

## Модель технологического процесса переработки птичьего помёта

*М.В. Запелов, д.т.н., В.В. Качурин, к.т.н.,  
ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ*

Сельское хозяйство является одним из основных производителей органических отходов. Значительная доля этих отходов приходится на животноводство и птицеводство. В последнее время на птицеводческих предприятиях России установилась достаточно высокая культура производства, которая способствует существенным темпам наращивания высококачественной и недорогой продукции, что позволило конкурировать с иностранными производителями и практически полностью вытеснить импортную птицеводческую продукцию. Однако увеличение производства яиц и мяса птиц сопровождается выходом большого количества отходов производства, в первую очередь птичьего помёта, который в переработанном виде является веществом, опасным для окружающей среды, и требует особого подхода к его утилизации [1–3]. Перед отраслью стоит задача по снижению, а лучше по устранению этой опасности. При этом технология утилизации должна быть эффективной и экологически безопасной [4].

**Цель исследования** – повышение эффективности переработки птичьего помёта.

**Материал и методы исследования.** В настоящее время на птицефабриках в большинстве случаев применяются устаревшие технологии утилизации птичьего помёта. Чаще всего помёт после его удаления из птичника складывается в помётохранилище, а после выдерживания определённого времени вывозится на поля и используется в качестве органического удобрения. В процессе хранения помёта и внесения его в почву происходит потеря питательных веществ растений и загрязнение окружающей среды. Затраты на применение такого удобрения зачастую не окупаются прибавкой урожая сельскохозяйственных культур, поэтому его применение становится экономически нецелесообразным. Повысить эффективность утилизации птичьего помёта возможно путём применения технологии глубокой его переработки на этапе удаления из птичника.

Современный подход к решению любых технологических задач в производстве основывается на принципах системного анализа. Согласно этим принципам переработку помёта следует рассматривать как сложную производственную систему, состоящую из элементов различных уровней детализации, начиная от физико-механических свойств исходного материала, конечного продукта и заканчивая отдельными технологическими процессами.

**Результаты исследования.** В Южно-Уральском государственном аграрном университете разработан

способ экологически безопасной утилизации помёта. Переработка помёта осуществляется в потоке, после его удаления из птичника, что исключает затраты на его хранение, существенно снижает отрицательное воздействие на окружающую среду, позволяет получить новую востребованную продукцию. Способ переработки базируется на научных данных физики, химии, механики и других естественных наук. Он является достаточно сложным как с технологической, так и технической точки зрения. При осуществлении данного способа процесс переработки помёта представляет собой совокупность взаимосвязанных основных, вспомогательных и обслуживающих процессов. Основными технологическими процессами переработки являются те, при которых птичий помёт превращается в готовый продукт. С экономической точки зрения этот продукт должен быть как востребованным, так и конкурентоспособным. Таким продуктом может быть тепловая и электрическая энергия, пиролизный газ, топливные брикеты, органо-минеральное удобрение. Схема процесса переработки птичьего помёта включает технологические процессы его сушки, пиролиза, приготовления удобрения (рис.).

В свою очередь данные технологические процессы подразделяются на механические, гидромеханические, тепловые, массообменные и химические. К механическим процессам относятся измельчение компонентов органо-минерального удобрения, их транспортировка и смешивание. При этих процессах оказывается механическое воздействие на обрабатываемый материал, и описываются они законами механики твёрдых тел [5].

Перемещение пара, образуемого при высушивании помёта, сбор и транспортировка воды, получаемой при конденсации пара, движение теплоносителя в сушильной установке и синтез газа в пиролизном реакторе, брикетирование высушенного помёта и гранулирование органо-минеральной смеси относятся к гидродинамическим процессам. Движущей силой этих процессов являются гидростатическое и гидродинамическое давление. Их осуществление происходит в соответствии с законами гидромеханики.

Тепловые процессы при переработке помёта объединены теплообменными и массообменными процессами. Они протекают одновременно при предварительном нагреве и сушке помёта. Описываются эти процессы законами теплопередачи – знаниями о способах распространения теплоты и законами молекулярной диффузии. Скорость их протекания значительно зависит от гидродинамических условий, при которых осуществляется перенос теплоты от агента сушки к высушиваемому

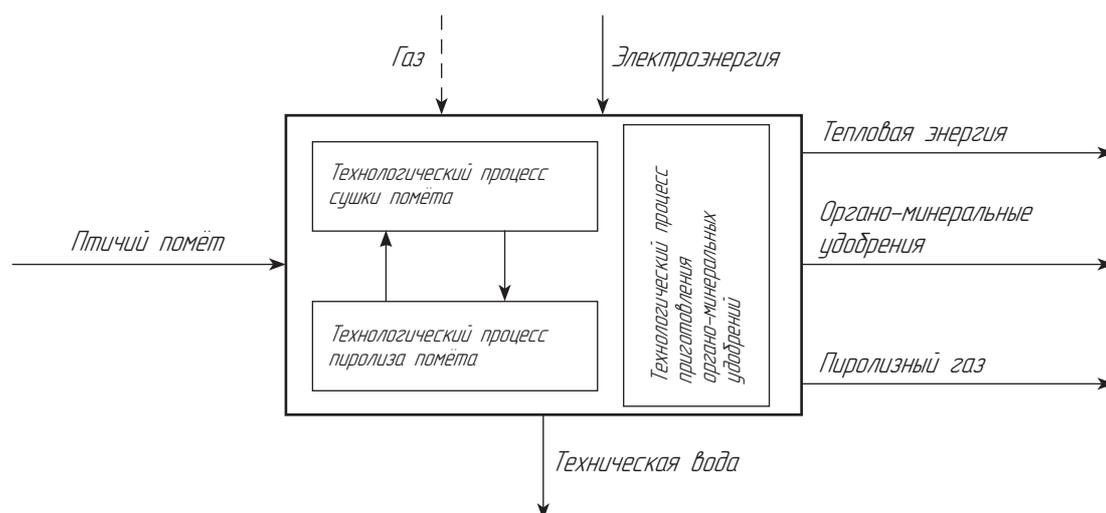


Рис. – Процесс переработки птичьего помёта

помёту. Поэтому процесс сушки в значительной мере зависит от типа и конструкции сушилки.

Одной из задач при приготовлении органо-минерального удобрения является получение вещества, обладающего высокими удобрительными свойствами, что связано с различными химическими превращениями смешиваемых компонентов. Эти превращения происходят в соответствии с законами химической кинетики.

Процессы получения указанных продуктов при переработке помёта состоят из отдельных стадий, которые подразделяют на несколько технологических операций. В свою очередь каждая из этих операций состоит из элементов, которые представляют собой законченное действие по изменению состояния обрабатываемого помёта. При этом предусматривается выполнение ручных, машинных, автоматических и операторных операций, соотношение этих операций зависит от совершенства данного процесса. В ручных операциях используют простой или несложный механизированный инструмент, предназначенный чаще всего для выполнения регулировок и устранения неисправностей транспортирующих рабочих органов, завальной ямы и технологического оборудования. Машинные операции осуществляются с помощью машин или агрегатов при непосредственном участии рабочих – транспортировка помёта мобильными транспортными агрегатами от места его сбора до переработки, погрузочно-разгрузочные операции готовой продукции и т.п. Автоматические операции протекают под наблюдением операторов, но без их непосредственного участия. Это дозирование и смешивание компонентов при приготовлении органо-минеральной смеси, гранулирование и фасовка удобрения. Аппаратные операции обуславливают выполнение технологического процесса специальными агрегатами без участия оператора. В задачу оператора входит проверка соблюдения технологических режимов, загрузочных и разгрузочных операций этих агрегатов. К данной

группе операций можно отнести сушку помёта и его газификацию методом пироллиза.

Одной из отрицательных особенностей бесподстилочного птичьего помёта является его высокая влажность, которая находится в пределах 65–75% [6]. Из-за наличия влаги в массе помёта начинают развиваться нежелательные биологические процессы с образованием веществ, загрязняющих окружающую среду. Поэтому начальной стадией его переработки является сушка. В результате удаления влаги из помёта происходит улучшение его технологических свойств, он становится пригодным для дальнейшей переработки. Процесс сушки очень энергоёмкий, из 1 т влажного помёта следует испарить 500–600 кг воды. По способу организации он может быть как периодическим, так и непрерывным. Характеризуется временем продолжительности сушки ( $t$ ), необходимым для завершения всех его стадий, начиная от момента загрузки и заканчивая выгрузкой высушенного до определённой влажности материала, и периодом сушки ( $T$ ), т.е. временем от начала загрузки данной партии помёта до начала загрузки помёта последующей партии. Ещё одним показателем этого процесса является степень непрерывности ( $N$ ), которая определяется как отношение его продолжительности к периоду:

$$N = t / T. \quad (1)$$

Непрерывные процессы имеют преимущество перед периодическими, так как обеспечивают большую производительность, возможность стабилизации процесса во времени, улучшения качества получаемой продукции, возможность осуществления полной их механизации и автоматизации. Так как для непрерывного процесса  $T \rightarrow 0$ , то степень непрерывности  $N \rightarrow \infty$ .

Процесс сушки помёта представляет собой перенос тепла и влаги в системе помёт – вода – пар в результате подвода к помёту теплоты. Движущей силой сушки является разность потенциалов, которые определяются через градиенты параме-

тров материальных потоков, участвующих в этом процессе.

Сушка помёта может осуществляться различными способами. Естественная сушка происходит непосредственно в птичнике с дополнительным его обдувом при нахождении на лентах помётоудаления клеток, в которых содержатся птицы. Однако этот способ практически не используют из-за длительности процесса, а применяют сушку в специальных сушильных установках. Конструкция данных установок зависит от способа подвода тепла к высушиваемому помёту. Наиболее распространёнными являются конвективный и кондуктивный (контактный) способы сушки. Очень редко применяется сушка диэлектрическая – токами высокой частоты, сублимационная – вымораживанием в вакууме, радиационная – инфракрасным излучением.

Конвективную сушку осуществляют в потоке нагретого сушильного агента, выполняющего одновременно функции тепло- и влагоносителя, обеспечивающего создание необходимой гидродинамической обстановки в сушилке.

Контактная сушка, в отличие от конвективной, происходит за счёт передачи тепла высушиваемому продукту через нагретую поверхность. Основным преимуществом этого способа является значительная интенсивность, обусловленная высоким коэффициентом теплопередачи между горячей поверхностью и материалом, благодаря чему он быстро обезвоживается. При контактной сушке значительно меньше требуется затрат энергии, а сушильная установка сравнительно проста по конструкции и в обслуживании [5].

Количество влаги, которую требуется испарить из помёта, определяют как:

$$N_{\text{вис}} = N_{\text{пп}} \cdot (W_{\text{н}} - W_{\text{с}}) / 100. \quad (2)$$

где  $N_{\text{вис}}$  – количество влаги, испаряемой за один час работы сушилки, т;

$N_{\text{пп}}$  – количество помёта, перерабатываемого сушилкой за один час, т;

$W_{\text{н}}$  – исходная влажность помёта, %;

$W_{\text{с}}$  – влажность высушенного помёта, %.

При больших объёмах помёта целесообразно применять непрерывный процесс сушки, который предполагается осуществлять в сушилке барабанного типа. Производительность сушилки следует выбирать с учётом суточного объёма помёта, поступающего на переработку, при этом сушилка должна работать круглосуточно. Так, например, при поступлении около 100 т помёта в сутки производительность сушилки должна составлять не менее 4,0 т/ч. При 70-процентной влажности поступающего на сушку помёта и 15-процентной влажности высушенного помёта необходимо испарить за 1 час около 2,2 т воды. На выходе получится 1,8 т высушенного помёта влажностью 5–10%, при этом количество абсолютно сухого помёта составит 1,6–1,7 т.

Процесс сушки включает в себя нагрев помёта и испарение влаги [7]. Для снижения затрат энергии в сушилке предусмотрено производить предварительный подогрев помёта в завальной яме до 30–35°C с использованием пара, который удаляют из сушильной камеры. При этом повышается эффективность использования тепловой энергии, обеспечивается управление конденсации пара и сбор получаемой технической воды.

Часовой расход тепла на нагрев помёта в сушилке может быть определён как:

$$Q_{\text{н}} = G_{\text{н}} \cdot [c_{\text{м}} \cdot (1 - W_{\text{н}}/100) + c_{\text{в}} \cdot W_{\text{н}}/100] \cdot [0,5 \cdot (t_{\text{ст2}} + t_{\text{пов}}) - t_{\text{о}}], \quad (3)$$

где  $G_{\text{н}}$  – массовый расход влажного помёта, (4000 кг/ч);

$c_{\text{м}}$  – удельная теплоёмкость помёта (0,42 ккал/кг, град);

$W_{\text{н}}$  – исходная влажность помёта, % (70%);

$c_{\text{в}}$  – удельная теплоёмкость воды, (1 ккал/кг, град);

$t_{\text{ст2}}$ ,  $t_{\text{пов}}$ ,  $t_{\text{о}}$  – соответственно температура внутренней стенки барабана сушилки, поступающего в сушилку помёта, воздуха внутри барабана; (300; 30; 90).

При установленных значениях часовой расход тепла на нагрев помёта при сушке составит 247800 ккал/ч.

Расход тепла на испарение влаги при сушке помёта определяется выражением:

$$Q_{\text{н}} = N_{\text{в}} \cdot r_{\text{о}}, \quad (4)$$

где  $N_{\text{вис}}$  – количество удаляемой влаги, (2200 кг/ч);

$r_{\text{о}}$  – удельная теплота парообразования, (549,7 ккал/кг).

В нашем случае расход тепла на испарение влаги составит 1209340 ккал/ч.

В процессе сушки помёта также происходит потеря тепла в окружающую среду, ориентировочную величину которого можно определить путём умножения количества испарённой влаги с 1 кг помёта на 5,0 ккал. Таким образом, суммарная потеря тепла составит 13000 ккал/ч. Общий часовой расход тепла при сушке помёта будет складываться из расхода тепла на нагревание помёта  $Q_{\text{наг}}$ , испарение влаги  $Q_{\text{исп}}$ , и потери в окружающую среду  $Q_{\text{пот}}$ , и составит 1470140 ккал/ч.

Количество сжигаемого топлива (пиролизного газа) для получения данного количества тепла для сушки помёта определяют по формуле:

$$G_{\text{газ}} = \frac{Q_{\text{т}}}{g_{\text{газ}}}, \text{ м}^3, \quad (4)$$

где  $G_{\text{газ}}$  – количество сжигаемого газа при сушке помёта, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_{\text{т}}$  – общий часовой расход тепла, ккал/ч;

$g_{\text{газ}}$  – теплота сгорания газа, ккал/м<sup>3</sup>.

Теплота сгорания газа, полученного при пиролизе птичьего помёта, находится в пределах 1200 ккал/м<sup>3</sup> [8]. С учётом общего часового расхода

тепла на сушку помёта требуется 1225 м<sup>3</sup>/ч газа. Для поддержания процесса газификации необходимо около 150 м<sup>3</sup>/ч. Следовательно, для высушивания птичьего помёта и его пиролиза требуется около 1375 м<sup>3</sup>/ч пиролизного газа.

Из 1 кг сухого птичьего помёта можно получить около 2 м<sup>3</sup> пиролизного газа. При переработке всего количества получаемого высушенного помёта выход газа составит 3200–3400 м<sup>3</sup>/ч. Разница между количеством газа, генерированного и израсходованного на переработку помёта, составляет 1825–2025 м<sup>3</sup>/ч. Оставшийся газ можно использовать на другие внутрихозяйственные нужды, например на выработку электрической энергии.

При пиролизе остаётся около 170 кг/ч золы, которая содержит до 41% питательных веществ, необходимых для питания растений, и является основным компонентом при приготовлении органо-минерального удобрения.

#### **Выводы.**

1. Предлагаемый процесс глубокой переработки птичьего помёта является сложным технологическим процессом, направленным на экологически безопасную и экономически целесообразную утилизацию опасного вещества с получением новых востребованных и конкурентоспособных продуктов – органо-минерального удобрения, тепловой энергии и пиролизного газа. Вся переработка осуществляется в замкнутом цикле, при этом может полностью исключить потребление энергии извне.

2. Основными и наиболее энергоёмкими процессами в технологии переработки помёта является его сушка и пиролиз. При производительности сушилки 4,0 т/ч по помёту влажностью 70% и

реактора для пиролиза 1,8 т/ч по помёту влажностью 5–10% суммарный расход газа составит около 1375 м<sup>3</sup>/ч, при этом общая выработка газа составит около 3200–3400 м<sup>3</sup>/ч.

3. Неизрасходованный пиролизный газ (1825–2025 м<sup>3</sup>/ч) может быть использован на другие внутрихозяйственные нужды, например на выработку электрической энергии.

4. Для снижения затрат энергии в сушилке производится предварительный нагрев помёта в завальной яме до температуры 30–35°C, пар удаляется из барабана сушилки. Это, с одной стороны, обеспечивает рациональное использование отработанной тепловой энергии, а с другой – снижает затраты на конденсацию пара и сбор конденсата.

#### **Литература**

1. ГОСТ 31461-2012 Помёт птицы. Сырьё для производства органических удобрений. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с.
2. Технологии и технические средства для переработки помёта на птицефабриках: науч.-метод. руководство / Под общ. ред. В.И. Фисинина, В.П. Лысенко. М.: ООО «НИПКЦ Восход-А», 2011. 296 с.
3. Запевалов М.В., Качурин В.В. Повышение эффективности переработки отходов, полученных при производстве продукции птицеводства // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 3 (71). С. 144–146.
4. Запевалов М.В. Переработка отходов птицеводства // Технологические науки – агропромышленному комплексу России: матер. междунар. науч.-практич. конф. Челябинск, ЮУрГАУ, 2017. С. 90–95.
5. Лыков А.В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968. 472 с.
6. Кочиш И.И., Петраш М.Г., Смирнов С.Б. // Птицеводство. Учебники и учеб. пособия для студентов высших учебных заведений. М.: Колос, 2004. 407 с.
7. Еналеев Р.Ш. Испарение влаги при пиролизе целлюлозных материалов / Р.Ш. Еналеев, Ф.М. Гимранов, А.В. Каргин [и др.] // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 12. С. 74–77.
8. Ларина О.М. Экспериментальные исследования особенностей пиролитической переработки органических отходов жизнедеятельности в синтез-газ: дис. ... канд. техн. наук. М., 2017. 156 с.