

Швед И.М., старший преподаватель
Пуныко А.И., кандидат технических наук, доцент

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ МЕТАНА ПРИ УТИЛИЗАЦИИ НАВОЗА НА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ И КОМПЛЕКСАХ

Резюме

В современных условиях интенсификации животноводства объемы образующихся органических отходов достигают критических значений, что создает серьезную угрозу для экологической безопасности как населения, проживающего возле ферм и комплексов, так и для близлежащих населенных пунктов. При неправильном использовании навоза возникают экологические риски, среди которых особое место занимают загрязнение водных объектов, деградация почвенного покрова и выбросы парниковых газов в атмосферу.

В статье рассматриваются современные технологические решения минимизации описанных рисков за счет применения различного вида конструкций навозохранилищ и плавающих покрытий.

Ключевые слова: ферма, жидкий навоз, навозохранилище, метан, плавающие покрытия, экологическая безопасность.

Summary

In the current conditions of intensification of animal husbandry, the volume of organic waste generated reaches critical values, which poses serious threats to the environmental safety of both the population living near farms and complexes, and for nearby settlements. If manure is misused, environmental risks arise, among which pollution of water bodies, degradation of soil cover and emissions of greenhouse gases into the atmosphere take a special place.

The article discusses modern technological solutions for minimizing the described risks through the use of various types of manure storage structures and floating coatings.

Keywords: farm, liquid manure, manure storage, methane, floating coatings, environmental safety.

Поступила в редакцию 11.05.2026 г.

ВВЕДЕНИЕ

Изменение климата в мире занимает особое место среди экологических проблем. Актуальность данной проблемы подтверждена принятием 9 мая 1992 г. Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. Принятие конвенции означает признание того, что изменение климата на планете и неблагоприятные последствия этого процесса вызваны результатами человеческой деятельности, которые привели к существенной концентрации парниковых газов в атмосфере и в итоге – к глобальному потеплению, что может сказаться на экосистеме Земли.

Современный агропромышленный комплекс постоянно наращивает объемы производства животноводческой продукции, что ведет к увеличению экологической нагрузки на биосферу. Животноводство является одним из крупнейших источников выброса метана и других парниковых газов

в атмосферу, чей потенциал для глобального потепления в 25–28 раз превышает аналогичный показатель углекислотного газа. Основная доля этих выбросов приходится на процессы накопления, хранения и утилизации навоза на крупных фермах и комплексах, где концентрация органических отходов достигает максимальных значений.

К числу парниковых газов относятся водяной пар, углекислый газ, метан и другие. По мнению многих ученых [1, 2], по содержанию в атмосфере метан занимает второе место после углекислого газа. Метан является продуктом природных процессов, а также выделяется в процессе промышленной деятельности человека и жизнедеятельности животных.

Цель работы – теоретическое обоснование и оценка эффективности применения защитных плавающих покрытий как метода сокращения выбросов метана при утилизации навоза на животноводческих фермах и комплексах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Животноводство является крупнейшим источником выделения метана в окру-

жающую среду – до 30 % (таблица), что связано с кишечной ферментацией жвачных животных [1].

Таблица – Выделение метана от различных источников и прогноз на 2030 г. (сценарий «Business as Usual»), Мт (CH₄) [1]

Категории источников	Год		
	1990	2005	2030
Энергетика, всего, Мт, в том числе:	105,1	118,4	166,2
добыча и переработка нефти и газа	60,9	73,5	100,6
добыча угля	25,2	24,8	37,3
сжигание ископаемого топлива	10,5	10,7	17,3
сжигание биомассы	8,4	9,4	11,0
Промышленные процессы, Мт	0,4	0,4	0,3
Сельское хозяйство, всего, Мт, в том числе:	142,1	144,5	166,9
жвачные животные	84,0	90,2	110,5
рисоводство	22,9	23,9	24,3
переработка навоза	11,1	10,4	12,0
сжигание травы в саванне, сельскохозяйственных остатков, выбросы от пашни	24,1	20,0	20,0
Отходы, всего, Мт, в том числе:	51,0	61,2	75,4
захоронение твердых отходов	33,6	37,8	45,7
обращение со стоками	16,8	22,7	29,0
другие способы обработки отходов	0,6	0,7	0,7
Итого	298,5	324,6	408,8

Анализ таблицы показывает, что сельское хозяйство стоит на первом месте по выделению метана, а на долю обращения с навозом приходится до 10 % всего выделения метана в сельском хозяйстве. Представленная таблица свидетельствует об актуальности выполнения задач, направленных на совершенствование конструктивных решений по хранению навоза.

Навоз и навозные стоки являются продуктом жизнедеятельности животных. В процессе хранения навоза в навозохранилищах, а также его компостирования выделяется метан, так как навозная масса содержит огромное количество органического материала, а при ее накоплении создаются анаэробные условия, способствующие его выделению. Также метан можно отнести к числу не только парниковых газов, но и загрязняющих веществ, что в свою очередь приводит к строгому соблюдению зоотехнических требований при переработке и использовании органических удобрений, и соблюдению норм при строительстве накопителей и хранилищ для на-

воза, в особенности для хранения жидкого и полужидкого навоза.

Для снижения выделяемого в атмосферу метана применяют специальные технологии его улавливания и утилизации, определяющиеся техническими и экономическими возможностями сельскохозяйственных организаций.

Сокращению выделения метана в окружающую среду могут способствовать следующие мероприятия:

- совершенствование методов использования навоза;
- повышение энергоэффективности навоза, хранящегося на животноводческих фермах и комплексах в больших количествах;
- использование специальных конструкций, оборудования и устройств, снижающих выделение метана в окружающую среду.

Одним из путей совершенствования методов использования навоза можно назвать его переработку для использования в качестве подстилки. Это позволяет

снизить до минимума риск заболеваний у животных благодаря отсутствию в подстилке патогенной микрофлоры, которая уничтожается благодаря досушиванию твердой фракции навоза при высокой температуре в сушильных барабанах. Использование навоза для повторного внесения на подстилку позволяет также снизить общую нагрузку на экологию вокруг ферм и комплексов.

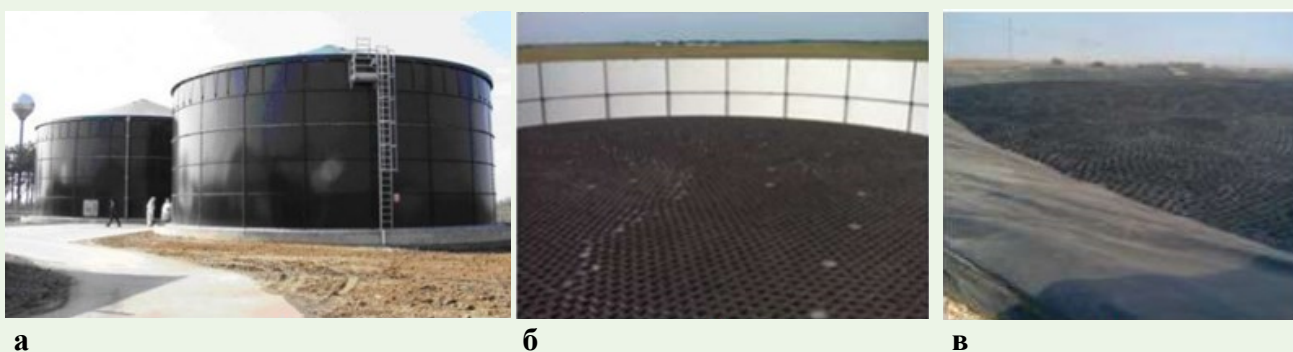
Повышения энергоэффективности животноводческой отрасли можно добиться, преобразуя метан из навоза в биогаз, который будет использоваться в качестве источника энергии или топлива. Основным преимуществом такого использования навоза является то, что сырье для биогазовых установок находится в легкой доступности и практически в неограниченном количестве.

По данным Государственного кадастра возобновляемых источников энергии [3], в Республике Беларусь действует 42 установки по производству биогаза общей электрической мощностью 54,57 МВт, а суммарная тепловая мощность – 27,11 МВт. Годовой выход электрической и тепловой энергии данных установок – 351,31 тыс. кВт·ч и 112,55 Гкал соответственно. Работа биогазовых установок приводит к сокращению

выделения загрязняющих веществ и парниковых газов в количестве 207859,6 т/год. При этом их строительство позволяет получить экологически чистые органические удобрения, которые лишены патогенной микрофлоры, яиц гельминтов, семян сорняков, нитритов и нитратов, а также улучшить усвояемость удобрений, что в итоге приводит к повышению урожайности сельскохозяйственных культур и эффективно-му развитию органического земледелия в стране.

Развитие возобновляемых источников энергии в республике, в том числе и использование биогаза, основано на Законе Республики Беларусь «О возобновляемых источниках энергии», который был принят в 2010 г. Указом Президента Республики Беларусь «О возобновляемых источниках энергии» № 357 от 18.09.2019 г., и других законодательных актах.

Поскольку правильное хранение навоза регламентировано требованиями, то снизить загрязнение грунтовых вод и выделение метана в атмосферу возможно путем использования специальных хранилищ (рисунок 1): полностью закрытых металлических из нержавеющей или эмалированной стали или открытых с плавающим покрытием.



а – закрытое навозохранилище; б – открытое навозохранилище с плавающим покрытием;
в – заглубленное навозохранилище с плавающим покрытием

Рисунок 1 – Емкости для хранения навоза

Снижения выделения метана в окружающую среду можно добиться применением закрытых навозохранилищ (рисунок 1 а), использование которых позволит компостировать жидкий навоз в бескислородной среде и выполнять сбор выделяемого биометана для его дальнейшего применения.

Основное преимущество закрытых хранилищ – минимальное выделение парниковых газов в атмосферу, защита от атмосферных осадков, а также установка навозохранилища практически на любом участке местности, независимо от уровня поверхностных и грунтовых вод. Также к преимуществам закрытых хранилищ сле-

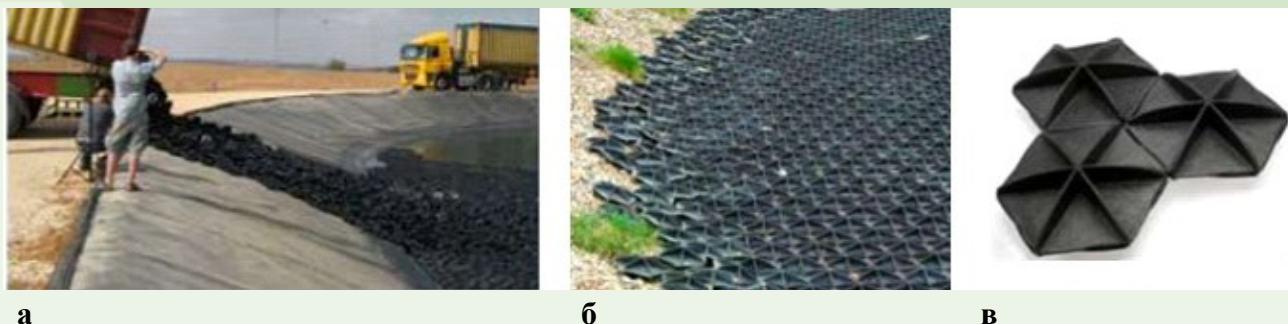
дует отнести экономию прилегающей к ним площади и большой срок эксплуатации.

Недостатки – это целесообразность подогрева навозной массы при низких температурах, строгое соблюдение экологических, санитарных и других требований, а также возможность их заиливания, что приводит к необходимости проводить обслуживание данного хранилища.

К открытому типу навозохранилищ можно отнести надземное (рисунок 1 б) и заглубленное – лагуна (рисунок 1 в). Их преимуществом является экономичность и эффективность хранения и обеззараживания навоза, что является следствием анаэробного сбраживания.

К недостаткам навозохранилищ открытого типа следует отнести высокие теплотери из-за большой площади поверхности навозохранилища, что снижает температурный режим хранящегося навоза,

следовательно, ухудшаются условия его обеззараживания [4]. Также к недостатку пленочных хранилищ (лагун) следует отнести то, что спайку стыков пленки должны осуществлять высококвалифицированные специалисты, так как в случае повреждения пленочного покрытия под него попадает навоз, при разложении которого происходит газообразование. Образовавшиеся под покрытием газы становятся причиной его пузырения, что приводит к невозможности его дальнейшего применения и, как следствие, делает навозохранилище непригодным для использования. При этом попавший под пленку навоз может привести к загрязнению прилегающих территорий, а также поверхностных и грунтовых вод. С целью уменьшения потери тепла, испарения, выделения неприятных запахов, а также парниковых газов в атмосферу открытые навозохранилища покрывают плавающим покрытием (рисунок 2).



а – процесс установки покрытия в навозохранилище;
б – распределение покрытия по всей площади навозохранилища;
в – конструктивные элементы плавающего покрытия

Рисунок 2 – Защитное плавающее покрытие

Плавающие покрытия в навозохранилищах открытого типа являются обязательными в большинстве стран Европы. В Нидерландах, Канаде и США такое покрытие используется как система, предотвращающая выбросы газов в открытых емкостях. Такая система покрытия наиболее подходит для установки на уже существующие хранилища, которые по своим характеристикам не могут удержать вес тентовой крыши. При этом вода от осадков накапливается сверху, не попадая в основную массу навоза, и тем самым не ухудшает его качество. В случае необходимости избыток воды можно удалить шланговой системой при помощи насоса.

При укладке покрытия отдельные звенья плиток сами выравниваются, расходятся по поверхности навозной массы и равномерно распределяются по всей площади навозохранилища. При этом образуется однородное, свободно плавающее по поверхности навоза покрытие, которое движется в разные стороны на уровне навозной массы в хранилище.

Основным преимуществом плавающего покрытия является то, что оно легко устанавливается (без специального оборудования), не требует обслуживания и ухода, подходит как для прямоугольных, так и для цилиндрических хранилищ и может быть установлено на различные типы жидких сред.

К недостаткам покрытия следует отнести то, что оно не защищает полностью от выбросов запахов и газов в атмосферу, а лишь максимально снижает их выделение, а также необходимость финансовых затрат в случае необходимости добавления большего количества элементов покрытия.

Общее количество элементов покрытия n , можно теоретически определить по формуле:

$$n = \frac{F_{\text{нх}}}{F_{\text{п}}}, \quad (1)$$

где $F_{\text{нх}}$ – полезная площадь навозохранилища, м^2 ;

$F_{\text{п}}$ – площадь одного элемента покрытия, м^2 .

Полезную площадь навозохранилища определим по формуле:

$$F_{\text{нх}} = \frac{nq_{\text{п}}t_{\text{д}}}{\rho h}, \quad (2)$$

где n – поголовье животных на ферме, гол.;

$q_{\text{п}}$ – масса навоза от одного животного за сутки, кг/гол. ;

$t_{\text{д}}$ – число дней хранения навоза в хранилище;

ρ – средняя плотность навоза, кг/м^3 ;

h – высота укладки навоза, м.

Так как покрытие имеет форму шестиугольника, то площадь одного элемента можно определить по следующей формуле:

$$F_{\text{п}} = \frac{3\sqrt{3}}{2}a^2, \quad (3)$$

где a – сторона элемента покрытия, м.

Подставим формулу (2) и (3) в начальную формулу (1) и преобразуем ее. С учетом угловых зон элементов и, как следствие, перекрытия всей площади

навозохранилища, необходимо общее количество элементов увеличить на 10–15 %. Тогда формула по определению количества элементов покрытия примет следующий вид:

$$n = (1,1 \dots 1,15) \frac{0,385nq_{\text{п}}t_{\text{д}}a^2}{\rho h}. \quad (4)$$

Из формулы (4) видно, что общее количество элементов покрытия прямо пропорционально массе хранящегося в навозохранилище навоза и размерам покрытия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Животноводство образует значительную часть выбросов парниковых газов, следовательно, правильная утилизация и переработка навоза является необходимым средством для сокращения этих выбросов. Для достижения наилучших результатов по уменьшению выбросов вредных веществ и парниковых газов в атмосферу может потребоваться сочетание разного рода дополнительных мер по правильному использованию навоза.

Также необходимо отметить, что сокращение выбросов парниковых газов в процессе утилизации навоза на фермах и комплексах приведет к улучшению экологической обстановки в целом. При этом следует учитывать местные условия, средства и ресурсы при выборе эффективных мер утилизации навоза.

Выбор тех или иных конструктивных и технических решений по хранению навоза для отдельного предприятия необходимо осуществлять на основе тщательно проведенной технико-экономической оценки рассматриваемых выше навозохранилищ с учетом сохранения качественных показателей навоза и соблюдения норм экологической безопасности.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ишков, А. Г. Роль метана в изменении климата / А. Г. Ишков. – НИИПЭ, Неправительственный экологический фонд имени В. И. Вернадского, Российская экологическая академия, 2018. – 135 с.
2. Kiehl, J. T. Trenberth. Earth is Annual Global Mean Energy Budget / J. T. Kiehl // *Bulletin of the American Meteorological Society*. – 1997. – Vol. 78, № 2. – P. 197–208.
3. Государственный кадастр возобновляемых источников энергии / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь : [сайт]. – URL: <http://195.50.7.239/Cadastr/Map> (дата обращения: 13.05.2023).
4. Техническое обеспечение процессов в животноводстве / В. К. Гриб, Л. С. Герасимович, С. С. Жук [и др.]; под общ. ред. В. К. Гриба. – Минск : Беларуская навука, 2004. – 831 с.