

**Рис. 6.** Зависимость коэффициента увеличения ресурса при доливах от коэффициента термоокислительной стабильности и температуры при испытании моторных масел: а – 180 °С; б – 170 °С; в – 160 °С (усл. обозн. см. на рис. 4.2).

#### Выводы

Таким образом, применение коэффициента увеличения ресурса позволяет определить температурную динамику его изменения в процессе окисления масла и, как следствие, рассчитать изменение ресурса.

Использование предложенных средств контроля и методики исследования позволяет получить необходимую информацию о термоокислительных процессах

при доливах и обоснованно осуществлять выбор смазочных материалов для определенных температурных условий.

#### Литература

1. Метелица, А. А. Метод контроля влияния стали 45 на процессы термоокисления масла М10-Г<sub>2к</sub>. Диссертация на соискание уч. степени канд. техн. наук. – 2009 г., – 149 с.

УДК 621.311.22:519.8

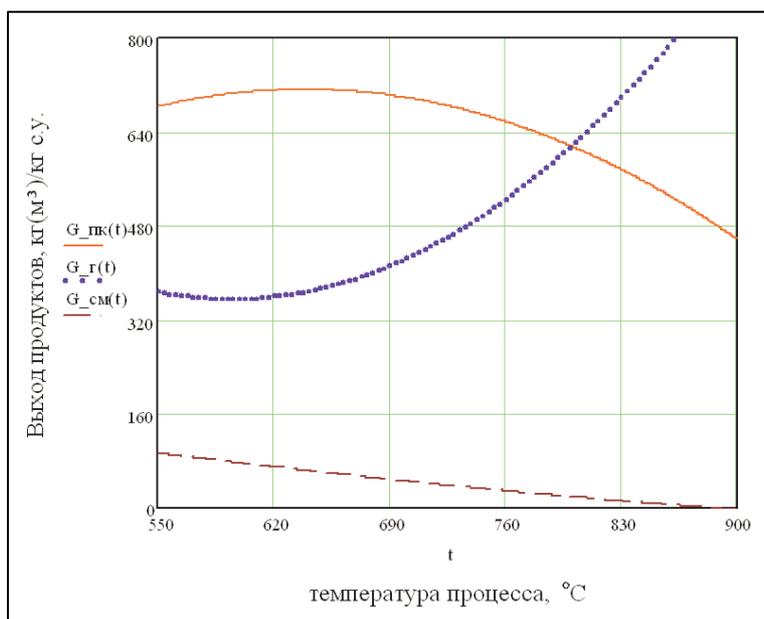
*С.А. Семенов\*, Л.Ф. Гутчинский, И.О. Слободчиков*

### АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БЛОКА НА ОСНОВЕ ПИРОЛИЗА НИЗКОКАЧЕСТВЕННЫХ УГЛЕЙ

*Статья посвящена исследованию установок термоокислительного пиролиза углей применительно к системам топливоподготовки электростанций, а также технико-экономической оптимизации режимных параметров процесса энерготехнологической переработки канско-ачиснских углей с отпуском потребителю чистых энергоносителей с помощью разрабатываемой математической модели установок пиролиза МОУП.*

\* - автор, с которым следует вести переписку.

**Ключевые слова:** математическая модель, канско-ачинский уголь, энерготехнологическая переработка, оптимизация



**Рис.1.** Зависимость выхода продуктов пиролиза от температурного уровня процесса

Для исследования установок пиролиза низкокачественных твердых топлив авторами разрабатывается математическая модель установок пиролиза (МОУП). Она включает в себя блоки расчета теплофизических свойств исходных веществ и продуктов пиролиза, блок обработки экспериментальных данных, а также блоки расчета энергетических и экономических показателей. В МОУП предусмотрен расчет основных элементов технологической схемы: блока подготовки топлива, реактора-пиролизера, теплогенератора, блока переработки продуктов пиролиза, паротурбинной установки и др. Все блоки МОУП реализованы в среде MathCAD.

С помощью МОУП авторами исследованы технологии термоокислительного пиролиза в системе топливоподготовки тепловой электростанции (ТПТЭС) и в составе энерготехнологического комплекса (ЭТК). В качестве пиролизера принят автотермический реактор циклонного типа, в котором уголь подвергается термической переработке при температурах 700-900°C. Производительность реак-

тора по исходному топливу составляет 100 т/ч. Реализация термоокислительного пиролиза позволяет существенно упростить технологическую схему. В этом случае конструкция реактора отличаются простотой, позволяющей снизить металло- и капитальные затраты, потери в окружающую среду, а также повысить эксплуатационные характеристики работы установок пиролиза. Расчеты установки ТПТЭС, проводились с использованием регрессионных зависимостей, полученных в результате обработки экспериментальных дан-

ных термоокислительного пиролиза канско-ачинских углей (КАУ) [1]. Выходы продуктов пиролиза являются функциями температурного уровня процесса (рис. 1):

$$G_{ПК} = -806,406 \cdot t_{п}^2 + 4,76 \cdot t_{п} - 3,73 \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

$$G_{Г} = 2531,77 \cdot t_{п}^2 - 7,32 \cdot t_{п} + 6,16 \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

$$G_{СМ} = 353,33 \cdot t_{п}^2 - 0,59 \cdot t_{п} + 2,18 \cdot 10^{-4}, \quad (3)$$

где  $G_{ПК}$ ,  $G_{Г}$ ,  $G_{СМ}$  – соответственно, количество получаемых в реакторе-пиролизере полукокса, смолы и газа, кг(м³)/кг с.у. (с.у. – сухой уголь);  $t_{п}$  – температура процесса, °C.

С применением МОУП [2] рассчитаны характеристики реактора-пиролизера, а также оценена энергетическая эффективность применения пиролиза в топливоподготовке. Коэффициент полезного действия установки определялся с учетом

КПД производства подводимой извне электроэнергии и составил около 31 %. Несмотря на снижение энергетической эффективности работы ТПТЭС по сравнению с прямым сжиганием угля, применение данной технологии позволяет получить достаточно существенные преимущества: улучшаются эксплуата-

ционные и экологические характеристики котлоагрегатов, повышается надежность их работы, наблюдается снижение капитальных и эксплуатационных затрат.

Расчет показателей работы ЭТК проводился на примере переработки КАУ с отпуском потребителю чистых энергоносителей различного температурного потенциала и химической продукции. Цель исследований заключалась в комплексной оптимизации режимных параметров (температур процесса термоокислительного пиролиза и разогрева твердого теплоносителя) путем минимизации целевой функции – суммарных затрат в системе  $Z_{\text{сист.}}$ , состоящей из энерготехнологического блока, конденсационной электростанции (КЭС) с прямым сжиганием КАУ и коксохимического завода (КХЗ), на котором перерабатываются каменные кузнецкие угли с получением газа, смолы и сырого бензола.

При изменении режимных параметров изменяются ассортимент получаемой на энерготехнологической установке продукции, а также расход ресурсов на собственные нужды ЭТК. Одинаковый энергетический и производственный эффект у потребителя обеспечивается введением замыкающей энергетической установки – КЭС с прямым сжиганием бурых КАУ и замыкающего химического производства – КХЗ. Тогда затраты в системе с учетом обеспечения заданной надежности энергоснабжения и обеспечения природоохранных мероприятий выразятся соотношением

$$Z_{\text{сист}} = Z_{\text{ЭТБ}} + Z_{\text{КЭС}} + Z_{\text{КХЗ}} + Z_{\text{рез}}, \quad (4)$$

где  $Z_{\text{ЭТБ}}$  – приведенные затраты на производство электрической энергии и химических продуктов в энерготехнологической установке, руб./год;  $\Delta Z_{\text{КЭС}}$  – приведенные затраты на выработку заданного количества электроэнергии на конденсационной электростанции, сжигающей канско-ачинский уголь, руб./год;  $\Delta Z_{\text{КХЗ}}$  – затраты на производство газа и химиче-

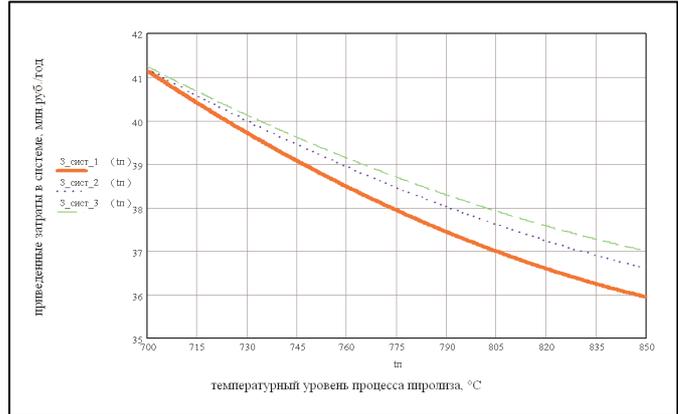


Рис. 2. Зависимость приведенных в системе затрат от температуры разогрева твердого теплоносителя  $t_{\text{ТТ}}$

ской продукции на коксохимическом заводе с учетом потребительских свойств продуктов, руб./год;  $\Delta Z_{\text{рез}}$  – затраты на резервные энергетические установки, руб./год.

Аппроксимация экспериментальных и расчетных данных позволила получить зависимости приведенных в системе затрат от режимных параметров:

– от температуры разогрева твердого теплоносителя (рис.2):

$$\text{при } t_{\text{п}} = 700^{\circ} \text{C}$$

$$Z_{\text{сист}} = -1,82 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\text{ТТ}}^2 + 3,478 \cdot t_{\text{ТТ}} + 39,457; \quad (5)$$

$$\text{при } t_{\text{п}} = 750^{\circ} \text{C}$$

$$Z_{\text{сист}} = -8,794 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\text{ТТ}}^2 + 0,018 \cdot t_{\text{ТТ}} + 30,998; \quad (6)$$

$$\text{при } t_{\text{п}} = 800^{\circ} \text{C}$$

$$Z_{\text{сист}} = -1,115 \cdot 10^{-5} \cdot t_{\text{ТТ}}^2 + 0,024 \cdot t_{\text{ТТ}} + 25,128; \quad (7)$$

$$\text{при } t_{\text{п}} = 850^{\circ} \text{C}$$

$$Z_{\text{сист}} = 6,21 \cdot 10^{-8} \cdot t_{\text{ТТ}}^3 - 2,176 \cdot 10^{-4} \cdot t_{\text{ТТ}}^2 + 0,255 \cdot t_{\text{ТТ}} - 63,042; \quad (8)$$

– от температурного уровня процесса пиролиза (рис. 3):

при  $t_{\text{ТТ}} = 950^{\circ}\text{C}$

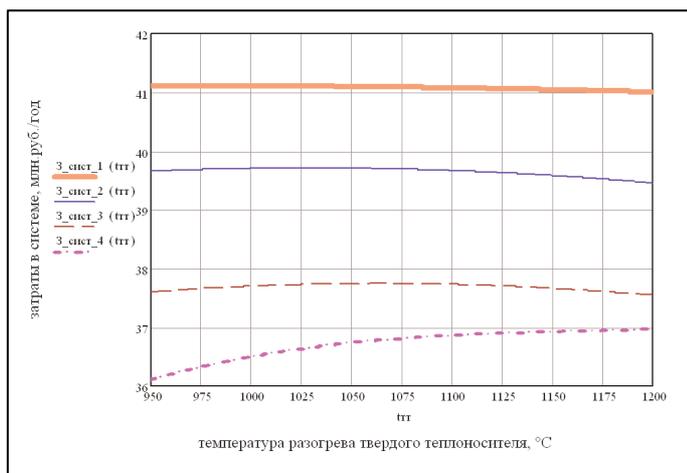
$$Z_{\text{сист}} = 1,078 \cdot 10^{-4} \cdot t_{\text{П}}^2 - 0,202 \cdot t_{\text{П}} + 129,556; \quad (9)$$

при  $t_{\text{ТТ}} = 1000^{\circ}\text{C}$

$$Z_{\text{сист}} = 7,719 \cdot 10^{-5} \cdot t_{\text{П}}^2 - 0,150 \cdot t_{\text{П}} + 108,512; \quad (10)$$

при  $t_{\text{ТТ}} = 1050^{\circ}\text{C}$

$$Z_{\text{сист}} = 7,531 \cdot 10^{-5} \cdot t_{\text{П}}^2 - 0,145 \cdot t_{\text{П}} + 105,848; \quad (11)$$



**Рис. 3. Зависимость приведенных в системе затрат от температурного уровня процесса пиролиза  $t_{\text{П}}$**

Анализ зависимостей (5) – (11) показал, что изменение температурного уровня процесса пиролиза оказывает большее влияние на величину приведенных затрат в системе, чем температура разогрева твердого теплоносителя. В заданном интервале температур процесса окислительного пиролиза  $t_{\text{П}}=700\text{-}850^{\circ}\text{C}$  минимум приведенных затрат в системе приходится на режим с параметрами  $t_{\text{П}}=850^{\circ}\text{C}$  и  $t_{\text{ТТ}}=950^{\circ}\text{C}$ .

Повышение величины  $Z_{\text{сист}}$  при увеличении температуры разогрева теплоносителя вызвано увеличением затрат на энерготехнологическом блоке, связанных с необходимостью снижения возрастающих тепловых потерь. Снижение же приведенных затрат системы при повышении температурного уровня процесса пироли-

за объясняется тем, что повышается отпуск целевых химических продуктов от энерготехнологического блока, более экономичного по сравнению с коксохимическим заводом. При понижении температуры  $t_{\text{П}}$  недоотпуск потребителям химической продукции приходится компенсировать за счет отпуска от КХЗ газа, смолы и сырого бензола, себестоимость которых выше, чем у продуктов, отпускаемых ЭТК, что приводит к повышению приведенных в системе затрат.

Полученные при технико-экономической оптимизации значения режимных параметров хорошо согласуются с результатами термодинамической оптимизации, проведенной по ранее разработанной методике [3].

### Литература

1. Гутчинский, Л. Ф. Использование продуктов термоокислительного пиролиза бурых канско-ачинских углей // Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири: Материалы межрегиональной научно-технической конференции. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2006. – С. 45.
2. Семенов С. А., Слободчиков И. О. Применение системы MathCAD для моделирования процессов низкосортных углей // Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири: Материалы VIII (XXX) Всероссийской научно-технической конференции. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2009. – С. 118-119.
3. Семенов, С. А. Методика эксергетического анализа установки термоокислительного пиролиза твердого топлива / С. А. Семенов, Л. Ф. Гутчинский // Вестник ИрГТУ. – 2005. – №4 (24). – С. 60-64.