

УДК 631.363

## Технология ускоренной переработки грубого растительного сырья и отходов Technology of accelerated processing of rough plant raw material and waste

Е. И. РЕЗНИК, д-р техн. наук  
С. Г. КАРТАШОВ, канд. техн. наук

Всероссийский научно-исследовательский  
институт электрификации сельского хозяйства,  
Москва, Россия, viesh@dol.ru

E. I. REZNIK, DSc in Engineering  
S. G. KARTASHOV, PhD in Engineering

All-Russian Research Institute  
for Electrification of Agriculture,  
Moscow, Russia, viesh@dol.ru

Анализ отечественного и зарубежного опыта получения высокобелковых кормовых добавок позволил определить наиболее значимые технологии и оборудование для этих целей. Выявлено, что традиционные способы приготовления таких добавок включают в основном одностадийное измельчение и смешивание. Этого недостаточно для получения однородного гранулометрического состава высококачественной смеси. Применяемое оборудование имеет высокую энерго- и металлоемкость. В результате проведенных исследований предложено инновационное оборудование, изготовлены физические модели. Предложено использовать новые эффективные методы трехстадийного измельчения грубого растительного сырья и его транспортирования, а также измельчения пищевых отходов и двухстадийного смешивания в водной среде для получения однородного продукта. Рекомендовано модульное исполнение оборудования, позволяющее рационально скомпоновать серийно выпускаемые и новые менее энергоемкие технические средства для использования в поточной линии. Определены основные параметры и режимы работы оборудования. В разработанных технических средствах применены принципиально новые рабочие органы, которые обеспечивают трехстадийное измельчение малоценного растительного сырья, его транспортирование и двухстадийное смешивание с использованием регулируемых лопаток. Такая переработка сырья повышает эксплуатационные характеристики оборудования по сравнению с лучшими зарубежными и отечественными аналогами, позволяет повысить рентабельность производства. Для комплектации систем управления инновационными технологиями и оборудованием рекомендовано использовать компьютерные системы управления, созданные на базе мехатронных систем. Создание системы управления оборудованием и применение новых способов измельчения и смешивания грубых растительных и пищевых отходов позволили увеличить производительность всей линии на 35 %, снизить материал- и энергоемкость на 34—40 % при сроке окупаемости 9 месяцев.

**Ключевые слова:** приготовление высокобелковых кормовых добавок; инновационные методы; трехстадийное измельчение; двухстадийное смешивание; модульные технические средства; компьютерная программа; мехатронная система управления.

Analysis of domestic and foreign experience in obtaining of high-protein feed additives allowed to identify the most important technology and equipment for these purposes. It was revealed that traditional methods of preparation of these feed additives mostly include single-stage chopping and mixing. This is not enough for obtaining of homogeneous granulometric composition of high-quality mixture. The equipment in use has high energy and metal intensity. As a result of the study, innovative equipment is proposed, and physical models are made. The article suggests to use new effective methods of three-stage chopping of plant raw material and its transportation, as well as food waste grinding and two-stage mixing in aqueous media for obtaining homogeneous product. It is recommended to manufacture the equipment in modular construction, that allows to compose the series-produced technical means with new less energy-intensive ones for use on flow line. The main parameters of equipment operating modes are determined. The developed technical means involve the fundamentally new working organs, that provide three-stage chopping of low-value plant materials, their transportation and two-stage mixing with the use of adjustable blades. Such processing of raw material improves the performance characteristics of equipment, and allows to increase the production profitability in comparison with best foreign and domestic equivalents. For supplying of control systems with innovative technologies and equipment, it is recommended to use computer control system, created on the basis of mechatronic systems. Creation of equipment control system and application of new methods of chopping and mixing of rough plant and food waste allow to increase the performance of entire line by 35 %, reduce the material and energy intensity by 34–40 % with a payback period of 9 months.

**Keywords:** preparation of high-protein feed additives; innovative methods; three-stage chopping; two-stage mixing; modular technical means; computer program; mechatronic control system.

## Введение

Анализ отечественного и зарубежного опыта получения качественных высокобелковых кормовых добавок позволил выявить наиболее значимые технологии и оборудование для этих целей [1–3]. В результате проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ предложены способы предварительной подготовки рулонированного корма, 3-стадийного измельчения грубых растительных и пищевых отходов и их 2-стадийного смешивания [4, 5].

## Цель исследования

Цель исследования — разработать и создать оборудование в модульном исполнении для приготовления высокобелковых кормовых добавок в рамках развития инновационной техники для фермерских хозяйств.

## Материалы и методы

Для достижения поставленной цели выбран блочно-модульный метод расчета и компоновки конструкций. В качестве вспомогательного оборудования использованы усовершенствованные серийно выпускаемые машины и новые физические модели, изготовленные по модульному принципу и скомпонованные в технологическую линию.

Для комплектации подобных линий рекомендовано использовать следующие модули:

— предварительного измельчения рулонированного корма и вертикального транспортирования (серийные усовершенствованные образцы резчика рулонов и ленточного транспортера);

— одновременного 3-стадийного измельчения растительного сырья, причем для 2-стадийного измельчения применяется новая физическая модель турбоинерционного измельчителя, а для третьей стадии измельчения в водной среде — усовершенствованный опытный образец роторно-пульсационного аппарата (РПА);

— измельчения отходов (опытный образец);

— одновременного 2-стадийного смешивания, причем для первой стадии применяется новая физическая модель РПА [4], а для второй — новая физическая модель смесителя [5].

Таким образом, появляется возможность создания многофункционального оборудования для приготовления высокобелковых кормовых добавок в хозяйствах. Разработанные и изготовленные физические модели,

опытные и экспериментальные образцы прошли испытания [5].

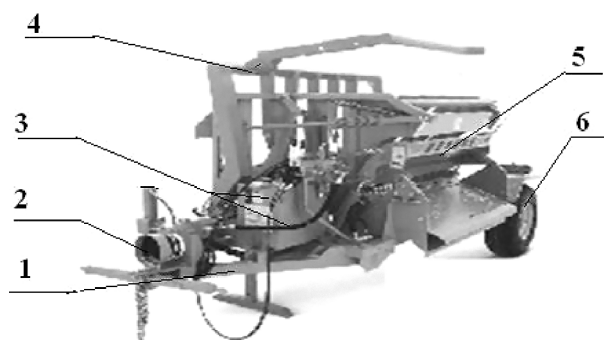
Комплект оборудования в модульном исполнении предназначен для осуществления эффективного способа ускоренной переработки малоценного растительного сырья с целью приготовления высокобелковых кормовых добавок для животных и снижения энерго- и металлоемкости оборудования.

## Результаты и их обсуждение

По результатам исследований [5, 6] изготовлены усовершенствованные образцы серийного оборудования — резчика рулонов, вертикального транспортера, инерционного разгрузителя, а также опытные образцы физических моделей — измельчителя отходов, РПА, смесителя-биореактора, 2-стадийного турбоизмельчителя.

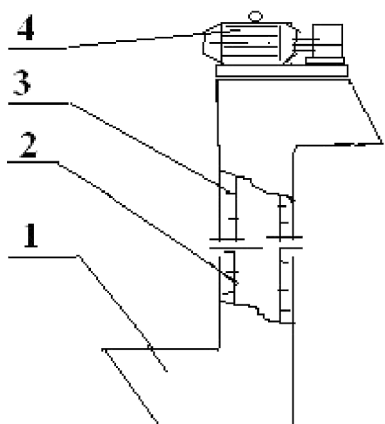
На основании 8-летнего опыта эксплуатации в российских хозяйствах 4-колесного резчика рулонов ИРК-1, поставленного из Италии, освоен выпуск новой модели резчика ИРК-01.1 на двух колесах большего диаметра (рис. 1). Новая модификация резчика перемещается трактором на значительные расстояния с большей скоростью без ограничений по дорожному покрытию. Эта техника производится и в Италии, и на совместном итало-российском предприятии ООО "Краснокамский РМЗ".

Усовершенствованный образец резчика в отличие от серийного снабжен автоматической системой регистрации веса загружаемых рулонов. Управление работой рез-



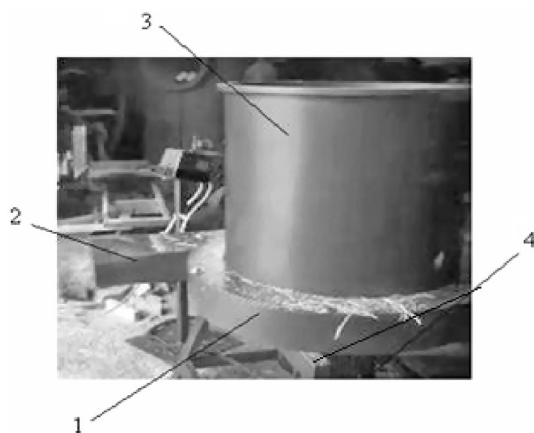
**Рис. 1. Усовершенствованный образец резчика рулонов — кормораздатчик ИРК-01.1:**

1 — рама; 2 — привод; 3 — дистанционная система управления; 4 — загрузочное устройство; 5 — механизм нарезки гильотинного типа; 6 — два колеса



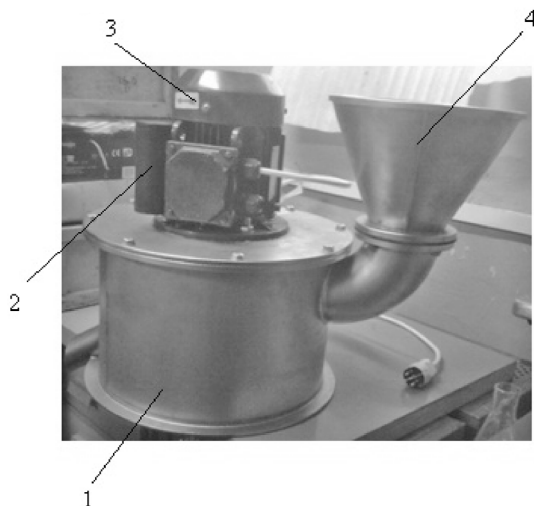
**Рис. 2. Усовершенствованный образец вертикального транспортера:**

1 — кожух; 2 — резиновая лента; 3 — спиралевидные битеры; 4 — электропривод



**Рис. 3. Экспериментальный образец 2-стадийного турбоинерционного измельчителя:**

1 — измельчающая камера; 2 — выгрузной патрубок; 3 — цилиндрический загрузочный бункер; 4 — опорная рама



**Рис. 4. Опытный образец физической модели измельчителя отходов:**

1 — корпус; 2 — система управления; 3 — привод; 4 — загрузочный патрубок

чика-кормораздатчика осуществляется дистанционно из кабины трактора. Резчик имеет полностью автономную гидросистему и механизм нарезки гильотинного типа.

**Техническая характеристика резчика рулонов ИРК-01.1**

Производительность, рулонов/ч . . . . .	7—10
Габаритные размеры (длина×ширина×высота), мм . . . . .	4300×1880×2230
Масса резчика, кг . . . . .	1480
Размер рулона, мм:	
— высота . . . . .	1200 ± 50
— диаметр . . . . .	1450—1800
Масса рулона, кг . . . . .	до 850
Количество режущих ножей, шт. . . . .	5
Количество противорежущих ножей, шт. . . . .	10
Ширина резания, мм . . . . .	не более 100
Длина резания, мм . . . . .	240—280
Толщина резания, мм . . . . .	90—150—220

Для транспортирования отрезанных от рулона сегментов в бункер турбоинерционного измельчителя предлагается использовать усовершенствованный образец вертикального транспортера (рис. 2), который имеет резиновую ленту с закрепленными на ней спиралевидными битерами. Последние способствуют равномерному транспортированию сегментов, отрезанных от рулона соломы, грубых или стебельчатых кормов.

**Техническая характеристика вертикального транспортера**

Производительность, т/ч . . . . .	до 2
Установленная мощность, кВт . . . . .	1,7
Питание регулируемого электропривода, В . . . . .	380
Габаритные размеры, мм . . . . .	540×250×4000
Масса, кг . . . . .	150

Разработан и изготовлен новый образец физической модели турбоинерционного измельчителя (рис. 3) для одновременного 2-стадийного измельчения соломы, грубых и стебельчатых кормов.

**Техническая характеристика турбоинерционного измельчителя**

Производительность, кг/ч . . . . .	до 200
Установленная мощность, кВт . . . . .	до 7,5
Питание регулируемого электропривода, В . . . . .	380
Габаритные размеры, мм . . . . .	1540×860×1200
Масса, кг . . . . .	200

На первой стадии измельчения используются ножи сменного блендера, установленные в улиткообразном корпусе турбоизмельчителя. Они измельчают растительные отходы поперек волокон, длина резания не более 50 мм. На второй стадии измельчение полученной фракции осуществляется Ш-образными и П-образными прямоугольными билами до размера частиц не более 5 мм.

Совместно с предприятием ООО "Промсервис" изготовлен опытный образец физической модели измельчителя отходов (рис. 4): корнеплодов, кукурузы, фруктов, отходов пищевой, комбикормовой и других промышленности. Конструкция измельчителя снабжена таймером, обеспечивающим заданную регулировку процесса его работы.

### Техническая характеристика измельчителя отходов

Производительность, кг/ч . . . . .	от 15 до 200
Установленная мощность, кВт . . . . .	1,1
Питание, В . . . . .	220
Габаритные размеры, мм . . . . .	395×485×253
Масса, кг . . . . .	32

Эффективное воздействие предложенных оригинальных рабочих органов, выполненных из закаленной пружинной стали, позволяет создавать направленный поток движения продукта в корпусе по спирали с подъемом вверх, что обеспечивает заданный размер измельченных частиц. Измельчитель комплектуется частотным преобразователем и таймером.

По результатам ранее проведенных исследований [3, 4] разработан и изготовлен опытный образец физической модели РПА (рис. 5), в котором осуществляется третья стадия, — измельчение продукта до 0,05 мм в водной среде, взятой по объему измельченной массы стебелчатых кормов. Новая модель РПА имеет шнековый питатель разных диаметров для активизации процесса подачи в аппарат требуемого продукта из расходного бункера.

Также предложены регулируемые лопасти в смесителе-биореакторе (рис. 6).

### Техническая характеристика РПА

Производительность, кг/цикл . . . . .	40—500
Температура приготовления (в зависимости от вида корма), °С . . . . .	55—60
Длительность цикла приготовления (в зависимости от объема и вида сырья), ч . . . . .	1—4
Мощность электропривода, кВт . . . . .	1,5—5,5
Максимальные габариты, мм . . . . .	1500×500×1800
Масса, кг . . . . .	95

### Техническая характеристика смесителя-биореактора

Производительность, кг/цикл . . . . .	40—500
Температура приготовления (в зависимости от вида корма), °С . . . . .	55—60
Длительность цикла приготовления (в зависимости от объема и вида сырья), ч . . . . .	1—4
Мощность электропривода, кВт . . . . .	2,7—14,5
Максимальные габариты, мм . . . . .	1500×500×1800
Масса (в зависимости от производительности), кг . . . . .	100—2000

В результате сформирован комплект из модульного оборудования, который содержит изготовленные физические модели нового поколения для энергосберегающей инновационной технологии переработки растительного сырья и отходов (рис. 7). В дальнейшем приготовленный продукт используется для подготовки ускоренной биоферментации в виде высокобелковых кормовых добавок.

### Технологическая характеристика линии

Производительность, кг/ч . . . . .	1400
Установленная мощность, кВт . . . . .	10,1
Габаритные размеры, мм . . . . .	1500×1100×1200
Масса, кг . . . . .	350
Длительность цикла приготовления (в зависимости от объема и вида сырья), ч . . . . .	1—4

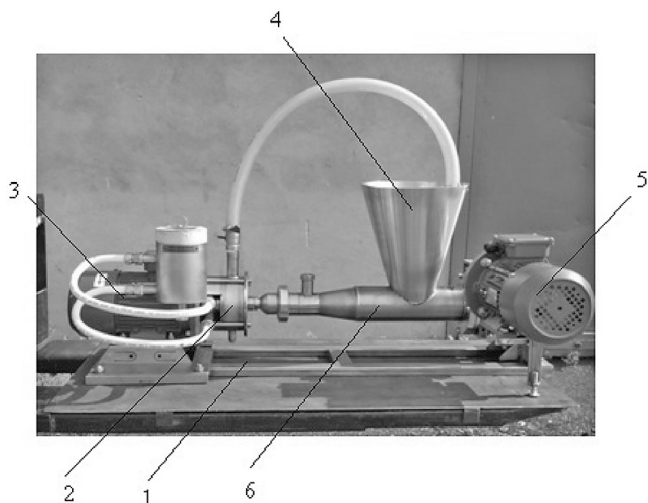


Рис. 5. Опытный образец физической модели РПА:

1 — станина; 2 — РПА; 3 — электропривод; 4 — загрузочный бункер; 5 — привод питающего устройства; 6 — шнековый питатель

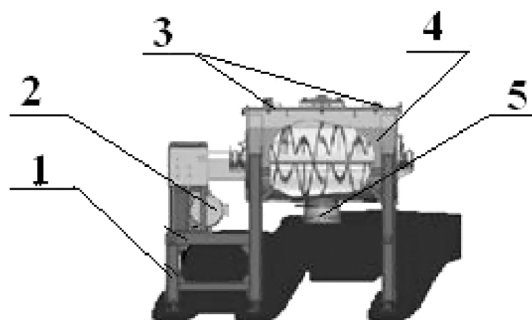


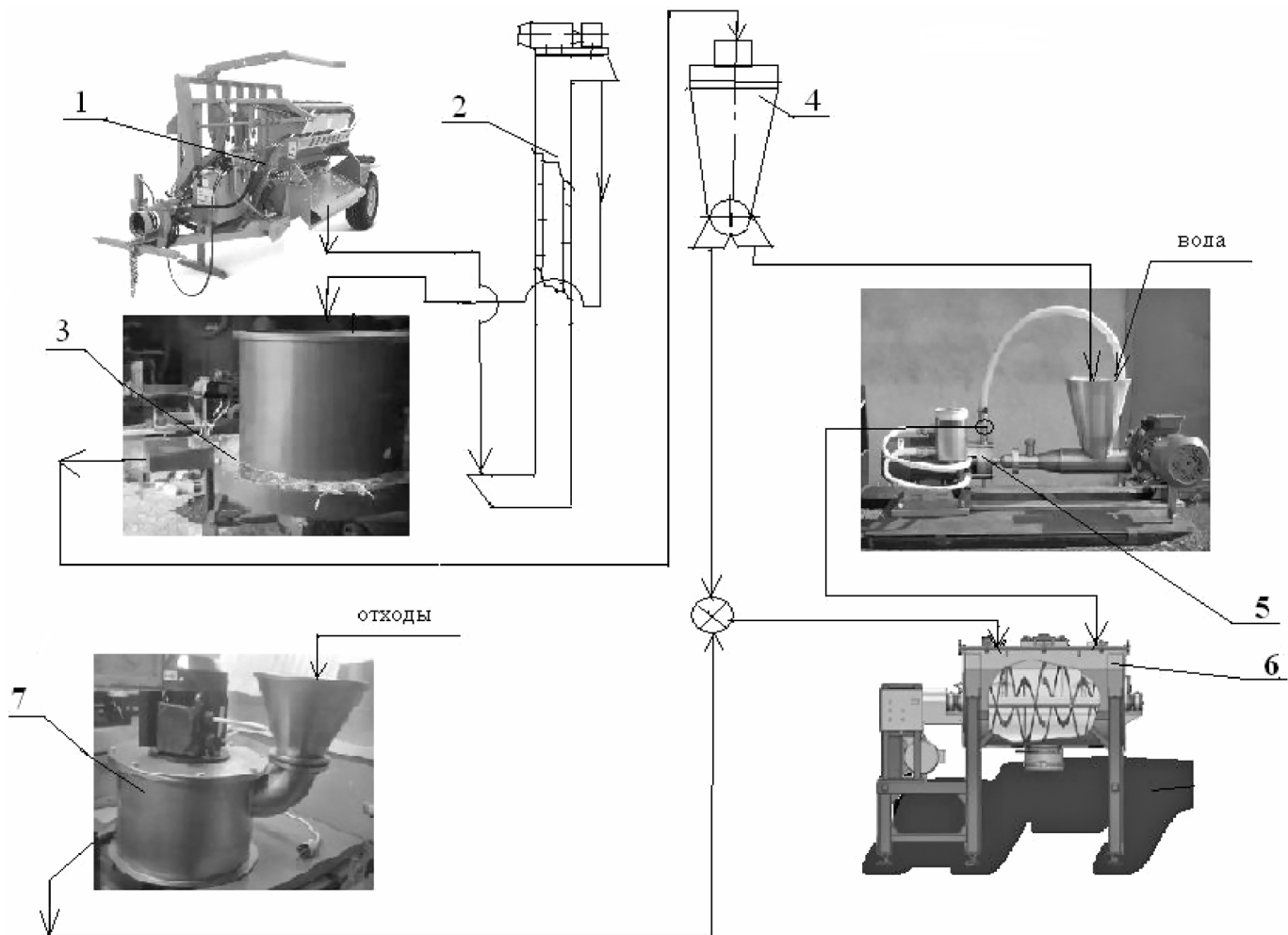
Рис. 6. Усовершенствованный серийный смеситель-биореактор:

1 — рама корпуса; 2 — регулируемый электропривод; 3 — загрузочные горловины; 4 — смеситель-биореактор с регулируемыми лопатками; 5 — выгрузная горловина

Оборудование линии работает следующим образом. Усовершенствованный резчик рулонов — кормораздатчик ИРК-01.1 автоматически загружает рулонированный корм (солому, листостебельную массу), контролируя его вес, на свое днище вилообразным устройством с гидравлическим приводом. Ножом гильотинного типа от рулона поперек волокон отрезаются сегменты шириной не более 100 мм, толщиной 90—150—220 мм и длиной 240—280 мм.

Эти сегменты поступают на усовершенствованный вертикальный транспортер с электродвигателем привода и резиновой лентой, на которой закреплены металлические пружинные секторные битеры. Битеры активно захватывают отрезанные сегменты и подают их в бункер экспериментального образца физической модели измельчителя, который изготовлен в виде вертикального цилиндра. Корпус турбоинерционного измельчителя выполнен в виде улиткообразного инерционного насоса с приводом от электродвигателя.

На первой стадии в корпусе турбоинерционного измельчителя отрезанные сегменты измельчаются поперек



**Рис. 7. Технология переработки малоценного растительного сырья и отходов для приготовления высокобелковых кормовых добавок:**

1 — резчик рулонов, усовершенствованный серийный образец; 2 — вертикальный транспортер с секторными битерами на резиновой ленте, усовершенствованный серийный образец; 3 — турбоинерционный измельчитель, экспериментальная физическая модель; 4 — инерционный разгрузитель со шлюзовым затвором, усовершенствованный серийный образец; 5 — РПА, опытная модель; 6 — смеситель-биореактор, усовершенствованный серийный образец; 7 — измельчитель отходов, опытная физическая модель

волокон ножами сменного блендера с длиной резания не более 50 мм. Стальные ножи имеют форму удлиненных треугольников и отогнуты от горизонтали не более чем на 30°. Они закреплены на вертикальной полуоси, которая вкручена в торец вертикального вала электродвигателя привода измельчителя.

Для второй стадии измельчения в улиткообразном корпусе турбоинерционного измельчителя установлен горизонтальный диск со съемной полый ступицей, которая через редуктор соединена с электродвигателем для привода диска. На поверхности диска закреплены не менее четырех прямоугольных Ш-образных бил. На внутренней поверхности крышки корпуса измельчителя, которая выполнена с входным отверстием, закреплены не менее четырех прямоугольных П-образных бил. Била измельчают сырье до размера частиц не более 5 мм.

Полученное сырье по пневмопроводу подается в усовершенствованный серийный разгрузитель, укомплектованный выгрузным барабанным питателем. Измельченный продукт подается питателем в бункер опытной

модели РПА, где проходит третья стадия — измельчение продукта до 0,05 мм в водной среде, взятой по объему измельченной массы стебельчатых кормов, для получения однородного продукта, увлажненного до 45—55 %.

РПА имеет электродвигатель, загрузочный бункер и шнековый питатель разных диаметров со своим электродвигателем. Работой электродвигателей управляет частотный регулятор. Трубопроводы имеют регулируемые вентили и создают замкнутую систему, что позволяет при работе РПА в замкнутом режиме обеспечить нагрев обрабатываемого продукта до 50 °С и выполнить первую стадию смешивания.

Вторая стадия смешивания продукта, полученного в РПА, осуществляется в усовершенствованной модели смесителя-биореактора с регулируемыми лопатками. В него подается подогретая до 40—60 °С вода для увлажнения продукта до 55—60 %, а через загрузочные горловины вводится требуемая по рецепту порция биокатализатора. Регулирование и выбор соответствующего угла атаки лопаток обеспечиваются электродвигателем по

заданной на микропроцессоре программе. Полученная смесь выгружается из смесителя через выгрузное окно.

Для измельчения пищевых отходов и корнеклубнеплодов используется опытная физическая модель измельчителя с электродвигателем. Измельчитель имеет корпус в виде вертикального цилиндра с приваренными торцевыми фланцами и загрузочный бункер с горловиной, выполненной в виде цилиндрического патрубка под углом 90° с торцевым фланцем. В корпусе на вертикальной полуоси ярусно установлены два горизонтальных ножа, которые измельчают отходы до пастообразного состояния и через выгрузную горловину подают их в горизонтальный корытообразный смеситель. Полученная полнорационная добавка выгружается из смесителя-биореактора в кормораздатчик.

Использование нового 2-стадийного способа смешивания предотвращает образование застойных очаговых зон. Ускоряется и увеличивается аморфность субстрата, уменьшается кристалличность целлюлозы, обеспечивается стабильный ускоренный рост удельных поверхностей роста бактерий и площади контакта сырья с требуемым биокатализатором. Повышается концентрация субстратов, что приводит к возрастанию в 2—3 раза скорости их превращения в процессе гидролиза. Уменьшается количество используемого оборудования и повышается его надежность, снижаются металло- и энергоёмкость технологического процесса [1].

Сочетание механокавитационного измельчения с последующей ферментативной обработкой, совмещенной с процессом твердофазного культивирования микроорганизмов, позволяет сократить продолжительность всего процесса с 12 до 6 ч в сравнении с существующими отечественными и зарубежными технологиями. Полученная добавка в 1,5 раза повышает продуктивность животных на откорме. В процессе биоферментации растительного сырья содержание белка повышается в 2—2,5 раза (с 10—12 до 20—25 %), усиливается естественный распад сложных углеводов, их содержание уменьшается в 5 раз (с 25—30 до 5—6 %).

## Выводы

1. Модульное исполнение оборудования позволяет рационально скомпоновать серийно выпускаемые и новые менее энергоёмкие технические средства для использования в поточной линии технологии.

2. Разработаны 3-стадийный способ измельчения малоценного растительного сырья и 2-стадийный способ смешивания в водной среде, взятой по объёму измельченной массы грубостебельчатого сырья, для получения однородного продукта при работе РПА в замкнутом режиме.

3. Такая переработка сырья повышает эксплуатационные характеристики оборудования по сравнению с лучшими зарубежными и отечественными аналогами. Оборудование, изготовленное по модульному принципу и смонтированное в поточной линии, позволяет повысить рентабельность производства.

4. Создание системы управления оборудованием и применение новых способов 2-стадийного и предварительного измельчения и смешивания грубых раститель-

ных и пищевых отходов позволили увеличить производительность всей линии на 35 %, снизить материалоемкость на 34—40 % при сроке окупаемости 9 месяцев.

## Литература и источники

1. Клычев Е. М. Инновационная технология переработки малоценного растительного сырья в качественные кормовые продукты // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2014, № 6. С. 11—13.
2. Ларкин Д. К., Резник Е. И., Карташов С. Г. и др. Моделирование производства высокобелковых кормов (зерносежа) для фермерских хозяйств // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Мат-лы 9-й междунар. науч.-техн. конф. Ч. 3. М.: ВИЭСХ, 2014. С. 149—155.
3. Резник Е. И., Карташов С. Г., Еремченко В. А. Выбор технологических линий подготовки и раздачи рулонированных кормов // Тракторы и сельхозмашины. 2015, № 6. С. 42—44.
4. Карташов С. Г., Резник Е. И. Разработка структурных технологических систем в блочно-модульном исполнении для приготовления высокобелковых кормосмесей // Инновации в сельском хозяйстве. 2015, № 3 (13). С. 185—189.
5. Карташов С. Г., Клычев Е. М., Резник Е. И. и др. Двухвальный горизонтальный смеситель с регулируемыми лопатками. Заявка на изобретение № 2015124752/20 от 23.06.2015.
6. Карташов С. Г., Мусин А. М. Оперативная технико-экономическая оценка эффективности биотехнической системы (БТС) животноводства // Современное производство комбикормов. Комбикорма—2013. Мат-лы 7-й междунар. конф. М.: Международная промышленная академия, 2013. С. 136—139.

## References

1. Klychev E. M. Innovative technology for processing low-value plant raw materials into high-quality feed products. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*, 2014, no. 6, pp. 11—13 (in Russ.).
2. Larkin D. K., Reznik E. I., Kartashov S. G., Bestaev L. Z. Modeling of protein-rich feed (haylage) production for farming enterprises. *Energoobespechenie i energosberezhenie v sel'skom khozyaystve. Mat-ly 9-y mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Energy supply and energy saving in agriculture. Proc. of the 9th int. sci. and eng. conf.]. Part 3. Moscow, All-Russian Research Institute for Electrification of Agriculture, 2014, pp. 149—155 (in Russ.).
3. Reznik E. I., Kartashov S. G., Eremchenko V. A. Selection of process lines for round-bale feed preparation and distribution. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2015, no. 6, pp. 42—44 (in Russ.).
4. Kartashov S. G., Reznik E. I. Development of structural technological systems in modular design for the preparation of protein-rich feed mixtures. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*, 2015, no. 3 (13), pp. 185—189 (in Russ.).
5. Kartashov S. G., Klychev E. M., Reznik E. I., Kartashova E. A. *Dvukhval'nyy gorizont'al'nyy smesitel' s reguliruemymi lopatkami* [Twin-shaft horizontal mixer with adjustable blades]. Patent application no. 2015124752/20 dated 23.06.2015.
6. Kartashov S. G., Musin A. M. Advanced technical and economic evaluation of efficiency of livestock bioengineering system. *Sovremennoe proizvodstvo kombikormov. Kombikorma—2013. Mat-ly 7-y mezhdunar. konf. VIESKh* [Modern production of feed compounds. Feed compounds 2013. Proc. of the 7th int. conf.]. Moscow, International Industrial Academy, 2013, pp. 136—139 (in Russ.).