

6. Сергиевская, Е. Н. Определение оптимальных настроек электронных регуляторов / Е. Н. Сергиевская // Теплоэнергетика. – 1957. – № 3. – С. 12–16.
7. Гурецкий, Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием; пер. с польского / Х. Гурецкий. – М.: Машиностроение, 1974. – 327 с.
8. Ротач, В. Я. Системы управления технологическими процессами с моделью состояния объекта / В. Я. Ротач, Ю. Н. Вишнякова // Теплоэнергетика. – 2005. – № 10. – С. 42–47.
9. Кулаков, Г. Т. Определение оптимальных настроек регуляторов теплоэнергетических объектов при отработке задающего воздействия / Г. Т. Кулаков, А. Т. Кулаков // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). – 1980. – № 4. – С. 74–80.
10. Кулаков, Г. Т. Определение оптимальных настроек регуляторов теплоэнергетических объектов с различной реакцией на управляющие и возмущающие воздействия / Г. Т. Кулаков, А. Т. Кулаков, В. В. Тимошенко // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). – 1980. – № 10. – С. 74–80.
11. Стефани, Е. П. Основы расчетов настройки регуляторов теплоэнергетических процессов / Е. П. Стефани. – 2-е изд. перераб. – М.: Энергия, 1972. – 376 с.
12. Ротач, В. Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования / В. Я. Ротач. – М.: Энергия, 1973. – 440 с.
13. Кулаков, Г. Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования / Г. Т. Кулаков. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 135 с.

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 14.04.2008

УДК 577.3

## **НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ ТОРФА**

**Канд. техн. наук, доц. ЛОСЮК Ю. А., инж. ЖИБРИК С. В., КОРЧИНЕНКО С. В.**

*Белорусский национальный технический университет,  
ОДО «ЭНЭКА»*

Согласно Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь энергетическая безопасность является одной из наиболее важных составляющих национальной и экономической политики страны. Как известно, с целью повышения уровня энергетической независимости в Беларуси планируется увеличить долю местных видов топлив в топливно-энергетическом балансе (ТЭБ) с 16,7 % в 2003 г. до 25 % в 2020 г. [1].

В конце 2007 г. разработана государственная программа «Торф» на 2008–2010 гг. и на период до 2020 г. Она предусматривает увеличение объемов добычи и использования торфяного топлива в Беларуси до 1,15 млн т у. т. к 2010 г.

В настоящее время запасы торфа оцениваются в 4 млрд т. Для промышленной заготовки выделено 14 тыс. га площади торфяников с суммарным запасом в 26,3 млн т, из которых 21,5 млн т пригодны для производства торфяного топлива [2]. Такое внимание к торфу неслучайно. Его запасы позволяют в значительной мере сократить потребности Республики Беларусь в импортируемых энергоносителях. На сегодняшний день торф уже явля-

ется реальным конкурентом таким углеводородам, как нефть и газ. Важно рационально использовать потенциальные энергетические возможности торфа. Обычным вариантом считается сжигание торфа в котлах с целью получения тепловой энергии. В ходе разработки бизнес-плана одного из торфопредприятий нами рассмотрен иной путь рационального использования торфа – его термохимическое разложение, или пиролиз. Этому предшествовало детальное изучение последних разработок в области пиролиза как в нашей стране, так и за рубежом.

Современные технологии пиролиза биомассы (БМ) можно классифицировать по следующим признакам:

- скорости нагрева (быстрый, медленный пиролиз);
- среде, в которой происходит пиролиз (вакуумный, гидропиролиз, метанопиролиз);
- температурным режимам.

Характеристики основных процессов пиролиза обобщены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики основных процессов пиролиза

| Характеристика                                                                       | Быстрый пиролиз, низкие температуры | Быстрый пиролиз, высокие температуры | Медленный пиролиз | Карбонизация   |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|----------------|
| Время процесса                                                                       | 1 с                                 | 1 с                                  | 5–30 мин          | Часы, дни      |
| Размер сырья                                                                         | Малый                               | Малый                                | Средний           | Большой        |
| Влажность сырья                                                                      | Очень низкая                        | Очень низкая                         | Низкая            | Низкая         |
| Температура, °С                                                                      | 450–600                             | 650–900                              | 500–700           | 400–600        |
| Давление, кПа                                                                        | 100                                 | 10–100                               | 100               | 100            |
| Газ:<br>выход, %, массы<br>сухого сырья;<br>теплота сгорания,<br>МДж/м <sup>3</sup>  | До 30<br>10–20                      | До 70<br>10–20                       | До 40<br>5–10     | До 40<br>2–4   |
| Жидкость:<br>выход, %, массы<br>сухого сырья*;<br>теплота сгорания,<br>МДж/кг        | До 80<br>23                         | До 20<br>23                          | До 30<br>23       | До 20<br>10–20 |
| Твердое вещество:<br>выход, %, массы<br>сухого сырья;<br>теплота сгорания,<br>МДж/кг | До 15<br>30                         | До 20<br>30                          | 20–30<br>30       | 30–35<br>30    |

\* Количество жидкости с учетом воды реакции и влаги сырья.

При высоких скоростях нагрева (1000–10000 °С/с) до 650 °С с последующим быстрым гашением происходит конденсация промежуточных жидких продуктов. Доля образующегося углистого вещества минимальна или вообще не образуется. В условиях более высоких температур процесса основным продуктом является синтез-газ, состоящий главным образом из оксида углерода СО и водорода Н<sub>2</sub>. Пиролиз при высоких скоростях нагрева известен как быстрый, огневой или ультрапиролиз в зависимости от скорости нагрева и времени протекания процесса.

В настоящее время быстрый пиролиз утвердился как технология термохимической конверсии БМ со значительным потенциалом, особенно для высокого выхода жидкого топлива и химических продуктов. Этот тип пиролиза используется с целью получения максимального количества газа либо жидкости в соответствии с установленной температурой процесса. Низкотемпературный быстрый пиролиз позволяет максимально увеличить долю жидкого продукта, которую легче и дешевле транспортировать.

Принципиальная схема пиролиза представлена на рис. 1. Процесс пиролиза энергетически самообеспечен, так как сопровождается экзотермическими реакциями. Осуществление быстрого пиролиза требует соблюдения определенных условий. Прежде всего исходная сырая биомасса должна быть подсушена, чтобы не увеличивать суммарную долю влаги, которая образуется в процессе конверсии и достигает 15 %, и не снижать эффективность пиролиза. Измельчение исходного сырья способствует увеличению скорости нагрева и обеспечивает высокий выход жидкого продукта. Количество определенных химических продуктов разложения возрастает, если сырье подвергается предварительной кислотной промывке.

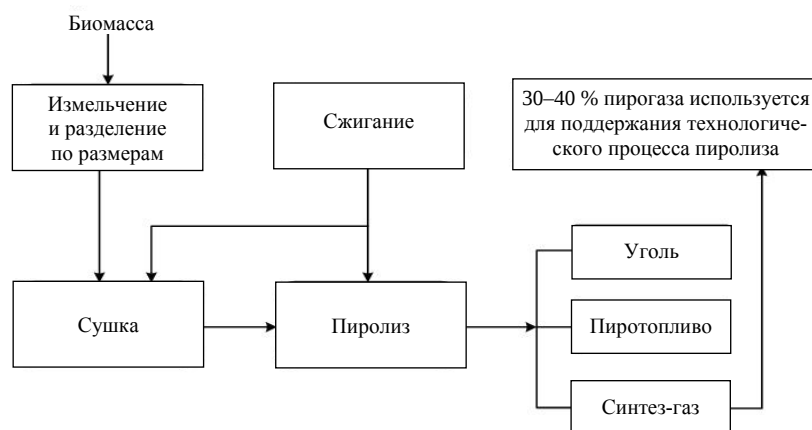


Рис. 1. Схема пиролиза биомассы

Конструкция реактора должна обеспечивать высокую интенсивность теплоотдачи. Это наблюдается в реакторах с кипящим циркулирующим слоем, в которых осуществляется контакт – между твердыми нагретыми инертными частицами и биомассой. В реакторах абляционного типа термическое сопротивление стенки ограничивает производительность процесса пиролиза.

Поддержание температуры процесса на уровне 500–520 °С необходимо для максимального образования жидких продуктов при разложении древесины.

Длительность существования продуктов пиролиза в парообразном состоянии не играет существенной роли в формировании жидких топлив. Однако если же эта стадия затягивается, может произойти вторичный крекинг продуктов пиролиза и снижение количества жидкого топлива. Следует уделять серьезное внимание отделению углистого вещества от жидкости в циклонах и принимать необходимых меры, чтобы избежать осаждения тяжелых конденсирующихся продуктов на элементах оборудования. Быст-

рый пиролиз характеризуется высокой скоростью нагрева исходного вещества (до 1000 °C/с). При этом он протекает непрерывно и отличается невысокой энергоемкостью. Перерабатываемое вещество претерпевает ряд фазовых превращений, сопровождаемых поглощением или выделением теплоты, а высокоскоростной нагрев вызывает взрывное вскипание (фазовый взрыв) с выделением большого количества теплоты и изменением структуры.

Рассмотрим технологическую схему установки для осуществления процесса быстрого пиролиза торфа (БПТ) (рис. 2) с использованием абляционного реактора с обогревом исходного вещества через стальную стенку, предложенную ООО «ТЭК» [3].

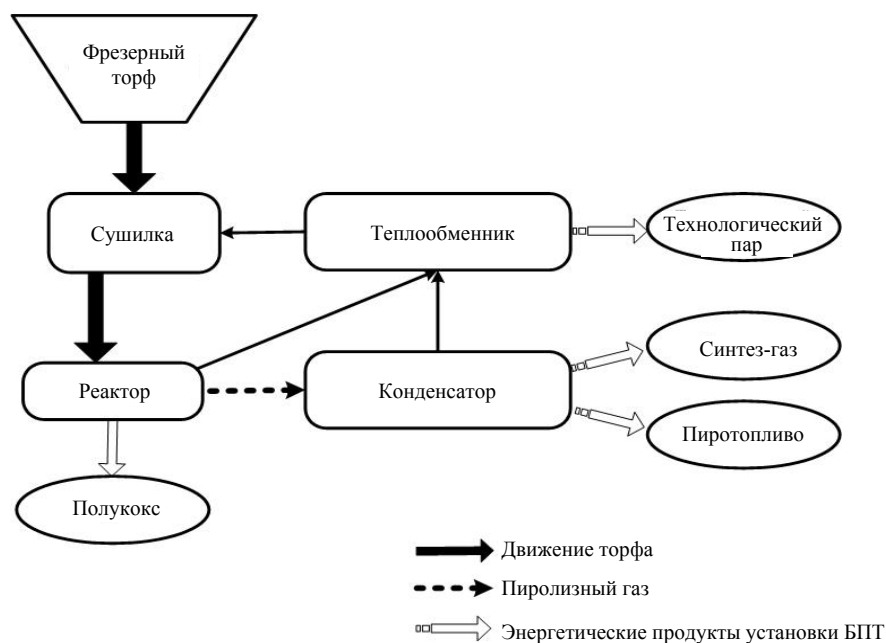


Рис. 2. Схема быстрого пиролиза торфа

Установка позволяет перерабатывать торф с исходной влажностью 52–70 %. Имеющаяся в схеме сушилка, которая работает по принципу «кипящего слоя», дает возможность довести влажность до уровня 0,4 %. Температурный режим сушки проводится в пределах 120–135 °C, т. е. ниже температуры начала пиролиза торфа.

Термохимическая конверсия исходной биомассы может протекать при трех режимах: низко-, высоко- и сверхвысокотемпературном. Низкотемпературный режим обеспечивает получение максимального количества синтетической нефти (до 65 % от массы сухого торфа). Синтез-газ составляет 25 %, остальные 10 % приходятся на долю высокоуглеродистого материала (ВУМ). Высокотемпературный режим ведет к максимальному выходу синтез-газа (до 75% от массы сухого торфа). На долю синтетической нефти приходится 15 %, а высокоуглеродистый материал составляет 10 %. В случае сверхвысокотемпературного режима наблюдается коксование торфа. Основной продукт – это высокоуглеродистое вещество (80 %), синтез-газ составляет 15 %, а синтетическая нефть – 5 % (рис. 3).

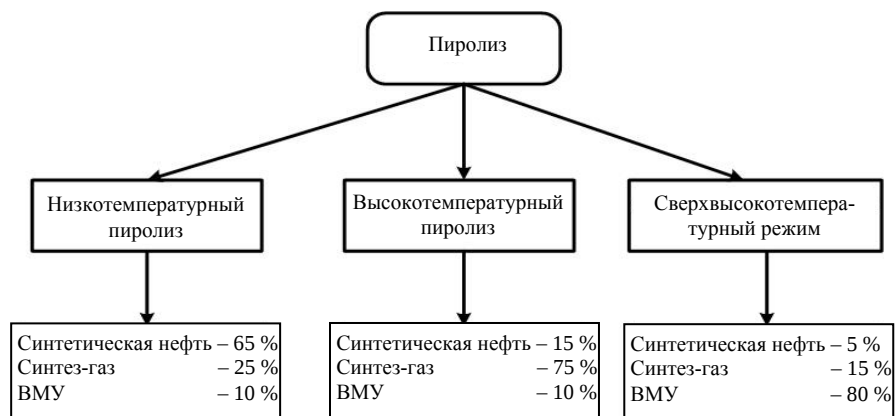


Рис. 3. Режимы работы пиролизной установки

Товарной продукцией установок БПТ являются:

- синтетическая нефть – это нефтяная фракция, которая предназначена для дальнейшей переработки на нефтеперерабатывающих заводах (установках органического синтеза) с целью получения бензиновых фракций (до 8 %, аналог бензина А92), дизельных фракций (до 12 %), а также высокоароматических соединений, спиртов, эфиров либо для использования как печного топлива в системах ТЭЦ и котельных вместо мазута М-100, печного топлива, полученного из сырой нефти, а также флотских мазутов. Калорийность жидкой фракции составляет около 23 МДж/кг;
- синтез-газ – смесь высоких углеродов (смесь метана, пропана и т. д.), водорода, оксида углерода. Он практически готов к непосредственному использованию в системе ЖКХ и энергоустановках. Относится к разряду среднекалорийных газов (19 МДж/м<sup>3</sup>);
- – порошкообразное твердое вещество с содержанием чистого углерода от 80 % и выше. Теплота сгорания – около 25 МДж/кг.

Кроме основных продуктов, установка дает тепловую энергию в виде перегретого пара, образованного при отводе излишков теплоты из реактора вследствие экзотермической реакции или при фазовых взрывах внутри реактора.

Количественные и качественные характеристики товарных продуктов зависят от физико-химических свойств торфа, способа добычи и вида торфа. При этом необходимо отметить, что применение БПТ позволяет в значительной мере упростить способ хранения и транспортировки получаемых топлив по сравнению с существующими методиками хранения торфобрикетов.

Разработка бизнес-плана модернизации одного из торфопредприятий Республики Беларусь была проведена на базе применения установки быстрого пиролиза торфа, опыт работы которой имеется в Подмосковье [4]. При этом выбрано импортное оборудование для сжигания жидкой и газообразной фракций, а также российские пароконденсатные турбины. Проанализированы четыре варианта использования торфа и продуктов его термохимической конверсии: изготовление и реализация торфобрикетов из фрезерного торфа; изготовление и использование торфобрикетов для выработки тепловой и электрической энергии для собственных нужд, а также

для их реализации сторонним организациям; сжигание фрезерного торфа на ТЭЦ с целью покрытия потребности торфопредприятия в тепловой и электрической энергии и реализация избытка электроэнергии; сжигание топливных фракций БПТ для выработки только электроэнергии. При анализе перечисленных возможных применений торфа и продуктов его конверсии выбрана технология БПТ с максимальным выходом синтез-газа (рис. 4). Это объясняется более простым способом хранения и утилизации газообразной фракции по сравнению с жидкой. Особенностью жидкой фракции является ее метастабильность, не продолжительный срок хранения и, следовательно, невозможность создания аварийного запаса. Повышение стабильности требует дальнейшей доработки и дополнительных затрат.

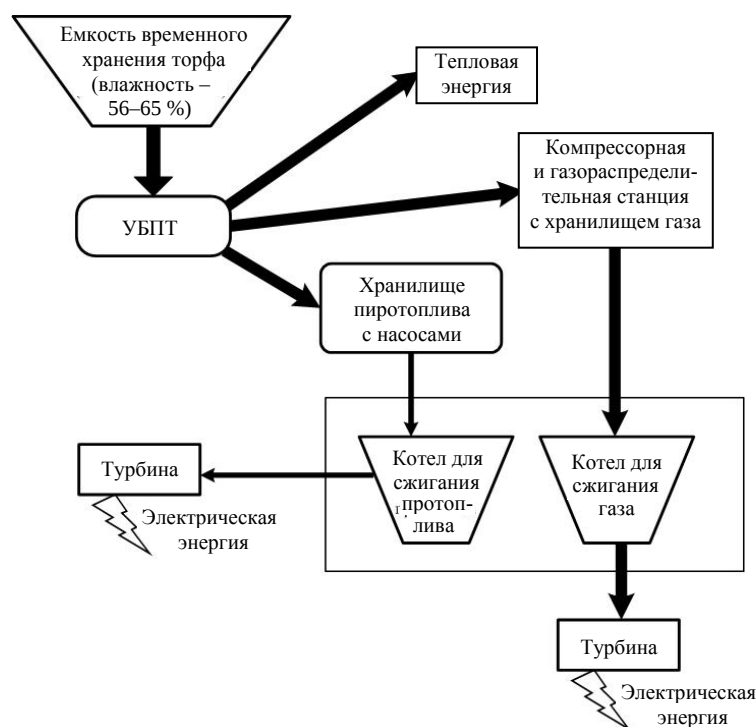


Рис. 4. Схема технологического процесса переработки торфа для получения тепловой и электрической энергии

Проведенные расчеты показывают, что производство электроэнергии с применением технологии БПТ увеличивается примерно в восемь раз по сравнению с ее выработкой при сжигании фрезерного торфа. Значительно снижается себестоимость производимой электроэнергии. Так, использование жидкой и газообразной фракций термохимического разложения торфа обеспечивает стоимость электроэнергии на уровне 24 руб./(кВт·ч) вместо 80 руб./(кВт·ч) при сжигании торфа. Тепловая энергия вырабатывается по цене 13305 руб./Гкал против 14794 руб./Гкал. Кроме того, не учитывается теплота, выделяемая при работе самой установки пиролиза. Динамический срок окупаемости равен 1,4 года против 6,51 года, а индекс рентабельности – 1,15 вместо 1,07.

Анализ показывает, что по всем показателям применение установок быстрого пиролиза торфа является более эффективным использованием его энергетических возможностей.

## ВЫВОДЫ

1. Выполнен анализ возможности применения процесса быстрого пиролиза к термохимическому разложению торфа.
2. Показана энергетическая и экономическая целесообразность предварительного термохимического разложения торфа с последующим сжиганием продуктов конверсии при выработке теплоты и электроэнергии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Г о с у д а р с т в е н н а я Концепция энергетической безопасности и повышения энергетической независимости Республики Беларусь и Государственная комплексная программа модернизации основных фондов Белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006–2010 гг. / утв. Указом Президента Республики Беларусь № 399 от 25.08.2005.
2. Г о с у д а р с т в е н н а я программа «Торф» на 2008–2010 годы и на период до 2020 года: постановление Совета Министров Республики Беларусь № 94 от 23.01.2008. – Минск, 2008.
3. С п о с о б переработки торфа: пат. РФ RU2259385.
4. [www.invest.rin.ru](http://www.invest.rin.ru). Котельников В. А. Установка быстрого пиролиза торфа. Октябрь 2007 г.

Представлена кафедрой ПТЭ и ТТ

Поступила 14.04.2008

УДК 631.82:631.811.98

## НЕОБХОДИМОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В БЕЗОПАСНЫЕ СИСТЕМЫ

Докт. техн. наук, проф. ШАРОВАРОВ Г. А., асп. МИНЮК З. П.

*Государственное научное учреждение  
«Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны»  
НАН Беларуси*

В мире непрерывно увеличивается количество загрязненных территорий. Уже существует более 100000 зон экологического бедствия. Так, общая площадь сельскохозяйственных земель в России, загрязненных токсикантами, составляет 740000 км<sup>2</sup>. Наиболее опасными по последствиям являются события, которые приводят к чрезвычайным ситуациям на предприятиях с ядерными технологиями. При таких авариях образуются два радиационно опасных объекта: разрушенное предприятие и загрязненные радионуклидами, актиноидами и горячими частицами территории с промышленной и бытовой инфраструктурой. Аварийные объекты с ядер-