

УДК 519.7

## О ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Е.А. Николаева, к. ф.-м.н.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.  
Горбачева

Рассматривается задача моделирования процессов топливно-энергетического комплекса.

Е-сети представляют собой графическое и математическое средство, использующееся для моделирования систем самых различных типов. Е-сеть имеет структуру двудольного ориентированного графа с двумя видами вершин: позиции и переходы. Вершины одного типа не должны быть соединены на прямую.

Для реализации в аппарате Е-сетевого моделирования рассмотрим ТЭС, работающую на угле. Технологическая схема такой электростанции представлена на Рис 1.

Список элементов составляющих технологическую цепочку:

1 – склад; 2 – дробильная установка; 3 – накопитель сырого угля; 4 – мельницы шаровые; 5 – устройство для отделения крупных частиц; 6 – пылеуловитель; 7 – накопитель угольной пыли; 8 – топочная камера котла; 9 – деаэратор; 10 – подогреватели низкого давления; 11 – подогреватели высокого давления (ПВД); 12 – турбина; 13 – конденсатор турбины; 14 – химический цех; 15 – электрическое распределительное устройство; 16 – колодец водоснабжения; 17 – дымовая труба; 18 – золоуловители; 19 – хранилище воды; 20 – сетевые подогреватели; 21 – трубопроводы; 22 – линия отвода конденсата; 23 – багерные насосы.

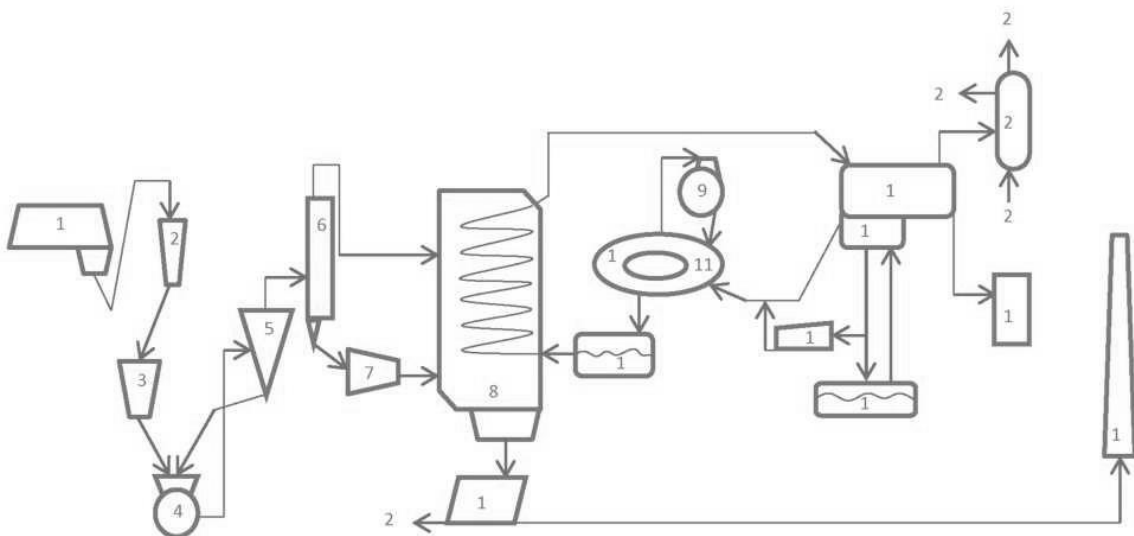


Рис 1. Технологическая схема электростанции

Со склада (1) топливо подаётся в дробильную установку (2). После измельчения топливо поступает в бункеры сырого угля (3), далее – в шаровые мельницы (4). Угольная пыль сначала проходит через устройство для отделения крупных частиц (5) и пылеуловитель (6), а затем попадает в накопитель угольной пыли (7), а уже оттуда подаётся к горелкам. Воздух в топочную камеру котла (8) засасывается из циклона мельничным вентилятором.

Газы, образующиеся в топочной камере, проходят по газоходам котельной установки, где в пароперегревателе (первичном или вторичном, если имеет место цикл с промежуточным перегревом пара) и водяном экономайзере передают тепло рабочему телу, а в воздушный подогреватель передает тепло воздуху, подаваемому в паровой котёл. Затем, газы выбрасываются в атмосферу дымососами через дымовую трубу (17) предварительно очищаясь от летучей золы в золоуловителях (18).

Выпадающие под топочной камерой, шлак и зола перекачиваются на золоотвалы с помощью багерных насосов (23).

К турбине (12) подаётся перегретый пар температурой выше 500 градусов от парового котла (8). Образовавшаяся вода (конденсат), накопившаяся в конденсаторе турбины (13), проходя по регенеративным подогревателям низкого давления (10) поступает в деаэратор (9), а затем через ПВД (11) в экономайзер котла.

При этом процессе теряется часть пара и конденсата. Эти потери восполняются за счет химически обессоленной воды. Подача воды, предварительно обработанная в химическом цехе (14), идет в линию конденсата за конденсатором турбины.

Из приёмного колодца водоснабжения (16) подаётся охлаждающая вода, закачиваемая в конденсатор. Подогретая вода сбрасывается в тот же колодец на достаточном расстоянии от места забора.

Для централизованного производства тепла электростанции и прилегающего к ней населенного пункта в схеме предусмотрен подогреватель сетевой воды. Сетевая вода поступает в подогреватель (20) и отводится от него по трубам (21), пар поступает от отборов турбины к её сетевым подогревателям, конденсат отводится по линии (22).

Посредством повышающих электротрансформаторов полученная электроэнергия отводится от генератора к внешним потребителям. На электростанции предусмотрено электрическое распределительное устройство собственных нужд (15).

Была построена абстрагированная модель ТЭС с возможностью расширения. Её схема представлена на Рис 2.

Обозначим:  $p_1$  – новая порция угля поступила в дробильную установку;  $p_2$  – уголь обработан;  $p_3$  – конденсат и восполненные потери воды поступили в хранилище;  $p_4$  – сырьё поступило в топочную камеру;  $p_5$  – получены продукты горения;  $p_6$  – пар подаётся в турбину;  $p_7$  – золошлаковые отходы переправлены в систему переработки;  $p_8$  – газообразные отходы поступают в

систему очистки;  $p_9$  – электроэнергия отводится к внешним потребителям;  $p_{10}$  – пар от отборов турбины поступает на ТЭЦ.

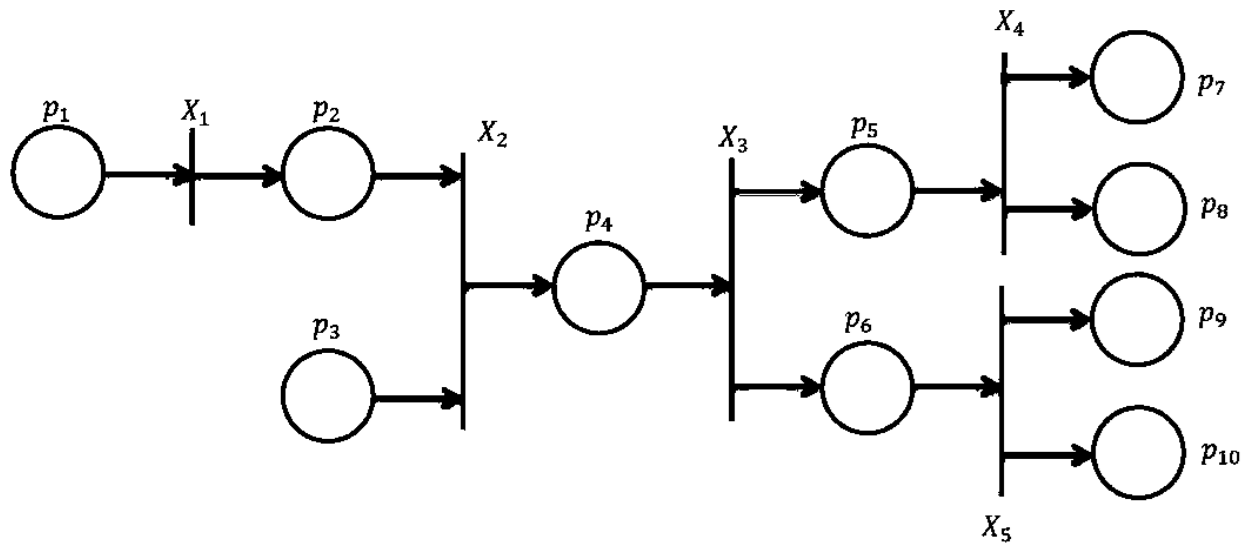


Рис 2. Абстрагированная модель ТЭС с возможностью расширения

Для исследований интерес представляет экологическая эффективность и связанная с ней экономическая выгода от использования систем переработки отходов. Речь, прежде всего, идет о системах очистки газовых выбросов.

Двуокись углерода – один из парниковых газов, избыток которых в атмосфере приводит к глобальному изменению климата. Во всем мире предпринимаются многочисленные попытки сократить выбросы парниковых газов и, все более широкое распространение получает один из этих методов – улавливание (захват) и хранение двуокиси углерода (Carbon Capture & Storage - CCS).

Технология улавливания  $CO_2$  GREENSOL-process позволяет надежно улавливать и концентрировать  $CO_2$  из газовых потоков с очень низкой исходной концентрацией диоксида углерода (от 0,2 % об. и ниже), при давлениях, близких к атмосферному и содержании кислорода в потоке до 25% и выше. Степень очистки от углекислого газа в процессе GREENSOL достигает 99,8 %.

Промышленные процессы использования  $CO_2$ :

1. Подкормка растений в теплицах, интенсификация выращивания биомассы в процессах биоэнергетики (обеспечивается секвестрация  $CO_2$ );
2. В машиностроении и металлургии для создания защитных сред;
3. Пищевая промышленность (например, газирование напитков);
4. Системы очистки поверхностей углекислотой;
5. Системы углекислотного пожаротушения;
6. Холодильные машины;
7. Сверхкритическая  $CO_2$ -экстракция, а также многие другие процессы.

Системы улавливания и хранения углекислого газа, как правило, делятся на следующие три стадии: улавливание, транспортировка и хранение. В данной работе мы будем рассматривать лишь первую стадию (Рис.3).

Технология улавливания и концентрирования углекислого газа реализуется по следующей схеме: дымовые газы (FG) дымососом подаются в центробежный аппарат (CB) для очистки от взвешенных частиц и снижения температуры газового потока путем пропускания газовой смеси через слой воды. Охлажденный газовый поток подается в насадочный абсорбер (А), в который также поступает регенерированный абсорбирующий раствор. Очищенный в абсорбере газ выводится с установки, а насыщенный кислым газом раствор из встроенной в абсорбер емкости насосом (Р) через фильтр (F) и рекуперативный теплообменник (Н) подается на регенерацию в насадочный десорбер (D), обогреваемый снизу тэнами. Кислый газ из верхней части десорбера подается в компрессор (К), затем выводится с установки. Регенерированный раствор из нижней части десорбера через рекуперативный теплообменник (Н) и холодильник (R) поступает в абсорбер для дальнейшей эксплуатации.

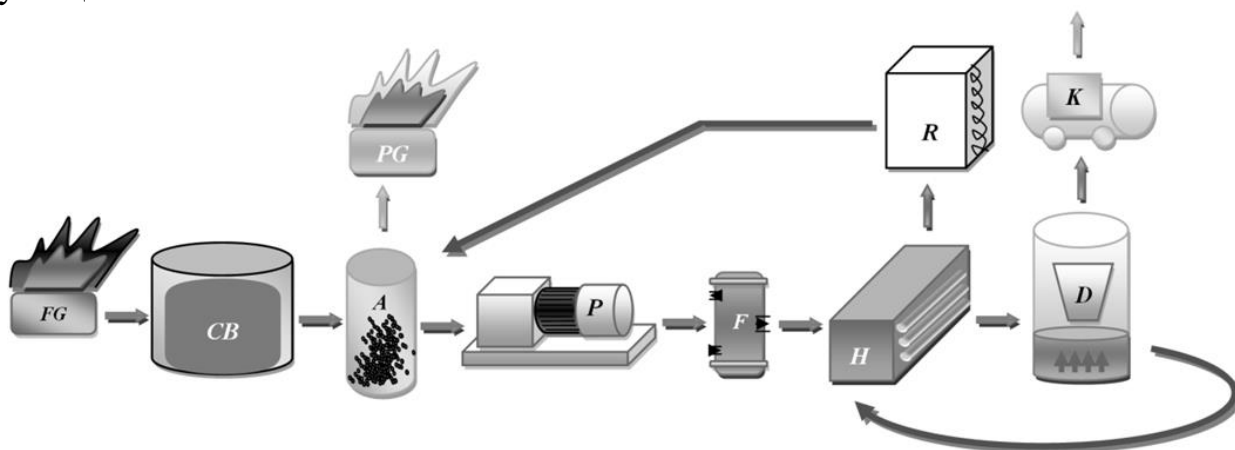
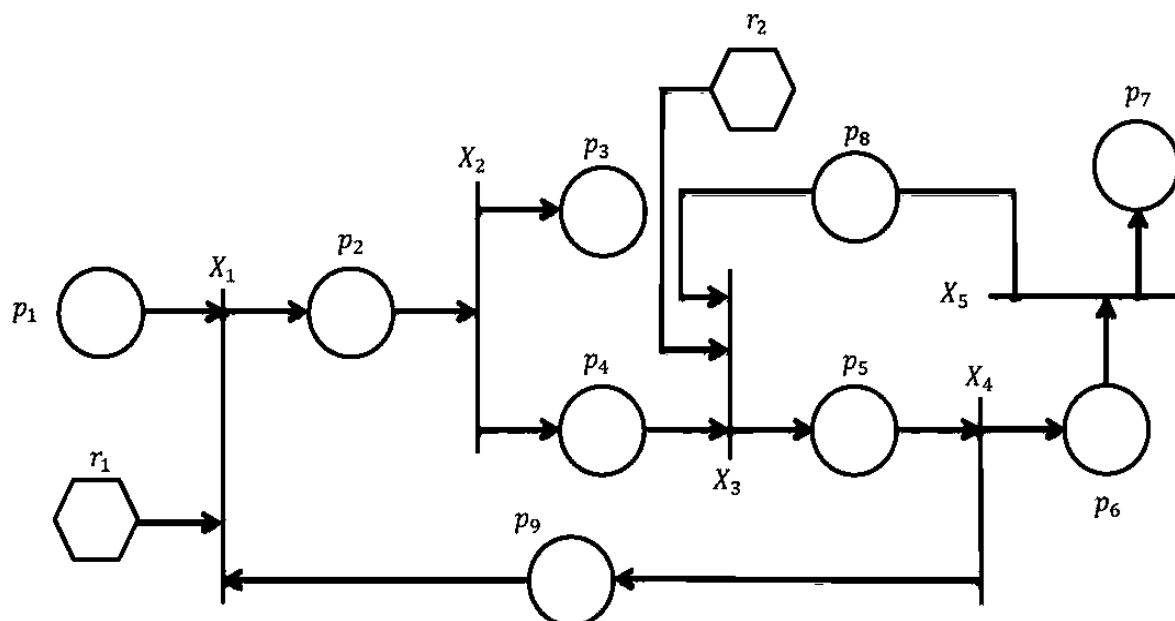


Рис 3. Системы улавливания и хранения углекислого газа

Модель этой системы в терминах Е-сетей имеет следующий вид:



*Рис. 4. Модель системы улавливания и хранения углекислого газа в терминах E-сетей*

Введём обозначения:  $p_1$  – дымовые газы поступили в центробежный аппарат;  $p_2$  – охлажденный газовый поток подается в насадочный абсорбер;  $p_3$  – очищенный в абсорбере газ выведен с установки;  $p_4$  – насыщенный кислым газом раствор проходит по фильтру;  $p_5$  – раствор проходит рекуперативный теплообменник;  $p_6$  – раствор восстанавливается в насадочном десорбере;  $p_7$  – кислый газ из верхней части десорбера выведен с установки;  $p_8$  – раствор из нижней части десорбера регенерирован;  $p_9$  – регенерированный раствор поступает в холодильник.

$X_1 = (Y, 0, \varphi_1)$  – процесс регенерации в десорбере;

$$\varphi_1 = L(X_1) = \left\{ \begin{array}{l} p_1 \rightarrow X_1, p_9 \rightarrow X_1, r_1 \rightarrow X_1, X_1 \rightarrow p_2 \Leftrightarrow r_1 = 0 \vee \\ p_1 \rightarrow X_1, p_9 \rightarrow X_1, r_1 \rightarrow X_1, X_1 \rightarrow p_2 \Leftrightarrow r_1 = 1 \vee \\ \vee (p_1 = 1, p_9 = 0, p_2 = 0, ) \rightarrow p_1 p_2 \\ \vee (p_1 = 1, p_9 = 1, p_2 = 0, ) \rightarrow p_1 p_9 p_2 \end{array} \right\} \Rightarrow L(X_1) = \{p_1 p_2 \wedge p_1 p_9 p_2\}$$

$X_2 = (F, 0, \varphi_2)$  – раствор подается на регенерацию в насадочный десорбер;

$$\varphi_2 = L(X_2) = \{p_2 X_2 | X_2 \rightarrow p_2 p_3 p_4\} = \{p_2 p_3 p_4\},$$

$X_3 = (Y, 0, \varphi_3)$  – раствор подается на регенерацию в насадочный десорбер;

$$\varphi_3 = L(X_3) = \left\{ \begin{array}{l} p_4 \rightarrow X_3, p_8 \rightarrow X_3, r_2 \rightarrow X_3, X_3 \rightarrow p_5 \Leftrightarrow r_2 = 0 \vee \\ p_4 \rightarrow X_3, p_8 \rightarrow X_3, r_2 \rightarrow X_3, X_3 \rightarrow p_5 \Leftrightarrow r_2 = 1 \vee \\ \vee (p_4 = 1, p_8 = 0, p_5 = 0, ) \rightarrow p_4 p_5 \\ \vee (p_4 = 1, p_8 = 1, p_5 = 0, ) \rightarrow p_4 p_8 p_5 \end{array} \right\} \Rightarrow L(X_3) = \{p_4 p_5 \wedge p_4 p_8 p_5\}$$

$X_4 = (F, 0, \varphi_4)$  – раствор подается на регенерацию в насадочный десорбер;

$$\varphi_4 = L(X_4) = \{p_5 X_4 | X_4 \rightarrow p_5 p_6 p_9\} = \{p_5 p_6 p_9\},$$

$X_5 = (F, 0, \varphi_5)$  – процесс регенерации в десорбере;

$$\varphi_5 = L(X_5) = \{p_6 X_5 | X_5 \rightarrow p_6 p_7 p_8\} = \{p_6 p_7 p_8\},$$

$r_1$  – проверка наличия регенерированного раствора;

$r_2$  – проверка наличия регенерированного раствора из нижней части десорбера.

Использование аппарата E-сети для моделирования процесса функционирования ТЭС даёт возможность проверки правильности составления и коррекции модели ещё на этапе построения.

Для реализации модели на компьютере использовался пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений MatLab, а именно приложение к нему – Simulink. Версия Simulink – 7.8(R2011b). В результате моделирования выбросы  $CO_2$  составили 0,58% от объема переработанного угля.