

УДК 661.722:658.567.1

И. Н. Кузнецов, аспирант (БГТУ); Н. С. Ручай, доцент (БГТУ)

АНАЛИЗ МИРОВОГО ОПЫТА В ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ

Систематизирована современная информация о методах переработки отхода производства этанола – послеспиртовой барды, применяющихся в мировой практике или рекомендуемых для использования. Произведен сравнительный анализ существующих технологий, обоснована экономически рациональная схема переработки послеспиртовой барды.

Modern information about methods of conversion of ethanol production waste – an stillage using in world practice or recommended for use is systematized. The analysis of existing technologies is made and economically rational technological scheme of the conversion of stillage is motivated.

Введение. Производство этанола из углеводсодержащего сырья сопровождается образованием крупнотоннажного отхода – послеспиртовой барды, количество которой во много раз превосходит выход продукта и достигает 135–150 м³ на 1000 дал этанола. При масштабах производства этанола в Республике Беларусь 9,6 млн. дал в год общий объем послеспиртовой барды составляет около 1,3 млн. м³. Основным сырьем для производства высококачественного этанола в Республике Беларусь является зерно злаков (пшеница, рожь, тритикале). Зерновая послеспиртовая барда содержит 6–8% сухих веществ, которые включают 26–28% сырого протеина, 12,8–13,4% клетчатки, 6,0–7,5% жира, 40,0–50,0% безазотистых экстрактивных веществ, 7,6–7,8% минеральных веществ. Около 50% сухих веществ находятся в барде в растворенном состоянии, а вторая половина – в виде взвешенных веществ (дробина). В барде присутствуют мертвые клетки дрожжей-продуцентов этанола (источник протеина), органические кислоты, аминокислоты, витамины, микро- и макроэлементы. Наличие протеина и биологически активных веществ придает барде самостоятельную кормовую ценность, в связи с чем основным методом утилизации послеспиртовой барды в отечественной практике является реализация натуральной барды в качестве кормовой добавки. Однако барда не подлежит длительному хранению (развиваются гнилостные процессы), имеет место сезонность спроса на барду, существенны затраты на доставку ее потребителю. Кроме того, переваримость сырого протеина барды низкая и составляет около 52%. Этот показатель может быть увеличен до 85–89% обогащением барды белком в результате аэробного культивирования на барде дрожжей рода *Candida*. При этом резко возрастает кормовая ценность барды, появляется возможность получения полноценной кормовой белково-витаминной добавки.

Этот метод микробиологической переработки барды применяется на ряде спиртовых заводов Российской Федерации и освоен в

опытно-промышленных масштабах на Бобруйском РУП «Гидролизный завод». Промышленная реализация технологии на серийном отечественном оборудовании показала ее недостатки: большие затраты энергии на аэрацию барды в дрожжерастильных аппаратах и на последующее обезвоживание дрожжевой биомассы при невысоком выходе продукта. Практически реализация продукта позволяет только покрыть затраты на его производство.

В настоящее время на предприятиях отрасли барда чаще всего является обременительным отходом, создающим угрозу экологической обстановке вокруг предприятия. Несмотря на то, что накоплен достаточно большой мировой опыт переработки барды, главным препятствием для реализации имеющихся технологий являются большие энергетические затраты на производство сухих продуктов в связи с высокой влажностью барды.

Таким образом, в Республике Беларусь проблема эффективной утилизации послеспиртовой барды остается нерешенной при существующей тенденции к увеличению мощностей по производству этанола.

Основная часть. Используемые в мировой практике и предлагаемые технологии базируются на четырех принципиально различающихся методах:

- получение сухой барды;
- аэробная микробиологическая переработка жидкой фазы барды с получением белоксодержащего кормового продукта;
- анаэробная переработка барды с получением биогаза;
- комбинированные схемы, включающие механическое разделение барды, микробиологическую переработку фугата и очистку отработанной культуральной жидкости.

Технология сухой барды (продукт DDGS). Широко применяется в мировой практике (особенно в США) на предприятиях по производству топливного биоэтанола [1]. Схема процесса представлена на рис. 1.

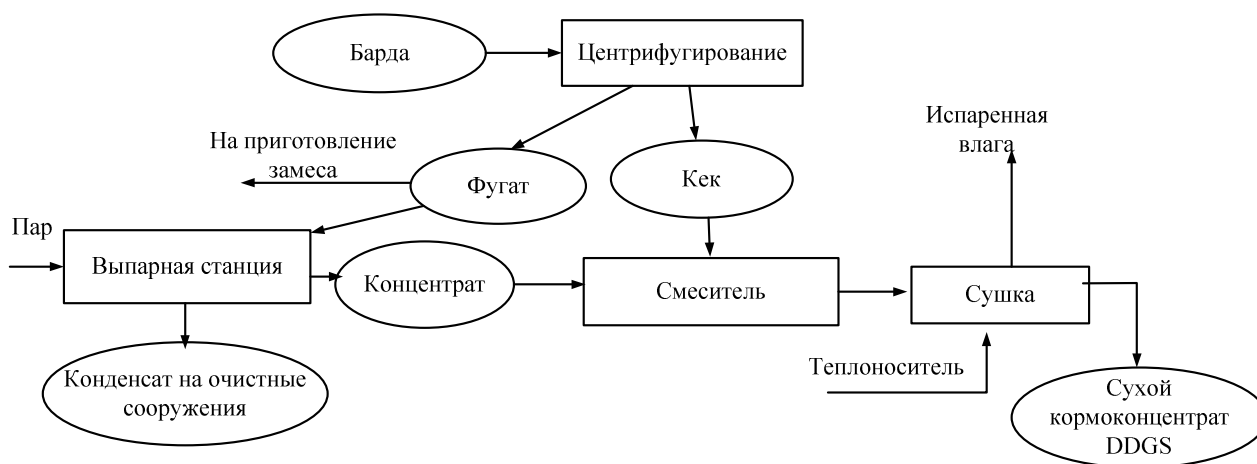


Рис. 1. Технология сухой барды

Взвешенные вещества барды отделяются центрифугированием. Фугат частично используется в основном производстве, а большая часть его упаривается в трех- или четырехкорпусной выпарной установке до концентрации сухих веществ 30–35%. Концентрат смешивается с кеком и частью сухого продукта (влажность смеси около 50%) и высушивается в сушилке барабанного типа. Технология требует значительных энергетических затрат на обезвоживание барды, доля переваримого протеина в продукте невысокая. Конденсат выпарной установки имеет высокий уровень загрязненности (1500–3000 мг O_2 /л по ХПК) и требует отдельной очистки, что не заложено в технологии. Тем не менее, сформировался мировой рынок продукта, технология обеспечена серийно изготавливаемым оборудованием.

В странах Евросоюза основным продуктом переработки барды также является DDGS, объем производства которого в 2007 г. составил около 2 млн. т при средней цене на DDGS на внутреннем рынке Евросоюза 115 дол. США за 1 т.

В Российской Федерации на ряде спиртовых заводов реализована укороченная схема переработки барды в продукт DDG (перерабатывается только твердая фаза барды – кек). Цена продукта DDGS на российском рынке 2500–3300 рос. руб. за 1 т.

В США практически весь объем послеспиртовой барды, получаемой на заводах по производству пищевого спирта и топливного этанола, перерабатывается в кормовые добавки. В 2007 г. в США произведено около 12 млн. т продуктов переработки послеспиртовой барды, из которых примерно 10% экспортированы в виде DDGS в различные страны мира.

Разработанная в Швеции технология топливного биоэтанола «Biosil 2000», предлагаемая компанией «Гринфилд» (Ирландия) [2, 3],

предусматривает сепарационное выделение дрожжей из бражки и возврат их в бродильный аппарат. Получаемая по этой технологии барда содержит около 30% сухих веществ и направляется на сушку без предварительного концентрирования упариванием. Высокая концентрация дрожжей в ферментационной среде обеспечивает повышенное содержание протеина в высушенном концентрате барды в сравнении с кормовым продуктом, полученным по традиционной технологии, уменьшается объем производственных стоков.

ЗАО «Гримма-Миасс-Нефтемаш» предложена технология переработки барды в сухой кормопродукт [4], отличающаяся тем, что концентрирование фугата осуществляется не упариванием, а на микрофльтрационной или обратноосмотической мембранной установке. Технология испытана в масштабах пилотной установки на ООО «Талицкий спиртовой завод». Применение мембранных установок позволяет резко уменьшить затраты энергии на концентрирование фугата, однако производительность установок невысокая из-за низкой пропускной способности мембран.

Аэробная микробиологическая переработка барды. Принципиальное отличие настоящей технологии от предыдущей состоит в том, что жидкая часть барды (фугат) не подвергается упариванию, а используется в качестве питательной среды для аэробного культивирования дрожжей – продуцентов белка [2]. При наличии различных вариантов реализации технологии общая схема микробиологической переработки барды имеет следующий вид (см. рис. 2).

В качестве продуцентов белка используют дрожжи родов *Candida*, *Trichosporon*. Технология непригодна для спиртзаводов небольшой мощности, т. к. требует больших капиталовложений, значительных эксплуатационных

затрат. Низкое содержание ассимилируемого субстрата в барде не позволяет достичь высокой продуктивности процесса культивирования продуцентов белка. В среднем продуктивность культур по сухой биомассе колеблется в пределах 1,9–3,0 кг/(м³ · ч). Для увеличения производительности процесса ферментации и выхода продукта с более высоким содержанием белка предложена технология переработки барды в смеси с крахмалсодержащими продуктами, например, мукой (в количестве 3%) или ферментализатом зернового сырья (10–20%).

Использование в данном технологическом процессе в качестве продуцентов белка, обладающего амилазной активностью консорциума микроорганизмов в составе дрожжеподобного гриба *Saccharomycopsis fibuligera* ВСБ-12 и бактерий *Rhodococcus erythropolis* ВСБ 655, позволяет получить продукт с содержанием сырого протеина более 55%, а продуктивность консорциума по сухой биомассе достигает 5,7–6,2 кг/(м³ · ч) [6].

Компания ООО «АМТ» совместно с ООО «СПС-Наладка» (г. Санкт-Петербург) предлагает технологию получения дрожжевого кормового концентрата (ДКК) [5], по которой исходная барда предварительно обрабатывается ферментным препаратом при температуре 50–60°C в течение 1 ч для обогащения ассимилируемым дрожжами субстратом за счет ферментативного перевода части взвешенных веществ в растворенное состояние. Обогащенная барда в дальнейшем перерабатывается по приведенной ниже схеме. Для сушки продукта рекомендуется использовать сушильную роторно-грубчатую паровую печь (SHG-600, КНР), которая в три-четыре раза менее энергозатратна, чем распылительная сушилка.

Сравнительные технико-экономические расчеты показывают, что при выработке 1000 л этанола можно получить 1135 кг DDGS с содержанием белка 301 кг (26%) или 1241 кг ДКК с содержанием белка 556 кг (44%). При этом расход условного топлива в производстве ДКК в 1,5 раза ниже, чем при получении DDGS.

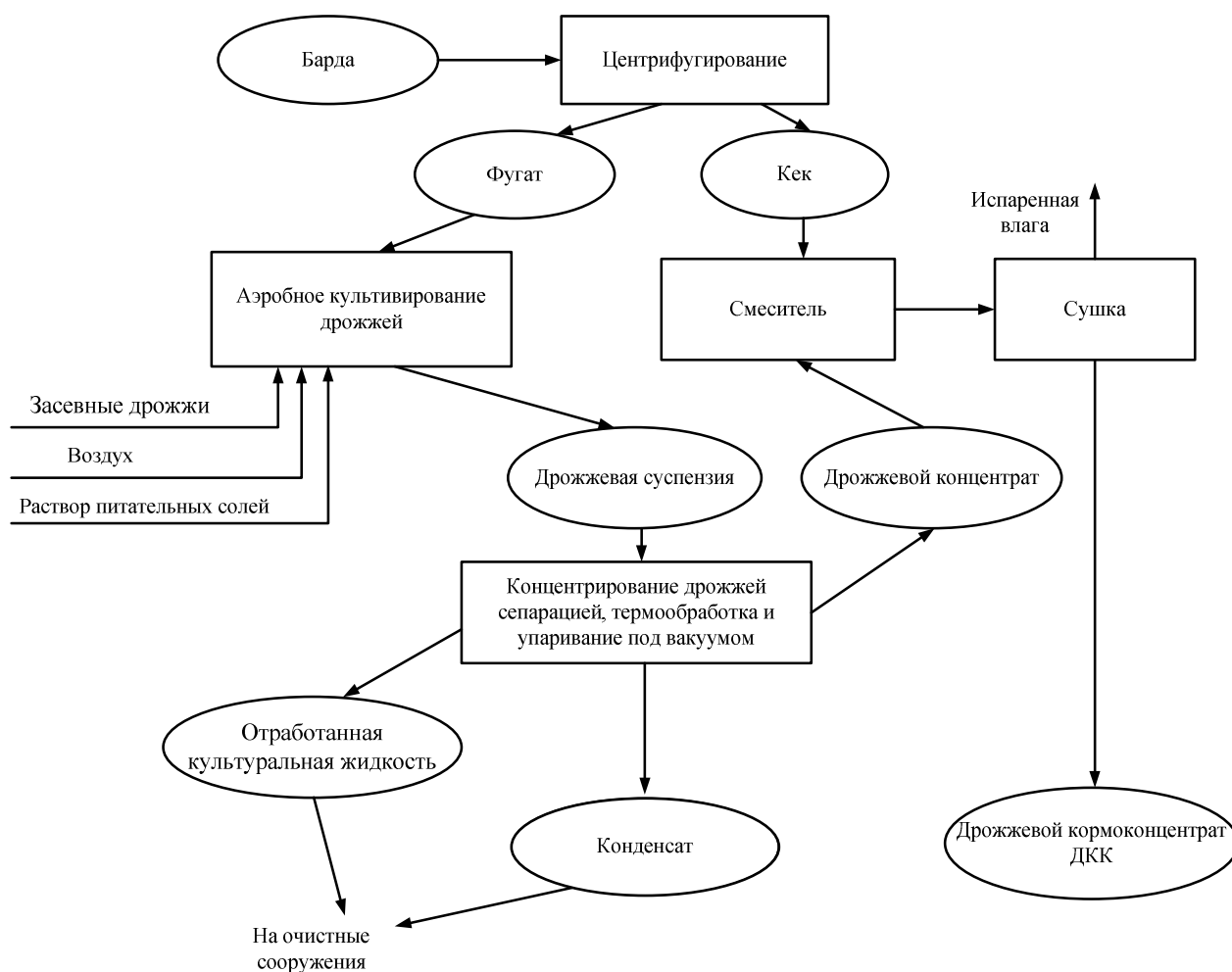


Рис. 2. Схема производства кормового продукта ДКК при аэробной микробиологической переработке барды

Анаэробная переработка послеспиртовой барды с получением биогаза. Себестоимость продуктов переработки барды по рассмотренным выше технологиям находится в жесткой зависимости от цен на энергоносители. В этом отношении явные преимущества имеют технологии анаэробной переработки барды, продуктом которых является биогаз, содержащий 70–80% метана. Энергетический потенциал биогаза составляет 20–27 МДж/н · м³.

Мировое производство биогаза из различных отходов составляет более 700 млрд. м³ в год. Биогазовые технологии широко распространены в Китае, Индии, США, Канаде, Германии, Швеции. В Евросоюзе лидером в производстве и использовании биогаза является Германия, где эксплуатируется более 250 теплоэлектростанций, работающих на биогазе [7].

Состав биогаза, а также его выход сильно зависят от природы (химического состава) перерабатываемого отхода, режима процесса и колеблется в достаточно широких пределах, % об.: CH₄ (метан) – 55–80, CO₂ – 15–45, N₂ – до 5, O₂ – до 3, H₂S – до 3.

По имеющимся данным [8] выход биогаза из 1 т барды составляет 40–100 нм³ при содержании метана 65–70% [8]. Разработчики биогазовых технологий отмечают, что для каждого вида барды технологические регламенты необходимо разрабатывать на основании экспериментального определения оптимальных условий анаэробного разложения органических веществ.

Члены ассоциации водных технологий (Российская Федерация) [9] предлагают для внедрения малоотходную технологию переработки зерновой барды (рис. 3), которая включает в себя следующие основные ступени:

- сбор и предварительное кислое сбраживание барды в течение 12–16 ч за счет кислотогенных бактерий, одновременное отстаивание плотной части барды;

- фильтрация плотной части барды на сетчатых барабанных фильтрах с пористостью сетки 1,5 мм с отделением дробины от жидкой фазы барды;

- охлаждение жидкой фазы барды до 40–60°C;

- подщелачивание охлажденной жидкой фазы барды до pH 6,0 – изоэлектрической точки основной массы растворенных аминокислот в целях максимального перевода их в нерастворимые коллоиды; обезвоживание жидкой фазы барды на фильтр-прессах с мембранными фильтрующими пластинами, позволяющими получить кек влажностью до 40–50% и глубоко очищенный от взвешенных веществ фильтрат с концентрацией органических загрязнений по ХПК 15 000–20 000 мг O₂/л;

- сушка обезвоженной части барды и отфильтрованной дробины в вакуумных керамических инфракрасных сушилках с получением кормового продукта;

- сбраживание фильтрата барды в анаэробных биореакторах с использованием специальных ферментов, активизирующих процессы брожения и уменьшающих продолжительность сбраживания растворенных органических веществ до 18–36 ч;

- осветление сброженного в биореакторах фильтрата на скоростных полочных отстойниках с повторным использованием отстоявшегося ила в биореакторах;

- возврат 50% осветленных на отстойниках растворов с концентрацией остаточных органических веществ по ХПК 1500–2000 мг O₂/л в основное производство спирта;

- доочистка оставшейся части осветленных на отстойниках растворов методом гальванокоагуляции и шпинельной ферритизации с последующим отстаиванием и сорбционно-механической фильтрацией до уровня загрязнений по ХПК 30–50 мг O₂/л;

- использование 30% воды после доочистки для технических нужд завода (подпитка системы охлаждения оборудования, промывка технологического оборудования и т. п.);

- сброс в городскую канализацию 20% очищенной воды с показателями по уровню загрязненности, отвечающими требованиям Горводоканала.

Компания «ZORG» (Украина) предлагает упрощенную технологию анаэробной переработки барды [8, 10]: жидкий сброженный остаток барды после получения биогаза используется в качестве удобрения, которое содержит азот, фосфор, калий, является экологически чистым биоудобрением без патогенных микроорганизмов и специфических запахов. Биогазовая установка включает емкость для сбора барды, реактор кислого брожения, метантенк, емкость сброженной массы, хранилище сброженной массы, систему очистки биогаза.

Анаэробное сбраживание барды в термофильных условиях (50–55°C) может быть использовано для получения биогаза и кормового препарата витамина B₁₂ (цианкоболамина). В Российской Федерации такая технология хорошо отработана в промышленных масштабах на ацетонобутиловой барде и в принципе применима для переработки послеспиртовой барды. Витамин B₁₂ играет важную роль в обмене веществ у сельскохозяйственных животных и птиц, способствует их росту, повышает степень усвоения растительного белка.

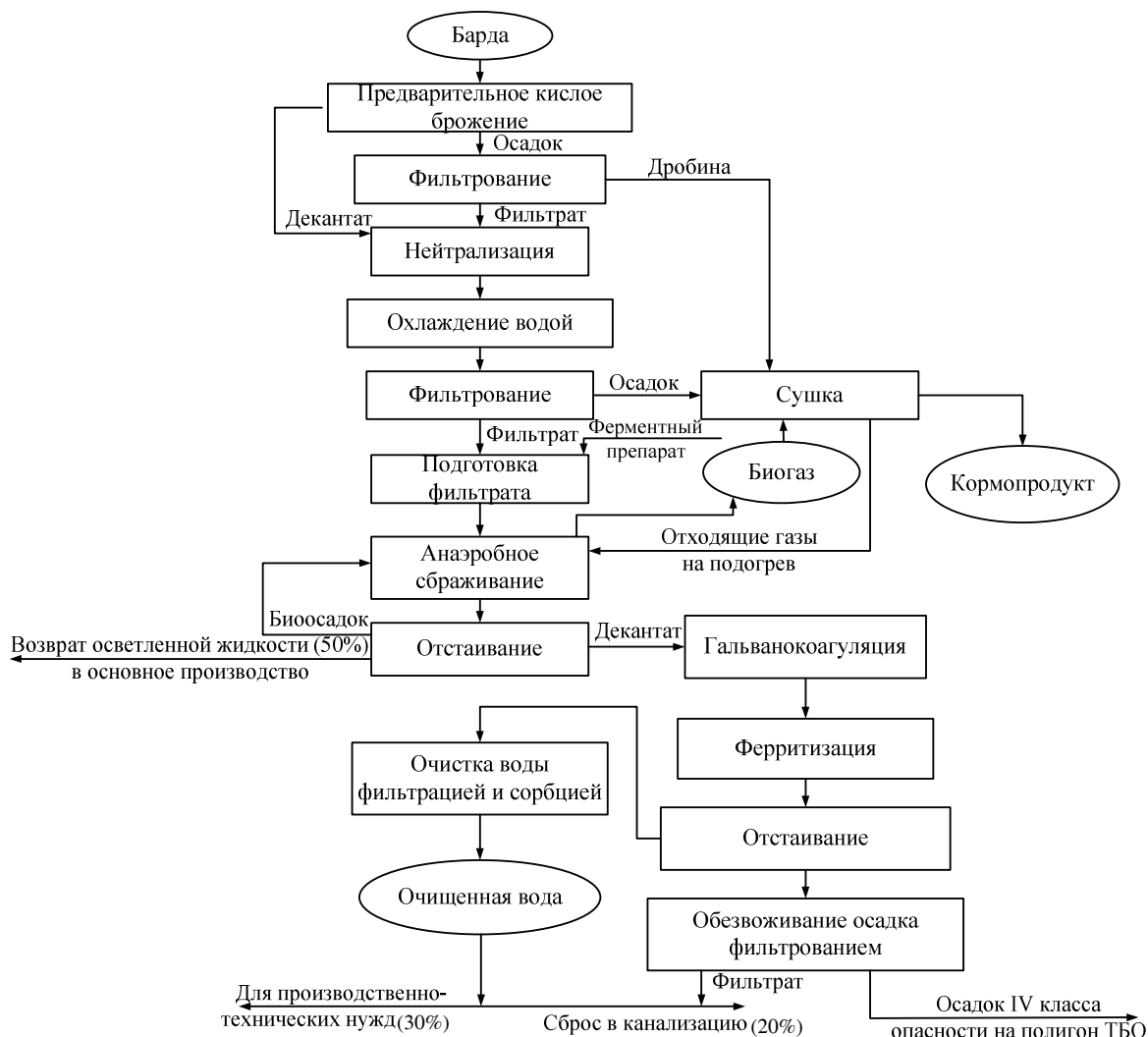


Рис. 3. Схема малоотходной технологии комплексной переработки зерновой барды

Добавка витамина особенно важна при несбалансированности кормов по аминокислотному составу [6].

При анаэробном сбраживании барда обогащается витамином В₁₂ за счет продуцирования его метановыми бактериями. Биосинтез витамина интенсифицируется при обогащении барды солями кобальта, метанолом или этанолом, 5,6 – диметилбензимидазолом (5,6 – ДМБ). В частности, при добавлении к барде метанола (1%) и 5,6 – ДМБ (5 мг/л) содержание витамина в сброженной барде возрастает в 4,5 раза.

Сотрудники ООО «Биотех-Инжиниринг» и ВНИИПБТ (г. Москва) разработали новую технологию переработки послеспиртовой барды для получения белковой кормовой добавки [11], особенность которой состоит в том, что барда подвергается микробиологической обработке с помощью специально селекционированного консорциума анаэробных микроорганизмов, накапливающих биомассу и вещества (органические кислоты, ферменты), которые

обладают пробиотическим действием. Консорциум микроорганизмов состоит из двух штаммов молочнокислых и пропионовокислых бактерий, которые культивируют парами: например, *Lactobacillus acidophilus* 1660/02 и *Propionibacterium freudenruchii* 103/12 или *Lactobacillus acidophilus* 1660/02 и *Propionibacterium acnes* 1450/28. Эти микроорганизмы являются анаэробами, при их выращивании не требуется аэрация питательной среды, что делает процесс высокоэкономичным.

Микроорганизмы непатогенны, нетоксичны, разрешены для использования в производстве ветпрепаратов. Совместное выращивание бактерий при температуре 37–50°C и pH 5,9–6,0 при периодическом перемешивании. Продолжительность ферментации 24 ч (получают продукт, содержащий живые клетки бактерий в активной фазе роста) или 50 ч (продукт с повышенным содержанием белка).

«Биобардин» содержит живые клетки молочнокислых и пропионовокислых бактерий,

которые обогащают микробиоту кишечника животных, подавляют развитие патогенных микроорганизмов, ускоряют процессы переваривания корма и усвоения питательных веществ. Разработанная технология реализована в опытно-промышленном масштабе на одном из спиртзаводов Рязанской области.

Для выбора и обоснования рациональной технологии переработки послеспиртовой барды произведен сравнительный технико-экономический анализ технологических схем, разработанных или нашедших применение в мировой практике. Главное внимание уделено энергозатратам на переработку барды, определяющим

себестоимость продукции и экономическую целесообразность производства. Результаты анализа технологических схем переработки барды приведены в таблице.

Приведенный анализ свидетельствует о преимуществе в энергетическом отношении метода переработки барды в биогаз перед другими технологиями. Используя энергию биогаза на собственные технологические нужды, можно резко снизить себестоимость сопутствующего кормового продукта и гарантировать рентабельность переработки послеспиртовой барды даже при наличии энергозатратных технологических операций.

Анализ технологических схем переработки барды

Достоинства метода	Недостатки технологии	Важнейшие технико-экономические показатели для данного метода
<i>Технология сухой барды (DGGS)</i>		
– Простота технологии; – использование серийно изготавливаемого оборудования	– Высокая стоимость выпарных станций; – большие затраты энергии на процессы упаривания и сушки; – невысокая кормовая ценность продукта из-за большой доли клетчатки; – высокая загрязненность конденсата, подлежащего очистке (ХПК 2000–3000 мг/л)	Расход энергии на переработку 14,6 т/ч барды (350 т/сут) [5]: – центрифугирование – 60 кВт; – упаривание – 140 кВт, пар – 2,8 т/ч ($p = 0,5$ МПа) или 1,4 Гкал; – сушка – 70 кВт, пар – 3,0 т/ч ($p = 0,5$ МПа) или 1,5 Гкал. Выход сухого продукта из 14,6 т барды – 1135 кг, в том числе общий белок 301 кг (26,5%). Суммарные затраты энергии в пересчете на 1 т продукта: электроэнергия – 238 кВт · ч, пар – 2,6 Гкал
<i>Технология переработки барды в дрожжевой концентрат (ДКК)</i>		
– Высокое содержание белка в продукте; – полная переработка барды	– Многостадийность технологического процесса; – большие капитальные вложения; – большие затраты энергии на аэробное культивирование дрожжей и обезвоживание биомассы; – высокая загрязненность отработанной культуральной жидкости, подлежащей очистке (ХПК 4000–6000 мг/л)	Расход энергии на переработку 14,6 т/ч барды (350 т/сут) [5]: – центрифугирование – 60 кВт; – аэробное культивирование дрожжей – 280 кВт; – концентрирование дрожжевой суспензии – 70 кВт; – упаривание дрожжевого концентрата – 28 кВт, пар – 0,28 Гкал; – сушка – 70 кВт, пар – 3,0 т/ч ($p = 0,5$ МПа) или 1,5 Гкал. Выход сухого продукта из 14,6 т барды – 1241 кг, в том числе общий белок 556 кг (44%). Суммарные затраты энергии в пересчете на 1 т продукта: электроэнергия – 409 кВт · ч, пар – 1,43 Гкал
<i>Технология белкового кормового продукта на основе анаэробных бактерий (продукт «Биобардин»)</i>		
– Низкие энергетические затраты на процесс анаэробного выращивания бактериальной массы; – получение продукта, обладающего пробиотическим действием; – высокое содержание сырого протеина в продукте	– Необходимость накопления посевного материала двух видов бактериальных культур (20% от объема барды) в условиях асептики; – высокая загрязненность отработанной культуральной жидкости, подлежащей очистке	Отсутствует информация о технико-экономических показателях процесса

Окончание таблицы

Достоинства метода	Недостатки технологии	Важнейшие технико-экономические показатели для данного метода
<i>Производство биогаза из барды (Компания «ZORG»)</i>		
<ul style="list-style-type: none"> – Простота технологии; – малые энергетические затраты на процесс; – получение биогаза – источника электрической и тепловой энергии; – реализация сброженного остатка в качестве биоудобрения 	<ul style="list-style-type: none"> – Требуются большие объемы метантенков из-за продолжительного (более 20 сут) процесса сбраживания барды; – высокая влажность биоудобрения 	<p>Выход биогаза из 1 т сухого вещества пшеничной барды 630 м³ [10]. При переработке 14,6 т/ч (350 т/сут) барды, содержащей 8% сухих веществ, образуется биогаза:</p> $14,6 \cdot 8 \cdot 630 / 100 = 736 \text{ м}^3/\text{ч}.$ <p>Из биогаза можно получить: электроэнергию $736 \cdot 2,2 = 1619,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ или пара $736 \cdot 21,5 \cdot 0,92 / 4,19 = 3,47 \text{ Гкал}$, где 2,2 – выработка электроэнергии из 1 м³ биогаза; кВт · ч [13]; 21,5 – теплотворная способность 1 м³ биогаза, МДж [12]; 0,92 – к. п. д. газового котла; 4,19 – коэффициент перевода Дж в кал</p>
<i>Малоотходная технология комплексной переработки барды с получением биогаза и кормового продукта</i>		
<ul style="list-style-type: none"> – Низкие энергетические затраты на процесс переработки барды; – получение биогаза, являющегося источником тепловой и электрической энергии; – полная переработка послеспиртовой барды с возвратом части (50–60%) очищенной воды в основное производство 	<ul style="list-style-type: none"> – Громоздкая технологическая схема переработки барды, требующая больших капитальных затрат 	<p>При анаэробной переработке 12,0 т/ч фильтрата (350 т/сут послеспиртовой барды), содержащего 4% растворенных сухих веществ, количество образующегося биогаза:</p> $12,0 \cdot 4 \cdot 630 / 100 = 302 \text{ м}^3/\text{ч}.$ <p>Из этого количества биогаза можно получить: электроэнергию $302 \cdot 2,2 = 664,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ или пара $302 \cdot 21,5 \cdot 0,92 / 4,19 = 1,4 \text{ Гкал}$.</p> <p>Выход сухого кормового продукта при переработке 14,6 т/ч (350 т/сут) барды 500–550 кг/ч</p>

На основании выполненного анализа существующих технологий рекомендуется энергосберегающая схема переработки барды в биогаз и кормовой продукт (рис. 4), ко-

торая позволяет получить из барды сухой кормовой продукт и использовать энергию образующегося биогаза для обезвоживания продукта.

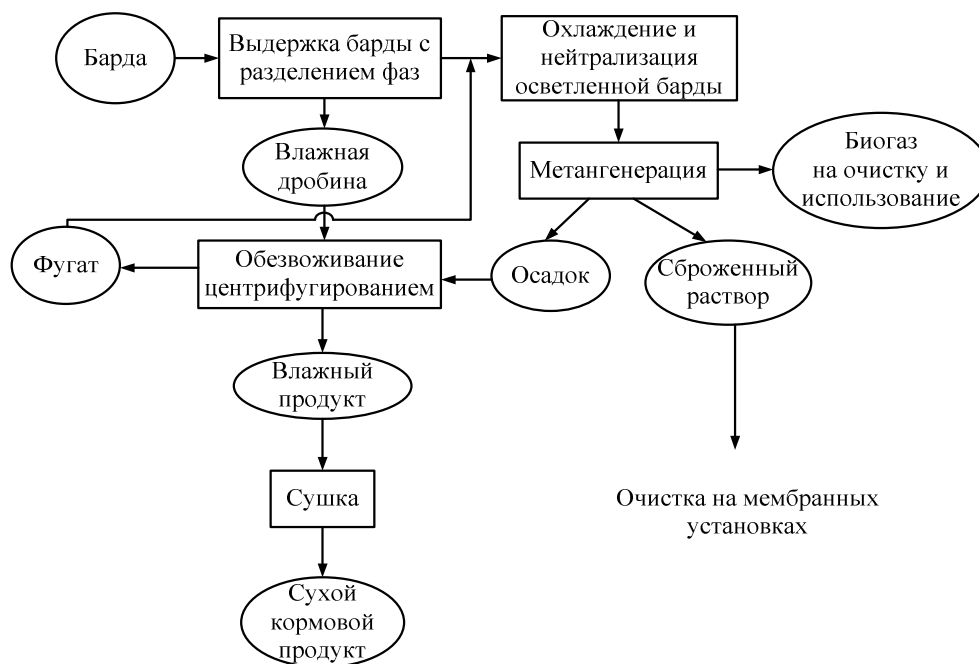


Рис. 4. Технологическая схема переработки послеспиртовой барды

Заключение. Относительно небольшая мощность предприятий спиртовой отрасли Республики Беларусь обуславливает целесообразность применения энергосберегающих анаэробных технологий переработки жидкого отхода – послеспиртовой барды – с получением кормового продукта и биогаза, использование которого на внутризаводские нужды позволяет производить конкурентоспособный белоксодержащий кормовой продукт.

Литература

1. Сайт Российской биотопливной ассоциации [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: www.Bioethanol.ru. – Дата доступа: 15.12.2007.
2. Организация производства топливного этанола в Республике Беларусь: Технико-экономическое обоснование проекта / Компания «Гринфилд проджект менеджмент Лимитед» (Ирландия). – Минск, 2006. – 81 с.
3. «Biostil 2000» technology // Chematur AB [Electronic resource]. – 2007. – Mode of access: www.Chematur.se. – Date of access: 24.10.2007.
4. ЗАО «Грима-Миасс-Нефтемаш» [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: <http://www.g-m-n.ru>. – Дата доступа: 05.07.2008.
5. Технология переработки послеспиртовой барды // ООО «СПС-Наладка» [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: <http://www.spbarda.ru/pages/compare>. – Дата доступа: 05.06.2008.
6. Кухаренко, А. А. Безотходная биотехнология этилового спирта // А. А. Кухаренко, А. Ю. Винаров. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 272 с.
7. Мариненко, Е. Е. Экологические аспекты использования биогаза в СССР и за рубежом / Е. Е. Мариненко, Г. П. Комина. – М.: ВНИИЭ газпром, 1990. – 43 с. (Обзор. информ. Сер. Природный газ и защита окружающей среды).
8. Концепция технологии полной утилизации послеспиртовой зерновой барды // Науч.-техн. Центр «Аквакопром» [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: <http://ktgom.ru/article/read/ytilspirtbard.aspx>. – Дата доступа: 03.04.2008.
9. УкрНИИспиртбиопрод [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: www.spirit.kiev.ua/otdel_ekolog.php. – Дата доступа 15.11.2007.
10. Биогазовые установки // Сайт компании ЗОРГ [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://www.zorg.ua/ru/biogazovye-ustanovki/biogazovaya-ustanovka-na-barde>. – Дата доступа: 10.06.2007.
11. Способ получения белково-кормовой добавки: пат. 2159287 Россия, МПК 7 С 12 Р 21/00, А 23 К 1/06 / А. Ю. Винаров, А. И. Заикина, А. П. Захарычев, В. П. Зобнина, Т. Е. Сидоренко, Ю. В. Ковальский, Р. А. Рогачева, Л. В. Зорина. – № 2000107993/13; заявл. 03.04.2000; опубл. 20.11.2000. – 9 с.
12. Баадер, В. Биогаз: теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер; пер. с нем. и предисловие М. И. Серебряного. – М.: Колос, 1982. – 148 с.

Поступила 26.03.2010