

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Докт. техн. наук, проф. ДРАГАНОВ Б. Х., ассист. ПИШОВ С. В.

Национальный аграрный университет Украины

В Украине производство большей части продукции осуществляется за счет повышения удельных расходов энергоресурсов. Если еще недавно удельная доля первичных энергетических ресурсов в себестоимости машиностроительной продукции Украины составляла 5–6 %, то в настоящее время она возросла до 30–50 %, что в несколько раз превышает показатели западных фирм [1]. Мировой опыт показывает, что эффективная государственная политика в сфере энергосбережения может не только уменьшить энергоемкость национального продукта, но и стимулировать структурную перестройку экономики.

Один из путей экономии энергетических ресурсов заключается в использовании нетрадиционных источников энергии. Значительны запасы биомассы, которая является четвертым по значению топливом в мире и играет существенную роль в промышленно развитых странах: в Дании ее доля составляет 6 % [2], в Канаде – 7 [3], в Швеции – 16 % [4].

Технически доступный энергетический потенциал биомассы в Украине в 1995 г. составлял около 332 ПДж или 11,3 млн. т у. т. Основными источниками ее являются отходы сельскохозяйственного производства.

Среди технологий получения энергии из биомассы наибольший интерес представляют биохимические. Возможны различные схемы анаэробного сбраживания исходного субстрата. В связи с этим заслуживает внимания задача оптимизации возможных вариантов биогазовых установок. Для этой цели обратимся к методам теоретико-графовых построений [6]. На рис. 1 приведена топологическая модель одной из возможных схем биогазовой установки.

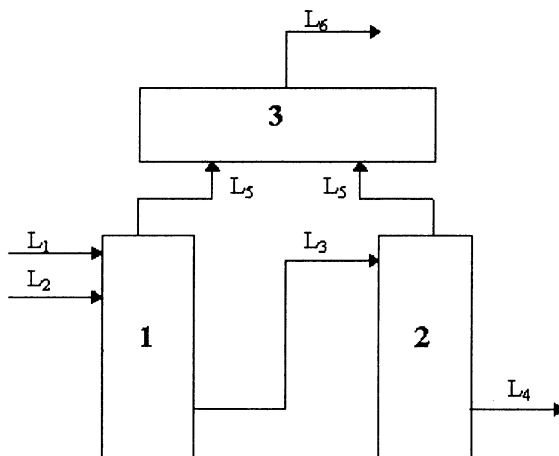


Рис. 1. 1 – реактор (метантенк); 2 – отстойник шлама;
3 – газгольдер

Прежде чем построить топологическую схему, примем следующие обозначения (рис. 2).

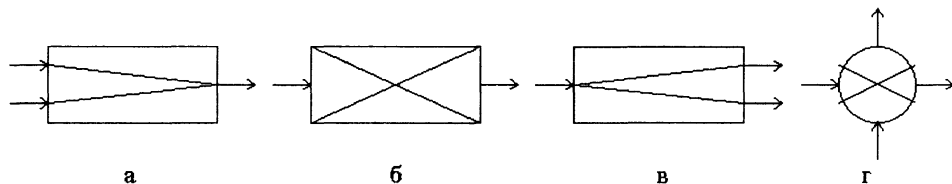


Рис. 2. а – смешение; б – сбраживание; в – разделение; г – теплопередача

Используя эти обозначения, построим топологическую схему установки в виде технологических операторов (рис. 3).

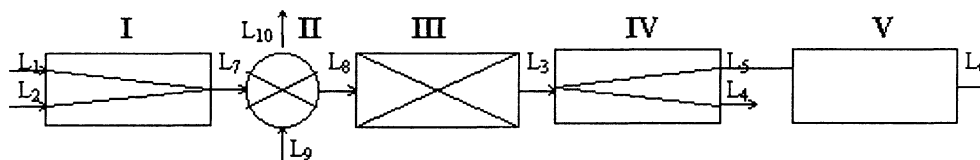


Рис. 3

Схема, показанная на рис. 3, отображает процессы, протекающие в установке.

Характеристики потоков на схеме технологических операторов записываются так [7]:

$$\begin{aligned}
 L_1 &= [m_1, S_1, 0, t_1]; & L_6 &= [m_6, 0, x_6, t_6]; \\
 L_2 &= [m_2, S_2, 0, t_2]; & L_7 &= [m_7, S_7, x_7, t_7]; \\
 L_3 &= [m_3, S_3, x_3, t_3]; & L_8 &= [m_8, S_8, x_8, t_8]; \\
 L_4 &= [m_4, S_4, x_4, t_4]; & L_9 &= [m_9, 0, 0, t_9]; \\
 L_5 &= [m_5, 0, x_5, t_5]; & L_{10} &= [m_{10}, 0, 0, t_{10}],
 \end{aligned}$$

где $L_i = \{m_i, S_i, x_i, t_i\}$ – вектор i -го потока; m_i – величина i -го потока; S_i – состав в потоке по субстрату; x_i – состав в потоке по биомассе (биогазу); t_i – температура потока.

В реакторе происходит подача субстрата (L_1 – навоз; L_2 – подстилка или другие органические вещества), смешение, сбраживание, теплообмен, выделение биогаза и бражки, и поэтому процесс представлен в виде трех операторов – I, II, III, а также оператора IV. В газгольдере (оператор V) происходит накопление биогаза, поступающего из реактора, а также из хранилища шлама. L_6 – указывает на отбор биогаза из газгольдера; L_4 – забор метановой бражки из хранилища.

Для анализа процессов, протекающих в биогазовой установке, необходимо ввести понятия материального и теплового потоковых графов.

Материальные потоковые графы (МПГ) – это взвешенные по дугам орграфы, которые отображают преобразование элементами системы (технологическими операторами) массовых расходов ее физических потоков. Вершины МПГ соответствуют технологическим операторам системы, которые трансформируют массовые расходы физических потоков; точкам стыковки трубопроводов; источникам и стокам вещества физических потоков. Дуги МПГ соответствуют физическим потокам теплоты.

Следует подчеркнуть, что в общем случае, кроме внешних источников теплоты, могут быть и внутренние, например тепловой эффект, вызванный экзотермической химической реакцией.

К особенностям тепловых и материальных потоковых графов следует отнести: ориентированность (движение материальных и энергетических потоков в системе происходит в строго определенном направлении, обусловленном технологией процесса), асимметричность (в системе могут быть обратные потоки) и связность (все элементы, т. е. технологические операторы, в системе взаимосвязаны потоками вещества и теплоты).

Материальный потоковый граф, построенный по общим потокам в системе, приведен на рис. 4а.

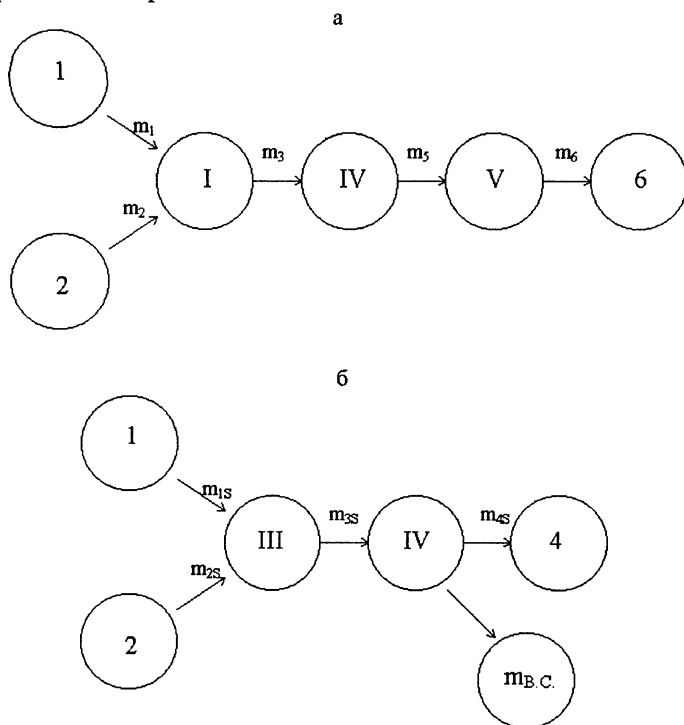


Рис. 4

Общий поток в данном случае изменяется только в операторах I, IV и V, поэтому только они включены в схему на рис. 4а.

Граф для одного из компонентов, а именно субстрата S , показан на рис. 4б. Так как в системе потоки по субстрату не изменяются, этот оператор в качестве вершины графа не включен. На этом рисунке субстрат обозначаем: m_{1S} и m_{2S} — потоки субстрата, который удаляется из установки; $m_{в.с.}$ — сток субстрата за счет его потребления (внутренний сток).

Вершины-стоки и вершины-поточники можно объединить в одну, и тогда потоковый граф преобразуется в циклический потоковый граф. На рис. 5 показан циклический потоковый граф, соответствующий материальному, изображенному на рис. 4а.

Для построения теплового потокового графа примем во внимание, что общее количество теплоты изменяется в технологических операторо-

рах II и III. Следует, что в качестве вершин графа будут отсутствовать элементы системы I (смеситель), IV (разделитель) и V (наполнитель биогаза).

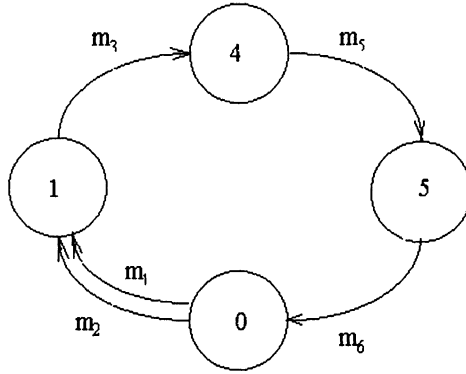


Рис. 5

Тепловой потоковый граф приведен на рис 6.

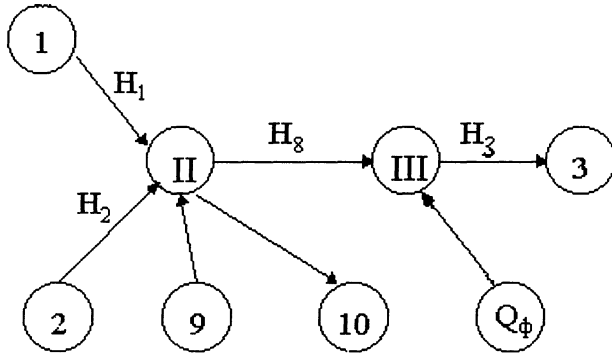


Рис. 6

На рис. 6 приняты обозначения: H_1 и H_2 – тепловые потоки, поступившие в реактор с субстратами в процессе сбраживания; H_9 и H_{10} – тепловые потоки на стадии сепарации; Q_ϕ – тепловой поток, выделяемый на стадии сбраживания.

В общем случае потоковые графы содержат m вершин-источников, n – вершин-стоков, k – прямоугольных вершин и e – дуг.

Уравнение баланса вещества или энергии записывается следующим образом:

$$\sum_{i=1}^r W_{ik} - \sum_{j=1}^{e-r} W_{rj} = 0, \tag{1}$$

где W_{ik} – поток по i -дуге, входящей в k -ю вершину; W_{kj} – поток по j -й дуге, выходящей из k -й вершины.

Совокупность уравнений вершин для всех промежуточных вершин представляет систему независимых уравнений вида

$$[S^*] \times [W^*] = 0, \tag{2}$$

$[S^*]$ – матрица инцидентий данного графа размерностью $(\kappa \times e)$.

Матричное представление графов позволяет отобразить структурные особенности графов. Для анализа и синтеза технических систем наибольший интерес представляет матрица инцидентий.

Пусть имеется оргграф $G(K, E)$; состоящий из $\kappa = |K|$ вершин и $e = |E|$ дуг. Матрица инцидентий $[S^*]$ оргграфа $G(K, E)$ – это матрица порядка $(\kappa \times e)$, строки которой соответствуют вершинам, а столбцы – ребрам графа с элементами:

$$S^*_{ij} = \begin{cases} -1, & \text{если } j\text{-я дуга выходит из } i\text{-й вершины;} \\ +1, & \text{если } j\text{-я дуга входит в } i\text{-ю вершину;} \\ 0, & \text{если } j\text{-я дуга не инцидентна } i\text{-й вершине.} \end{cases}$$

Ранг матрицы инцидентий R_S равен рангу графа, т. е. числу ветвей (ребер) графа.

Сканируя по матрице инцидентий, при помощи ЭВМ можно определить основные материальные и энергетические характеристики рассматриваемой установки. Перебирая ряд структурных и технологических схем, можно определить оптимальную систему по выбранному заранее критерию эффективности установки.

При разработке технологических систем, в том числе биогазовых, представляет интерес задача синтеза оптимальной технологической схемы. Следуя методике, предложенной А. Ю. Вировым и В. В. Кафаровым, изложим основные положения синтеза биогазовых установок.

В общем случае технологическая схема состоит из N подсистем. Каждая из подсистемы является отдельным технологическим аппаратом (например мешалка, теплообменник и т. д.) либо технологическим оператором (к примеру реактор). Будем считать, что для каждой подсистемы сформулирована математическая модель, описывающая связи между технологическими и конструктивными переменными.

Переменные, относящиеся к i -й подсистеме, могут быть выделены тремя группами:

X_i – входные переменные;

Y_i – выходные переменные;

Π_i – переменные, задаваемые (выбираемые) в процессе разработки или проектирования установки.

Математическая модель i -й подсистемы может быть сформулирована в виде зависимости:

$$\bar{Y}_i = \varphi_i(\bar{X}_i, \bar{\Pi}_i), \quad (3)$$

где φ_i – вектор-функция, связывающая выходные переменные i -й подсистемы \bar{Y}_i с входными \bar{X}_i и заданными по проекту $\bar{\Pi}_i$.

Входные переменные можно выразить через выходные переменные и структурные параметры α_j . Эта величина показывает, какая часть от выходного потока j по κ -й переменной поступает в качестве входного на i -ю, т. е. следующую, подсистему. Для i -й подсистемы можно записать

$$x_i^k = \sum_{i=1}^N \alpha_{ij} y_i^k; \quad j = 2, 3, \dots, N, \quad (4)$$

где x_i^k – входная k -я переменная i -й подсистемы;
 y_j^k – выходная k -я переменная j -й подсистемы;
 α_{ij} – структурный параметр.

Вполне очевидно, что значение α_{ij} может колебаться от 0 до 1. Если j -й поток не поступает на вход в i -ю систему, то $\alpha_{ij} = 0$; если j -й поток поступает на i -ю подсистему, то $\alpha_{ij} = 1$.

Для структурных переменных справедливы следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N \alpha_{ij} &= 1, \quad j = 1, 2, \dots, N-1; \\ \alpha_{1j} &= 0, \quad j = 1, 2, \dots, N; \\ \alpha_{iN} &= 0, \quad j = 1, 2, \dots, N. \end{aligned} \quad (5)$$

Следует подчеркнуть, что величина структурных переменных полностью предопределяет технологическую схему.

При оптимизации системы необходимо определить целевую функцию Φ . Для подсистемы будем иметь

$$\Phi_i = f_i (\bar{X}_i, \bar{Y}_i, \bar{P}_i). \quad (6)$$

Для всей системы целевая функция может быть записана в виде аддитивной зависимости

$$\Phi = \sum_{i=1}^N \Phi_i = \sum_{i=1}^N f_i (\bar{X}_i, \bar{Y}_i, \bar{P}_i). \quad (7)$$

Некоторые подсистемы могут иметь детерминированный характер, другие – стохастический. Поэтому оптимум каждой подсистемы еще не означает оптимальное решение для системы в целом. Для таких систем эвристически-алгоритмический поиск может обеспечить наиболее быстрое решение оптимума анализируемой задачи.

Приведенный в системе метод анализа и синтеза биогазовых установок на базе теоретико-графовых построений применим также для оптимальных структурных и технологических решений и других схем биогазовых установок с двухстадийным сбраживанием, с использованием альтернативных источников теплоты для подогрева субстрата и т. д.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М. П. Коваленко, С. П. Денисюк; Відпов. ред. А. К. Шидловський. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.

2. Biomass for Energy – Danish Solution // Danish Energy Agency, 1996. – 38 p.

3. Н о в и к о в а Ю. М. Использование биомассы в производстве энергии в капиталистических странах // Бюллетень иностранной коммерческой информации. — 1990. — № 36. — С. 6, 7.
4. E n e r g y in Sweden / NUTEK (Swedish National Board for Industrial and Technical Development), 1995. — 32 p.
5. A s p l u n g D. Research Director's Review // Bioenergia. — 1996. — № 2. — P. 3, 4.
6. Х а р а р и Ф. Теория графов. — М.; Мир, 1973. — 300 с.
7. К а ф а р о в В. В., В и н а р о в А. Ю. Основные направления развития процессов и аппаратов в биотехнологии // Итоги науки и техники. Процессы и аппараты хим. технологии. — 1986. — Т. 14. — С. 108–182.

Представлена кафедрой ЭАВТ

Поступила 20.09.1999

УДК 519. 6

ДИНАМИКА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Канд. физ.-мат. наук, доц. СОЛОВЬЕВ А. А.

Московский государственный университет

Существуют многочисленные модели описания внутренних связей в различных системах пользователей энергии и взаимоотношений с внешней средой [1, 2]. Прогнозы оказываются зависящими от интуиции специалистов и потому в большинстве случаев не соответствуют действительности. Сложность математических расчетов, необходимость применения численных методов затрудняют проверку результатов и при наличии логических неточностей приводят к быстрой потере прогнозами своей актуальности.

В работе развивается подход для изучения особенностей потребления первичной энергии на основе методов термодинамики и кинетической теории материи с введением характерных для энергетических сообществ параметров состояния — скорости потребления первичной энергии, численности населения и времени использования ресурсов. Потенциальным преимуществом использованных представлений является то, что они оказываются достаточно общими для рассмотрения энергетических потребностей людей.

В модели «энергетика—общество» главным является определение взаимоотношения энергетических характеристик, которые проявляются в процессе создания, превращения и утилизации энергии. Если какой-либо пользователь получает извне некоторое количество энергии, то он использует ее в эквивалентных количествах, совершая ту или иную работу. Аналогом теплоты в предлагаемой модели служит первичная энергия, а механическая работа может трактоваться как энергопотребление. Количество полученной пользователем энергии может им не использоваться полностью. С точки зрения принципа сохранения