

Отходы сельского хозяйства и мясопереработки

11.1. Краткая характеристика

Сельское хозяйство и мясопереработка — базовые отрасли народного хозяйства. В настоящее время в мире только зерна производится около 2,0 млрд т, мяса — порядка 200 млн т. Столь значительные масштабы выпуска продукции обуславливают весьма существенные количества отходов сельского хозяйства (растениеводство, животноводство) и мясопереработки. В частности, масса послеуборочных пожнивных остатков, корней зерновых культур (рожь, пшеница, овес) и картофеля обычно равна 3-6 т/га. Значительно больше оставляют травы: однолетние (вика, люпин и др.) — 8-12 т/га, многолетние (клевер, люцерна, тимофеевка и пр.) — 12-25 т/га.

В соответствие с зарубежными данными (*Утилизация...* 1985), количество отходов растениеводства составляет 100-150% объемов типичных урожаев полевых культур (помидоры, сахарная свекла, картофель), сои, риса, пшеницы и других зерновых. Это означает, что только ежегодная масса отходов урожая зерновых в мире может быть оценена на уровне 3 млрд т.

Отходы животноводства также весьма существенны и, по оценке автора, равны по навозу 1,0-1,5 млрд т. По мясопереработке они достигают 100 млн т/год.

Сельскохозяйственное производство России создает ежегодно 250 млн т органических отходов, из которых около 140 млн т приходится на растениеводство и порядка 80 млн — на животноводство (Масаев...).

Таким образом, с учетом изложенного и других данных, к наиболее крупнотоннажным видам отходов относятся образуемые при уборке урожая, в гидролизном производстве (меласса, лигнин), навоз и отходы мясопереработки. В определенном смысле к ним принадлежат и выведенные из обращения в результате нерациональной обработки земли сельскохозяйственного назначения, а также загрязненные почвы (Кн. 2, разд. 5.3.2). Как и отходы, рассмотренные в предыдущей главе, они представлены высокомолекулярными органическими соединениями, однако отличаются от них непромышленным происхождением.

Далее рассматриваются основные технологии утилизации отходов сельскохозяйственного производства и мясопереработки, за исключени-

ем лигнина, направления использования которого освещены ранее (разд. 10.4).

11.2. Остатки уборки урожая

При уборке урожая остатками являются ботва, стебли, листья, корни, отбракованные плоды, обрезанные ветви плодовых деревьев и т.п. На 75-90% они состоят из воды, остальная их часть — сухое вещество: безазотистые (углеводы, лигнин, воски, смолы, дубильные компоненты) и азотистые (белки) соединения, зольные элементы (5-10%).

Известно несколько направлений утилизации этих отходов.

Некоторые из них можно перерабатывать, *запахивая* в верхний слой почвы. При этом себестоимость работ не превышает расходов по подготовке земли к посеву.

Следует отметить, что в большинстве остатков уборки урожая соотношение углерода и азота колеблется от 40:1 до 80:1, т.е. они богаче углеродом и беднее азотом, чем чернозем. В последнем оно изменяется от 10:1 до 20:1. Повышенное соотношение углерод/азот может «сжечь» почвенную микрофауну и микрофлору. Во избежание этого отходы необходимо *запахивать* в землю сразу же после уборки урожая. Тогда до следующего сева пройдет достаточно времени, чтобы оптимизировать пропорции углерода и азота.

Внесение азотных удобрений также восстанавливает указанное соотношение. Однако их применение может привести к тому, что в результате ранней вспашки, наступления сезона дождей, чередования заморозков и оттепелей возникнет опасность эрозии почвы.

Сжигание — еще один метод переработки пожнивных отходов. Оно может быть организовано непосредственно на почве в местах их образования, а также в передвижных и стационарных установках.

Сжигание на месте привлекательно тем, что быстро ликвидируется избыток углерода. Однако оно сопровождается сильным загрязнением воздуха.

Сжигание в передвижных печах позволяет избежать этого, но дорого и экономически оправдано лишь на полях ценных семенных трав.

За рубежом созданы разнообразные *стационарные установки* для сжигания растительных отходов мощностью от 1,6 до 8,0 МВт с прямым и косвенным подогревом теплоносителя. Отходы не содержат серы, поэтому являются достаточно экологически чистым видом топлива с низшей теплотворной способностью 13-15 МДж/кг и выходом летучих до 80%.

В качестве топлива используются лузга подсолнечника и риса, сечка соломы, стержни початков кукурузы, стебли кукурузы и подсолнеч-

ника. При этом сжигание мелкодисперсных видов топлива (лузги и сечки) проводят во взвешенном слое.

В России топочные устройства на растительных отходах выпускаются в ограниченных масштабах. Однако на Украине в последнее десятилетие 20 в. создана технология *газификации* лузги подсолнечника (Пологовский маслоэкстракционный завод).

Ежедневно на предприятии образуется до 120 т лузги. Попытки ее непосредственного сжигания в топке вызвали трудности, обусловленные значительным недожогом материала. Поэтому был разработан слоевой газогенератор прямого процесса с периферийным и центральным паро-воздушным дутьем и вращающейся колосниковой решеткой, введенный в опытно-промышленную эксплуатацию в 1995 г. В настоящее время сооружают и другие газогенераторы. Полученный газ сжигают совместно с мазутом в топках котлоагрегатов. Их реконструкция при этом не требуется — достаточно заменить одну из горелок, и котел становится двухтопливным (Масаев...).

Следует отметить возможность применения зольных остатков от сжигания растительных отходов при *производстве вяжущих* портландцементного типа. Известна, например, высокая пуццолановая активность золы пшеничной соломы. Зольность последней составляет 8,6% при содержании в ней до 73% SiO_2 . Дополнительно укажем другие традиционные способы применения соломы: гидролиз для получения лигнина, пищевой клетчатки, целлюлозы, выпуск фурфурола, компостирование.

Новое направление утилизации — использование адсорбционных свойств некоторых отходов уборки урожая и его первичной обработки.

В одном из первых патентов *в качестве адсорбента* нефтепродуктов предложено применять высушенные стержни початков кукурузы. Затем они отжимаются в валках и очищаются сильным растворителем органических веществ. Отжатая нефть пригодна в качестве топлива, стержни используются повторно. Расход адсорбента составляет 10 дм^3 на 1 м^3 нефти (Brown).

В настоящее время известно эффективное применение и других адсорбентов растительного происхождения для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды и сточных вод. Их готовят из шелухи риса, лузги гречихи, костры льна, отходов производства оливкового масла и т.п. Свойства сорбентов: насыпная плотность 80-150 $\text{кг}/\text{м}^3$; удельная поверхность — 500-1000 $\text{м}^2/\text{г}$; емкость поглощения по нефтепродуктам 300-1000%; период насыщения нефтепродуктами 10-30 мин; регенерирование и повторное использование не менее 5 раз; пожаро- и взрывобезопасность, нетоксичность; хранение в течение нескольких лет без ухудшения адсорбционных свойств (Переработка...).

Известны и другие отрасли утилизации отходов уборки урожая: получение спиртов, корма (барды) для сельскохозяйственных животных, биогаза, компоста и т.п. Эти технологии рассматриваются далее в целом, без акцента на остатки уборки урожая.

11.3. Переработка мелассы

11.3.1. Общие сведения

Меласса является одним из побочных продуктов производства сахара из свеклы. Количество сухих веществ в ней составляет 75-83%. Они состоят из 44-53% сахаров (сахарозы до 51%); 14,5-15% азотистых (общих, аммиачных, амидных, аминокислотных, бетаиновых, протеиновых) и 16-17% безазотистых веществ; 8,5-12% золы. Минеральная часть несахаров мелассы включает сернокислые, хлористые, углекислые и фосфорнокислые соли калия, натрия, кальция и железа, ряд микроэлементов. Кроме того, в отходе содержатся витамины.

Основное направление утилизации мелассы — ее комплексная переработка на спиртовых заводах. В СССР на них ежегодно использовалось около 2 млн т этого материала.

На спиртовой завод мелассу доставляют в основном по железной дороге в цистернах или автомобильным транспортом в автоцистернах. На нем она хранится в закрытых металлических резервуарах, оборудованных устройствами для обогрева паром в зимнее время. Емкость резервуаров должна обеспечивать непрерывную работу завода в течение не менее 5 мес., т.е. до нового урожая свеклы.

Технология производства этилового спирта из мелассы основана на ферментативном сбраживании сахаров дрожжевыми микроорганизмами. Она включает подготовку сырья и аппаратуры к сбраживанию и непосредственно сбраживание, а также перегонку бражки. Наиболее эффективное использование мелассы достигается при ее переработке с сахаром-сырцом.

Подготовка смеси к сбраживанию состоит из ряда операций: тепловой обработки (пастеризация и стерилизация); антисептирования; подкисления кислотами; внесения питательных солей; приготовления мелассного сусла и раствора сахара-сырца.

Тепловая обработка имеет целью обезвреживание посторонней микрофлоры мелассы стерилизацией и пастеризацией.

Стерилизация осуществляется нагреванием мелассы котельным паром в теплообменниках до 109-110°C и выдерживанием при этой температуре 1-2 мин. За это время полностью подавляются молочные

бактерии, дикие дрожжи, плесневые грибы и т.п. Стерилизации подвергается и аппарататура сбраживания.

Пастеризация проводится при более низких, чем стерилизация, температурах (85-95°C) и продолжительной выдержке (50-60 мин).

Сахар-сырец подвергают тепловой обработке после его растворения в горячей воде. Температуру раствора (90-95°C) в течение 40-65 мин поддерживают, подогревая его острым паром. После этого сахарный раствор охлаждают до 25-30°C и в смеси с холодной мелассой направляют на последующие стадии процесса.

Тепловое воздействие на мелассу сочетается с обработкой ее *анти-септиками* (формалин, сульфол, хлорная известь) и кислотами (серной, соляной). Обеззараживание раствора сахара-сырца кислотами не допускается, применяют только антисептики.

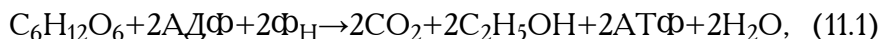
Подкисление мелассы производится минеральными кислотами, главным образом для создания рН среды, оптимальной для размножения дрожжей и защиты их от действия инфекции. Затем подкисленная меласса выдерживается 8-12 ч в емкостях суточного запаса.

Питательные соли вносятся на стадии приготовления водного раствора одновременно с введением антисептиков и его тепловой обработкой.

Сусло готовят, разбавляя мелассу чистой водой до концентрации 20-28%. Это обуславливается тем, что в натуральном виде меласса не сбраживается из-за высокой концентрации сахара и несахаров. Сусло необходимо готовить на чистой артезианской воде или стерильных конденсатах упаренной барды. Однако ряд спиртовых заводов использует прудовую или речную воду, которая представляет опасность для чистоты процесса брожения. Поэтому перед употреблением она должна обеззараживаться.

Для *сбраживания* мелассного и смешанного мелассно-сахарного сусла в этиловый спирт применяют культуры дрожжей-сахаромицетов. Они представляют собой одноклеточные микроорганизмы, относящиеся к классу аскомицетов (сумчатых грибов).

Процесс сбраживания углеводов (глюкозы) носит анаэробный характер и передается суммарной реакцией



где ATP — аденозинтрифосфорная кислота; ADP — аденозиндифосфорная кислота; P_H — неорганический фосфат.

ADP и P_H переходят в ATP за счет энергии окисления в специфических реакциях фосфорилирования, осуществляемых при внутриклеточном дыхании. В свою очередь, ATP является единственным и универсальным источником энергии для функциональной деятельности клетки.

На мелассных спиртовых заводах России применяются непрерывно действующие бродильные установки, состоящие из 8-10 аппаратов (ча-

нов), последовательно соединенных нижними переточными трубопроводами. Чаны представляют собой цилиндрические конусные сосуды с отношением высоты к диаметру, равным 1,4-1,5. В каждом из них в непосредственной близости от дна устанавливается пропеллерная мешалка, заключенная в направляющий кожух. Для разрушения пены, накапливаемой в головных по ходу потока чанах, предусматривается установка верхних переточных трубопроводов, расположенных непосредственно над уровнем жидкости. Пена, переходя по ним из головных чанов в последующие, разрушается, растворяясь на поверхности бражки. Общая продолжительность процесса в батарее равна 17-20 ч.

Температура брожения во всех аппаратах должна составлять 29-31°С.

Зрелая бражка из последнего бродильного аппарата насосом подается на сепаратор для выделения дрожжей-сахаромицетов. Отсепарированная бражка поступает в сборник и служит исходным сырьем для производства спирта. Она представляет собой многокомпонентную и многофазную систему, основу которой составляет водный раствор, содержащий 6-10 об.% спирта и сопутствующих ему летучих примесей. Кроме того, в бражке имеются дрожжевые клетки, коллоиды, а также до 10% нелетучих растворенных веществ (несброженный сахар, декстрины, аминокислоты и азотистые вещества, клетчатка, минеральные соли).

11.3.2. Перегонка и ректификация спирта

Технология получения спирта включает:

- его извлечение перегонкой из бражки, отделение дробины, дрожжей, коллоидов и органических нелетучих веществ;

- получение эспирацией (испарением) низкокипящих летучих примесей из спиртового дистиллята;

- концентрирование спирта из разбавленных растворов ректификацией и одновременное отделение сивушной фракции с высококипящими (сивушными) компонентами;

- окончательную очистку концентрированного спирта эспирацией. Она применяется для стабилизации его качества и очистки от метанола и промежуточных примесей, снижающих органолептические характеристики спирта;

- концентрирование примесей низкокипящих (головных) и высококипящих (хвостовых). При этом данные фракции концентрируются в обособленных секциях.

Перечисленные операции осуществляются в брагоректификационных установках (БРУ), имеющих 3-4 колонны, потребляющие пар-теплоноситель. Обычно это бражная, эспирационная и ректификацион-

ная колонны. Они снабжены дефлегматорами (устройства для разделения газовых смесей и паров в процессе дистилляции и ректификации) и конденсаторами; оснащены кипятивильниками, вспомогательными устройствами и средствами контроля и автоматизации технологического процесса. Основное количество теплоты выносятся спиртовым паром в конденсаторы и отводится из БРУ охлаждающей водой.

В бражной колонне должно быть не менее 24 тарелок. Бражку следует нагревать до максимальной температуры, т.е. кипения (93-94°C). При перегонке недогретой бражки, например с температурой 70°C, пара потребуется на 20-25% больше, а также увеличиваются потери спирта с бардой. Однако нежелателен и избыток пара, увеличивающий объем дистиллята и, как следствие, снижающий содержание спирта в нем.

Удаление из этилового спирта низкокипящих летучих примесей в эпорационных колоннах осуществляется с минимальными тепловыми затратами, если растворы содержат от 10 до 25 об.% спирта. При этом в дистиллят удаляются все примеси, в том числе сивушное масло. Выход очищенного спирта в колонне с 40 тарелками составляет более 97%; примеси отбираются в концентрированном виде.

Концентрирование спирта из растворов, не содержащих или содержащих малые количества сивушных примесей, достигается на 10-15% меньших теплотратах.

Обычное потребление пара на 1 дал ректифицированного спирта концентрацией 96,2 об.% составляет, кг: 55-58 на трехколонной установке, в том числе 18-25 в бражной, 7-12 в эпорационной и 18,5-23 в ректификационной колоннах.

Производительность БРУ достигает 6000 дал/сут.

Выход продуктов при перегонке и ректификации равен, % от алкоголя в бражке: 97,5-98,0 пищевого ректифицированного спирта; 0,5-3,5 головной фракции этилового спирта; 0,2-0,4 сивушного масла; 0,6-1,2 потерь при ректификации.

Головная фракция перерабатывается с получением дополнительного количества ректифицированного спирта. Из сивушного масла выделяют чистые изоамиловый, изобутиловый и пропиловый спирты.

Общий выход спирта из нормальной мелассы находится на уровне 92,4% от теоретического по реакции (11.1) и составляет 66,5 дал на 1 т условного крахмала.

11.3.3. Утилизация отходов перегонки и ректификации

При переработке мелассы, кроме этилового спирта, образуется ряд продуктов, которые можно отнести к отходам ее производства. Это

диоксид углерода, дрожжи-сахаромицеты, выделенные из зрелой бражки, дрожжи-сахаромицеты, выделенные из барды, барда.

Утилизация диоксида углерода основана на том факте, что газы, выделяющиеся при брожении в герметически закрытых чанах, на 99,0-99,5% представлены CO_2 . В качестве примесей в них обнаруживаются, об. %: 0,4-0,8 спиртов; 0,01-0,04 эфиров; 0,08-0,09 кислот, а также следы альдегидов. Диоксид углерода бродильных газов после очистки от примесей выпускается как товарный жидкий или твердый продукт.

Жидкий CO_2 вырабатывался на 126 спиртовых заводах СССР. Его себестоимость была в 1,5-2,0 раза ниже, чем на специализированных предприятиях.

На ряде спиртовых заводов организовано производство твердого диоксида углерода (сухого льда). Он имеет в три раза большую, чем у льдосоляной смеси, холодопроизводительность и не содержит влаги, поэтому его широко применяют для обеспечения низких температур хранения, транспортирования и реализации замороженных или охлажденных пищевых продуктов.

Отработавшие дрожжи-сахаромицеты, выделенные из зрелой бражки, - это активные, живые клетки с влажностью 75%. Их выход при нормальной технологии брожения составляет 1,6-1,8 кг на 1 дал спирта. Они используются для производства прессованных хлебопечкарных дрожжей в цехах при спиртозаводах. Дрожжи выделяют из зрелой спиртовой бражки перед подачей ее на перегонку. Промыв водой, их обычно прессуют на рамных фильтр-прессах и затем фасуют на автоматах и полуавтоматах в бруски массой 1000, 500, 100 и 50 г.

Отработавшие дрожжи-сахаромицеты, выделенные из барды, отличаются от дрожжей зрелой бражки тем, что прошли брагоперегонный аппарат. Как следствие, они представлены мертвыми клетками. Их влажность составляет 75-80%, выход при нормальной технологии равен 1,0-1,2 кг на 1 дал спирта. Эти микроорганизмы используют для получения дрожжевых белковых продуктов или сухих кормовых дрожжей при выделении из барды и последующем обезвоживании на сушилках. Количество сухих дрожжей 10%-й влажности находится на уровне 390-410 г на 1 дал спирта.

Барда послеспиртовая, или последрожжевая, содержит 10-12% сухих веществ, в том числе около 3% неорганических соединений и органические вещества, %: 0,2-0,4 редуцирующих сахаров; 0,6-0,8 глицерина; 1,5-2,0 органических кислот; 0,2-0,4 аминокислот. Зольность сухой барды составляет 35-36%. Реакция барды кислая (рН 4,5-6,0). Ее выход равен 90-120 л на 1 дал спирта. При наличии цехов хлебопечкарных дрожжей он увеличивается до 150-170 л на 1 дал.

Низкая концентрация сухих веществ и нестойкость при хранении вызывают необходимость предварительного упаривания послеспиртовой меласной барды, иначе она быстро обсеменяется различными микроорганизмами и закисает с образованием метана, индола, скатола (последние представляют собой кристаллические органические продукты гетероциклического ряда). Сгущение барды до 60% и более предохраняет ее от разложения. При этом не изменяются все питательные вещества барды: сахара, аминокислоты, бетаин (производное глицерина), витамины, а также микроэлементы.

Области применения барды разнообразны. Так, в упаренном виде она является эффективной добавкой в корм сельскохозяйственных животных. Кормовая ценность ее равна 60-70% от мелассы. Она же служит хорошей средой для выращивания кормовых дрожжей. Известно также использование сгущенной барды как пластификатора цементно-сырьевых шламов, бетонов и железобетонов, при производстве гранулированного органо-минерального удобрения. Из нее можно получать глицерин, ацидин, глютаминую кислоту. Ее сбраживание в анаэробных реакторах позволяет выделить на 1 кг снятого ХПК 0,65 м³ биогаза, содержащего 45% метана (*Олейничук...*).

Эффективность переработки мелассы в целом такова, что многие спиртовые заводы из каждой ее тонны, содержащей 750-770 кг сухих веществ, получают 310-320 л спирта, 10-13 кг СО₂, около 100 кг пресованных, с 75%-й влажностью, хлебопекарных и до 85 кг сухих кормовых дрожжей. Комплексная переработка мелассы позволяет достичь свыше 150% прибыли в сравнении с однопродуктовым производством. При этом выход этилового спирта из мелассы более высок, чем, например, из 1 т сахарного тростника (65 л) и маниока (80 л). В то же время этанол из сахарного тростника в конце прошлого века заменял более 90% внутреннего потребления бензина в Бразилии (кн. 1, разд. 14.2.6).

11.4. Использование сырья смешанного происхождения

Данный вид отходов составляют смеси растительного и животного *генезиса*.

11.4.1. Производство биогаза и сопутствующих продуктов

Информация о производстве биогаза как об одном из основных процессов промышленной биотехнологии изложена ранее (Кн. 1, разд. 12.4.2). Здесь

рассматривается одно из прикладных направлений биотехнологии — утилизация с целью выработки биогаза из смеси растительных и животных остатков. Обычное их соотношение составляет около 6:4.

Первые исследования по получению горючего газа из органических отходов начали проводить еще в конце 19 в. в Великобритании, а затем в Германии и Франции. На внутрифермских установках получали биогаз, отличающийся низкой теплотворной способностью и используемый преимущественно для отопления фермы и жилища, иногда как топливо для тракторов и машин. Однако в целом низкий технический уровень по сути кустарных установок, наличие на мировом рынке достаточного предложения природного топлива обусловили неконкурентность биогаза вплоть до 60-х гг. 20 в. Его себестоимость была в 3-6 раз более высокой, чем традиционных источников энергии (электричество, нефтепродукты, природный газ и т.п.).

Последующий прогресс в технологиях, стремительный (примерно на порядок) рост цен в 60-е и более поздние годы 20 в. на природное топливо дали качественно новый импульс развитию производства биогаза. В настоящее время оно рассматривается в двух основных направлениях — внутрихозяйственного и промышленного производства.

Во внутрихозяйственном плане созданы серийные биогазовые устройства различной производительности для крестьянских подворий, фермерских и других сельскохозяйственных предприятий. Так, в России разработаны установки для утилизации органических отходов, образующихся на крестьянском подворье, имеющем 5-6 голов крупного рогатого скота (КРС) или других животных и птиц. Они способны использовать ежедневно 50-200 кг отходов (навоза КРС, помета птицы, твердых бытовых отходов, фекально-мочевых стоков, растительных остатков) при влажности не менее 85% с получением 50-200 кг жидких удобрений и 2,5-12 м³ биогаза. Последнее эквивалентно 1,4-6,7 кг топочного мазута.

Установки по утилизации всех видов органических отходов фермерского хозяйства в России, имеющего 25-30 голов КРС, или 250-300 свиней, или 2500-3000 птицы, включают два метатенка объемом 5 м³ каждый, газгольдер «мокрого типа» полезным объемом 12 м³. В сутки они перерабатывают до 1 т отходов (влажность не ниже 85%), производят до 40 м³ биогаза с общей теплотворной способностью 920 МДж, что эквивалентно 22,4 кг топочного мазута, или 256 кВт·ч электроэнергии, и выдают до 1 т органических удобрений. Количество последних (360 т/год) достаточно для 120-360 га пахотных земель. Собственные потребности установки в энергии составляют 25-30% от производимой (Масаев...).

Разрабатываемый и внедряемый в России для внутрихозяйственного пользования типоразмерный ряд установок охватывает и других потребителей. Созданные биоэнергетические устройства характеризуются суточной производительностью, равной по исходному субстрату 0,02-600 м³ и по биогазу 0,2-9000 м³. Области их применения, помимо отмеченных выше, — садово-огородные участки, частный сектор, крупные сельскохозяйственные комплексы (Анаэробные...).

Наряду с внутрихозяйственным использованием во многих странах мира освоено промышленное производство биогаза на крупных предприятиях. Централизованные заводы перерабатывают навозные и другие отходы близлежащих сельскохозяйственных предприятий, отпуская для внешнего потребления очищенный биогаз с содержанием СН₄ до 95%. Очистку от основных примесей (СО₂, Н₂S), снижающих теплотворную способность биогаза и вызывающих значительную кислотную коррозию технологического оборудования (резервуары, компрессоры, детали двигателей внутреннего сгорания), осуществляют различными методами, в частности щелочными растворами (натрия, калия, кальция, аммиака, фенолята натрия), водными суспензиями фосфоритов и т.п.

В качестве дополнительного субстрата для анаэробной ферментации, кроме сельскохозяйственных, используют также бытовые отходы, осадки канализационных систем, торф.

Суточная производительность биозаводов достигает 70 тыс. нм³ и более газа. Они могут, например, обслужить несколько откормочных комплексов с общим числом голов КРС свыше 100 тыс., выдать очищенный метан с теплотворной способностью до 39000 КДж/нм³, а также протеиновые кормовые добавки и азотсодержащие органические компосты. Переработку осуществляют в замкнутом технологическом цикле с рециркуляцией сырья, воды и субпродуктов.

Технологическая схема одного из первых заводов с промышленной утилизацией навоза (Калифорния, США) предусматривает подачу твердого навоза из хранилища конвейером в резервуар-накопитель. В нем его разбавляют водой и подогревают до нужной температуры с использованием солнечной энергии. Из накопителя стоки направляют в два метатенка. Образующийся в них биогаз отводится в газгольдер, а сброженный осадок — в резервуар, из которого его подают для обезвоживания в центрифугу. После этого осадок поступает на открытую площадку для естественной сушки и в дальнейшем применяется в качестве кормовой добавки. Фугат отводится для удобрения полей (рис. 11.1).

Отметим, что только часть сырья при производстве биогаза подвергается метановому сбраживанию. Обычно разлагается около 70% органических веществ, остальные образуют остаток. Он включает вещества трех видов: содержащиеся в исходных отходах и защищенные

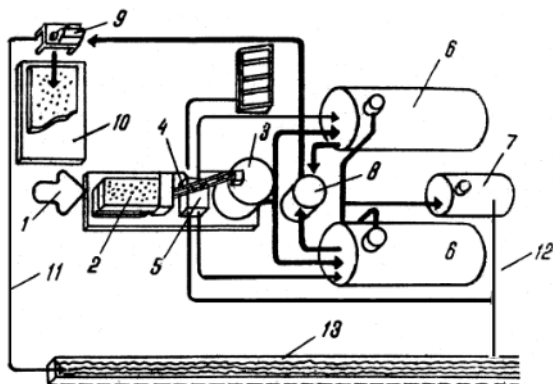


Рис. 11.1. Технологическая схема установки для переработки навоза в биогаз и кормовые добавки:

- 1 — поступление твердого навоза из откормочных предприятий; 2 — расходный склад навоза; 3 — резервуар-накопитель для приготовления навозных стоков; 4 — конвейерная установка; 5 — водонагреватель; 6 — метатенк; 7 — газгольдер; 8 — резервуар для жидкого осадка; 9 — центрифуга; 10 — площадка для сушки осадка; 11 — фугат; 12 — биогаз для использования; 13 — земельные поля

от бактериального разложения лигнином и кутином; новые бактериальные клетки; небольшое количество летучих жирных кислот.

Остаток прежде всего используют в качестве удобрения. Преимущество этого направления заключается в том, что в остатке в органической или аммонийной форме сохраняется практически весь азот, содержащийся в исходном сырье. Чтобы свести к минимуму потери аммиачного азота, сброженный остаток необходимо хранить в глубоких ямах или резервуарах с минимальной площадью поверхности, с которой улетучивается аммиак. В наибольшей степени азот сохраняется тогда, когда остаток вносят в почву за несколько дней до сева или культивации. Если он разбрасывается по поверхности почвы, то при продолжительном отсутствии осадков почти весь аммиачный азот улетучивается.

Эффект использования остатка на полях аналогичен получаемому на других органических веществах. Урожайность, в частности, увеличивается на 15-20%.

Важно, что, хотя часть патогенных организмов и паразитов исходного сырья выживает, каких-либо вспышек заболеваний, связанных с применением несброженных остатков в качестве удобрений, не наблюдается.

На некоторых предприятиях остаток, содержащий ценные питательные вещества, перерабатывается на кормовые добавки. Например, производятся кормовой белок и кормовые добавки с долей протеина 12% и более.

Помимо твердого остатка, используется также жидкая фракция навоза после его анаэробной переработки. Обычно она отвечает требованиям, предъявляемым к качеству сточных вод органами охраны природы. Например, БПК₅ в ней снижается на 90-94%. Это позволяет в 2-3 раза увеличить норму полива такими стоками. Важно и то, что в жидкой фазе навоза практически отсутствуют цветные металлы, наличие которых неизбежно, например в городских коммунальных стоках.

11.4.2. Получение компоста и удобрений

Компостирование — биохимический процесс преобразования органических *твердых* отходов в стабильный, подобный гумусу продукт. В принципе он может быть как аэробным, так и анаэробным, хотя современное компостирование является по преимуществу аэробным. Это обусловлено тем, что оно протекает быстрее, реализуется при более высоких температурах и осуществляется без заметных запахов. Аэробный процесс складывается из мезофильной и термофильной стадий, выполняемых соответственно при 15-30 и 45-60°C. На практике в большинстве случаев используют оба интервала температур.

Аэробное компостирование имеет много общего с естественным гниением и разложением. Его отличие заключается в том, что оно проводится в контролируемых — по температуре, влажности, кислороду и т.д. — условиях.

Твердые отходы для компостирования, за небольшим исключением, должны быть органическими. К ним можно отнести, например, бумагу, древесину, навоз, отходы приготовления пищи, обработки зерна и т.п.

Основными факторами, влияющими на образование компоста, являются, прежде всего, влажность, температура и рН среды.

Теоретически оптимальное содержание влаги при компостировании должно составлять 100%. Практически оно часто равно 75-85%. Действительно, очевидно, что если все поры перерабатываемой массы будут заполнены водой, то это приведет к недостатку кислорода в ней.

Диапазон оптимальных температур образования компоста достаточно широк — примерно от 35 до 55°C. Эти значения — нечто среднее между оптимальными температурами для различных форм микробов, участвующих в процессе.

Предпочтительный интервал рН обычно находится в пределах 5,5-8.

Компостирование включает несколько последовательных операций: сортировку, размалывание, созревание компоста, хранение.

К материалам, которые необходимо удалять перед размалыванием, относят консервные банки, различные металлы, стекло и керамические изделия, лишнюю бумагу. Отделение последней позволяет в некоторых случаях уменьшить слишком высокое отношение C/N , которое нежелательно (разд. 11.2). Следует извлекать также ветошь синтетических волокон, которая оказывает весьма отрицательное влияние на изготовление компоста, будучи практически неразлагаемой.

Консервные банки и другие предметы из черного металла обычно выделяются магнитной сепарацией при перемещении отходов по конвейеру. Ветошь и неметаллические материалы изымаются вручную. Излишняя бумага удаляется вентилятором.

Размалывание твердых отходов ускоряет последующий процесс образования компоста, делает более однородной и улучшает его структуру, увеличивает восприимчивость массы к воздействию влаги, аэрации и микробов. Идеальным считается такой минимальный размер частиц, который не вызывает нежелательного уплотнения пульпы. Для городских отходов он составляет 2,5-5 см.

Созревание компоста начинается после складирования материала в штабеля или помещения его в механические аппараты. Начало активной работы бактерий легко устанавливается по повышению температуры массы, которая после 4 сут обычно достигает максимума.

Высота трапециевидного в поперечном сечении штабеля не должна превышать 1,5-2,0 м при его ширине у основания, равной 2,5-3,0 м. Успешное компостирование предусматривает непрерывное перемешивание штабеля, например от краев его основания к центру. Это при частоте перемешивания не реже 1 раза в 2-3 сут обеспечивает аэробность процесса.

Механические аппараты для компостирования снабжаются перемещающимися лопастями. В горизонтальных аппаратах они передвигают компостируемый материал к люку, через который он падает вниз и вновь поднимается вверх. Другой способ сочетает механическое перемешивание с принудительной аэрацией компостируемой массы вращающимися в ней колонковыми шнеками, имеющими сопла, через которые в материал подается воздух. Механические аппараты снабжаются также устройствами для поддержания необходимых температуры и влажности.

Физическая структура и другие свойства материала в процессе компостирования подвергаются изменениям. Так, штабель постепенно приобретает коричневый или коричнево-серый оттенок, компост теряет свой характерный начальный запах и приобретает «запах земли».

Общая продолжительность образования готового продукта зависит от условий окружающей среды, составляя 10-20 сут. Окончание процесса определяется по началу снижения температуры массы.

Созревший компост сортируют, рассеивая его по фракциям. Самую крупную из них используют на больших сельскохозяйственных площадях, мелкую — на приусадебных и садово-огородных участках.

Готовый компост, или, иначе, перегной, способствует некоторому накоплению фосфора и азота — основных питательных веществ в почве. Однако более важно, чем эффект влияния питательных веществ, физическое воздействие перегноя на почву. Последний улучшает соотношение воздуха и воды в ней, увеличивая тем самым ее способность удерживать влагу и обеспечивая значительно большее развитие корневой системы растений.

Что же касается роли компоста как полноценного удобрения, то в обычном смысле он им не является. Об этом свидетельствует его химический состав, %: до 40 С; 0,6-1,6 N; 0,2-0,4 К; 0,25-0,4 Р. Из него следует, что компост имеет недостаточное для удобрений содержание азота, фосфора и калия.

Исходя из изложенного, можно полагать, что использование компоста оправдано в качестве почвы, создаваемой в искусственных условиях. В частности, его применение способствует решению проблемы рекультивации земель в районах открытых горных работ, потерявших верхний растительный слой. Он же перспективен при восстановлении земель, покрытых шахтными породами, золами, различными шламами.

Современное состояние производства компоста до недавнего времени нельзя было признать удовлетворительным. Так, в США даже в период максимального выпуска компоста на эти цели привлекалась только очень небольшая, менее 1%, часть твердых отходов. В Европе она также составляла 1-2%. Компост в ней использовался в основном для особо ценных сельскохозяйственных культур, например в виноградарствах.

Причиной недостаточного применения компоста является его высокая стоимость. Затраты на его производство сопоставимы с требуемыми для сжигания отходов, при этом сельское хозяйство не заинтересовано в использовании материалов, не улучшающих состава почвы и не являющихся полноценным удобрением. Другая трудность применения компоста заключается в сезонности его сбыта. Он может быть внесен на поля только перед посевом или в конце созревания растений, но не во время их роста.

Однако общая тенденция к развитию малоотходных производств и совершенствованию технологий на базе их автоматизации и механизации привела к тому, что в 80-х гг. 20 в. было отмечено очень быстрое развитие различных методов компостирования отходов (Kompostierung...). В частности, в Голландии разработана новая перспективная

продукция Nutrivar, состоящая из смеси компоста с навозом в соотношении 5:1. Продукт с положительными результатами апробирован на площади 75 га, что послужило основанием для увеличения производства смеси с 30 до 200 тыс. т/год (Aerobe...). Перспективна также, судя по результатам исследований, компостная смесь из растительных остатков со сточными водами свиноферм (Очистка...).

11.5. Непищевые отходы животного происхождения

11.5.1. Ресурсная база

Современные животноводство и мясоперерабатывающая промышленность (бойни, пищевое производство, холодильники) отличаются достаточно высокой степенью использования сырья.

Ранее подробно рассмотрено производство биогаза из отходов смешанного происхождения, значительную долю которого, вплоть до 100%, может составлять навоз (разд. 11.4.1).

Весьма эффективно использование навоза в качестве удобрений. Продолжительными полевыми испытаниями показано, например, что при его внесении средняя урожайность зерновых на песчаных и глинистых почвах может быть повышена более чем на 50% (*Folia...*).

Иногда прямое применение навоза, в частности свиноферм, не приемлемо из-за высокого содержания соединений азота. Получить в этом случае положительный результат можно, прибегая к 1,5-3-кратному разбавлению навозной жижи или к более сложным способам. Так, одна из американских технологий предусматривает обработку навоза свиноферм на решетках или механических ситах с выделением твердой и жидкой фракций. Жидкая фаза далее накапливается в аэрируемом биопруде, а отделенная твердая фракция обезвоживается и сушится. Вода биопруда используется для полива полей кормовых культур. Высушенный осадок обрабатывают реагентами с получением твердых удобрений (*Apparatus...*).

Навоз применяют также как окомковывающую жидкость при производстве сельско- и лесохозяйственных удобрений. Гранулирование начинается с быстрого перемешивания 30-40% жидкого навоза с материалом, включающим кальций- или магнийсодержащие вещества (оксиды, гидроксиды или карбонаты) и предварительно обезвоженную часть навоза. Смешение сопровождается разогревом массы до 80-95°C за счет экзотермической реакции гидратации неорганических материалов, выполняющих роль связующего. К смеси добавляют оставшийся жидкий навоз, дезинфицирующие и дезодорирующие добавки, полученную композицию окомковывают (заявка 4201198 ФРГ).

Кроме навоза, значительное количество отходов чисто животного происхождения, перерабатываемых отдельным потоком, приходится на долю боен, пищевой промышленности и т.п. Распределение исходной живой массы выглядит при этом следующим образом, %: 64 на продукты переработки для пищевых целей; 12 на корма; 10 на техническую продукцию; 14 – не утилизируемое сырье.

В пищевых продуктах используют мясную и, не полностью, костную части, субпродукты, кровь. Все отходы имеют непищевой характер. Их составляют традиционные жидкие (разливы крови, шлам, бульон), твердые (кость и мясо-костные конфискаты, рого-копытное сырье, щетина и волосы), мякотные неutilizированные органы животного) и нетрадиционные (каньига, жиромасса сточных вод, яичная скорлупа и др.) материалы.

Ресурсы непищевых отходов достигают, % от массы мяса на костях: 6,4-6,8 для крупного рогатого скота; 5,5-5,9 для свиней; 17,5 для мелкого рогатого скота, чуть больше (18) для прочих видов животных. Среднегодовые нормы сбора этих отходов существенно ниже, чем их ресурсы, и, в частности, равны, %: 0,05-0,4 для рого-копытного сырья; 0,2-0,9 для отходов колбасного, консервного и полуфабрикатного производств. Нормы сбора отходов при переработке перо-пухового сырья и яиц составляют, % от исходного количества: по 15 для пера куриного, пера и пуха водоплавающей птицы, 40 для подкрылка, 12 для яичной скорлупы.

11.5.2. Типовые технологические решения и новые тенденции

В настоящее время на мясоперерабатывающих предприятиях сложилась достаточно традиционная схема переработки отходов, обычно реализуемая в специализированных цехах или участках основного производства. Наряду с ней в последние годы получают развитие и некоторые новые направления утилизации непищевого сырья.

Традиционное направление обращения с отходами включает несколько стадий.

В тех случаях, когда отходы не могут быть отправлены на переработку в течение суток, предусматривается их консервирование или, в зимний период, естественное замораживание. Для консервирования свежее сырье измельчают до крупности 20-30 мм и менее, затем смешивают в фаршмешалке с консервантом (пиросульфит натрия или калия) в количестве 1,5-2,0% от исходной массы и раскладывают в деревянные бочки.

Допускается также консервирование поваренной солью (20% от исходного сырья). Для этого свежий, остывший до 18-20°C материал

плотно укладывают в бочки, пересыпая каждый ряд солью. Чем плотнее укладка, тем продолжительнее допустимый срок хранения сырья.

Консерват рекомендуется хранить в сухом, проветриваемом помещении или под навесом (в летнее время — до 3 мес.). Перевозить его можно в металлических контейнерах или в специально оборудованных автомобилях.

Сырье с добавкой пиросульфита на технически оснащенном предприятии перерабатывают без удаления консерванта, а при использовании поваренной соли его предварительно промывают в течение 10 мин. в проточной воде.

Консервированный материал можно передавать и на заводы по производству мясо-костной муки, утилизирующие другие отходы животноводства (трупы павших животных, птицы и др.).

Основная стадия переработки пищевых отходов в традиционной схеме — получение из них кормовых и технических продуктов.

При производстве сухих кормов кишечные конфискаты и желудки предварительно освобождают от содержимого. Остаточную кровь и шлам коагулируют в отдельной емкости острым паром в течение 15-20 мин. и в количестве до 15% добавляют в массу сырья перед его подачей на измельчение.

На измельчение до частиц размером менее 50 мм обычно поступает смесь, состоящая из 70% мякотного сырья и 30% кости. После этого она поступает на тепловую обработку в обезвоживатель, осуществляемую за счет подачи пара давлением 0,35-0,4 МПа в рубашку и шнековый вал аппарата. При продолжительности варки 20 мин. сырье с температурой не ниже 90°C непрерывно выгружается из обезвоживателя и поступает на дополнительное измельчение в молотковую дробилку. После него продукт крупностью менее 30 мм элеватором доставляется в шнековую сушилку непрерывного действия с продолжительностью пребывания в ней 40-45 мин. Высушенный продукт с влажностью не более 10% остужается холодной водой, подаваемой в рубашку и шнековый вал охлаждения. После этого он измельчается в молотковой дробилке, просеивается через сито с отверстиями диаметром 3 мм, очищается от металломагнитных примесей и упаковывается.

Выход кормовой муки составляет 28% исходной массы.

При тепловой обработке выделяется также до 3% жира и до 20% бульона. Через решетку в днище обезвоживателя они непрерывно отводятся в жироуловитель. Отделенный в нем жир сливается. Бульон при наличии потребителей используется в рационах свиней.

На мясоперерабатывающих предприятиях малой мощности, если на них отсутствует комплектное оборудование, для переработки всех видов непищевых отходов животного происхождения применяют вакуумные котлы для производства сухих животных кормов и кормового

(технического) жира. Корпус котла представляет собой горизонтальный сварной сосуд с эллиптическими днищами и двойными стенками, в полость между которыми подается пар для обогрева.

Возможности типовой технологической схемы в настоящее время использованы далеко не полностью. Один из современных приемов улучшения ее показателей — обработка непищевых отходов в среде расплавленного жира, обеспечивающая стерилизацию сырья без герметизации системы. В этом случае, за счет весьма плотного контакта жидкого жира-теплоносителя с высокой теплоемкостью и сырья при температуре около 150°C, влага отходов интенсивно испаряется. Однако кратковременный высокотемпературный нагрев меньше разрушает аминокислоты белков, чем более продолжительная низкотемпературная теплообработка по стандартной схеме. Как следствие, качество получаемой кормовой муки повышается.

Изменение температуры и влажности сырья в горячем жире с температурой 150°C характеризуется следующими данными:

Продолжительность обработки, мин:	3	5	10	12	15
Температура смеси, °C	100	102	110	119	130
Содержание влаги в сырье после обработки, мин	39,6	30,1	15,1	10,1	4,2

Из этих данных следует, что необходимая влажность (10% и менее) при температуре смеси 119-130°C достигается примерно за 12 мин. В традиционной технологии для этого требуется около 20 мин.

Для разделения полученной смеси и обезжиривания шквары применяют центрифугирование при температуре порядка 130°C. Степень извлечения жира при этом превышает 76% его исходного содержания. Кроме того, биологическая ценность кормовой муки, выработанной по описанной технологии, в сравнении с полученной в вакуумном котле на 28% выше.

Обработка отходов в расплавленном жире выполняется в установках непрерывного действия.

Как уже отмечалось, кроме традиционной схемы реализации отходов в специализированных цехах или участках основного производства, в последние годы развивается направление их использования вне основных (индустриальных) методов, т.е. утилизационные технологии. К ним можно отнести получение биогаза, применение в качестве биотоплива, глубокую очистку сточных вод с извлечением ценных компонентов.

Производство биогаза из отходов на бойнях предусматривает предварительное измельчение остатков мышечных тканей, желудков, каныги (содержимого желудков) и т.п. Утилизация этой массы осуществля-

ется в двух последовательно установленных реакторах. Температура в первом из них составляет 37°C, а во втором 55°C. Содержание твердой фазы в исходных отходах равно примерно 12%, продолжительность их пребывания в каждой метатенке 7 сут.

Производство биогаза при очистке сточных вод скотобоев является одним из наиболее эффективных направлений. Показатели работы метатенки: продолжительность пребывания в них исходных материалов 12 сут., нагрузка органических веществ 7,7 кг/(м³·сут.), степень разложения последних 45%, выход биогаза порядка 470 нм³/т загрузки (Тимофеев).

Получаемый биогаз применяется как топливо для обогрева метатенков, для производства электроэнергии. При этом на нужды самой установки приходится не более 40% ее выработки. Сброженный осадок не содержит тяжелых металлов и токсичных химических соединений, поэтому без ограничений может быть использован в качестве удобрений (Кампнег...) или при изготовлении компоста (*Schuchardt...*).

В целом можно отметить, что количество биогаза из отходов сельского хозяйства и мясопереработки позволяет сократить потребление ископаемого топлива на 3% (Lucke).

При утилизации отходов скотобоев в качестве топлива их сжигание производится во вращающихся печах. Твердые фракции подаются в них шнеком, жидкие и газообразные совместно с воздухом и основным (жидким) топливом поступают в горелку. Характеристики печи: диаметр 2,1 м; мощность ~7 МВт; часовая подача воздуха для сжигания отходов 9000 нм³, для распыления жидкого топлива 1500 нм³ (Pariel).

Недавно принятый итальянский закон № 49 от 9.03.2001 г. предписывает использовать в качестве вторичного топлива трупы павших животных и животную сырьевую муку при угрозе ее заражения патогенной микрофлорой, например вирусом коровьего бешенства (губчатого энцефалита). Сжигание может выполняться в том числе и на оборудовании цементных заводов.

Такая же практика реализуется во Франции. В ней в 2000 г. производители цемента сожгли 200 тыс. т животной сырьевой муки, в том числе 70 тыс. т в цементных печах. В этом же направлении развивается утилизация потрохов и животного жира на немецких цементных заводах (Use...).

Кроме сжигания, для сточных вод скотобоев в настоящее время созданы технологии и оборудование их очистки с утилизацией извлеченных полезных веществ, прежде всего жира. Наиболее простым методом здесь является переработка с получением технического жира. Ее осуществляют в вакуумных котлах, автоклавах и на установках непрерывного действия.