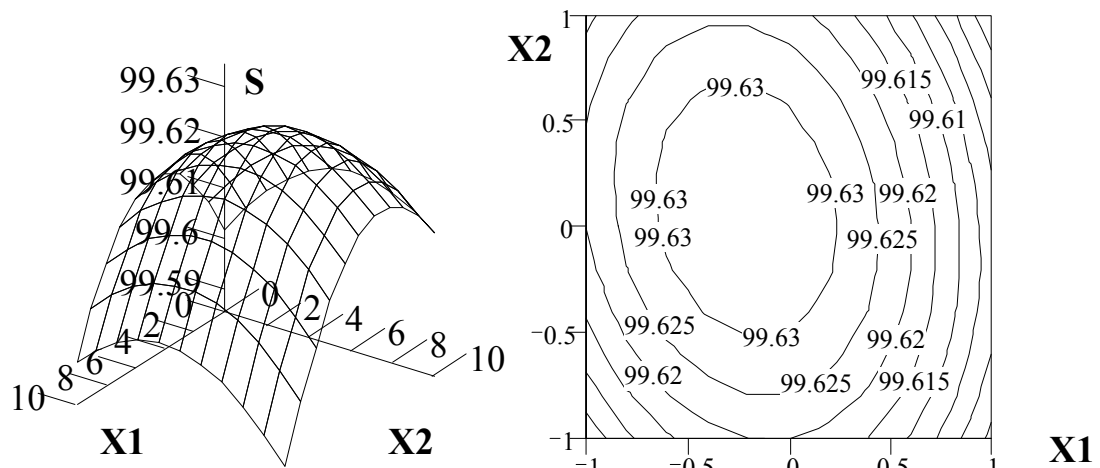


График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости степени использования жира от частоты вращения X1 и ширины ленты рабочих колес X2

Второе сечение:

$$i := 0..10$$

$$j := 0..10$$

Экспериментальные факторы:

Частота вращения, мин⁻¹

$$X1_i := -1+i\cdot 0.2$$

Ширина ленты рабочих колес, м

$$X2 := 0.083$$

Степень заполнения емкости, %

$$X3_j := -1+j\cdot 0.2$$

Уравнение регрессии:

$$S1_{i,j} := a0+a1\cdot X1_i+a3\cdot X3$$

$$S2_{i,j} := a11\cdot (X1_i)^2+a22\cdot (X2)^2+a33\cdot (X3_j)^2$$

$$S3_{i,j} := a12\cdot X1_i\cdot X2 + a13\cdot X1_i\cdot X3_j + a23\cdot X2\cdot X3_j$$

$$S_{i,j} := S1_{i,j} + S2_{i,j} + S3_{i,j}$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	99.603	99.61	99.615	99.619	99.621	99.62	99.618	99.615	99.609	99.602	99.592
1	99.61	99.617	99.622	99.625	99.627	99.626	99.624	99.62	99.614	99.607	99.597
2	99.615	99.622	99.627	99.63	99.631	99.631	99.628	99.624	99.618	99.61	99.601
3	99.619	99.625	99.63	99.633	99.634	99.633	99.63	99.626	99.62	99.612	99.602
4	99.621	99.627	99.631	99.634	99.635	99.634	99.631	99.626	99.62	99.612	99.602
5	99.62	99.626	99.631	99.633	99.634	99.632	99.629	99.625	99.618	99.61	99.599
6	99.618	99.624	99.628	99.63	99.631	99.629	99.626	99.621	99.614	99.606	99.596
7	99.615	99.62	99.624	99.626	99.626	99.625	99.621	99.616	99.609	99.6	99.59
8	99.609	99.614	99.618	99.62	99.62	99.618	99.614	99.609	99.602	99.593	99.582
9	99.602	99.607	99.61	99.612	99.612	99.61	99.606	99.6	99.593	99.584	99.573
10	99.592	99.597	99.601	99.602	99.602	99.599	99.596	99.59	99.582	99.573	99.562

S =

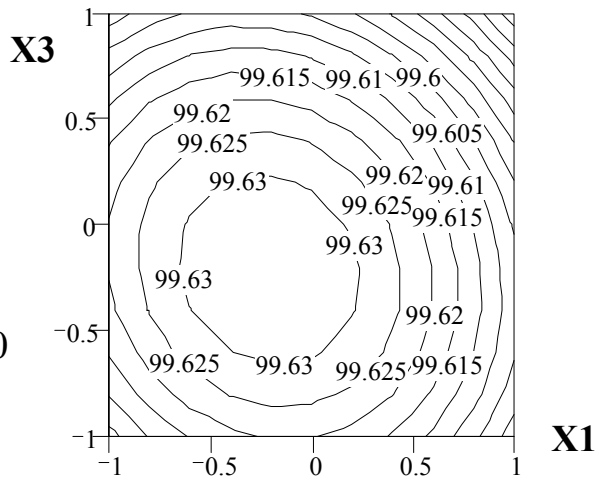
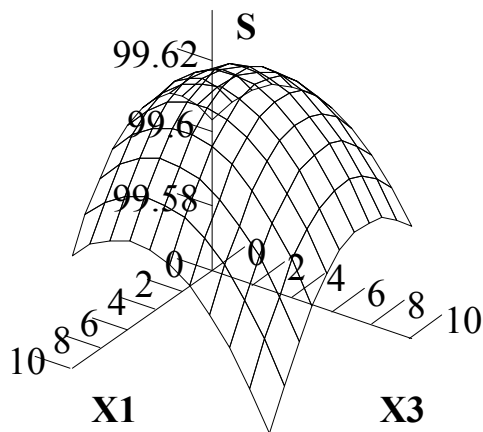


График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости степени использования жира от частоты вращения X1 и степени заполнения емкости X3

Третье сечение:

$$i := 0..10$$

$$j := 0..10$$

Экспериментальные факторы:

Частота вращения, мин⁻¹ $X1 := -0.208$
 Ширина ленты рабочих колес, м $X2_i := -1+i\cdot 0.2$
 Степень заполнения емкости, % $X3_j := -1+j\cdot 0.2$

Уравнение регрессии:

$$S_{1ij} := a0+a1\cdot X1+a3\cdot X3$$

$$S_{2ij} := a11\cdot (X1)^2+a22\cdot (X2_i)^2+a33\cdot (X3_j)^2$$

$$S_{3ij} := a12\cdot X1\cdot X2_i+a13\cdot X1\cdot X3_j+a23\cdot X2_i\cdot X3_j$$

$$S_{ij} := S_{1ij} + S_{2ij} + S_{3ij}$$

S =

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	99.602	99.609	99.614	99.618	99.62	99.62	99.618	99.615	99.61	99.602	99.594
1	99.607	99.614	99.62	99.623	99.625	99.625	99.623	99.619	99.614	99.606	99.597
2	99.612	99.619	99.624	99.627	99.629	99.628	99.626	99.622	99.617	99.609	99.6
3	99.616	99.622	99.627	99.63	99.632	99.631	99.629	99.625	99.619	99.611	99.602
4	99.618	99.625	99.63	99.632	99.634	99.633	99.63	99.626	99.62	99.612	99.602
5	99.62	99.626	99.631	99.634	99.634	99.634	99.631	99.626	99.62	99.612	99.602
6	99.621	99.627	99.631	99.634	99.634	99.633	99.63	99.626	99.619	99.611	99.601
7	99.62	99.626	99.63	99.633	99.633	99.632	99.629	99.624	99.617	99.609	99.599
8	99.619	99.625	99.629	99.631	99.631	99.63	99.626	99.621	99.614	99.606	99.595
9	99.617	99.622	99.626	99.628	99.628	99.626	99.623	99.618	99.611	99.602	99.591
10	99.614	99.619	99.622	99.624	99.624	99.622	99.618	99.613	99.606	99.597	99.586

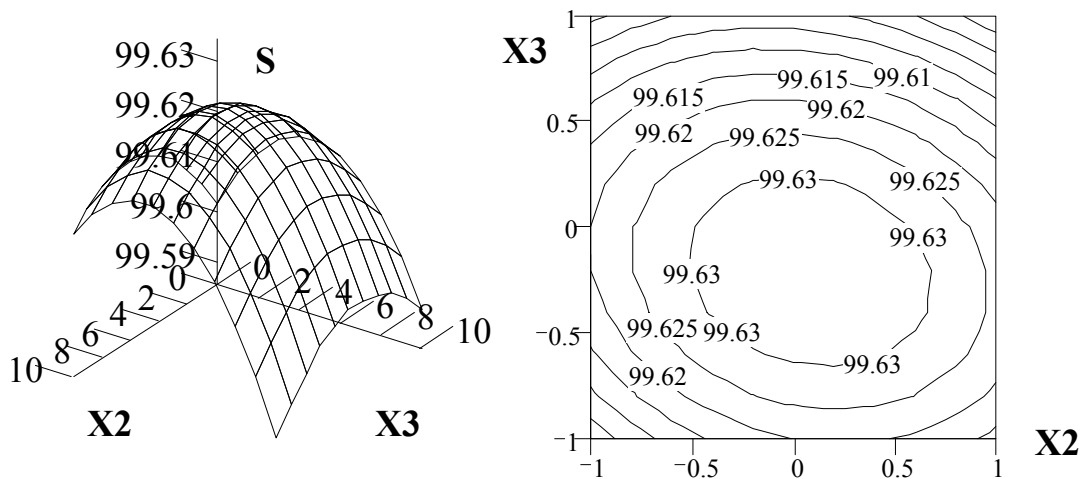


График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости степени использования жира от ширины ленты рабочих колес X2 и степени заполнения емкости X3

Приложение Ж

**Результаты исследования маслоизготовителя по проценту
выхода масла при трехфакторном эксперименте**

Показатели:

R – множественный коэффициент корреляции

Variance explained – множественная мера определенности

Adjusted RI – скорректированный коэффициент корреляции

p – уровень значимости ошибки

Std. Err. – стандартная ошибка

F-тест – степень плотности (разброса) опытных и расчетных значений

Model – модель

Dep. var Q Loss: (OBS-PRED)**2 – способ оптимизации – метод наименьших квадратов

Final loss – финальный остаток

$R=0,58587823$; Variance explained 34,325%; Adjusted RI=0,14622929;
 $p<0,22146$; Std. Err.: 0,37244; F-тест=0,064386

Т а б л и ц а 1

Результаты оценивания параметров переменных

	Стандартиз. коэффициент регрессии	Стандарт. ошибка BETA	Не стандар. коэф. регресс.	Стандарт. ошибка B	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
Своб. Член	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err.	t(10)	p-level
Intercept			59,93571	0,099540	602,1284	0,000000
X1	-0,435179	0,256271	-0,20000	0,117777	-1,6981	0,120331
X2	0,021759	0,256271	0,01000	0,117777	0,0849	0,934012
X3	-0,391661	0,256271	-0,18000	0,117777	-1,5283	0,157427

Т а б л и ц а 2

Анализ дисперсии зависимой переменной

	Сумма квадратов остатков	Степени свободы	Среднее квадратическое	Уровень значимости ошибки
	Sums of Squares	df	Mean Squares	p-level
Regress.	0,725000	3	0,241667	0,221464
Residual	1,387143	10	0,138714	
Total	2,112143			

Продолжение прил. Ж

Таблица 3

Корреляция коэффициентов регрессии В

	X1	X2	X3
X1	1,000000	-0,000000	-0,000000
X2	-0,000000	1,000000	0,000000
X3	-0,000000	0,000000	1,000000

Таблица 4

Ковариация коэффициентов регрессии В

	X1	X2	X3
X1	0,013871	-0,000000	-0,000000
X2	-0,000000	0,013871	0,000000
X3	-0,000000	0,000000	0,013871

Таблица 5

Текущий статус размаха переменных матрицы

	X1	X2	X3	C, %
X1	-1,000000	0,000000	0,000000	-0,435179
X2	0,000000	-1,000000	-0,000000	0,021759
X3	0,000000	-0,000000	-1,000000	-0,391661
C, %	-0,43518	0,02176	-0,39166	0,656747

Таблица 6

Частные корреляции

	Стандартиз. коэф. регрессии	Частная корреляция	Общая корреляция	Толерантность	Коэф. детерминации	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
	Beta	Partial	Semipart	Tolerance	R-square	t(10)	p-level
X1	-0,435179	-0,473097	-0,435179	1,000000	0,00	-1,69812	0,120331
X2	0,021759	0,026840	0,021759	1,000000	0,00	0,08491	0,934012
X3	-0,391661	-0,435140	-0,391661	1,000000	0,00	-1,52831	0,157427

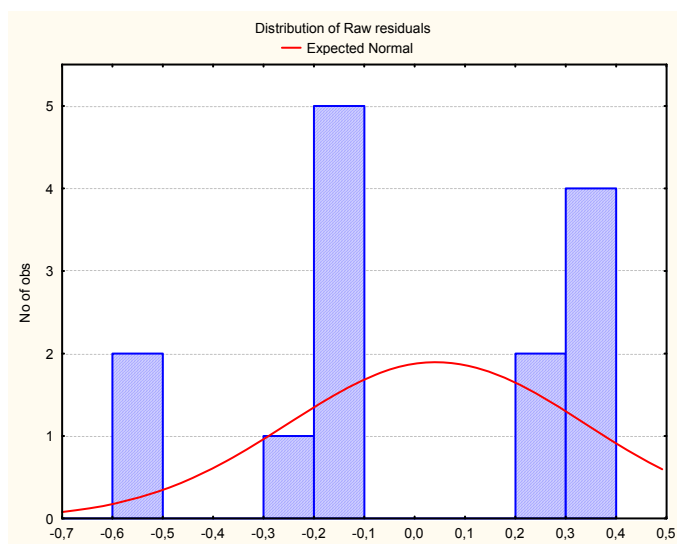
Таблица 7

Значения коэффициентов корреляции

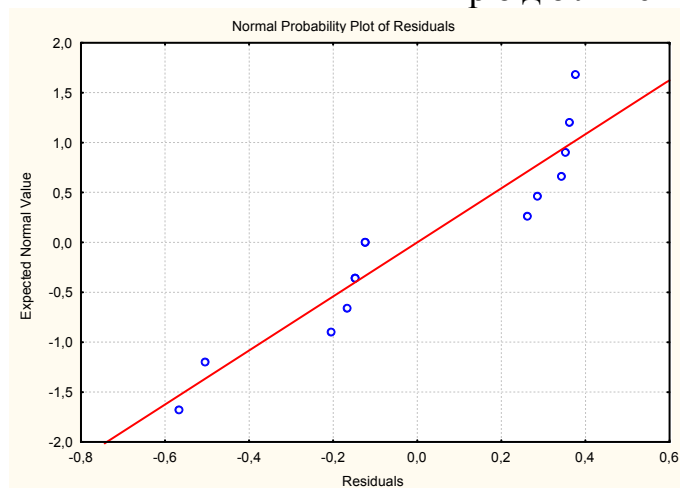
	X1	X2	X3	C, %
X1	1,000000	0,000000	0,000000	-0,435179
X2	0,000000	1,000000	-0,000000	0,021759
X3	0,000000	-0,000000	1,000000	-0,391661
C, %	-0,435179	0,021759	-0,391661	1,000000

Графики и значения опытных, расчетных показателей

	Опытные	Расчетные
-3s .. 0 .. +3s	Observed	Predicted
	Observed	Predicted
1 .. *	59,00000	59,56572
2 ... *	59,80000	59,92571
3 ... *	59,40000	59,54572
4 ... *	59,70000	59,90572
5 ... *	59,80000	59,96571
6 ... *	60,20000	60,32571
7 ... *	59,80000	59,94571
8 .. *	59,80000	60,30571
9 * ..	60,10000	59,73571
10 * ..	60,40000	60,13572
11 * ..	60,30000	59,94571
12 * ..	60,30000	59,92571
13 * ..	60,10000	59,75571
14 * ..	60,40000	60,11572
Minimum ... * ..	59,00000	59,54572
Maximum * ..	60,40000	60,32571
Mean ... * ..	59,93571	59,93571



Гистограмма распределения остатков неучтенных уравнением регрессии



Распределение остатков на нормальной бумаге

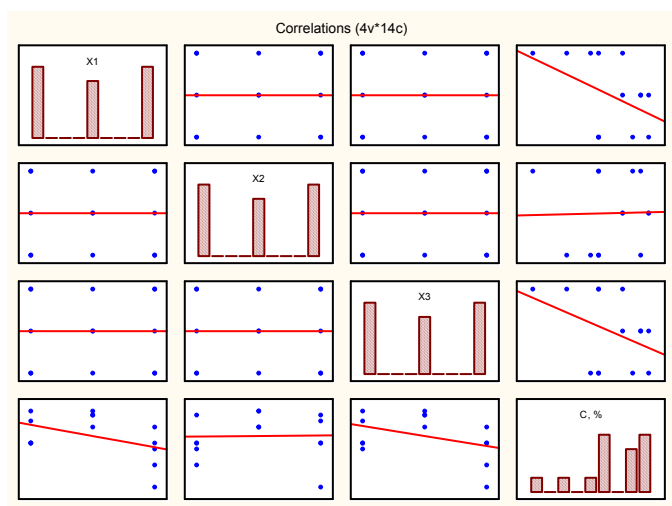


График корреляции конструктивно-режимных параметров маслоизготовителя влияющих на процент выхода масла

Model:

$$C = a_0 + a_1 * X_1 + a_2 * X_2 + a_3 * X_3 + a_{12} * X_1 * X_2 + a_{13} * X_1 * X_3 + a_{23} * X_2 * X_3 + a_{11} * X_1 * X_1 + a_{22} * X_2 * X_2 + a_{33} * X_3 * X_3$$

Dep. var: C Loss: (OBS-PRED)**2

Final loss: 0,010000036; R=0,99763; Variance explained: 99,527%;

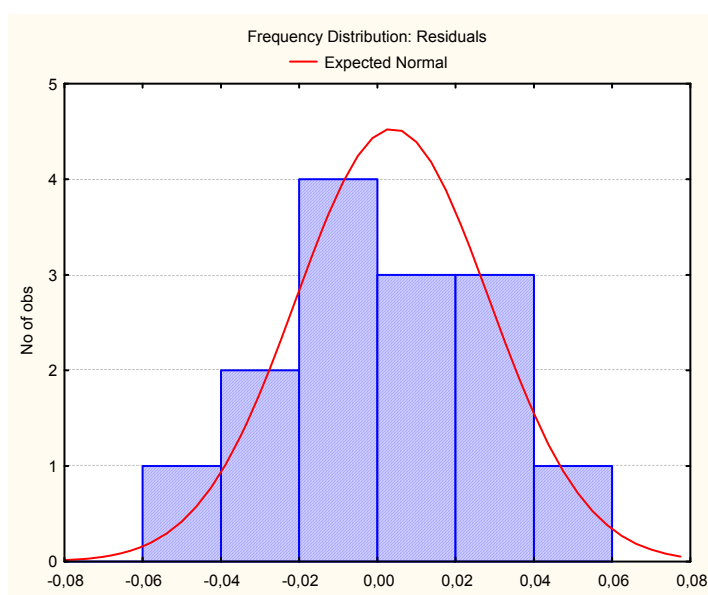
F-тест=0,993504

	a0	a1	a2	a3	a12	a13	a23	a11	a22	a33
Estimate	60,55622	-0,200028	0,010005	-0,180026	-0,087521	-0,087521	-0,112525	-0,306250	-0,256246	-0,306250

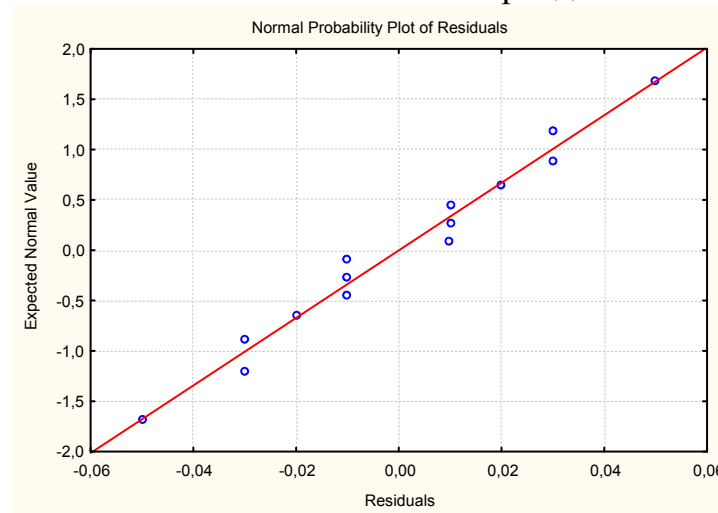
Таблица 8

Значения опытных и расчетных показателей

	Опытные	Расчетные	Разница
	Observed	Predicted	Residuals
1	59,00000	59,02986	-0,029860
2	59,80000	59,79000	0,009996
3	59,40000	59,40994	-0,009942
4	59,70000	59,71998	-0,019985
5	59,80000	59,78000	0,020001
6	60,20000	60,19006	0,009942
7	59,80000	59,81000	-0,009998
8	59,80000	59,76996	0,030043
9	60,10000	60,04994	0,050057
10	60,40000	60,45000	-0,049999
11	60,30000	60,30998	-0,009981
12	60,30000	60,28997	0,010029
13	60,10000	60,06995	0,030055
14	60,40000	60,43000	-0,029997



Гистограмма распределения остатков неучтенных уравнением регрессии



Распределение остатков на нормальной бумаге

Значения коэффициентов уравнения регрессии:

$a_0 := 60.55622$
 $a_1 := -0.200028$
 $a_2 := 0.010005$
 $a_3 := -0.180026$
 $a_{12} := -0.087521$
 $a_{13} := -0.087521$
 $a_{23} := -0.112525$
 $a_{11} := -0.30625$
 $a_{22} := -0.256246$
 $a_{33} := -0.30625$

Многочлен рассматриваемого полинома:

$$a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 + a_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + a_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + a_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + a_{11} \cdot (X_1)^2 + a_{22} \cdot (X_2)^2 + a_{33} \cdot (X_3)^2$$

Система уравнений, полученная дифференцированием по переменным X_1 , X_2 и X_3 :

$$\begin{aligned}
 a_1 + a_{12} \cdot X_2 + a_{13} \cdot X_3 + 2 \cdot a_{11} \cdot X_1 &= 0 \\
 a_2 + a_{12} \cdot X_1 + a_{23} \cdot X_3 + 2 \cdot a_{22} \cdot X_2 &= 0 \\
 a_3 + a_{13} \cdot X_1 + a_{23} \cdot X_2 + 2 \cdot a_{33} \cdot X_3 &= 0
 \end{aligned}$$

Решение системы:

$$\text{Find}(X_1, X_2, X_3) = \begin{pmatrix} -0.306 \\ 0,132 \\ -0.274 \end{pmatrix}$$

Первое сечение:

$$i := 0..10$$

$$j := 0..10$$

Экспериментальные факторы:

Частота вращения, мин⁻¹

$$X1_i := -1 + i \cdot 0.2$$

Ширина ленты рабочих колес, м

$$X2_j := -1 + j \cdot 0.2$$

Степень заполнения емкости, %

$$X3 := -0.208$$

Уравнение регрессии:

$$C1_{i,j} := a0 + a1 \cdot X1_i + a2 \cdot X2_j + a3 \cdot X3$$

$$C2_{i,j} := a11 \cdot (X1)^2 + a22 \cdot (X2)^2 + a33 \cdot (X3)^2$$

$$C3_{i,j} := a12 \cdot X1_i \cdot X2_j + a13 \cdot X1_i \cdot X3 + a23 \cdot X2_j \cdot X3$$

$$C_{i,j} := C1_{i,j} + C2_{i,j} + C3_{i,j}$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	60.079	60.195	60.291	60.367	60.422	60.456	60.47	60.463	60.436	60.389	60.321
1	60.17	60.283	60.376	60.448	60.499	60.53	60.54	60.53	60.5	60.449	60.377
2	60.237	60.347	60.435	60.504	60.552	60.579	60.586	60.573	60.539	60.484	60.409
3	60.279	60.385	60.471	60.536	60.58	60.604	60.608	60.591	60.553	60.495	60.416
4	60.297	60.4	60.482	60.543	60.584	60.605	60.604	60.584	60.543	60.481	60.399
5	60.291	60.39	60.468	60.526	60.563	60.58	60.577	60.553	60.508	60.443	60.358
6	60.26	60.355	60.43	60.484	60.518	60.532	60.525	60.497	60.449	60.381	60.291
7	60.204	60.296	60.367	60.418	60.449	60.459	60.448	60.417	60.365	60.293	60.201
8	60.124	60.212	60.28	60.328	60.355	60.361	60.347	60.312	60.257	60.182	60.086
9	60.019	60.104	60.169	60.213	60.236	60.239	60.221	60.183	60.125	60.046	59.946
10	59.89	59.972	60.033	60.073	60.093	60.092	60.071	60.03	59.968	59.885	59.782

C =

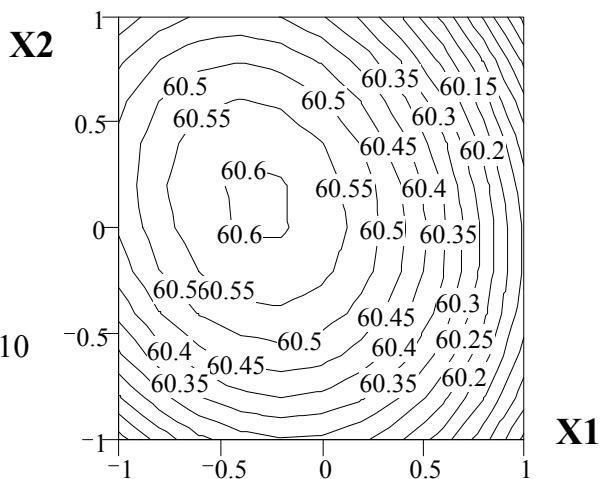
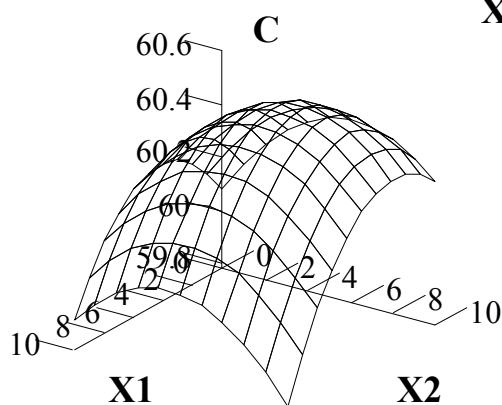


График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости процента выхода масла от частоты вращения X1 и ширины ленты рабочих колес X2

Второе сечение:

$$i := 0..10$$

$$j := 0..10$$

Экспериментальные факторы:

Частота вращения, мин⁻¹

$$X1_i := -1 + i \cdot 0.2$$

Ширина ленты рабочих колес, м

$$X2 := 0,083 \quad X2 := 0.083$$

Степень заполнения емкости, %

$$X3_j := -1 + j \cdot 0.2$$

Уравнение регрессии:

$$C1_{i,j} := a0 + a1 \cdot X1_i + a2 \cdot X2 + a3 \cdot X3_j$$

$$C2_{i,j} := a11 \cdot (X1_i)^2 + a22 \cdot (X2)^2 + a33 \cdot (X3_j)^2$$

$$C3_{i,j} := a12 \cdot X1_i \cdot X2 + a13 \cdot X1_i \cdot X3_j + a23 \cdot X2 \cdot X3_j$$

$$C_{i,j} := C1_{i,j} + C2_{i,j} + C3_{i,j}$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	60.252	60.342	60.407	60.448	60.464	60.456	60.424	60.367	60.285	60.179	60.048
1	60.338	60.425	60.486	60.524	60.537	60.525	60.489	60.428	60.343	60.234	60.1
2	60.4	60.483	60.541	60.575	60.585	60.569	60.53	60.466	60.377	60.264	60.126
3	60.437	60.517	60.572	60.602	60.608	60.589	60.546	60.478	60.386	60.27	60.129
4	60.45	60.526	60.577	60.604	60.607	60.584	60.538	60.467	60.371	60.251	60.106
5	60.438	60.511	60.559	60.582	60.581	60.555	60.505	60.431	60.331	60.208	60.06
6	60.402	60.471	60.515	60.535	60.531	60.502	60.448	60.37	60.267	60.14	59.988
7	60.341	60.407	60.448	60.464	60.456	60.423	60.366	60.285	60.178	60.048	59.893
8	60.256	60.318	60.356	60.368	60.357	60.321	60.26	60.175	60.065	59.931	59.773
9	60.147	60.205	60.239	60.248	60.233	60.193	60.129	60.041	59.928	59.79	59.628
10	60.012	60.067	60.098	60.103	60.085	60.042	59.974	59.882	59.765	59.624	59.459

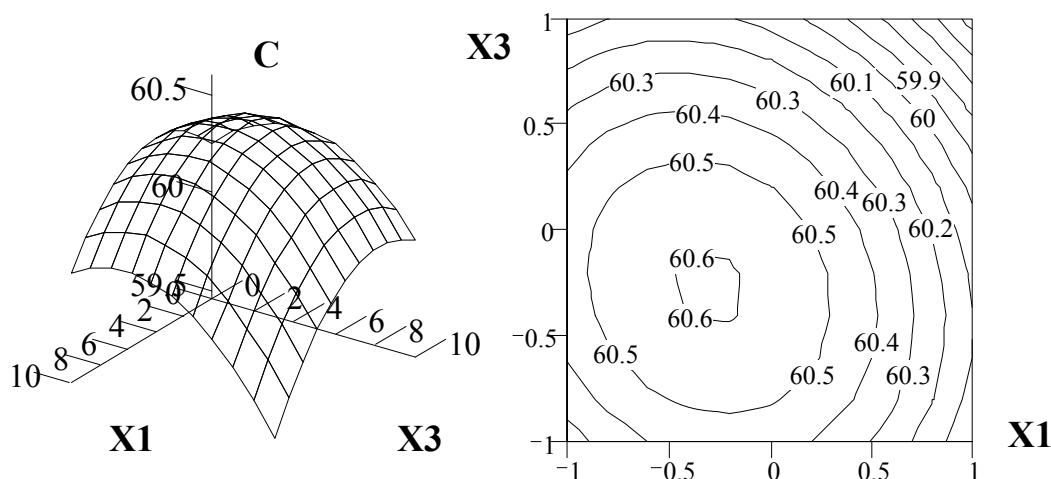


График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости процента выхода масла от частоты вращения X1 и степени заполнения емкости X3

Третье сечение:

$$i := 0..10$$

$$j := 0..10$$

Экспериментальные факторы:

Частота вращения, мин⁻¹ $X1 := -0.208$
 Ширина ленты рабочих колес, м $X2_i := -1+i \cdot 0.2$
 Степень заполнения емкости, % $X3_j := -1+j \cdot 0.2$

Уравнение регрессии:

$$C1_{i,j} := a0 + a1 \cdot X1 + a2 \cdot X2_i + a3 \cdot X3_j$$

$$C2_{i,j} := a11 \cdot (X1)^2 + a22 \cdot (X2_i)^2 + a33 \cdot (X3_j)^2$$

$$C3_{i,j} := a12 \cdot X1 \cdot X2_i + a13 \cdot X1 \cdot X3_j + a23 \cdot X2_i \cdot X3_j$$

$$C_{i,j} := C1_{i,j} + C2_{i,j} + C3_{i,j}$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	60.043	60.144	60.219	60.271	60.298	60.3	60.278	60.231	60.16	60.065	59.945
1	60.164	60.259	60.331	60.378	60.4	60.398	60.371	60.32	60.245	60.145	60.02
2	60.263	60.355	60.422	60.464	60.482	60.475	60.444	60.389	60.309	60.204	60.075
3	60.343	60.43	60.492	60.53	60.543	60.532	60.497	60.437	60.352	60.243	60.109
4	60.402	60.484	60.542	60.575	60.584	60.569	60.529	60.464	60.375	60.261	60.123
5	60.44	60.518	60.571	60.6	60.605	60.585	60.54	60.471	60.377	60.259	60.117
6	60.458	60.531	60.58	60.605	60.605	60.58	60.531	60.457	60.359	60.237	60.089
7	60.455	60.524	60.569	60.589	60.584	60.555	60.501	60.423	60.321	60.193	60.042
8	60.432	60.497	60.537	60.552	60.543	60.509	60.451	60.369	60.261	60.13	59.974
9	60.389	60.449	60.484	60.495	60.481	60.443	60.381	60.293	60.182	60.046	59.885
10	60.325	60.38	60.411	60.417	60.399	60.357	60.289	60.198	60.082	59.941	59.776

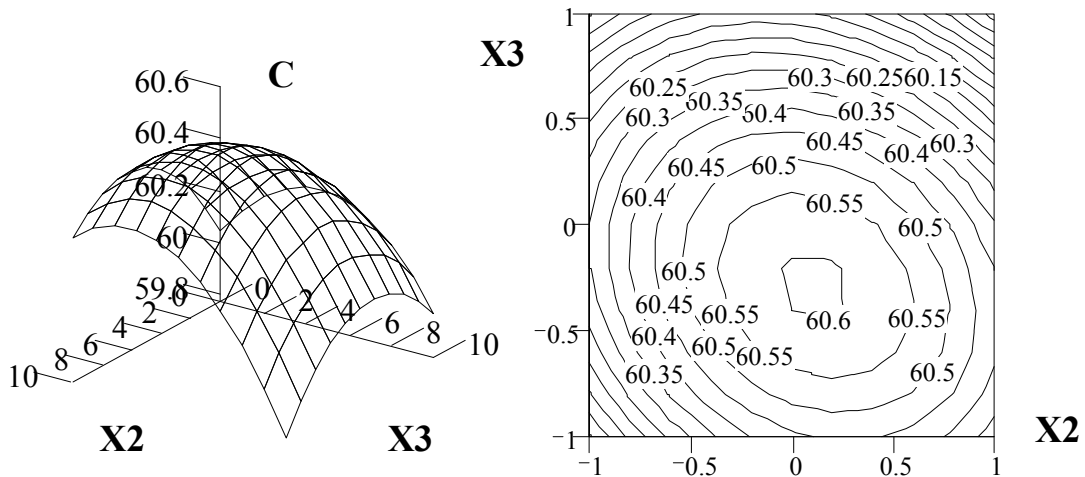


График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости процента выхода масла от ширины ленты рабочих колес $X2$ и степени заполнения емкости $X3$

Результаты исследования маслоизготовителя по энергоемкости сбивания масла при трехфакторном эксперименте

Показатели:

R – множественный коэффициент корреляции

Variance explained – множественная мера определенности

Adjusted RI – скорректированный коэффициент корреляции

p – уровень значимости ошибки

Std. Err. – стандартная ошибка

F-тест – степень плотности (разброса) опытных и расчетных значений

Model – модель

Dep. var Q Loss: (OBS-PRED)**2 – способ оптимизации – метод наименьших квадратов

Final loss – финальный остаток

R=0,83551401; Variance explained 69,808%; Adjusted RI=0,60750876; *p*<0,00587; Std. Err.: 0,61886; F-тест=0,526111

Т а б л и ц а 1

Результаты оценивания параметров переменных

	Стандартиз. коэффициент регрессии	Стандарт. ошибка БЕТА	Не стандар. коэф. регресс.	Стандарт. ошибка В	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
Своб. Член	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err.	t(10)	p-level
Intercept			12,32579	0,165398	74,52201	0,000000
X1	0,683393	0,173757	0,76970	0,195701	3,93303	0,002806
X2	0,343428	0,173757	0,38680	0,195701	1,97648	0,076318
X3	-0,336325	0,173757	-0,37880	0,195701	-1,93560	0,081674

Т а б л и ц а 2

Анализ дисперсии зависимой переменной

	Сумма квадратов остатков	Степени свободы	Среднее квадратическое	Уровень значимости ошибки
	Sums of Squares	df	Mean Squares	p-level
Regress.	8,85542	3	2,951806	0,005873
Residual	3,82991	10	0,382991	
Total	12,68532			

Продолжение прил. 3

Таблица 3

Корреляция коэффициентов регрессии В

	X1	X2	X3
X1	1,000000	-0,000000	-0,000000
X2	-0,000000	1,000000	0,000000
X3	-0,000000	0,000000	1,000000

Таблица 4

Ковариация коэффициентов регрессии В

	X1	X2	X3
X1	0,038299	-0,000000	-0,000000
X2	-0,000000	0,038299	0,000000
X3	-0,000000	0,000000	0,038299

Таблица 5

Текущий статус размаха переменных матрицы

	X1	X2	X3	Э, Вт·ч/кг
X1	-1,00000	0,00000	0,00000	0,683393
X2	0,00000	-1,00000	-0,00000	0,343428
X3	0,00000	-0,00000	-1,00000	-0,336325
Э, Вт·ч/кг	0,68339	0,34343	-0,33633	0,301916

Таблица 6

Частные корреляции

	Стандартиз. коэф. регрессии	Частная корреляция	Общая корреляция	Толерантность	Коэф. детерминации	Критерий Стьюдента	Уровень значимости ошибки
	Beta	Partial	Semipart	Tolerance	R-square	t(10)	p-level
X1	0,683393	0,779334	0,683393	1,000000	0,00	3,93303	0,002806
X2	0,343428	0,530010	0,343428	1,000000	0,00	1,97648	0,076318
X3	-0,336325	-0,522058	-0,336325	1,000000	0,00	-1,93560	0,081674

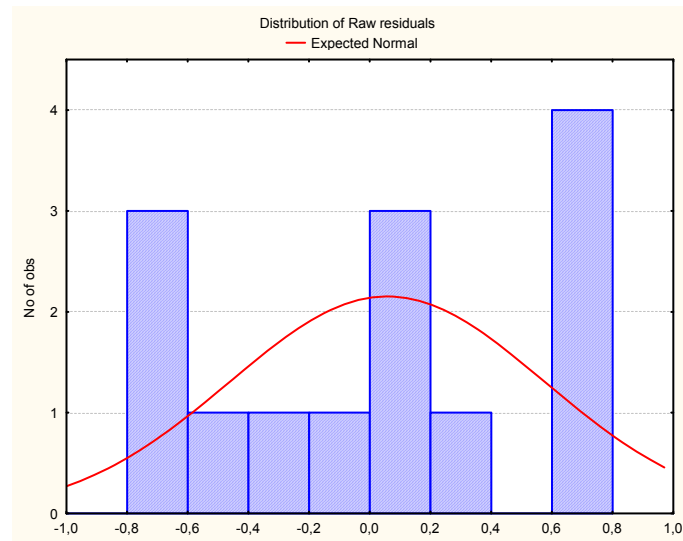
Таблица 7

Значения коэффициентов корреляции

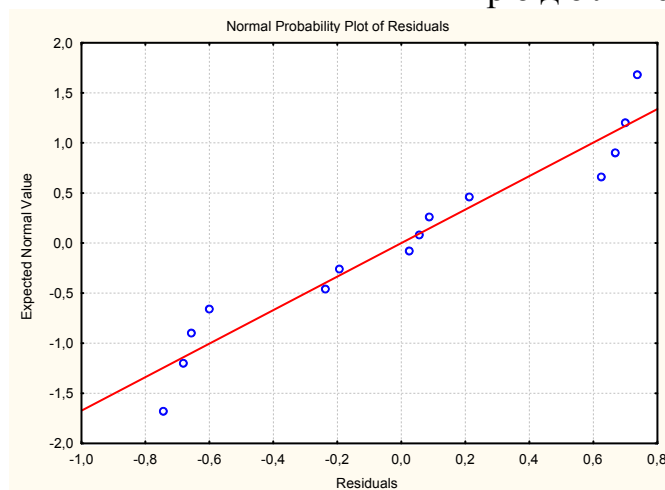
	X1	X2	X3	Э, Вт·ч/кг
X1	1,000000	0,000000	0,000000	0,683393
X2	0,000000	1,000000	-0,000000	0,343428
X3	0,000000	-0,000000	1,000000	-0,336325
Э, Вт·ч/кг	0,683393	0,343428	-0,336325	1,000000

Графики и значения опытных, расчетных показателей

	Опытные	Расчетные
-3s .. 0 .. +3s	Observed	Predicted
	Observed	Predicted
1 * ...	13,31800	13,10349
2 ... *	13,62100	13,86109
3 * ..	12,95800	12,32989
4* ..	13,82600	13,08749
5 * ..	12,23000	11,56409
6* ..	13,01900	12,32169
7 ... *.	10,59500	10,79049
8* ...	11,63400	11,54809
9 .. *.	12,35000	13,09549
10 .. *	10,89800	11,55609
11 .. *	12,03400	12,71259
12 .. *	11,34100	11,93899
13 ... * ...	11,97400	11,94699
14* ...	12,76300	12,70459
Minimum .. *.	10,59500	10,79049
Maximum* ..	13,82600	13,86109
Mean ... * ...	12,32579	12,32579



Гистограмма распределения остатков неучтенных уравнением регрессии



Распределение остатков на нормальной бумаге

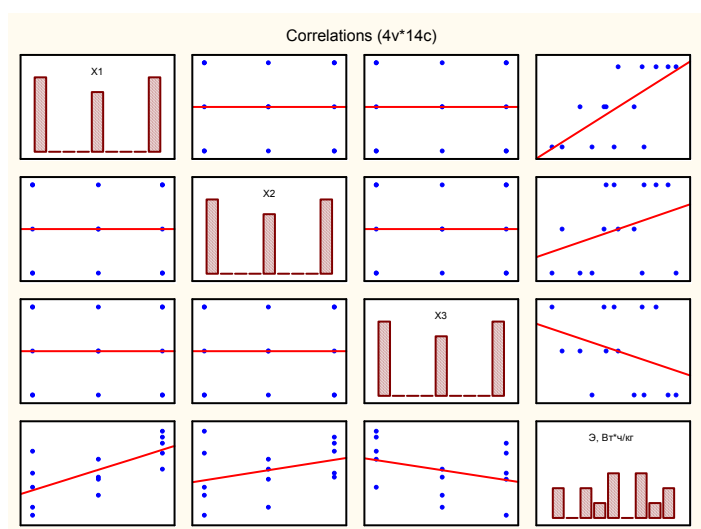


График корреляции конструктивно-режимных параметров маслоизготовителя влияющих на энергоемкость сбивания масла

Model:

$$\Theta = a_0 + a_1 * X_1 + a_2 * X_2 + a_3 * X_3 + a_{12} * X_1 * X_2 + a_{13} * X_1 * X_3 + a_{23} * X_2 * X_3 + a_{11} * X_1 * X_1 + a_{22} * X_2 * X_2 + a_{33} * X_3 * X_3$$

Dep. var: Θ Loss: (OBS-PRED)**2

Final loss: 0,021853812; R=0,99914; Variance explained: 99,828%;

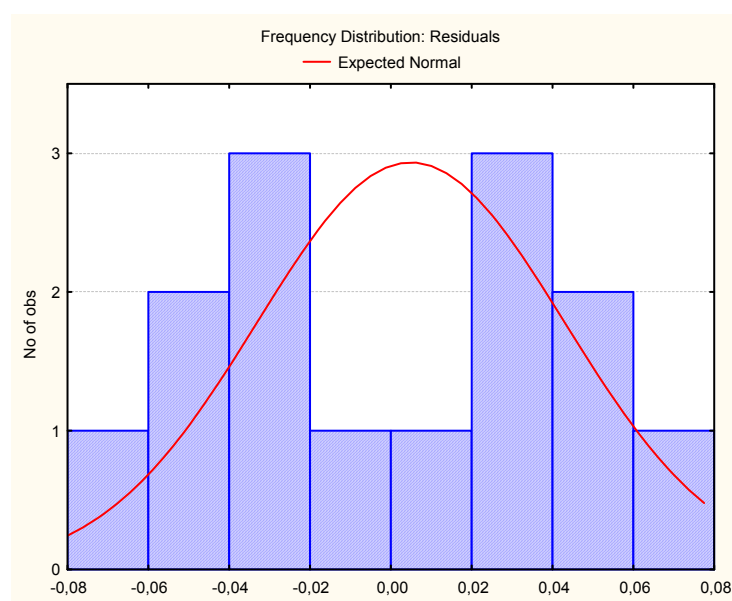
F-тест=0,997558

	a0	a1	a2	a3	a12	a13	a23	a11	a22	a33
Estimate	11,51492	0,769689	0,386786	-0,378805	-0,358145	0,082134	0,101883	0,109064	0,172564	0,853563

Таблица 8

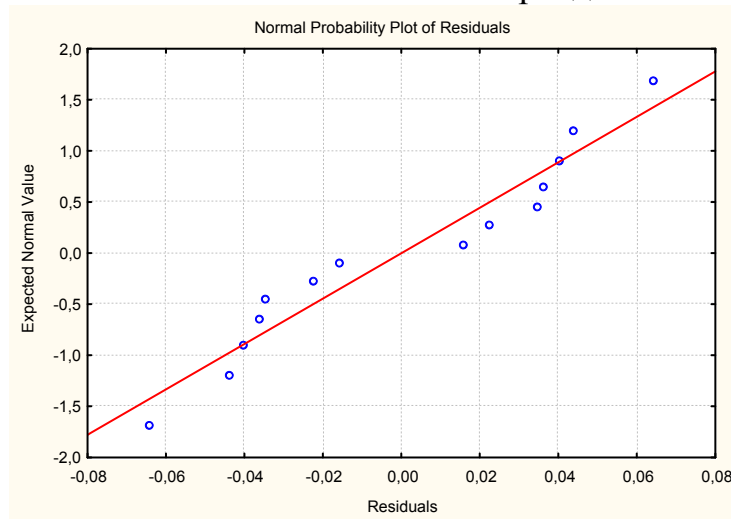
Значения опытных и расчетных показателей

	Опытные	Расчетные	Разница
	Observed	Predicted	Residuals
1	13,31800	13,25365	0,064349
2	13,62100	13,64323	-0,022228
3	12,95800	12,99260	-0,034602
4	13,82600	13,78971	0,036289
5	12,23000	12,26629	-0,036295
6	13,01900	12,98441	0,034593
7	10,59500	10,57267	0,022333
8	11,63400	11,69831	-0,064310
9	12,35000	12,39367	-0,043671
10	10,89800	10,85429	0,043707
11	12,03400	12,07427	-0,040268
12	11,34100	11,30070	0,040305
13	11,97400	11,98967	-0,015675
14	12,76300	12,74729	0,015714



Гистограмма распределения остатков неучтенных уравнением регрессии

Продолжение прил. 3



Распределение остатков на нормальной бумаге

Значения коэффициентов уравнения регрессии:

- a0 := 11.51492
- a1 := 0.769689
- a2 := 0.386786
- a3 := -0.378805
- a12 := -0.358145
- a13 := 0.082134
- a23 := 0.109064
- a11 := 0.109064
- a22 := 0.172564
- a33 := 0.853563

Многочлен рассматриваемого полинома:

$$a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 + a_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + a_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + a_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + a_{11} \cdot (X_1)^2 + a_{22} \cdot (X_2)^2 + a_{33} \cdot (X_3)^2$$

Система уравнений, полученная дифференцированием по переменным X1, X2 и X3:

$$\begin{aligned} a_1 + a_{12} \cdot X_2 + a_{13} \cdot X_3 + 2 \cdot a_{11} \cdot X_1 &= 0 \\ a_2 + a_{12} \cdot X_1 + a_{23} \cdot X_3 + 2 \cdot a_{22} \cdot X_2 &= 0 \\ a_3 + a_{13} \cdot X_1 + a_{23} \cdot X_2 + 2 \cdot a_{33} \cdot X_3 &= 0 \end{aligned}$$

Решение системы:

$$\text{Find}(X_1, X_2, X_3) = \begin{pmatrix} 6.973 \\ 6.278 \\ -0.515 \end{pmatrix}$$

Первое сечение:

$$i := 0..10$$

$$j := 0..10$$

Экспериментальные факторы:

Частота вращения, мин⁻¹ $X1_i := -1+i\cdot 0.2$
 Ширина ленты рабочих колес, м $X2_j := -1+j\cdot 0.2$
 Степень заполнения емкости, % $X3 := -0.208$

Уравнение регрессии:

$$\begin{aligned} \Theta_{1ij} &:= a_0 + a_1 \cdot X1_i + a_2 \cdot X2_j + a_3 \cdot X3 \\ \Theta_{2ij} &:= a_{11} \cdot (X1_i)^2 + a_{22} \cdot (X2_j)^2 + a_{33} \cdot (X3)^2 \\ \Theta_{3ij} &:= a_{12} \cdot X1_i \cdot X2_j + a_{13} \cdot X1_i \cdot X3 + a_{23} \cdot X2_j \cdot X3 \\ \Theta_{ij} &:= \Theta_{1ij} + \Theta_{2ij} + \Theta_{3ij} \end{aligned}$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	10.437	10.52	10.616	10.726	10.85	10.987	11.138	11.304	11.483	11.675	11.882
1	10.62	10.688	10.77	10.866	10.975	11.098	11.235	11.386	11.551	11.729	11.922
2	10.812	10.866	10.933	11.014	11.109	11.218	11.341	11.478	11.628	11.792	11.97
3	11.012	11.052	11.105	11.172	11.252	11.347	11.455	11.578	11.714	11.863	12.027
4	11.221	11.246	11.285	11.338	11.404	11.484	11.579	11.686	11.808	11.944	12.093
5	11.439	11.45	11.474	11.513	11.565	11.631	11.71	11.804	11.911	12.032	12.167
6	11.666	11.662	11.672	11.696	11.734	11.786	11.851	11.93	12.023	12.13	12.251
7	11.901	11.883	11.879	11.888	11.912	11.949	12	12.065	12.144	12.236	12.343
8	12.145	12.113	12.094	12.089	12.099	12.121	12.158	12.209	12.273	12.351	12.443
9	12.398	12.351	12.318	12.299	12.294	12.303	12.325	12.361	12.411	12.475	12.553
10	12.659	12.598	12.551	12.518	12.498	12.492	12.5	12.522	12.558	12.608	12.671

$\Theta =$

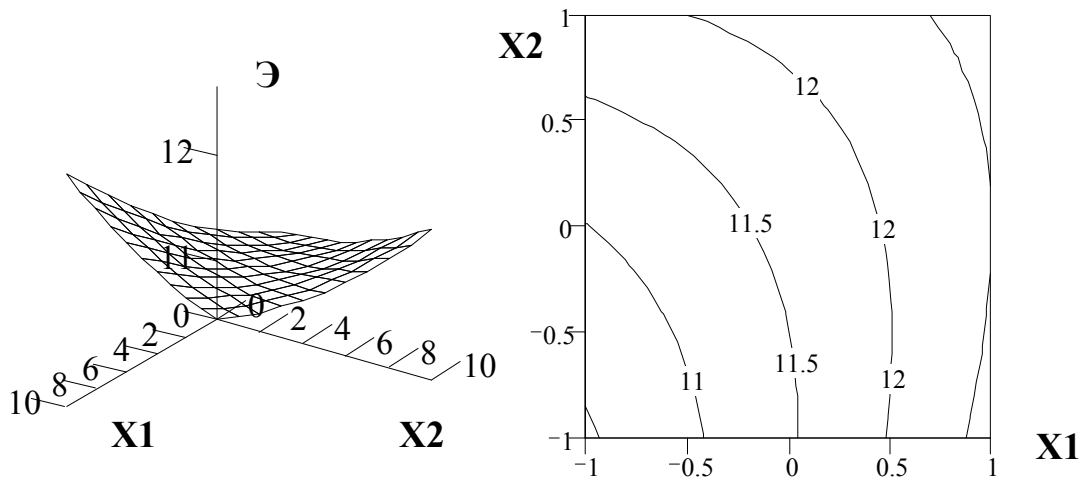


График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости энергоемкости сбивания масла от частоты вращения X1 и ширины ленты рабочих колес X2

Второе сечение:

$$i := 0..10$$

$$j := 0..10$$

Экспериментальные факторы:

Частота вращения, мин⁻¹ $X1_i := -1+i\cdot 0.2$

Ширина ленты рабочих колес, м $X2 := -0.083$

Степень заполнения емкости, % $X3_j := -1+j\cdot 0.2$

Уравнение регрессии:

$$\Theta_{1ij} := a0+a1\cdot X1_i+a2\cdot X2+a3\cdot X3_j$$

$$\Theta_{2ij} := a11\cdot (X1_i)^2+a22\cdot (X2)^2+a33\cdot (X3_j)^2$$

$$\Theta_{3ij} := a12\cdot X1_i\cdot X2 + a13\cdot X1_i\cdot X3_j+a23\cdot X2\cdot X3_j$$

$$\Theta_{ij} := \Theta_{1ij} + \Theta_{2ij} + \Theta_{3ij}$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	12.223	11.825	11.496	11.235	11.042	10.917	10.861	10.873	10.953	11.102	11.319
1	12.315	11.921	11.595	11.337	11.147	11.026	10.973	10.988	11.072	11.224	11.444
2	12.416	12.025	11.702	11.448	11.261	11.143	11.094	11.112	11.199	11.355	11.578
3	12.526	12.138	11.819	11.567	11.384	11.27	11.223	11.245	11.335	11.494	11.721
4	12.644	12.26	11.944	11.696	11.516	11.405	11.361	11.387	11.48	11.642	11.872
5	12.772	12.39	12.077	11.833	11.656	11.548	11.508	11.537	11.634	11.799	12.032
6	12.907	12.53	12.22	11.978	11.805	11.701	11.664	11.696	11.796	11.964	12.201
7	13.052	12.677	12.371	12.133	11.963	11.862	11.828	11.863	11.967	12.138	12.378
8	13.205	12.834	12.531	12.296	12.13	12.031	12.002	12.04	12.146	12.321	12.565
9	13.368	13	12.7	12.468	12.305	12.21	12.183	12.225	12.335	12.513	12.76
10	13.538	13.174	12.877	12.649	12.489	12.397	12.374	12.419	12.532	12.713	12.963

$\Theta =$

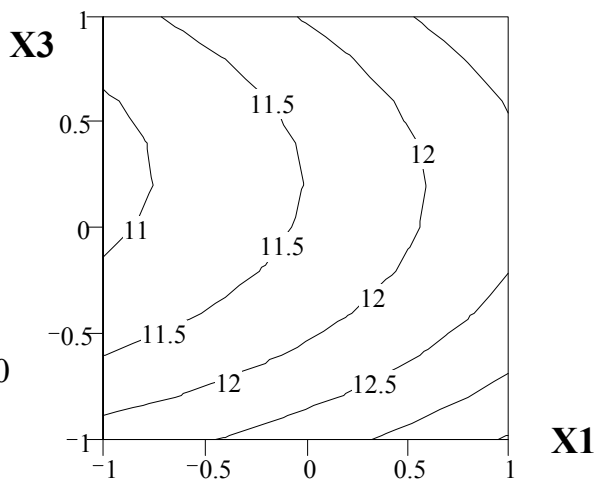
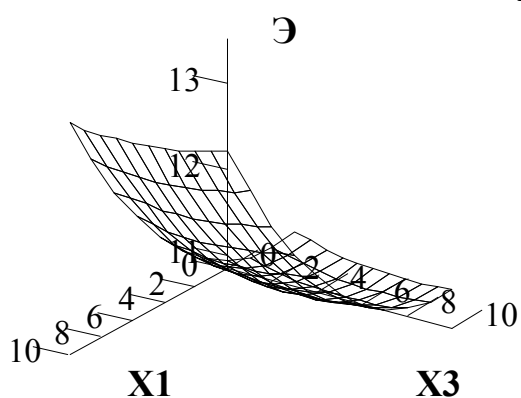


График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости энергоемкости сбивания масла от частоты вращения X1 и степени заполнения емкости X3

Третье сечение:

$$i := 0..10$$

$$j := 0..10$$

Экспериментальные факторы:

Частота вращения, мин⁻¹ $X1 := -0.208$
 Ширина ленты рабочих колес, м $X2_i := -1+i\cdot 0.2$
 Степень заполнения емкости, % $X3_j := -1+j\cdot 0.2$
 Уравнение регрессии:

$$\Theta_{1,i,j} := a_0 + a_1 \cdot X1 + a_2 \cdot X2_i + a_3 \cdot X3_j$$

$$\Theta_{2,i,j} := a_{11} \cdot (X1)^2 + a_{22} \cdot (X2_i)^2 + a_{33} \cdot (X3_j)^2$$

$$\Theta_{3,i,j} := a_{12} \cdot X1 \cdot X2_i + a_{13} \cdot X1 \cdot X3_j + a_{23} \cdot X2_i \cdot X3_j$$

$$\Theta_{i,j} := \Theta_{1,i,j} + \Theta_{2,i,j} + \Theta_{3,i,j}$$

$\Theta =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	12.429	12.021	11.681	11.409	11.206	11.071	11.004	11.005	11.075	11.213	11.419
1	12.438	12.034	11.698	11.431	11.232	11.101	11.038	11.044	11.118	11.261	11.471
2	12.46	12.06	11.729	11.466	11.271	11.145	11.087	11.097	11.175	11.322	11.537
3	12.496	12.101	11.774	11.515	11.325	11.203	11.149	11.163	11.246	11.397	11.617
4	12.545	12.155	11.832	11.578	11.392	11.274	11.225	11.244	11.331	11.486	11.71
5	12.609	12.223	11.904	11.654	11.473	11.36	11.315	11.338	11.429	11.589	11.817
6	12.686	12.304	11.99	11.745	11.568	11.459	11.418	11.446	11.542	11.706	11.938
7	12.777	12.4	12.09	11.849	11.676	11.572	11.535	11.567	11.668	11.836	12.073
8	12.882	12.509	12.204	11.967	11.799	11.698	11.666	11.703	11.807	11.98	12.222
9	13.001	12.632	12.331	12.099	11.935	11.839	11.811	11.852	11.961	12.138	12.384
10	13.134	12.769	12.473	12.245	12.085	11.993	11.97	12.015	12.129	12.31	12.56

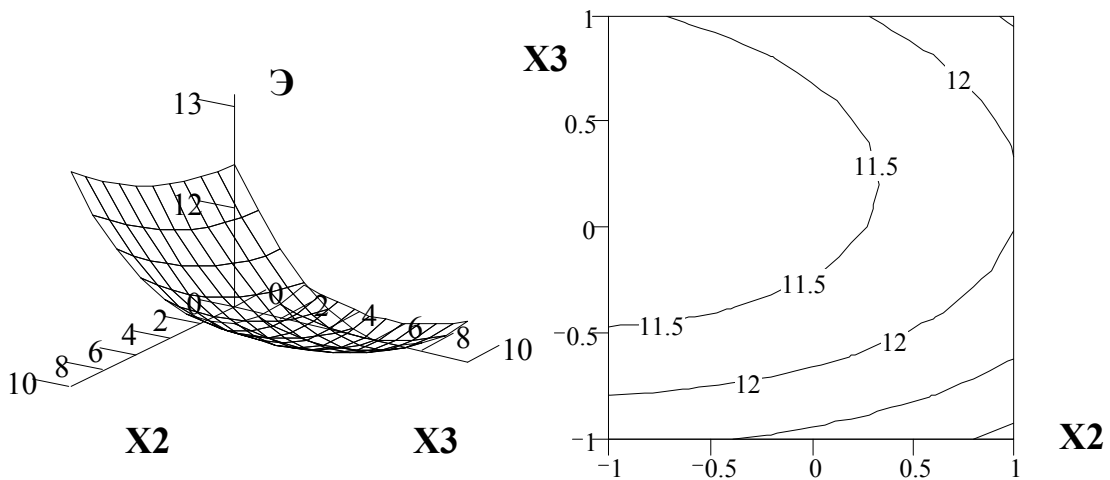


График поверхности отклика и двухмерное сечение зависимости энергоемкости сбивания масла от ширины ленты рабочих колес X2 и степени заполнения емкости X3

Приложение И

Результаты исследования маслоизготовителя в производственных условиях

Показатели:

R – множественный коэффициент корреляции

Variance explained – множественная мера определенности

Model – модель

Dep. var Q Loss: (OBS-PRED)**2 – способ оптимизации – метод наименьших квадратов

Final loss – финальный остаток

Т а б л и ц а 1

Данные для определения регрессионного уравнения
энергоёмкости сбивания масла

№ опыта	Частота вращения n , мин ⁻¹	Энергоёмкость сбивания масла Э, (Вт·ч)/кг
1	100	10,98
2	150	11,27
3	180	11,5
4	200	11,62
5	250	12,02
6	300	12,47

Model: $\Xi = a_0 + a_1 * n + a_2 * n * n$

Dep. var: Ξ Loss: (OBS-PRED)**2

Final loss: 0,000469037 R=0,99984 Variance explained: 99,967%

	a0	a1	a2
Estimate	10,52378	0,003590	0,000010

Окончание прил. И
Таблица 2

Данные для определения степенных показателей и свободного члена
критериального уравнения мощности

№ п/п	Значения параметров										
	$n, \text{мин}^{-1}$	$d, \text{м}$	$\frac{D}{d}$	$\frac{l_e}{d}$	$\frac{b}{d}$	$\frac{H_0}{d}$	$\frac{l_0}{d}$	$\frac{l_{p.k.}}{d}$	$\frac{1}{R_{\text{ен}}}$	$\frac{1}{F_{\text{рт}}}$	$N, \text{Вт}$
1	100	0,16	1,3	2,2	0,3	0,9	0,4	1,25	$4,01 \cdot 10^{-7}$	0,006135	154,0
2	150								$2,73 \cdot 10^{-7}$	0,002730	191,4
3	180								$2,27 \cdot 10^{-7}$	0,001890	204,6
4	200								$2,05 \cdot 10^{-7}$	0,001533	213,4
5	250								$1,63 \cdot 10^{-7}$	0,000981	231,0
6	300								$1,37 \cdot 10^{-7}$	0,000681	255,2

Model:

$$N = a_0 \cdot p \cdot n^3 \cdot d^5 \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^{a_1} \cdot \left(\frac{l_e}{d}\right)^{a_2} \cdot \left(\frac{b}{d}\right)^{a_3} \cdot \left(\frac{H_0}{d}\right)^{a_4} \cdot \left(\frac{l_0}{d}\right)^{a_5} \cdot \left(\frac{l_{p.k.}}{d}\right)^{a_6} \cdot \left(\frac{1}{R_{\text{ен}}}\right)^{a_7} \cdot \left(\frac{1}{F_{\text{рт}}}\right)^{a_8}$$

Dep. var: N Loss: (OBS-PRED)**2

Final loss: 2,143055396 R=0,99982 Variance explained: 99,964%

	a0	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8
Estimate	0,631622	-0,873032	-12,1775	-35,1267	-0,381737	-20,7933	-0,530396	3,167601	-0,280940

Научное издание

Яшин Александр Владимирович
Парфенов. Виктор Степанович
Стригин Виктор Николаевич
Сёмов Иван Николаевич

ОПТИМИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА АГРЕГАЦИИ
МИКРОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕЛ
С ВСТРЕЧНОВРАЩАЮЩИМИСЯ
ЛЕНТАМИ МЁБИУСА

Монография

В авторской редакции
Верстка Н.В. Кучина

Подписано в печать 23.06.2014. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл.печ.л. 9,53. Уч.-изд.л. 10,25. Тираж 500 экз. 1-й завод 100 экз.
Заказ № 199.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28