

ЧАСТЬ 2. СОСТАВ СЫРЬЯ И ПАРАМЕТРЫ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ

МИКРОБИОЛОГИЯ [8]

Получение биогаза и биоудобрений из органических отходов основано на свойстве отходов выделять биогаз при разложении в анаэробных, т.е. бескислородных условиях. Этот процесс называется метановым сбраживанием и происходит в три этапа в результате разложения органических веществ двумя основными группами микроорганизмов – кислотными и метановыми.

Три этапа производства биогаза

Процесс производства биогаза может быть разделен на три стадии: гидролиз, окисление и образование метана. В этом сложном комплексе превращений участвует множество микроорганизмов, главными из которых являются метанообразующие бактерии, три вида которых показаны на рис. 7.

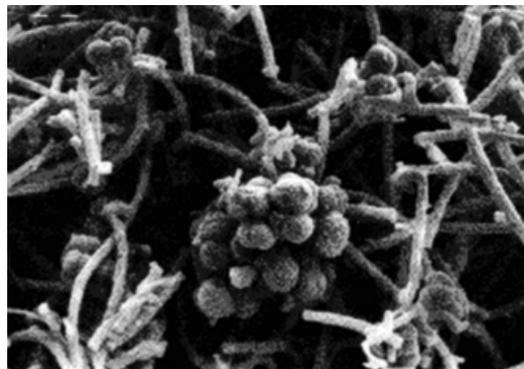


Рис.7. Три вида метановых бактерий. Источник: AT Information: Biogas, GTZ project Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), Eshborn, Deutschland, 1996.

Гидролиз

На первом этапе (гидролиз) органическое вещество ферментируется внеклеточными ферментами (клетчатка, амилаза, протеаза и липаза) микроорганизмов. Бактерии разлагают длинные цепочки сложных углеводов — протеины и липиды – в более короткие цепочки.

Сбраживание

Кислотопродуцирующие бактерии, которые принимают участие во втором этапе образования биогаза, расщепляют сложные органические соединения (белки, жиры и углеводы) в более простые соединения. При этом в сбраживаемой среде появляются первичные продукты брожения — летучие жирные кислоты, низшие спирты, водород, окись углерода, уксусная и муравьиная кислоты и др. Эти органические вещества являются источником питания для метанообразующих бактерий, которые превращают органические кислоты в биогаз.

Образование метана

Метанопродуцирующие бактерии, вовлеченные на третьем этапе, разлагают соединения с низким молекулярным весом. Они утилизируют водород, углекислоту и уксусную кислоту. В естественных условиях метанообразующие бактерии существуют при наличии анаэробных условий, например, под водой, в болотах. Они очень чувствительны к изменениям окружающей среды, поэтому от условий, которые создаются для жизнедеятельности метанообразующих бактерий, зависит интенсивность газовой выделения.

Симбиоз бактерий

Метано- и кислотообразующие бактерии взаимодействуют в симбиозе. С одной стороны, кислотообразующие бактерии создают атмосферу с идеальными параметрами для метанообразующих бактерий (анаэробные условия, химические структуры с низким молекулярным весом). С другой стороны, метанообразующие микроорганизмы используют промежуточные соединения кислотопродуцирующих бактерий. Если бы не происходило этого взаимодействия, в реакторе развились бы неподходящие условия для деятельности обоих типов микроорганизмов.

ПАРАМЕТРЫ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СБРАЖИВАНИЯ

Кислотообразующие и метанообразующие бактерии встречаются в природе повсеместно, в частности в экскрементах животных. Например, в пищеварительной системе крупного рогатого скота содержится полный набор микроорганизмов, необходимых для сбраживания навоза, а сам

процесс метанового брожения начинается еще в кишечнике. Поэтому навоз КРС часто применяют в качестве сырья, загружаемого в новый реактор, где для начала процесса сбраживания достаточно обеспечить следующие условия:

- поддержку анаэробных условий в реакторе;
- соблюдение температурного режима;
- доступность питательных веществ для бактерий;
- выбор правильного времени сбраживания и своевременную загрузку и выгрузку сырья;
- соблюдение кислотно-щелочного баланса;
- соблюдение соотношения содержания углерода и азота;
- выбор правильной влажности сырья;
- регулярное перемешивание;
- отсутствие ингибиторов процесса.

На каждый из различных типов бактерий, участвующих в трех стадиях метанообразования, эти параметры влияют по-разному. Существует также тесная взаимосвязь между параметрами (например, выбор времени сбраживания зависит от температурного режима), поэтому сложно определить точное влияние каждого фактора на количество образующегося биогаза.

ПОДДЕРЖКА АНАЭРОБНЫХ УСЛОВИЙ В РЕАКТОРЕ

Жизнедеятельность метанообразующих бактерий возможна только при отсутствии кислорода в реакторе биогазовой установки, поэтому нужно следить за герметичностью реактора и отсутствием доступа в реактор кислорода.

СОБЛЮДЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА

Температурные рамки процесса сбраживания

Поддержка оптимальной температуры является одним из важнейших факторов процесса сбраживания. В природных условиях образование биогаза происходит при температурах от 0°C до 97°C [19], но с учетом оптимизации процесса переработки органических отходов для получения биогаза и биоудобрений выделяют три температурных режима:

- психофильный температурный режим определяется температурами до 20 - 25°C,
- мезофильный температурный режим определяется температурами от 25°C до 40°C и
- термофильный температурный режим определяется температурами свыше 40°C.

Минимальная средняя температура

Степень бактериологического производства метана увеличивается с увеличением температуры. Но, так как количество свободного аммиака тоже увеличивается с ростом температуры, процесс сбраживания может замедлиться. В среднем биогазовые установки без подогрева реактора демонстрируют удовлетворительную производительность только при среднегодовой температуре около 20°C или выше или когда средняя дневная температура достигает по меньшей мере 18°C. При средних температурах в 20-28°C производство газа непропорционально увеличивается. Если же температура биомассы менее 15°C, выход газа будет так низок, что биогазовая установка без теплоизоляции и подогрева перестает быть экономически выгодной [8].

Оптимальная температура

Сведения относительно оптимального температурного режима различны для разных видов сырья, но на основании эмпирических данных установок ОФ «Флюид», работающих в Кыргызстане на смешанном навозе КРС, свиней и птиц, оптимальной температурой для мезофильного температурного режима является 34 - 37°C, а для термофильного 52 - 54°C. Психофильный температурный режим соблюдается в установках без подогрева, в которых отсутствует контроль за температурой. Наиболее интенсивное выделение биогаза в психофильном режиме происходит при 23°C.

Изменения температуры

Процесс биометанации очень чувствителен к изменениям температуры. Степень этой чувствительности в свою очередь зависит от температурных рамок, в которых происходит переработка сырья. При процессе ферментации могут быть допустимы изменения температуры в пределах:

- психофильный температурный режим: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ в час;
- мезофильный температурный режим: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ в час;
- термофильный температурный режим: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ в час.

Термофильный или мезофильный режим?

К преимуществам термофильного процесса сбраживания относятся: повышенная скорость разложения сырья и, следовательно, более высокий выход биогаза, а также практически полное уничтожение болезнетворных бактерий, содержащихся в сырье.

Недостатками термофильного разложения являются: большое количество энергии, требуемое на подогрев сырья в реакторе, чувствительность процесса сбраживания к минимальным изменениям температуры и несколько более низкое качество получаемых биоудобрений.

При мезофильном режиме сбраживания сохраняется высокий аминокислотный состав биоудобрений, но обеззараживание сырья не такое полное, как при термофильном режиме.

ПИТАТЕЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА

Для роста и жизнедеятельности метановых бактерий необходимо наличие в сырье органических и минеральных питательных веществ. В дополнение к углероду и водороду создание биоудобрений требует достаточного количества азота, серы, фосфора, калия, кальция и магния и некоторого количества микроэлементов - железа, марганца, молибдена, цинка, кобальта, селена, вольфрама, никеля и других. Обычное органическое сырье - навоз животных — содержит достаточное количество вышеупомянутых элементов.

ВРЕМЯ СБРАЖИВАНИЯ

Оптимальное время сбраживания зависит от дозы загрузки реактора и температуры процесса сбраживания. Если время сбраживания выбрано слишком коротким, то при выгрузке сброженной биомассы бактерии из реактора вымываются быстрее, чем могут размножиться, и процесс ферментации практически останавливается. Слишком продолжительное выдерживание сырья в реакторе не отвечает задачам получения наибольшего количества биогаза и биоудобрений за определенный промежуток времени.

Время оборота реактора

При определении оптимальной продолжительности сбраживания пользуются термином «время оборота реактора». Время оборота реактора – это то время, в течение которого свежее сырье, загруженное в реактор, перерабатывается, и его выгружают из реактора.

Для систем с непрерывной загрузкой среднее время сбраживания определяется отношением объема реактора к ежедневному объему загружаемого сырья. На практике время оборота реактора выбирают в зависимости от температуры сбраживания и состава сырья в следующих интервалах:

- психофильный температурный режим: от 30 до 40 и более суток;
- мезофильный температурный режим: от 10 до 20 суток;
- термофильный температурный режим: от 5 до 10 суток.

Суточная доза загрузки сырья

Суточная доза загрузки сырья определяется временем оборота реактора и увеличивается с увеличением температуры в реакторе. Если время оборота реактора составляет 10 суток, то суточная доля загрузки будет составлять 1/10 от общего объема загружаемого сырья. Если время оборота реактора составляет 20 суток, то суточная доля загрузки будет составлять 1/20 от общего объема загружаемого сырья. Для установок, работающих в термофильном режиме, доля загрузки может составить до 1/5 от общего объема загрузки реактора.

Время переработки сырья

Выбор времени сбраживания зависит также и от типа перерабатываемого сырья. Для следующих видов сырья, перерабатываемого в условиях мезофильного температурного режима, время, за которое выделяется наибольшая часть биогаза, равно примерно:

- жидкий навоз КРС: 10 -15 дней;
- жидкий свиной навоз: 9 -12 дней;
- жидкий куриный помет: 10- 15 дней;
- навоз, смешанный с растительными отходами: 40-80 дней.

КИСЛОТНО-ЩЕЛОЧНОЙ БАЛАНС

Метанопродуцирующие бактерии лучше всего приспособлены для существования в нейтральных или слегка щелочных условиях. В процессе метанового брожения второй этап производства биогаза является фазой активного действия кислотных бактерий. В это время уровень pH снижается, то есть среда становится более кислой.

Однако при нормальном ходе процесса жизнедеятельность разных групп бактерий в реакторе проходит одинаково эффективно и кислоты перерабатываются метановыми бактериями. Оптимальное значение pH колеблется в зависимости от сырья от 6,5 до 8,5 [18,19].

Измерить уровень кислотного-щелочного баланса можно с помощью лакмусовой бумаги. Значения кислотного-щелочного баланса будут соответствовать цвету, приобретаемому бумагой при ее погружении в сбразиваемое сырье.

СООТНОШЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА И АЗОТА

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на метановое брожение, является соотношение углерода и азота в перерабатываемом сырье. Если соотношение C/N чрезмерно велико, то недостаток азота будет служить фактором, ограничивающим процесс метанового брожения. Если же это соотношение слишком мало, то образуется такое большое количество аммиака, что он становится токсичным для бактерий.

Микроорганизмы нуждаются как в азоте, так и в углероде для ассимиляции в их клеточную структуру. Различные эксперименты показали: выход биогаза наибольший при уровне соотношения углерода и азота от 10 до 20, где оптимум колеблется в зависимости от типа сырья. Для достижения высокой продукции биогаза практикуется смешивание сырья для достижения оптимального соотношения C/N.

Таблица 3. Содержание азота и соотношение содержания углерода и азота для органических веществ [8, 18]

Биоферментируемый материал	Азот N [%]	Соотношение углерода и азота C/N
А. Навоз животных		
КРС	1,7 - 1,8	16,6 - 25
Куриный	3,7 – 6,3	7,3 - 9,65
Конский	2,3	25
Свиной	3,8	6,2 – 12,5
Овечий	3,8	33
Б. Отходы хозяйства		
Фекалии	6 - 7,1	6 - 10
Кухонные отходы	1,9	28,60
Шкурки картофеля	1,5	25
Капуста	3,6	12,5
Помидоры	3,3	12,5
С. Растительные сухие отходы		
Кукурузные початки	1,2	56,6
Солома зерновых	1,0	49,9
Пшеничная солома	0,5	100 - 150
Кукурузная солома	0,8	50
Овсяная солома	1,1	50
Соя	1,3	33
Люцерна	2,8	16,6 - 17
Свекольный жом	0,3 – 0,4	140 - 150
Д. Другое		
Трава	4	12
Опилки	0,1	200-500
Опавшая листва	1,0	50

ВЫБОР ВЛАЖНОСТИ СЫРЬЯ

Беспрепятственный обмен веществ в сырье является предпосылкой для высокой активности бактерий. Это возможно только в том случае, когда вязкость сырья допускает свободное движение бактерий и газовых пузырьков между жидкостью и содержащимися в ней твердыми веществами. В отходах сельскохозяйственного производства имеются разные твердые частицы.

Твердые и сухие вещества в сырье

Твердые частицы, например, песок, глина и др. обуславливают образование осадка. Более легкие материалы поднимаются на поверхность сырья и образуют корку. Это приводит к уменьшению газообразования. Поэтому рекомендуется тщательно измельчать перед загрузкой в реактор растительные остатки — солому, объедки и др. и стремиться к отсутствию твердых веществ в сырье.

Содержание сухих веществ определяется влажностью навоза. При влажности 70% в сырье содержится 30% сухих веществ. Примерные значения влажности навоза и экскрементов (навоз и моча) для различных видов животных приводятся в таблице 4.

Таблица 4. Количество и влажность навоза и экскрементов на одно животное [18]

Виды животных	Среднесуточное количество навоза, кг/сутки	Влажность навоза (%)	Среднесуточное количество экскрементов (кг/сутки)	Влажность экскрементов (%)
КРС	36	65	55	86
Свиньи	4	65	5,1	86
Птица	0,16	75	0,16	75

Влажность сырья, загружаемого в реактор установки, должна быть не менее 85% в зимнее время и 92% в летнее время года. Для достижения правильной влажности сырья навоз обычно разбавляют горячей водой в количестве, определяемом по формуле: $ОВ = Н \times (B_2 - B_1) : (100 - B_2)$, где Н – количество загружаемого навоза, B_1 – первоначальная влажность навоза, B_2 – необходимая влажность сырья, ОВ – количество воды в литрах. В таблице приводится необходимое количество воды для разбавления 100 кг навоза до 85% и 92% влажности.

Таблица 5. Количество воды для достижения необходимой влажности на 100 кг навоза [21]

Необходимая влажность	Первоначальная влажность сырья						
	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%
85%	166 литров	133 литра	100 литров	67 литров	33,5 литра	-	-
92%	400 литров	337 литров	275 литров	213 литров	150 литров	87,5 литра	25 литров

РЕГУЛЯРНОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ

Для эффективной работы биогазовой установки и поддержания стабильности процесса сбраживания сырья внутри реактора необходимо периодическое перемешивание. Главными целями перемешивания являются:

- высвобождение произведенного биогаза;
- перемешивание свежего субстрата и популяции бактерий (прививка);
- предотвращение формирования корки и осадка;
- предотвращение участков разной температуры внутри реактора;
- обеспечение равномерного распределения популяции бактерий;
- предотвращение формирования пустот и скоплений, уменьшающих эффективную площадь реактора.

При выборе подходящего способа и метода перемешивания нужно учитывать, что процесс сбраживания представляет собой симбиоз между различными штаммами бактерий, то есть бактерии одного вида могут питать другой вид. Когда сообщество разбивается, процесс ферментации будет непродуктивным до того, как образуется новое сообщество бактерий. Поэтому

слишком частое или продолжительное и интенсивное перемешивание вредно. Рекомендуется медленно перемешивать сырье через каждые 4 – 6 часов.

ИНГИБИТОРЫ ПРОЦЕССА

Сбраживаемая органическая масса не должна содержать веществ (антибиотики, растворители и т. п.), отрицательно влияющих на жизнедеятельность микроорганизмов. Не способствуют «работе» микроорганизмов и некоторые неорганические вещества, поэтому нельзя, например, использовать для разбавления навоза воду, оставшуюся после стирки белья синтетическими моющими средствами.

ТИПЫ СЫРЬЯ

Навоз КРС

Навоз КРС — наиболее подходящее сырье для переработки в биогазовых установках, так как метанопродуцирующие бактерии уже содержатся в желудке КРС. Однородность навоза КРС позволяет рекомендовать его для использования в установках непрерывного сбраживания.

Обычно свежий навоз смешивают с водой и выбирают из него непереваренную солому для предотвращения осадка и корки. Моча КРС значительно увеличивает количество вырабатываемого биогаза, поэтому рекомендуется строить фермы с бетонным полом и прямым гидросливом экскрементов в емкость для смешивания сырья.

Свиной навоз

При содержании свиней в загонах и стойлах без вымощенного покрытия можно использовать лишь навоз. Он должен быть разбавлен водой для достижения правильной консистенции для переработки. Это может привести к большим количествам песка и мелких камешков в реакторе, если не оставить разбавленное сырье в емкости для смешивания для того чтобы песок осел. Попадающие в реактор песок и земля скапливаются на дне реактора и должны периодически вычищаться. Так же, как и в случае с навозом КРС, рекомендуется строить фермы с бетонным полом и прямым сливом экскрементов в емкость для смешивания сырья.

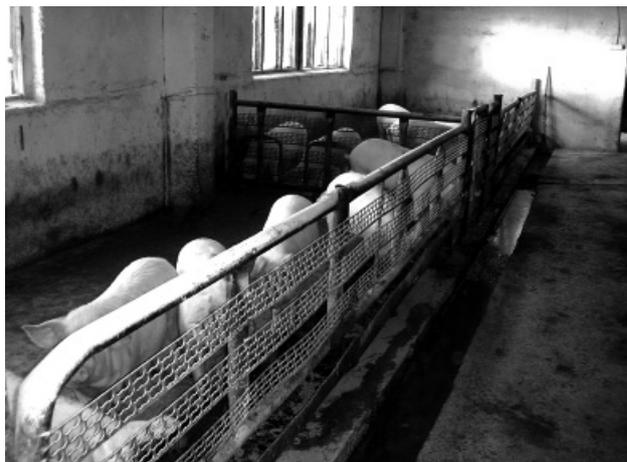


Рис.8. Содержание свиней на ферме с бетонным полом.

Фото: Веденев А.Г., ОФ «Флюид»

Овечий и козий навоз

Для овец и коз, содержащихся без вымощенного покрытия, ситуация является схожей с описанной для свиного навоза. Так как козья ферма является практически единственным местом для сбора достаточного количества навоза, да и только при условии соломенной подстилки, сырье для биогазовой установки в основном представляет собой смесь навоза и соломы. Большинство систем, перерабатывающих такое сырье, работает в режиме порционной загрузки, при котором смесь навоза, соломы и воды загружается без предварительной подготовки и остаётся в реакторе на более продолжительный срок, чем чистый навоз.

Куриный помет

Для переработки куриного помета рекомендуется клеточное содержание птиц или установка насеста над подходящей для сбора помета площадью ограниченного размера. В случае напольного содержания птиц доля песка, опилок, соломы в помете будет слишком высока. Нужно учитывать возможные проблемы и проводить чистку реактора чаще, чем при работе с другими видами сырья.

Куриный помет хорошо сочетается с навозом КРС и может перерабатываться вместе с ним. При использовании чистого птичьего помета в качестве сырья существует опасность высокой концентрации аммиака.

Фекалии

Если фекалии перерабатываются в биогазовых установках, туалеты должны быть устроены так, чтобы фекалии смывались малым количеством воды. Нужно убедиться, что в туалет не попадает вода из других источников, а количество смывающей воды должно быть ограничено 0,5 - 1 литром воды для предотвращения чрезмерного разбавления сырья [8].



Рис.9. Совмещенная переработка фекалий в биогазовой установке с. Беловодское.
Фото: Веденев А.Г., ОФ «Флюид»

ВЫХОД ГАЗА И СОДЕРЖАНИЕ МЕТАНА

Выход газа обычно подсчитывается в литрах или кубических метрах на килограмм сухого вещества, содержащегося в навозе. В таблице показаны значения выхода биогаза на килограмм сухого вещества для разных видов сырья после 10-20 дней ферментации при мезофильной температуре.

Для определения выхода биогаза из свежего сырья с помощью таблицы сначала нужно определить влажность свежего сырья. Для этого можно взять килограмм свежего навоза, высушить его и взвесить сухой остаток. Влажность навоза в процентах можно подсчитать по формуле: $(1 - \text{вес высушенного навоза}) \times 100\%$.

Таблица 6. Выход биогаза и содержание в нем метана при использовании разных типов сырья [8,18]

Тип сырья	Выход газа (м ³ на килограмм сухого вещества)	Содержание метана (%)
А. Навоз животных		
Навоз КРС	0,250 - 0,340	65
Свиной навоз	0,340 - 0,580	65-70
Птичий помет	0,310 - 0,620	60
Конский навоз	0,200 - 0,300	56-60
Овечий навоз	0,300 - 0,620	70
Б. Отходы хозяйства		
Сточные воды, фекалии	0,310 - 0,740	70
Овощные отходы	0,330 - 0,500	50-70
Картофельная ботва	0,280 - 0,490	60-75
Свекельная ботва	0,400-0,500	85
С. Растительные сухие отходы		
Пшеничная солома	0,200-0,300	50-60
Солома ржи	0,200-0,300	59
Ячменная солома	0,250-0,300	59
Овсяная солома	0,290-0,310	59
Кукурузная солома	0,380-0,460	59
Лен	0,360	59
Конопля	0,360	59
Свекельный жом	0,165	
Листья подсолнечника	0,300	59
Клевер	0,430-0,490	
Д. Другое		
Трава	0,280-0,630	70
Листва деревьев	0,210-0,290	58

Подсчитать, какое количество свежего навоза с определенной влажностью будет соответствовать 1 кг сухого вещества, можно следующим образом: от 100 отнимаем значение влажности навоза в процентах, а затем делим 100 на это значение:

100: (100% - влажность в %).

Пример 1. Если вы определили, что влажность используемого в качестве сырья навоза КРС равна 85%, то 1 килограмм сухого вещества будет соответствовать $100:(100 - 85) =$ около 6,6 килограмма свежего навоза. Значит, с 6,6 килограмма свежего навоза мы получаем 0,250 – 0,320 м³ биогаза, а с 1 килограмма свежего навоза КРС можно получить в 6,6 раза меньше: 0,037 – 0,048 м³ биогаза.

Пример 2. Вы определили влажность свиного навоза - 80%, значит, 1 килограмм сухого вещества будет равен 5 килограммам свежего свиного навоза. Из таблицы мы знаем, что 1 килограмм сухого вещества (или 5 кг свежего свиного навоза) выделяет 0,340 - 0,580 м³ биогаза. Значит, 1 килограмм свежего свиного навоза выделяет 0,068 – 0,116 м³ биогаза.

Примерные значения

Если известен вес суточного свежего навоза, то суточный выход биогаза будет примерно следующим:

- 1 тонна навоза КРС — 40-50 м³ биогаза;
- 1 тонна свиного навоза — 70 - 80 м³ биогаза;
- 1 тонна птичьего помета — 60 -70 м³ биогаза.

Нужно помнить, что примерные значения приводятся для готового сырья влажностью 85% - 92%.

Вес биогаза

Объемный вес биогаза составляет 1,2 кг на 1 м³, поэтому при подсчете количества получаемых удобрений необходимо вычитать его из количества перерабатываемого сырья [8].

Для среднесуточной загрузки 55 кг сырья и дневном выходе биогаза 2,2 - 2,7 м³ на голову КРС масса сырья уменьшится на 4 - 5% в процессе переработки его в биогазовой установке.

ПРОБЛЕМА КОРКИ

Если наблюдается высокий объем газа, но он недостаточно горючий, это часто означает, что на поверхности сырья в реакторе образовалась пена или корка. Если давление газа совсем низкое, это тоже может означать, что образовалась корка, блокирующая газовую трубу. Необходимо удалять корку с поверхности сырья в реакторе.

Удаление корки

Особенностью корки, которая образуется на поверхности сырья в реакторе биогазовой установки, является то, что она не ломкая, но тягучая и может стать очень твердой в течение короткого периода времени. Для ее разрушения нужно поддерживать ее в увлажненном состоянии. То есть корку можно полить сверху водой или опустить в сырье.

Сортировка сырья

Солома, трава, стебли травы и даже просто подсохший навоз всплывают на поверхность сырья, а сухие и минеральные вещества оседают на дне реактора и со временем могут закрыть выгрузочное отверстие или уменьшить рабочую площадь реактора. При правильно подготовленном сырье с не слишком высоким содержанием воды такой проблемы не возникает.

Готовое сырье

При использовании свежего навоза КРС не возникает проблемы корки. Проблемы возникают в случае, когда в сырье присутствуют твердые и неразложившиеся органические вещества. Перед строительством установки необходимо проверить корм животных и навоз на возможность переработки в реакторе. Может оказаться необходимым тщательное измельчение корма, и в таком случае лучше заранее рассчитать дополнительные затраты. Проблема содержания твердых частиц в сырье намного серьезнее для свиного навоза и птичьего помета. Песок, склеиваемый курами, и попадание перьев в помет делают его трудным сырьем.

СОСТАВ СЫРЬЯ

Исследования химического состава сырья до переработки в биогазовых установках проводились учеными зарубежных стран и Кыргызстана.

Таблица 7. Состав сырья до переработки в биогазовой установке [17]

Сырье	Влажность (%)	Сухое вещество (%)	Гуминовые кислоты на сухое вещество (%)	Фульвокислоты (%)	Уровень pH
Навоз	96-98	4 - 2	14,8	1,6	6,5
Навоз и растительные отходы	96-98	4 - 2	28,3	3,7	7,5
Растительные отходы	96-98	4 - 2	33,5	4,0	7,3

Вязкость

Вязкость сырья в процессе переработки заметно уменьшается, так как количество твердого вещества (соломы и др.) уменьшается путем сбраживания на 50% в стабильных условиях.

Запах

Биоудобрению присущ намного менее интенсивный запах, чем запах используемого сырья (навоз, моча). При наличии достаточного времени сбраживания почти все пахучие субстанции полностью перерабатываются.

Питательные вещества

Питательные свойства биоудобрения определяются количеством органических веществ и химических элементов, которые оно содержит. Все питательные для растений вещества, такие как азот, фосфор, калий и магний, а также микроэлементы и витамины, необходимые для роста растений, сохраняются в биоудобрении. Соотношение углерода и азота (около 1:15) имеет благоприятный эффект на качество почв. В таблице 8 приводится примерное содержание питательных веществ в биоудобрении.

Таблица 8. Содержание элементов в биоудобрении (в граммах на кг сухого вещества) [17]

Сырье	Фосфат P_2O_5	Калий K_2O	Кальций CaO	Магний MgO	Азот Na_2O
Навоз	3,05	5,64	3,25	0,98	1,75
Навоз и растительные отходы	6,37	7,98	5,15	1,95	3,37
Растительные отходы	6,66	8,88	5,18	2,22	3,70

Фосфат и калий

Содержание фосфата (форма фосфора, напрямую усваиваемая растениями) не изменяется в процессе ферментации сырья. В этой форме растениями может быть усвоено около 50% общего содержания фосфора. Ферментация не влияет на содержание калия, от 75 до 100% которого может быть усвоено растениями.

Азот

В отличие от фосфата и калия, некоторое количество азота изменяется в процессе ферментации. Около 75% азота, содержащегося в свежем навозе, становится частью органических макромолекул, остальные 25% представлены в минеральной форме. После переработки в биогазовой установке около 50 % азота в биоудобрении находятся в органической форме, и 50% - в минеральной. Минеральный азот может быть напрямую усвоен растениями, а органический азот должен сначала минерализоваться с помощью почвенных микроорганизмов.