

В статье проведен анализ этапа гидродинамической обработки зернового сырья при производстве спирта. Рассмотрена замена классических лопастных мешалок струйными мешалками в аппаратах гидродинамической и ферментативной обработки (ГДФО) в спиртовом производстве. Предложена схема экспериментальной установки для исследования силовых характеристик струи. Приведены результаты исследования силового воздействия затопленной струи на преграду и представлены результаты, отражающие изменения силы воздействия жидкости в зависимости от конструктивных параметров сопла, его расположения, свойств жидкой среды. Полученные данные позволяют объединить теоретические и практические знания для разработки методики инженерного расчета конструктивных параметров аппаратов ГДФО с применением струйной мешалки.

СИЛОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЗАТОПЛЕННЫХ СТРУЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ЗАМЕСА В СПИРТОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Беларусь**

*З. В. Ловкис, член-корреспондент НАН Беларуси, доктор технических наук,
профессор, генеральный директор;
А. А. Садовский, аспирант дневной формы обучения*

Этиловый спирт является стратегическим продуктом для пищевой промышленности, широко применяется в медицинских и технических целях. В Республике Беларусь по состоянию на 2010 г. производство спирта ректифицированного осуществляли 23 предприятия, мощностью 12,5 млн дал. спирта в год, экспорт составил 1 млн дал [1].

В последнее время все более актуальным становится вопрос экономии энергоресурсов и разработки эффективных методов и технологий, обеспечивающих максимальный выход при производстве спирта. В жестких условиях мирового экономического спада создание конкурентоспособного продукта является основой экономического роста и стабильности в Республике Беларусь.

Работа, направленная на создание ресурсо- и энергосберегающих технологий производства этилового спирта, является основным направлением в развитии спиртовой отрасли нашей страны, актуальными являются исследования по установке режимов работы и конструктивных особенностей аппаратов гидродинамической ферментативной обработки зерновых замесов.

В процессе производства спирта основной рабочей жидкотекучей средой является крахмало-содержащее сырье. Данный вид сырья получают из зерновых культур (пшеница, рожь, ячмень, овес, тритикале и др.), картофеля. Также может использоваться сахаросодержащее сырье (свеклосахарная, тростниковая, сырцовая меласса, сахар-сырец, иногда сахарная свекла, ягоды, плоды, продукты их переработки). Однако использование данного вида сырья менее выгодно, чем зерно и картофель.

По технологии при производстве спирта крахмалсодержащее сырье подвергается длительной многоступенчатой подготовке с целью перевода крахмала в сбраживаемые углеводы (моно-, дисахариды). Технологическая схема производства спирта представлена на рис. 1.

Все поступившее в переработку зерновое сырье проходит очистку. В процессе очистки зерновое сырье освобождается от металлических примесей на магнитных сепараторах и от сорных — на сепараторах. Остаточная сорность не должна превышать 1 % по массе зерна, металлических примесей не допускаются. Очищенное зерно поступает в производство. Измельчение зерна осуществляется на дробилках 1. Далее следует этап водно-тепловой обработки крахмалсодержащего сырья, который включает смешивание сырья с водой и гидроферментативную обработку. В смесителе 2 происходит смешивание зернового помола с водой, температура которой +50...+55 °С. Далее смесь

поступает в нагнетательный трубопровод и подается в мешалку 3 периодического действия, куда добавляются ферментные препараты для разжижения крахмала и растворения сухих веществ зерна. Из смесителя зерновой замес насосом подается в аппарат гидроферментативной обработки (ГДФО) I ступени, температура массы составляет $+70...+75\text{ }^{\circ}\text{C}$, продолжительность выдержки — 2,0–2,5 ч. Во время гидроферментативной обработки сырья в ГДФО I под действием ферментов происходит растворение сухих веществ зерна и частичная декристаллизация крахмала. Замес из ГДФО I ступени подается насосом в аппарат ГДФО II ступени. Продолжительность выдержки массы составляет 0,5–0,6 ч, в течение этого времени происходит набухание наиболее труднодоступных для воды и тепла крахмальных гранул и частичная стерилизация массы. Следующим этапом является осахаривание разваренной массы в осахаривателе 6 с последующим перекачиванием сусла в бродительное и дрожжевое отделения завода. Последний этап — выделение спирта из сброженного сусла и его очистка с помощью ректификации.

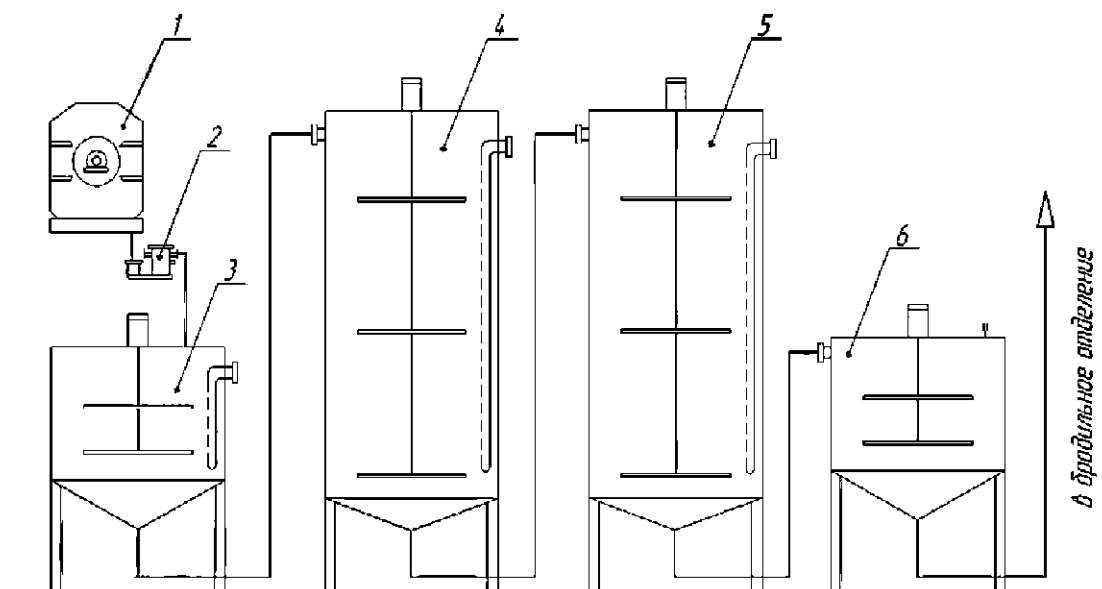


Рис. 1. Аппаратурная схема производства спирта: 1 — дробилка; 2 — смеситель; 3 — мешалка; 4 — аппарат ГДФО I; 5 — аппарат ГДФО II; 6 — осахариватель

Отдельно необходимо выделить этап технологического процесса, целью которого является интенсификация воздействия ферментных препаратов на зерновой замес и растворение сухих веществ зерна за счет перемешивания. Для решения данной задачи применяют аппараты ГДФО. На начальном этапе гидроферментативной обработки рабочая среда представляет собой смесь помола зерна и воды с добавлением ферментов.

Основная часть предприятий спиртовой отрасли производит спирт из крахмалсодержащего сырья, которое получают из различных зерновых культур; на зерно уходит более 60 % от себестоимости конечного продукта [2]. От качества и вида зерна во многом зависит производительность и эффективность производства спирта. Часто спиртовые заводы не имеют возможности использовать лучшие сорта, такие как отборная пшеница, а используют фуражную рожь. Данный тип зерна имеет специфическую структуру, которая усложняет выход на необходимые технологические показатели. Кроме того, повышение энергозатрат негативно сказывается на себестоимости этилового спирта.

Решить данные проблемы спиртового производства возможно путем повышения эффективности обработки зерновых замесов на этапе водно-тепловой (гидродинамической) и ферментативной обработки до процесса брожения. Гидродинамическая обработка применяется для подготовки крахмала, содержащегося в зерне, к осахариванию. При проведении гидроферментативной обработки изменяются структурно-механические свойства сырья, одновременно отмечаются и значительные химические превращения веществ, входящих в его состав. Главной задачей дан-

ного технологического этапа является растворение внешних оболочек зерна при температурах набухания крахмала с сохранением компонентов, которые потребляются дрожжами.

Скорость набухания зерна различных культур неодинакова. Например, у зерна ржи она выше, чем у зерна пшеницы, овса, проса; медленнее всех набухают ячмень и кукуруза. Нарушение целостности зерна ускоряет процесс набухания, поэтому при всех непрерывных способах разваривания крахмалистое сырье перерабатывается только в измельченном виде в смеси с водой (зерновые замесы). Чем меньше размер частиц измельченного зерна и однороднее зерновой замес при смешивании измельченного зерна с водой, тем быстрее происходят набухание, клейстеризация крахмала и выход спирта в конечном итоге.

Важным параметром являются реологические свойства обрабатываемого сырья, от них при гидродинамической ферментативной обработке зависят величина энергозатрат на его обработку и транспортирование, а также количество необходимых ферментных препаратов для снижения его вязкости. Существует проблема обработки замесов при повышенной концентрации сухих веществ. Вязкость замеса определяется состоянием крахмальных зерен и их способностью в процессе клейстеризации набухать. Снижение вязкости смеси позволяет снизить энергозатраты на ее обработку, для данных целей применяют ферментные препараты и различные вещества. Вязкость замеса зависит от гидромодуля, причем при гидромодуле (соотношение зерна к воде) 1:2,5 замес превращается в плотную густую массу. На предприятиях обычно используют значение гидромодуля, равное 1:3.

Для интенсификации процессов, протекающих при гидродинамической ферментативной обработке, используют процесс перемешивания. В существующих аппаратах применяют два типа перемешивания: механический (с использованием лопастных мешалок) и циркуляционный.

Необходимо отметить, что совершенствование процесса перемешивания в аппаратах гидродинамической ферментативной обработки значительно повышает качественные характеристики сырья перед этапами осахаривания и брожения, что прямым образом влияет на эффективность и производительность всего технологического процесса производства спирта.

Основным является механический способ перемешивания, при котором используются мешалки с вращательным движением рабочих органов. Если для достижения желаемого результата выбран неудачный тип мешалки, большая часть механической энергии может быть затрачена напрасно. Кроме того, использование больших лопастных мешалок уменьшает полезный объем аппаратов, а наличие подвижных частей снижает надежность конструкции в целом. К общим недостаткам лопастных мешалок относятся малая интенсивность перемешивания густых и вязких жидкостей, а также полная непригодность для перемешивания легко расслаивающихся веществ.

Циркуляционное перемешивание осуществляется при помощи насоса, перекачивающего жидкость по замкнутой системе: смеситель — насос — смеситель. Интенсивность циркуляционного перемешивания зависит от кратности циркуляции, т. е. отношения подачи циркуляционного насоса в единицу времени к объему жидкости в аппарате. Перемешивание данным способом характеризуется малой интенсивностью процесса и повышенным временем экспозиции.

Несмотря на все многообразие способов перемешивания отсутствует универсальный критерий, который позволил бы выбрать соответствующую мешалку для каждого конкретного процесса. Остается актуальным исследование процесса перемешивания для конкретных продуктов с учетом их свойств и современных требований к энергоэффективности перемешивающего оборудования. Нет точных методик расчета перемешивающих устройств, применяемых при гидродинамической ферментативной обработке зерновых замесов. Вопрос исследования процесса перемешивания в аппаратах ГДФО особенно актуален в свете политики повышения эффективности производств различных отраслей промышленности.

Перспективным направлением развития и модернизации перемешивающего оборудования является струйное перемешивание жидкотекучих пищевых сред, которое подразумевает замещение классических перемешивающих устройств струйными мешалками. При струйном перемешивании передача движения покоящейся жидкости происходит за счет сил трения между элементарными объемами жидкости. Количество вещества, уходящего из струи за счет поперечных пульсаций, увеличивает скорость соседних со струей слоев жидкости. На их место приходят эле-

ментарные объемы покоящейся жидкости, которые уменьшают скорость струи. На границе между струей и окружающей жидкостью образуется пограничный слой, который постепенно расширяется, захватывая, с одной стороны, окружающую жидкость, с другой — ядро струи: область, где струя сохраняет постоянную скорость, равную ее начальной скорости [3].

Способ перемешивания затопленными струями имеет ряд неоспоримых преимуществ: отсутствие подвижных частей в мешалке, простота конструкции, повышенная износостойкость, что в перспективе использования ее в аппаратах ГДФО приведет к повышению эффективности процессов производства спирта.

Для задания струям определенных свойств и силовых характеристик используют насадки. Когда необходимо иметь максимальные силовые характеристики струи, применяются конически сходящиеся насадки. При движении жидкости через данный тип насадок кроме внутреннего сужения имеет место и вторичное внешнее поджатие струи при выходе ее из насадка. Проведенные опытные исследования и наблюдения показывают, что коэффициент внешнего сжатия ϵ , коэффициент расхода μ и коэффициент скорости φ конически сходящихся насадков зависят от угла конусности α . Круглые конические насадки с углом конусности $13,5^\circ$ являются оптимальным выбором, так как имеют высокий коэффициент расхода и относительно простую конструкцию [4].

Важнейшим параметром затопленной струи как рабочего органа перемешивающего устройства является ее силовая характеристика. В РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» для исследования силовых характеристик струи была разработана экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 2.

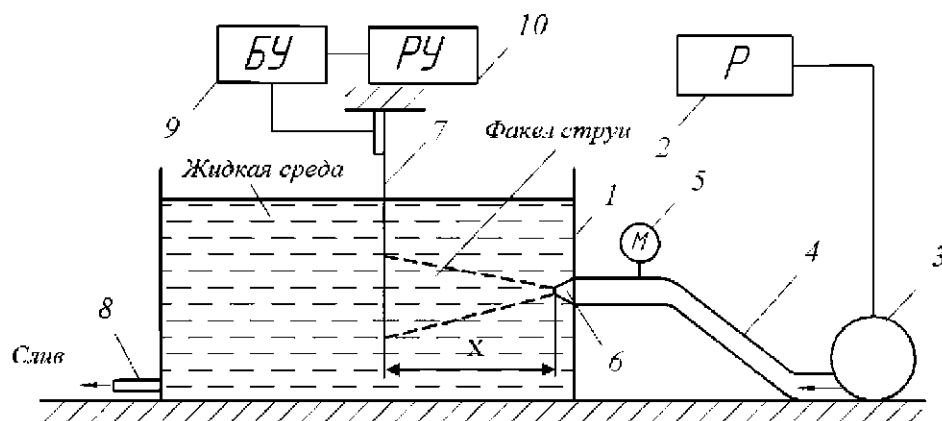


Рис. 2. Схема установки для изучения силовых характеристик затопленной струи:

1 — рабочая емкость; 2 — регулятор работы насосного узла; 3 — насосный узел; 4 — питающий трубопровод; 5 — манометр; 6 — насадка (сопло); 7 — преграда с тензометром; 8 — сливной патрубкок; 9 — блок усиления тензометрического устройства; 10 — регистрирующее устройство

В качестве рабочей среды использовались вода и ржаные замесы с гидромодулями 1:3, 1:4. При проведении испытаний регистрировались параметры давления в питающем трубопроводе 4, сила воздействия затопленной струи на преграду 7, затраты энергии и расстояние X от среза сопла до преграды. В конструкции установки допускается использование различных типов насадков. Данные силового воздействия струи на преграду, полученные в результате экспериментов, представлены на рис. 3.

По результатам проведенных исследований струй в заданных рабочих средах получены зависимости значения сил струи при различной плотности жидкой среды, получены максимальные значения силы воздействия струи на преграду: для воды на расстоянии 40–50 мм от среза сопла, для зерновых замесов это расстояние составило 100–150 мм, что необходимо учитывать при планировании расположения сопел в рабочем объеме аппаратов. Установлено, что наиболее эффективным является сопло диаметром 8 мм, так как при дальнейшем увеличении диаметра

при неизменном давлении в питающем трубопроводе реактивные свойства струи ухудшаются. Таким образом, с помощью затопленных струй, в зависимости от расположения, возможно как создать зоны локальной турбулентности, создавая встречные потоки, так и обеспечить движение жидкой среды по всему объему аппарата, устанавливая сопла тангенциально цилиндрической поверхности аппарата. Полученные результаты исследований воздействия затопленных струй на жидкотекучие продукты позволят обосновать конструктивные параметры струйных мешалок при проектировании нового и модернизации существующего оборудования.

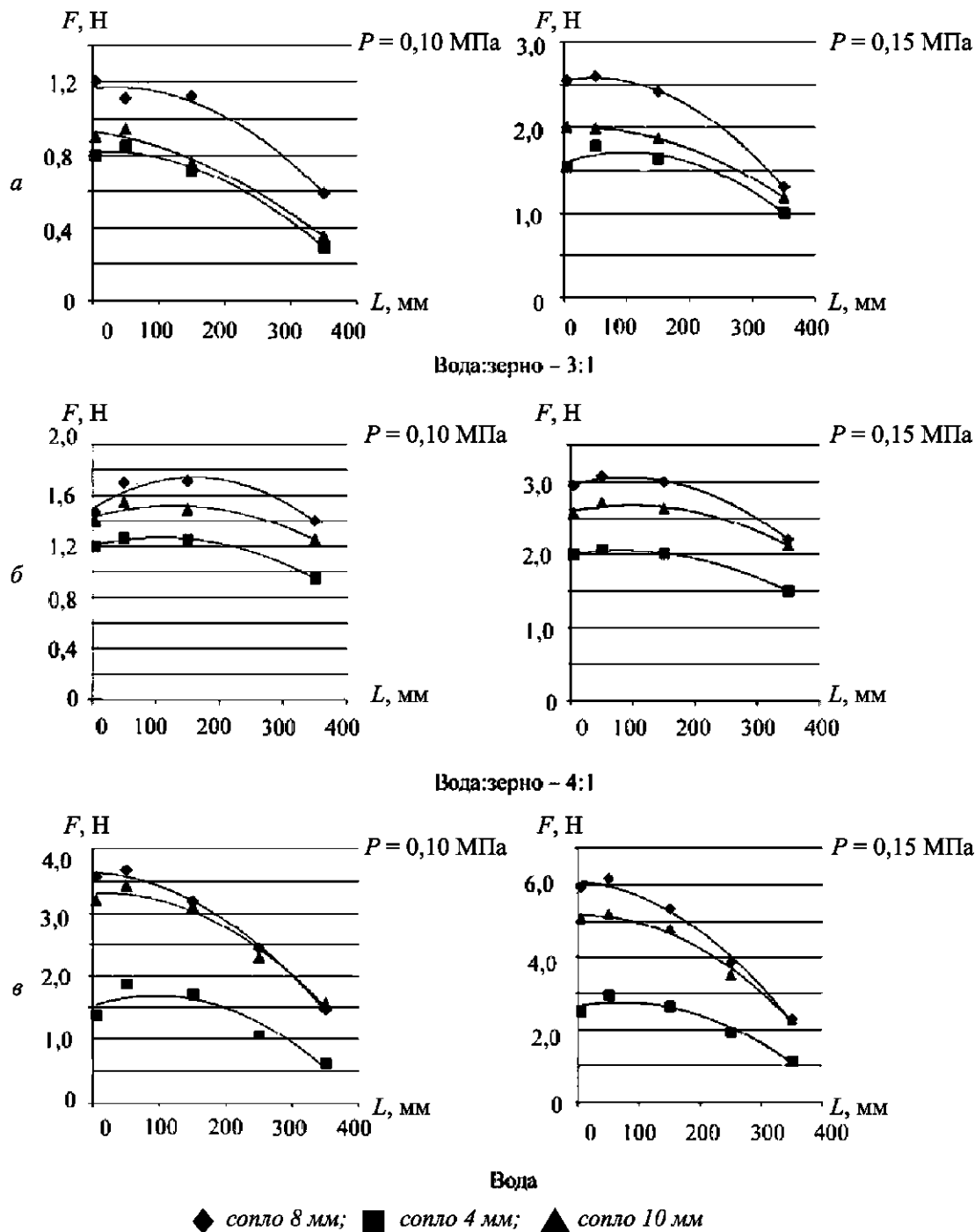


Рис. 3. Зависимость силы F с которой затопленная струя воздействует на преграду на расстоянии L при различных параметрах выходного диаметра и рабочего давления P при различных концентрациях смеси (соотношения воды к помолу зерна): а — 3:1; б — 4:1; в — вода

ЛИТЕРАТУРА

1. Орехов А. И. Спиртовая промышленность Республики Беларусь: современное состояние и перспективы развития / А. И. Орехов // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2011. — № 1(11). — С. 3.
2. Чешинский Л. С. Рынок зернового сырья для производства спирта / Л. С. Чешинский // Пиво и напитки. — 1999. — № 5. — С. 38.
3. Чугаев, Р. Р. Гидравлика / Р. Р. Чугаев. — 3-е изд., доп. и испр. — Ленинград: Энергия, 1975. — 599 с.
4. Абрамович, Г. Н. Теория турбулентных струй / Г. Н. Абрамович, Т. А. Гиршович, С. Ю. Крашенинников. — 2-е изд. — М.: Наука, 1984. — 716 с.

Рукопись статьи поступила в редакцию 16.05.2012

Z. V. Lovkis, A. A. Sadovski

FORCE INFLUENCE IMPACT OF THE SUBMERGED JET THE PREPARATION OF ALCOHOL PRODUCTION MIXTURES PER

In article the analysis of a stage of grain raw materials hydrodynamic processing for spirit production is carried out. Replacement classical blade mixers by jet mixers in devices of hydrodynamic and enzymatic processing (HDEP) in spirit manufacture is considered. The scheme of experimental installation for research of power characteristics of jets is offered. Results of power influence research of the submerged jet on a barrier are resulted and the results reflecting changes of force of liquid influence depending on design data of a nozzle, its arrangement, properties of the liquid environment are presented. The obtained data allows to unite theoretical and practical knowledge for designing of a technique of engineering calculation of constitutive data of HDEP devices with application of a jet mixer.

УДК 636.087.25

В данной статье представлены результаты исследований по оптимизации режимов тепловой обработки смеси ингредиентов перед формованием полуфабриката картофельных снеков методом теплой экструзии. Установлены зависимости температуры и массовой доли влаги смеси от температуры греющего агента в рубашке смесителя и продолжительности нагревания смеси для открытого и закрытого смесителей.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ СМЕСИ ИНГРЕДИЕНТОВ ПЕРЕД ФОРМОВАНИЕМ ПОЛУФАБРИКАТА КАРТОФЕЛЬНЫХ СНЕКОВ МЕТОДОМ ТЕПЛОЙ ЭКСТРУЗИИ

РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Беларусь

*М. П. Шабета, главный специалист отдела технологий продукции из корнеклубнеплодов;
А. В. Куликов, кандидат технических наук, заместитель начальника отдела технологий
продукции из корнеклубнеплодов — старший научный сотрудник;*

*Н. Н. Петюшев, кандидат технических наук, начальник отдела технологий продукции
из корнеклубнеплодов;*

ОАО «Машпищепрод», г. Минск, Беларусь

М. И. Котов, директор

Экструзионная технология — один из самых перспективных и высокоэффективных процессов, совмещающих термо-, гидро- и механическую обработку сырья и позволяющих получать