

сложные и громоздкие расчеты. Для упрощения расчетов составлена программа с элементами графики для нахождения солнечной энергии, которая падает на наклонную лучевоспринимающую поверхность. В основу программы положен язык программирования Turbo Pascal 7.0.

С помощью данной программы можно подобрать оптимальный угол наклона поверхности к горизонту, чтобы количество солнечной радиации было максимальным. Расчеты можно производить как для отдельно взятого месяца, так и для всего года, а также нескольких месяцев в промежутке апрель–сентябрь. После ввода запрашиваемых данных, мы получим интересующий нас результат, а именно количество солнечного излучения, которое приходится на наклонную поверхность (для заданного угла наклона). Поверхность при этом окрашивается в различные цвета от красного (приход максимума солнечного излучения) до бирюзового (приход минимума солнечного излучения), в зависимости от соотношения солнечной энергии, которая приходится на горизонтальную и наклонную поверхность для данного периода времени. Если же поверхность окрасилась в белый цвет, то приход солнечного излучения на горизонтальную поверхность больше, чем на поверхность, установленную при заданном угле.

Составленная программа позволяет сделать вывод о том, что количество солнечной радиации значительно увеличивается, если поверхность установить под нужным углом к горизонту.

### Литература

1. Даффи Дж.А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.: Мир, 1977. – 420 с.
2. Лосюк Ю.А., Кузьмич В.В. Нетрадиционные источники энергии: учебное пособие для энергетических специальностей вузов. – Минск: УП «Технопринт», 2005. – 233 с.
3. Справочник по климату СССР. Ч. 1. Вып. 7-1. – М.: Гидрометиздат, 1966. – 68 с.

УДК 620.9

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБОГАЩЕНИЯ БИОГАЗА

*Плескач А.В.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент ЛОСЮК Ю.А.

При подготовке технических объектов к эксплуатации важным фактором является технико-экономическое обоснование, в котором рассматриваются предполагаемые источники финансирования. В результате этого обоснования проводят выбор рациональных структур и оптимальных параметров теплотехнических систем. Решение этих задач проводится с применением математического моделирования. Реализация математической модели существующего объекта позволяет решать следующие задачи:

- исследовать характер взаимосвязи параметров системы и проанализировать их влияние на основные показатели как технические, так и экономические;
- исследовать влияние внешних условий сооружения и эксплуатации теплоэнергетической установки на соотношение ее параметров и технико-экономических показателей;
- численно оценить дополнительные материальные вложения, снижение КПД, изменение приведенных затрат и ряда других показателей системы в случае отказа оптимальных параметров и схем по техническим или экономическим причинам;
- оценить структурную и параметрическую оптимизацию системы.

Сотрудниками Научно-исследовательского и инновационного Центра автоматизированных систем управления в теплоэнергетике и промышленности БНТУ предло-

жен метод математического моделирования теплотехнической системы, суть которого заключается в создании совокупности математических моделей и соотношений, определяющих взаимосвязи параметров того или иного процесса, явления. Предложенный метод моделирования универсален и может быть использован не только для исследования, но и при создании и эксплуатации технических объектов.

Математическое моделирование позволяет выполнять в едином интерактивном процессе расчет технологической схемы установки и технические расчеты оборудования. При этом определяются величины тепловых балансов, рассчитываются тепловые и гидравлические потери, уточняются КПД и основные показатели системы установок. Следует помнить, что математические модели, разработанные на стадии проектирования технического объекта, можно использовать и на этапе его эксплуатации. В виду физического старения оборудования происходит изменение оптимальных параметров, которые должны постоянно уточняться при эксплуатации оборудования. При выполнении технико-экономического обоснования следует учитывать, что теплоэнергетические системы являются элементами топливно-энергетического комплекса страны, а также они взаимосвязаны с другими промышленными отраслями: металлургией и машиностроением. Вследствие этого при оптимизации следует иметь ввиду не только внутренние связи, но и внешние, т. е. необходимо учитывать общее состояние развития энергетики, металлургии, машиностроения, вопросы взаимодействия с окружающей средой. Учет внешних связей еще более усложняет задачу оптимизации. В то же время применение математического моделирования позволяет не только описать известные связи, характеризующие исследуемый объект, но и раскрыть новые закономерности как в самом объекте, так и при его взаимодействии с внешними системами. Таким образом, необходимо иметь обобщенную модель, включающую в себя модели структуры системы, ее элементов и характера взаимодействиями с внешней системой. Следует отметить, что основной проблемой внедрения этого метода в инженерную практику являются большие затраты труда на создание математических моделей, программного обеспечения для их реализации [1].

Рассмотрим, например, схему обогащения биогаза, получаемого из продуктов жизнедеятельности животных, путём очистки от  $\text{CO}_2$  методом абсорбции водой под давлением [2]. Поставим цель: подобрать оптимальное давление воды и степень очистки биогаза, полученного с полигона ТБО, с учетом стоимости воды, электроэнергии, исходного и получаемого газа, а также себестоимость установки и т. п.

Схема обогащения биогаза, путём очистки его от  $\text{CO}_2$  изображена на рисунке 1.

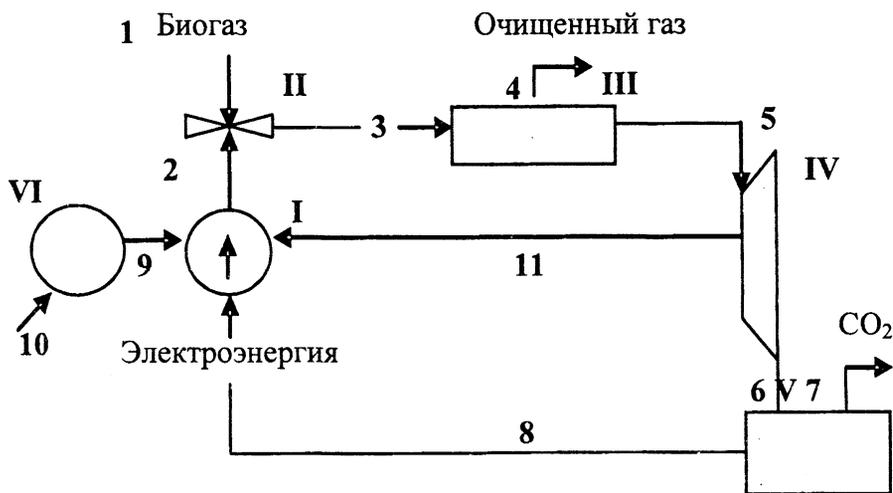


Рис. 1. Схема обогащения биогаза путем очистки от  $\text{CO}_2$

В данной схеме биогаз состава 60 %  $\text{CH}_4$  и 40 %  $\text{CO}_2$  очищается от наличия  $\text{CO}_2$  путём абсорбции водой под давлением 1,6–3 МПа с помощью эжектора II. Вытекающую из абсорбера III воду пропускают через гидротурбину IV, которая используется для вращения насоса I, нагнетающего воду в абсорбер. Благодаря работе гидротурбины возвращается около 40 % затрачиваемой на работу насоса энергии. Остальная энергия получается от электродвигателя VI, расположенного на одном валу с насосом и турбиной. После турбины давление воды снижается до атмосферного. Далее вода попадает в десорбер V, где  $\text{CO}_2$  отделяется, а вода опять направляется на абсорбцию. На основании информации, полученной в результате обследования объекта, формируется его расчетная схема, подбираются технические элементы, определяются связи между потоками веществ внутри системы и энергии, связи с внешней системой, окружающей средой. На рисунке 1 под позициями 1–11 обозначены элементы схемы, служащие для транспорта материальных и энергетических потоков – связи. Связи, осуществляющиеся каким-либо теплоносителем, определяются 1 расходным и 2 термодинамическими параметрами его состояния (температурой и энтальпией). В результате составляется граф схемы – совокупность отрезков (дуги) и точек пересечения отрезков (вершины). Элементы исследуемой системы в этом случае являются вершинами, а потоки сырья и энергии – ориентированными дугами. С помощью метода графов и решения балансовых уравнений, составленных математических моделей и матриц записывается алгоритм для анализа системы и его программной реализации для ПЭВМ. Программа на основании известных исходных данных и постоянных величин выводит итоговый показатель эффективности, с помощью которого можно осуществить выбор определяющих критериев.

На примере схемы, рассмотренной выше, проанализируем количество воды, электроэнергии, а также выход очищенного газа и содержание в нём  $\text{CO}_2$  при изменении давления воды от 1,6 до 3 МПа и при изменении степени очистки от  $\text{CO}_2$  от 80 % до 95 % с шагом 1 % от содержания  $\text{CO}_2$  в исходном газе.

Рассмотрим граф, составленный на основе структуры исследуемого объекта (рисунок 2).

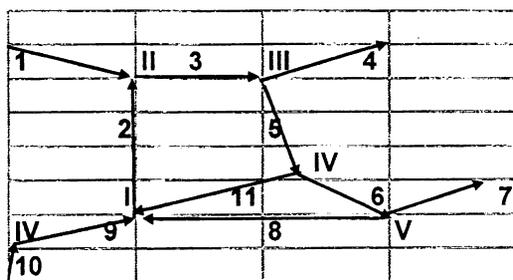


Рис. 2. Граф схемы обогащения биогаза

Элементы схемы обогащения газа являются вершинами графа, а потоки сырья и энергии – ориентированными дугами, совпадающими с направлением потоков.

После рассмотрения по отдельности всех элементов схемы, составляются материальные и тепловые балансы, которые отражают зависимость между входящими и выходящими связями. Система балансовых уравнений в элементах теплотехнической системы устанавливает такое соотношение между параметрами связи, которое обеспечивает получение заданной стационарной нагрузки системы с определенными конструктивно-компоновочными характеристиками.

Рассмотрим составление балансов на примере абсорбера, как элемента в схеме очистки биогаза от  $\text{CO}_2$  (рисунок 3).

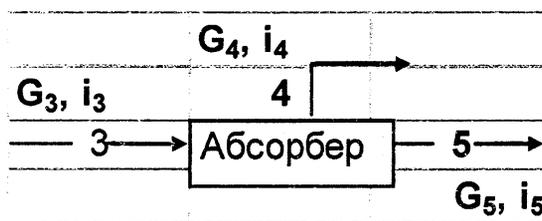


Рис. 3. Абсорбер как элемент графа  
схемы обогащения биогаза

Составим материальный и тепловой балансы графа:

$$G_3 - G_4 - G_5 = 0;$$

$$G_3 i_3 - G_4 i_4 - G_5 i_5 = 0,$$

где  $G_3$ ,  $G_4$  и  $G_5$  – расход воды, очищенного биогаза, втекающей из абсорбера воды соответственно, м<sup>3</sup>/ч;

$i_3$ ,  $i_4$  и  $i_5$  – их энтальпии, кДж/кг.

После рассмотрения по отдельности всех элементов анализируемой схемы и решения балансовых уравнений, составленных математических моделей и матриц, записи алгоритма для анализа системы и его программы, получаем программу, в которой можно осуществлять подбор оптимального давления воды и степени очистки биогаза, результаты расчета которой представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты вычислений

Доля извлечения CO <sub>2</sub>	Количество биогаза, м <sup>3</sup>	Содержание CO <sub>2</sub> в долях в конечном газе	Количество неотводимой воды, м <sup>3</sup>			Расход электроэнергии, кВт·ч		
			Давление после насоса, МПа					
			1,6	2,3	3,0	1,6	2,3	3,0
0,80	0,56	0,20	203	145	114	35,7	37,1	38,3
0,82	0,55	0,18	208	149	117	36,5	38,0	39,3
0,84	0,54	0,16	213	152	120	37,4	38,9	40,2
0,86	0,53	0,15	218	156	123	38,3	39,9	41,2
0,88	0,51	0,13	223	159	126	39,2	40,8	42,2
0,90	0,50	0,11	228	163	129	40,1	41,7	43,1
0,92	0,49	0,09	233	167	132	41,0	42,6	44,1
0,94	0,48	0,07	238	170	134	41,9	43,6	45,0

Несложно заметить тенденции к изменению расхода воды и электроэнергии. При увеличении степени очистки биогаза расход воды и электроэнергии увеличивается. В случае увеличения давления расход воды падает, а расход электроэнергии растёт. Причём с увеличением давления расход воды меняется довольно значительно.

Таким образом, мы убедились, что с помощью реализация математической модели существующего объекта, можно провести выбор рациональных структур и оптимальных параметров теплотехнических систем. Данный метод может быть полезен при разработке технико-экономических обоснований или обоснований инвестиций для решения различных задач.

### Литература

1. Моделирование, оптимизация и управление ТТС: методическое пособие / Сост. В.А. Седнин, В.Н. Романюк, А.А. Седнин. – Минск: БНТУ, 2002.
2. Лосюк Ю.А., Кузьмич В.В. Нетрадиционные источники энергии: учебное пособие для энергетических специальностей вузов. – Минск: УП «Технопринт», 2005. – 233 с.