

СЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ НАВОЗА

С. Н. Савдур

**Реферат.** Описывается технологический процесс анаэробного сбраживания навоза (далее АСН). Благодаря наличию биогазовых установок, возможно уменьшить риски вредного действия на водоемы, а также на их обитателей, установки восстанавливают природное насыщение вод кислородом и уменьшают загрязнение от солей аммония. Результативность действия подобных систем достигается с помощью новых способов переработки информации и математической характеристике процессов технологии. На основании исследования главных методов создания дискретных химических и технологических систем (далее ХТС) была выработана целесообразность применения конструкции сетей Петри, чтобы симитировать процесс (АСН). Чтобы охарактеризовать систему мы применяем N-схемы, в основе которых лежит математическая система СП, которая может формировать сетевую конструкцию как в аналитической форме для автоматизации работы при анализе, так и в графической форме для создания наглядности создаваемой модели. Анализируя технологические и химические процессы важно учитывать условие формальности N-схем, которое предполагает, что схемы не принимают свойства симитированных систем во времени, поскольку тайминг срабатывания перехода принято принимать за нуль. Мы учли данные условия и предложили обновленные сети Петри, которые ориентированы на анализ и имитацию дискретных ХТС, с помощью изменения времени в задержке меток на переходах и позициях, а также с помощью включения переходов, стоящих в приоритете. Мы создали модель в форме модифицированной обновленной сети Петри (далее МСП). С помощью SCADA TRACE MODE технологий мы разработали целый программный комплекс для системы управления в процессе АСН. Данная система может совершать диспетчерское наблюдение за основными частями аппарата управления, а также останавливать АСН и проводить анализ и контроль ее состояния, это осуществимо и в целом, и в рамках прогноза появления внештатных ситуаций.

**Ключевые слова:** модифицированные сети Петри, технологический процесс анаэробного сбраживания навоза, моделируемые системы, химико-технологическая система, компьютерное моделирование.

**Введение.** На сегодняшний день новейшие технологические линии, которые занимают переработкой и утилизацией биологических отходов, состоят из довольно сложной структуры с разными уровнями, а потому их можно расценивать в виде кибернетических, достаточно непростых систем. В нашем исследовании применяется систематический анализ. Из-за сложного анализа и имитации рассматриваемых систем, для решения задач необходимо использовать принципы компьютерной и математической имитации.

**Цель исследований.** Повысить эффективность процесса (АСН) на основе системного анализа.

**Условия, материалы и методы.** Для решения задач, которые мы поставили, были применены такие методы исследования как: теория графов, компьютерное моделирование, системный анализ, теория сетей Петри.

**Теория.** Процесс эволюции российского АПК, особенно в части реформирования сельскохозяйственного направления, представляет собой неоднозначное, но тем не менее интересное явление. Логичное развитие мощных предприятий, занятых в сфере производства растительной и мясо-молочной продукции, позволило ощутить качественный скачок, при этом сократив возможности для воспроизведения ресурсов и сокращения издержек [1].

Постоянная положительная тарификация на не возобновляемые источники энергии, кризисы энергетических отраслей и

общемировой дефицит ресурсов, вынуждают аграриев рассматривать различные нетрадиционные методы получения углеводородных источников топлива как преобладающие, причем методы эти простираются от использования солнечной энергии до пиролизных установок [2].

Особенное значение получил так называемый биогаз, который не только позволяет обеспечить полноценную работу энергетических установок, но и значительно сокращает издержки предприятий по утилизации биоорганических отходов животноводства. Учитывая, что побочный продукт производства биогаза является ценнейшим органическим удобрением, данные методы выводят сельскохозяйственные предприятия на качественно новый уровень в области «бережливого производства», превращая фермы мясо-молочной отрасли в практически автономные и безотходные производства. Получаемые удобрения повышают урожайность сельскохозяйственных культур почти на треть, при этом безвредны для окружающей среды, что дает дополнительную прибыль в виде всевозможных грантов и дотаций [3].

Благодаря биогазовым установкам, удается митигировать вредное воздействие на водоемы и их обитателей, сокращает загрязнение солями аммония и восстанавливает естественное кислородное насыщение вод. Идея использования навоза в качестве источника энергии не является новой, издревле

в степных и пустынных районах нашей планеты люди использовали навоз в качестве топлива. Прямое сгорание навоза позволяло компенсировать отсутствие традиционных видов топлива – дров и угля, однако данный метод не позволял использовать навоз в качестве питательного компонента для восстановления и удобрения почвы [4].

Технологический процесс (АСН) является структурно сложной системой. Эффективность функционирования таких систем можно обеспечить с помощью современных методов обработки информации, применяя методы системного анализа сложных объектов на основе математического описания технологического процесса [5].

Одним из основных направлений исследования сложных систем, является информационный подход на основе математического моделирования объекта. Моделирование и компьютерные эксперименты с моделью-заменителем объекта являются эффективным средством, позволяющим создавать системы управления, рассматривать поведение объекта во внестатных ситуациях, оценивать его структуру и законы управления, а также учитывать стохастическую природу возмущающих воздействий [6, 7].

На основе сравнительного анализа в качестве основного аппарата математического моделирования выбран аппарат теории СП. СП позволяют моделировать дискретные параллельные асинхронные процессы, получать графическое представление сети, описать системы на различных уровнях абстракции, представить системную иерархию, анализировать модели с помощью современных пакетов прикладных программ [8, 9].

**Сети Петри в виде математического аппарата с целью исследования параметров БОСВ.** Теория сетей Петри впервые была представлена миру в середине прошлого столетия. В частности, её автор К.А. Петри, предложил для проектирования прерывистых систем использовать не только параллельные, но и асинхронные действия и процессы.

Отметим, что теория сетей Петри является одной из наиболее удобных моделей для анализа параллельных систем, обладающих признаками асинхронности. Достаточно лаконично эта модель демонстрирует коммуникацию между компонентами системы. не говоря уже о том, что эти явления можно отследить в динамике.

Систему сетей Петри рационально использовать для анализа эффективности функционирования непростых систем. Не говоря уже о том, что она даёт возможность моделировать прототипы, детально анализировать специфику иного оборудования, проектировать возможные сценарии для ПО, которые функционируют асинхронно с электронными вычислительными машинами и сетями. Достаточно интенсивно внедряются всё более современные приложения для интеграции с сетями

Петри. Что даёт возможность углубить анализ, а также проектировать гибкие автоматизированные производственные системы (ГАПС) и многое другое.

Если сравнить сети Петри с сетями окончательных автоматов, то они обладают идентичным потенциалом для синхронной демонстрации последовательных процессов. При этом, данные сохраняются и в последующем их удобно анализировать. Помимо этого, достаточно удобно и просто анализировать отдельные действия частей, которые взаимосвязаны между собой, изучать протекающие там процессы. Не говоря уже о том, что эти разработки имеют широкий спектр возможностей для индивидуальной адаптации. Сети Петри максимально последовательно демонстрируют формирование цикла действий в динамической системе с дискретными событиями (ДСДС), учитывая модели других видов.

Существует ряд идентичных значений для сетей Петри. Мы же будем использовать термины, которые приведены в работах.

Формальность СП генерального вида базируется на определении комплекта, который определяется обобщением для понятия больших чисел. Как и в случае с множеством, такой комплект представляет собой количество элементов, однако любой из них способен входить туда не чаще одного раза.

Положения, в которых дуги направляются внутрь перехода  $t_j$ , принято именовать входными. Очевидно, что в положении, где они движутся изнутри, такие позиции принято именовать выходными для  $t_j$ . Комплекс входных значений детализируют, как  $I(t_j)$ , а выходных -  $O(t_j)$  [10].

Использование таких комплексов позволяет представленные позиции приравнять к кратным выходам, а также переходам. При этом, значения кратности для  $p_i$  в состоянии перехода  $t_j$  принято считать суммой формирования положения в позиции ввода. Если идёт речь о комплексе перехода. Данное значение отображается, как  $\#(p_i, I(t_j))$ .

Аналогичным образом определяется кратность выхода состояния  $p_i$ , если переход  $t_j$  равен сумме выявленных чисел и позиций относительно 1-го выходного комплекта, в состоянии перехода. То, здесь принято использовать такое обозначение:  $\#(p_i, O(t_j))$ .

Переход  $t_j$  есть вход для позиции  $p_i$ , возможен только в том случае, когда значение  $p_i$  относится к выходу  $t_j$ .

Переход  $t_j$  является выходом для позиции  $p_i$ , когда значение  $p_i$  относится ко входу  $t_j$ .

Детализация по  $O(p_i)$  и  $I(p_i)$  свидетельствует о том, что комплект входа и выхода отображается в положении  $p_i$ .

Такую форму сетей Петри также можно именовать, как аналитическое задание для сетей Петри.

Графовой трактовкой сетей Петри принято представлять двудольный направленный мультиграф таким образом:  $G = (V, A)$ , где:

$V=PT$  – это большое число вершин;  
 $PT=0$ ;  $A=\{a_1, a_2, \dots\}$  – это совокупность ориентированных дуг;  
 $a_i = \{V_j, V_k\}$ , где  $V_j, V_k \in V$ .

Для каждой направленной дуги в виде  $a_i A$ , в случае, если  $a_i = \{V_j, V_k\}$ , тогда либо  $V_j P$  и  $V_k T$ , либо же  $V_j T$  и  $V_k P$ .

Фактически, организационная структура сетей Петри представляет собой множество взаимосвязанных переходов и позиций. Учитывая данный факт, граф сетей Петри приобретает 2 вершины: где планка является переходом, а эллипс вершиной. При этом, сонаправленные дуги соединяют между собой и первых и вторых. Очевидно, что кратные переходы и входы принято обозначать кратным дугами.

ГСП представляет собой мультиграф, поскольку он разрешает наличие кратных относительно друг друга дуг между вершинами. А поскольку дуги ориентированы, то ГСП является направленным мультиграфом. Вершины его мы можем поделить на два разных множества, а потому ГСП – это также двудольный мультиграф.

СП имеют колеблющиеся значения. И, тогда целесообразно использовать такой термин, как «метка». Её обычно располагают внутри позиции. Колебания «меток» внутри демонстрируют трансформации изучаемого объекта при различных состояниях. Также, используется такой термин, как «маркировка». Здесь подразумевается, что метки должны быть равномерны распределены в сети, учитывая её положение. При этом, данное значение представляется возможным выбрать в виде функции  $M$ . Она демонстрирует высокую концентрацию позиций среди ряда целых положительных чисел в виде  $N=\{0, 1, 2, 3, \dots\}$   $M: p \rightarrow N$ . Данное явление также именуют, как  $n$ -мерный вектор в виде  $M = (M_1, M_2, \dots, M_n)$ . Эти значения идентичны количеству меток, которые уже имеют своё точное расположение. Есть определённые взаимосвязи в самой маркировке и качестве вектора, а также функции. При этом, она обозначается в виде  $M(p_i) = M_i$ .

Маркированная СП равна  $(N, M)$ , она является совокупностью так называемой структуры  $N = (P, T, I, O)$ , а также маркировки  $M$ , она может записываться как  $C = (P, T, I, O, M)$ . Маркировка СП может меняться в случае срабатывания переходов. Внутри ГСП маркировка отображается при помощи точек, которые помещаются в позицию.

Возможности для имитации при помощи СП реальных систем имеют довольно сильное ограничение. Это объясняет установление тенденции для увеличения модели. Ученые, которые применяли СП, создали свои вариации для решения своих собственных задач. В процессе проведения анализа разных вариаций, которые базируются согласно теории для СП, было сформулировано обозначение для общей СП, согласно которому на динамические качества и структуру нельзя наложить

ограничения. Данный класс сетей стоит на центральном положении в системе различных модификаций СП [10].

Исследователи, которые развивают и изучают методики для анализа СП, говорят о том, что, будучи высокоэффективным методом изучения для СП, они являются пригодными и для СП в случае с накладываемыми ограничениями. А потому были классифицированы подтипы СП, которые отображают поведенческие и структурные ее свойства: простые, безопасные, устойчивые, бесконфликтные, ординарные, автоматные, нереклексивные, правильные, живые сети Петри и СП, имеющие свободный выбор.

Живые СП – сети Петри, которые удовлетворяют условию: в случае каждого перехода  $t \in T$  происходит его потенциальное срабатывание при условии любой маркировки при выборе большого количества допускаемых маркировок.

Автоматные СП являются ординарными сетями, где каждый переход может иметь единственную выходную или входную позицию, это значит для всех  $t \in T$ ,  $|I(t)| = 1$  и  $|O(t)| = 1$ . Это значит, что количество меток в данной сети неизменно. Автоматные сети могут показывать принятие решений, однако они не могут использоваться в качестве средства имитации параллельных процессов.

Маркированные графы являются СП, где каждая позиция есть выход или вход для единственного перехода. Маркированные графы являются двойственными для автоматных СП в графовом и теоретическом смысле, так как внутри автоматных СП есть возможность переходов только с одним входом или выходом, в то же время маркированные графы имеют один выход или вход для позиции. Они разрешают отображать параллельные процессы, чаще всего применяются для имитации систем, которые не требуют принятия решений [10].

Модификации, которые направлены на расширение возможностей для моделирования СП при помощи добавления структурных особенностей, называются расширением СП. Они представлены большим количеством, которое постоянно растет, при этом увеличивая возможности для имитации СП разных типов сложных систем. Наиболее простые из них – это СП, которые содержат в себе ингибиторные дуги. Они соединяют между собой позиции и переходы, имеют изображение в виде заканчивающихся кружочков, а также могут разрешать контроль позиции  $p$  на значение, равное нулю. Данные дуги вводятся при помощи особой функции инцидентности:  $F_i: T \rightarrow P$  – показ из большого количества переходов в большое количество позиций. Кратность одной такой дуги равняется числу 1. В таком случае переход  $t_j$  можно считать допустимым в случае, когда метки есть во всех входных положениях, которые объединены с переходом посредством простых дуг, и их нет во

всех позициях, которые объединены с переходом посредством контролируемой дуги:  $piI(tj)$  и  $pjFi(tj)$ :

$$M(pi) \# (pi, I(tj)) \text{ и } M(pj) = 0.$$

Есть наиболее общий случай увеличения СП, его ввёл Патил и назвал СП, которая имеет области ограничения. Областью ограничения называют большое число позиций Q, которые принадлежат P. Правило старта модифицируется так, что переход возможно запустить только тогда, когда внутри результирующей маркировки есть присутствие в одно время не каждой  $pj(Q)$ .

Приоритетными СП называют сети, внутри которых элементы упорядочены частично при помощи некоторого отношения, а при каждом переходе t СП связываются приоритетами  $pr(t)$ . В таком случае мы можем дополнить закон срабатывания перехода условием: переход t имеет право сработать в том случае, если для иного любого перехода t данной сети, который возможно сработает согласно стандартному условию:  $pr(t) \wedge pr(t)$ , а именно, если не один переход, а несколько могут сработать, то в таком случае сработает тот, чей приоритет не менее приоритетов других готовых к работе переходов.

Управляющие СП – это направленный двудольный графы, который состоит из заполненных непересекающихся множеств в количестве двух: переходов  $T = \{t, z\}$  и позиций  $P = \{p\}$ , которые связаны дугами между собой согласно особым функциональным правилам S. T есть множество макропереходов z и простых переходов t. Основное отличие таких СП – это введение в них дополнительных макропереходов z управлением. Такие переходы включают в себя простые:  $z = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ , чье срабатывание осуществляется согласно управляющим сигналам. Такой вид сетей может быть применен для алгоритмической характеристики обширного круга задач, а также для моделирования алгоритмов для управления во время создания параллельных программ, а также параллельных алгоритмов внутри.

Разноцветными СП и СП высокого класса называют сети, которые определены кортежем в виде (A, T, C, P, I, O). В нем:

A – это большое число дуг;

T – это большое число переходов;

C – это большое число цветов меток;

P – множество позиций;

I и O – это выходная и входная функции, которые встают в соответствие положениям, дугам соответствующего цвета меток и перехода, которые нужны для входа либо созданы для выхода. Основная особенность разноцветных СП – это присутствие внутри позиций сети меток разнообразных цветов, которые можно интерпретировать. К примеру, в качестве непрерывных материальных потоков, которые являются качественно разных типов. Метки принимают переменные, а кратности дуг можно интерпретировать в виде функций от данных переменных. Выходной и входной

функциям I, O присуще наличие элементами не в качестве чисел, а функции, зависящие от переменных. Сети этого типа применяются для систем вместе с очередями, имитации сетевых протоколов и автоматизированных производств.

Есть два вида временных СП. В первых позициям приписывают длительность наличия внутри них меток, во-вторых, переходам приписывают длительность срабатывания. Первые применялись в качестве определения критериев функционирования с наличием «максимальной скорости». Вторые в качестве определения условий для реализуемости конкретных режимов: с наличием максимальной скорости, периодического, а также с наличием заданного вектора [10].

Итак, мы описали главные классы СП. Различные их модификации все время расширяются и дополняются. Каждый ученый вводит собственные расширения для собственного круга задач. Так как в ДНБХТС общее число элементов формирует параллельную и последовательную схему одинаковых по функциям аппаратов, которые работают одновременно и вступают между собой во взаимодействие с помощью коммутации связей, то конструкция теории СП является самым удобным инструментом для функционирования ДНБХТС и моделирования его структуры. Из-за того, что циклы внутри смежных аппаратов рассогласованы и есть «неудачные» графики при запуске аппаратов, существующие мощности ДНХТС могут реализоваться не до конца. Таким образом, во время анализа эффективности работы ДНХТС время его функционирования может выступать в качестве одного из самых важных критериев. А потому для имитации ДНБХТС важны модификации СП, которые учитывают параметры во времени (временные СП). При взаимодействии обычно контактируют свободный аппарат и аппарат вместе с готовым переходным продуктом, в таком случае важно наличие механизма распознавания либо занятости, либо незанятости аппарата. Внутри СП данную задачу выполняет проверка на ноль. Простейшими расширениями в таком случае выступают ингибиторные СП. А так как в ДНБХТС, подобно любой системе, могут образовываться возмущения потоков или создаваться «узкие места», которые лимитируют стадии, то может возникнуть так называемый конфликт внутри очереди аппаратов, которые готовы к взаимодействию. Важна также система приоритетов, которая реализует функцию выбора аппаратов прямо из очереди. Также на какой-либо стадии возможно наличие функционально схожих аппаратов, но с разной производительностью или характеристиками по качественным или экологическим показателям. И в таком случае также важна система приоритетов. А потому для имитации ДНХТС мы решили применять временные детерминированные СП, которые разрешают приоритетные переходы и так называемые контролируе-

мые дуги. Важно заметить, что эти модификации применялись нами только в качестве удобства реализации и имитации сетевых моделей. Аппарат классических СП разрешает имитировать функционирование ДНБХТС, однако в таком случае модель станет ненаглядной и слишком громоздкой [10].

Результаты и обсуждение. Применение методик системного анализа разрешает создать систему управления для процесса (рисунок 1), она предполагает создание математической модели, в основе которой лежит СП [11].

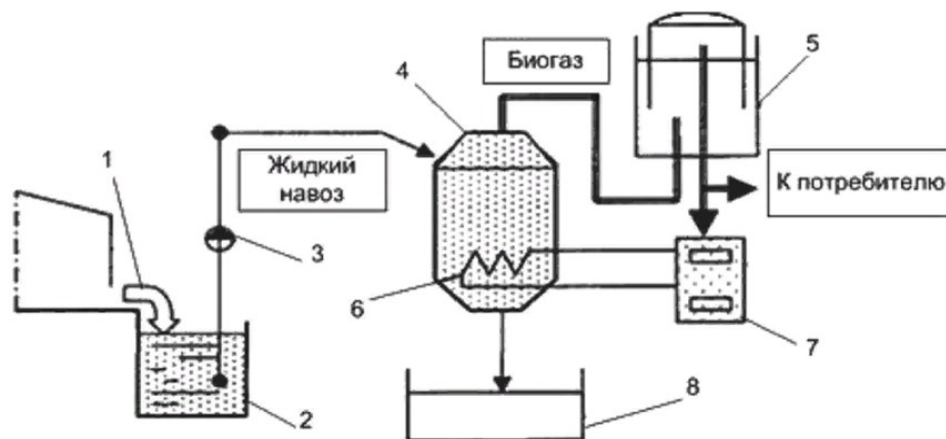


Рис. 1 - Схема процесса АСН

1 - питатель; 2 – канистра для гидратации навоза; 3 - нагнетатель; 4 – метановая канистра для сбраживания, которая имеет разделитель сред и накопитель биогаза; 5 — газгольдер; 6 – подогреватель непрямого нагрева; 7 – утилизатор; 8 – площадка для хранения биоудобрений.

Процесс утилизации биологических отходов можно представить, как цепочка технологических и функциональных зависимостей: отходы животноводства изнутри питателя идут в емкость для гидратации, где происходит перемешивание биомасс вместе с водой. Далее созданный гидратированный субстрат с помощью питателя отправляется внутрь метановой емкости с целью сбраживания вместе с накоплением биогаза и разделителем сред, там происходит ликвидация субстрата благодаря действию бактерий внутри анаэробной среды. Данный биогаз можно применять и в качестве средства прямого нагрева как топлива для различных котлов, и для когенерации, точнее создания электрической и тепловой энергии, которые используются для нужд сельскохозяйственных предприятий, а также социальных объектов. Управление силы выработки биогаза случается с помощью непрямого нагрева субстрата, важно заметить, что как топливо для котлов-утилизаторов используется указанный ранее биогаз. Субстрат, который прекратил реакции, направляется к площадке для хранения биоудобрений с целью дальнейшего использования для сельского хозяйства и хранения [11].

Такая технология разрешает утилизировать все типы органических отходов сельского хозяйства, она повсеместно распространена, поскольку довольно проста и эффективна.

Для детализации данных по представленной системе, целесообразно использовать N-схемы. К слову, они формируются как раз таки на конструкции сетей Петри. Что касается преимуществ представленного метода, то

стоит обратить внимание на потенциал демонстрации сетевого прототипа. Он, может быть представлен в графическом виде. А это уже даёт возможность спроектировать наглядно формируемую модель. Она будет иметь аналитический вид и в последующем даст возможность провести анализ в автоматизированном режиме [12, 13].

Детально изучая как химические, так и технологические схемы, необходимо брать во внимание, что сокращение формальности N-схемы. Оно включает в себя несовершенства учёта свойств имитирующей системы в хронологии. Ввиду того, что временной интервал такого перехода всегда остаётся равным 0. Учитывая данный факт, усовершенствованные сети Петри можно представить следующим образом:  $C = \langle P, T, I, O, M, L, t_1, t_2 \rangle$  [13], где:

$T = \{t_j\}$  – финальное определённое количество символов. Их принято именовать переходами. Чтобы проанализировать данные значения, учитывая условное число порций от конечного продукта, а также беря во внимание стабильность подачи в оборудование используемой технологической схемы.

$P = \{p_i\}$  – финальное определённое количество символов. Их принято именовать позициями.

$I: P \times T \rightarrow \{0, 1\}$  – функция входа, она задаёт значения для последующих переходов  $t_i$  вариативность позиций, которые имеют вид  $p_i \in I(t_j)$ .

$O: P \times T \rightarrow \{0, 1\}$  – опция выхода, которая демонстрирует переходы в множество чисел выходных позиций. Отображается в таком виде:  $p_i \in O(t_j)$ .

Обобщая всё изложенное выше следует сказать, что множественность выходных позиций представляется возможным рассчитать, учитывая, что  $O(t_j)$  и входных позиций в виде  $I(t_j)$  в качестве:

$$I(t_j) = \{p_i \in P / I(p_i, t_j) = 1\}; O(t_j) = \{p_i \in P / O(p_i, t_j) = 1\} \quad (1)$$

$M: P \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$  – данное действие необходимо для разметки сети, согласно каждому положению целое число + будет равным числу меток в самой позиции. При этом, возможны колебания в процессе функционирования этой сети.

Действие перехода быстро меняет разметку в виде  $M(p) = (M(p_1), M(p_2), M(p_3), \dots, M(p_n))$  на разметку в виде  $M'(p)$  согласно закону:

$$M'(p) = M(p) - I(t_j) + O(t_j) \quad (2)$$

Представленное обозначение, как это показано выше, демонстрирует переход  $t_j$  и забирает единственную метку из общего числа выходных позиций, после чего её суммирует к каждому выходу.

$t_1: T \rightarrow N$  и  $t_2: P \rightarrow N$  функции, которые вычисляют время для задержки во время действия перехода, также время для задержки внутри позиции.

Колебания деятельности МСП представляется возможным определить за счёт движения

меток, которые формируют баланс прерывистых потоков для полупродуктов при условии запрограммированных ограничений исходя из их объемов аппаратов для реализации технологической работы во время анаэробного сбраживания.

Реально для ХТП в виде графической и аналитической формы можно представить состояние отдельно стоящих аппаратов внутри технологического процесса (табл. 1).

Указанная модификация СП разрешает сделать анализ работы аппаратов системы при возникновении внештатных ситуаций, а также изменения на уровне сетей и дискретных производств в рамках создания стабильного и устойчивого положения системы [14, 15].

Для работы рассматриваемого процесса была создана математический прототип на основе технологической схемы, а затем ее запрограммированная реализация. Данный математический прототип был создан как МСП. При этом, воплощение в жизнь даёт возможность лучше и исчерпывающе проанализировать принципы функционирования установок и внутрисистемных коммуникаций. Отметим, что удалось разработать прототипы ключевого оборудования, благодаря которому воссоздаётся технологический процесс. Учитывая данные СП-прототипов представилось возможным спроектировать модель общей установки.

Таблица 1 - Положение отдельных аппаратов в ходе технологического процесса, представленных в виде графической и аналитической формы

С применением СП-прототипа сформирован запрограммированный комплекс для работы технологического аппарата, который создаст имитацию работы в режиме запрограммированного времени. С помощью SCADA TRACE MODE технологий создан программный комплекс для структуры управления

внутри технологического процесса. Данная система может исполнять диспетчерское наблюдение за главными элементами внутри системы управления, проводить анализ состояния системы и останавливать ее, постоянно и для прогнозирования случайного развития экстренных ситуаций.

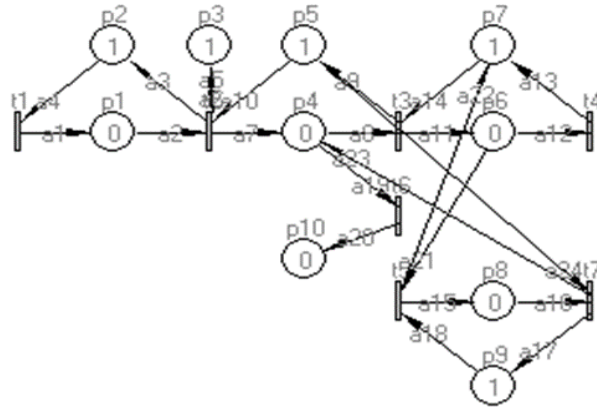


Рис. 2 - Модель технологического модуля в виде МСП

**Выводы.** При анализе химико-технологических систем установлено основное ограничение формализма N-схем, заключающееся в отсутствии учета N-схемами временных характеристик моделируемых систем. Все это вынуждает моделировать вариации СП, которые направлены на анализ и имитацию дискретных ХТС, с помощью добавления приоритетных переходов, а также времени задержки меток в позициях и переходах.

Создание математической структуры для работы систем, которые реализованы как модифицированная СП, разрешает изучать правила функционирования установки и системные связи. Созданный запрограммированный комплекс системы разрешает проводить

анализ состояния системы и в целом, а также предопределять появление внештатных ситуаций.

Современные технологии не только встали на страже окружающей среды, но и привели к лучшему использованию полезных свойств биологических отходов. Биологическая конверсия на основе анаэробных технологий легла в основу производства биогаза для нужд сельхозпредприятий.

Высокие технологии позволили не только добывать ценное биологически безопасное топливо, но и прогнозировать внештатные ситуации, а также поставить управление данными процессами на современный высокоэффективный лад.

**Литература**

1. Акопян Д. Г. Особенности использования биогаза // Современные инновации. 2020. №1 (35). С. 23-26
2. Давронов Ф. Ф. У., Хужжиев М. Я. Состав и качество биогаза // Вопросы науки и образования. 2018. - №2 (14). С. 24-25
3. Электроэнергия из биогаза / И.Ю. Александров, В.П. Друзьянова, И.А. Савватеева, Г.Е. Кокиева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. - №5 (187). С. 139-145
4. Давронов Ф. Ф. У., Тиллоев Л. И. Сырьё для получения биогаза // Вопросы науки и образования. 2018. - №2 (14). С. 33-34
5. Анализ перспектив использования биогаза в России / А. Ф. Зайнутдинова, А. Р. Садыкова, Л. Ф. Ильгамова, И. В. Мухаметова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. - №5-2(56). С. 181-183
6. Утилизация отходов животноводства с получением биогаза / А. К. Апажев, Б. А. Фиापшев, А. А. Кумахов, О. Х. Кильчукова, М. М. Хамоков // International agricultural journal. 2022. №5(65). 34
7. Шеногин М. В., Худобина К. В. Проблемы использования биогаза, полученного в индивидуальных установках // Вестник магистратуры. 2021. №9-2 (120). С. 33-34
8. Сарыев К. А., Оразбердиева М. Р., Матякубов А. А. Альтернативный метод получения биогаза из отходов животноводства // Вестник Сыктывкарского университета. Серия 2. Биология. Геология. Химия. Экология. 2021. №2 (18). С. 81-87
9. Savdur S. N., Vorontsova V. L. Network simulation of the sewage treatment system in machine-building enterprises // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Ser. "International Conference on Recent Developments in Robotics, Embedded and Internet of Things, ICRDREIOT 2020". 2020. P. 012044.
10. Савдур С. Н., Воронцова В. Л. Моделирование информационных и материальных потоков интернет-магазина в цифровой экономике // В книге: Методология развития экономики, промышленности и сферы услуг в условиях цифровизации. Санкт-Петербург, 2018. С. 632-655.
11. Рязанова Г. Н. Организационное решение проблемы координации спроса и потребления альтерна-

тивной энергии на промышленных предприятиях России // Управление. Научно-практический журнал. 2016. № 3 (13). С. 46-56.

12. Guest E., MengChu Z., Li Z. Special issue on «Petri nets for system control and automation» // Asian Journal of Control. 2010. 12 (3). pp.237-239.

13. Barzegar, B., Motameni, H. Modeling and Simulation Firewall Using Colored Petri Net // World Applied Sciences Journal. 2011. 15 (6). pp.826-830.

14. Vorontsova, V. L., Savdur, S. N., Galemzianov, A. F. Network modeling of systemwastewater treatment at the enterprises of the metal processing industry // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2019. 11(5). pp. 1–6.

15. Modeling of wastewater treatment system of car parks from petroleum products / S. N. Savdur, Y. V. Stepanova, I. A. Kodolova, E. L. Fesina // Journal of Physics: Conference Series. 2018. 1015(3). P. 032121.

#### Сведения об авторах:

Савдур Светлана Николаевна - кандидат технических наук, доцент; e-mail: Savdur.svetlana@yandex Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

### NETWORK MODELING OF THE PROCESS OF ANAEROBIC DIGESTION OF MANURE

S. N. Savdur

**Abstract.** The article discusses the technological complex of anaerobic digestion of manure (ASN). Thanks to biogas plants, it is possible to mitigate the harmful effects on reservoirs and their inhabitants, reduces pollution with ammonium salts and restores the natural oxygen saturation of waters. The effectiveness of such systems can be ensured with the help of modern methods of information processing, using methods of system analysis of complex objects based on a mathematical description of the technological process. Based on the review of the main methods of modeling discrete-continuous chemical-technological systems (CTS), the expediency of using the apparatus of the theory of Petri nets (SP) for process modeling (ASN) is substantiated. To describe the system, we propose the use of N-schemes based on the mathematical apparatus of Petri nets, one of the advantages of which is the possibility of presenting the network model both in analytical form, with the possibility of automating the analysis process, and in graphical form to ensure the visibility of the model being developed. When analyzing chemical-technological schemes, the main limitation of the N-scheme formalism should be taken into account, which is that they do not take into account the time characteristics of the simulated systems, since the transition response time is considered to be zero. Taking into account these conditions, we have proposed modified Petri nets focused on modeling and analysis of discrete-continuous CTS by including priority transitions, delay time of labels in positions and transitions. A model in the form of a modified Petri net (SME) is constructed. By means of the TRACE MODE SCADA technology, a software package of the process control system (ASN) has been developed. The process control system allows you to perform dispatching control of the main elements of the control system, stop the system (ASN) and analyze its condition, both as a whole and in order to predict the development of emergency situations.

**Key words:** modified Petri nets, technological process of anaerobic digestion of manure, simulated systems, chemical-technological system, computer modeling.

#### References

1. Hakobyan D. G. Features of the use of biogas // Modern innovations. 2020. No.1 (35). pp. 23-26
2. Davronov F. F. U., Khuzhzhiev M. Ya. Composition and quality of biogas // Issues of science and education. 2018. - No.2 (14). pp. 24-25
3. Electricity from biogas / I.Y. Alexandrov, V.P. Druzyanova, I.A. Savvateeva, G.E. Kokieva // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2020. - No. 5 (187). pp. 139-145
4. Davronov F. F. U., Tilloev L. I. Raw materials for biogas production // Issues of science and education. 2018. - No.2 (14). pp. 33-34
5. Analysis of prospects for the use of biogas in Russia / A.F.Zaynutdinova, A.R. Sadykova, L.F. Ilgamova, I.V. Mukhametova // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2021. - №5-2(56). pp. 181-183
6. Utilization of animal husbandry waste with biogas production / A. K. Apazhev, B. A. Fiapshev, A. A. Kumakhov, O. H. Kilchukova, M. M. Khamokov // International agricultural journal. 2022. №5(65). P. 34
7. Shenogin M. V., Khudobina K. V. Problems of using biogas obtained in individual installations // Bulletin of Magistracy. 2021. No.9-2 (120). pp. 33-34
8. Saryev K. A., Orazberdieva M. R., Matyakubov A. A. Alternative method of biogas production from animal husbandry waste // Bulletin of Syktyvkar University. Series 2. Biology. Geology. Chemistry. Ecology. 2021. No.2 (18). pp. 81-87
9. Savdur S. N., Vorontsova V. L. Network simulation of the sewage treatment system in machine-building enterprises // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Ser. "International Conference on Recent Developments in Robotics, Embedded and Internet of Things, ICRDREIOT 2020". 2020. P. 012044.
10. Savdur S. N., Vorontsova V. L. Modeling of information and material flows of an online store in the digital economy // In the book: Methodology of economic development, industry and services in the conditions of digitalization. Saint Petersburg, 2018. pp. 632-655.
11. Ryazanova G. N. Organizational solution to the problem of coordination of demand and consumption of alternative energy at industrial enterprises of Russia // Management. Scientific and practical journal. 2016. No. 3 (13). pp. 46-56.
12. Guest E., MengChu Z., Li Z. Special issue on «Petri nets for system control and automation» // Asian Journal of Control. 2010. 12 (3). pp.237-239.
13. Barzegar, B., Motameni, H. Modeling and Simulation Firewall Using Colored Petri Net // World Applied Sciences Journal. 2011. 15 (6). pp.826-830.
14. Vorontsova, V. L., Savdur, S. N., Galemzianov, A. F. Network modeling of systemwastewater treatment at the enterprises of the metal processing industry // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2019. 11 (5). pp. 1–6.
15. Modeling of wastewater treatment system of car parks from petroleum products / S.N. Savdur, Y.V. Stepanova, I.A. Kodolova, E.L. Fesina // Journal of Physics: Conference Series. 2018. 1015(3). P. 032121.

#### Authors:

Savdur Svetlana Nikolaevna - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; e-mail: Savdur.svetlana@yandex Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.