

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

О классификации используемых в электроэнергетике видов биомассы*

Бессмертных А. В., канд. техн. наук, Зайченко В. М., доктор техн. наук,
Майков И. Л., доктор физ.-мат. наук

Объединенный институт высоких температур РАН, Москва

Представлены результаты разработки научных основ классификации различных видов биомассы. Классификация необходима энергетикам-практикам для выбора вида биомассы и оптимальной технологии термохимической переработки в требуемые виды энергоносителей и углеродных материалов в соответствии с технологическими целями. Приведены критерии классификации. Разработана структура базы данных, наполнение которой осуществляется по результатам экспериментальных исследований и их обобщения для групп биомассы современными методами математического моделирования.

Ключевые слова: биомасса, классификация, критерии и классы, база данных, оптимальная технология, кинетика термодеструкции.

Можно выделить несколько проблем энергетики, решение которых выведет ее на новый виток развития: сокращение стоимости первичных источников энергии; приближение производства энергоносителей к потребителям; производство таких энергоносителей, превращение химической энергии которых в другие виды (механическую работу, теплоту, электричество) экологически безопасно и конкурентоспособно по отношению к использованию традиционных ископаемых топлив. Эти проблемы могут быть решены только при рациональном использовании всех существующих первичных источников энергии. Среди них биомасса как постоянно возобновляемый источник энергии занимает существенное и особое место.

Обычно биомассу подразделяют на первичную (растения, животные, микроорганизмы и т. д.) и вторичную — отходы при переработке первичной биомассы и продукты жизнедеятельности человека и животных. В свою очередь отходы также делят на первичные — отходы при переработке первичной биомассы (солома, ботва, опилки, щепа, спиртовая барда и т. д.) и вторичные — продукты физиологического обмена животных и человека. Запасенная в первичной и вторичной биомассе энергия может преобразовываться в технически удобные виды топлива или энергии различными путями, например термохимической конверсией, включающей

прямое сжигание, пиролиз, газификацию и т. д. Многообразие видов биомассы и отсутствие их систематизации и классификации (приведенная выше классификация является очень упрощенной) затрудняют создание рациональных технологий переработки конкретного вида биомассы в конкретные конечные целевые продукты. Поэтому возникает необходимость разработки научных основ систематизации и классификации видов биомассы при ее термической переработке с целью определения оптимальной технологии получения энергетических топлив.

Разработанная авторами статьи классификация основана на иерархической структуре по следующим классифицирующим критериям:

1. Критерий “цель” (цель переработки) — получение газообразного топлива, жидкого топлива, углеродных материалов.

2. Критерий “технологичность” — оценка гранулируемости, зольности, вероятности агломерации или диспергирования исходных частиц, экологичность (наличие элементов-поллютантообразователей).

3. Критерий “экономичность” — определение цены на биомассу от поставщика, обоснование необходимости использования дорогостоящих материалов и оборудования, оценка энергозатрат на внутренние нужды и материалоемкости технологического процесса.

По выбранным критериям разработана база данных видов биомассы, выполнены экспериментальные исследования по их термическому анализу [1–3] с целью заполне-

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 11-08-01070а.

ния базы данных, а также создана программа выбора биомассы и оптимальной технологии ее термической переработки, в той или иной степени отвечающей потребностям и возможностям конкретного пользователя. При этом каждому виду биомассы или группе видов должен быть рекомендован оптимальный технологический процесс: воздушная (паровоздушная) газификация, пиролиз с внешним обогревом, пиролиз с внутренним или комбинированным обогревом, автотермическая или аллотермическая газификация и др.

При изучении физико-химических процессов, происходящих при термическом воздействии на биомассу, недостаточно расчетно-теоретических исследований, поскольку такая сложная система, как биомасса, не поддается классическому детерминированному описанию вследствие многообразия химических реакций, сопровождающихся теми или иными тепловыми эффектами. На интегральный результат процесса оказывают влияние не только вид биомассы и ее генезис, но и температура, скорость нагревания, характер среды (нейтральный, окислительный, восстановительный) и ее состав. Поэтому для различных видов биомассы необходимо выполнять комплекс экспериментальных исследований, результаты которых могут служить надежной основой фундаментального исследования процессов преобразования энергии и вещества, аккумулированных в биомассе. При этом обобщение результатов экспериментальных исследований по группам видов биомассы требует привлечения не только классических методов физико-химической кинетики, но и современных методов синтеза и управления сложными системами, которые могут испытывать стохастические воздействия. Полученные таким образом результаты являются синтезом давно апробированных и современных методов.

Экспериментальные исследования выполняли на совмещенном термоанализаторе SDT Q600 фирмы “TA Instruments” (США). Возможности анализатора позволяют проводить исследования с помощью DTA, DTG, TG и сканирующей калориметрии. Логическая структура базы данных по термохимическим свойствам видов биомассы в качестве целей термического воздействия на нее рассматривает получение газообразного топлива, жидкого топлива, углеродных материалов, той или иной комбинации целевых продуктов.

Технологичность видов биомассы характеризуется влажностью, зольностью, гранулиро-

мостью, содержанием элементов, образующих поллютанты при термохимической обработке или при горении продуктов термообработки, изменением размеров гранул биомассы при термическом воздействии, что может затруднить газопроницаемость слоя.

Экономичность конверсии видов биомассы характеризуется:

ценой на биомассу, поставляемую потребителю;

коэффициентом преобразования энергии и вещества, аккумулированных в биомассе, в конечные целевые продукты;

требуемым высшим температурным уровнем термического воздействия, которым определяется необходимость использования дорогостоящих жаропрочных материалов;

кинетикой физико-химических процессов при термическом воздействии, которая влияет на материалоемкость реакторов конверсии;

потребительскими (теплотехническими) характеристиками получаемого топлива, прежде всего — теплотворной способностью и адiabатной температурой горения.

Если целью является получение углеродных материалов, то их потребительские свойства характеризуются содержанием углерода, кажущейся плотностью, адсорбционной способностью и некоторыми другими показателями.

Иерархия видов биомассы организована по следующим классифицирующим критериям:

1. Классы в поле цели термического воздействия на биомассу (критерий “цель”). Используется группировка по трем классам: газообразное топливо, жидкое топливо, углеродные материалы.

2. Подклассы в поле технологичности (критерий “технологичность”). Оцениваются гранулируемость, зольность, вероятность агломерации или диспергирования исходных частиц. В этом поле оценивается и экологичность, т. е. наличие элементов-поллютантообразователей. Один вид биомассы принимается за “норму технологичности”, другие относятся к группам “ниже нормы”, “выше нормы”, “нетехнологичен”.

3. Каждая группа классифицируется по подгруппам, объединенным общей оценкой экономичности (критерий “экономичность”). Экономичность характеризуется ценой на биомассу от поставщика, необходимостью применения дорогостоящих материалов и оборудования, энергозатратами на внутренние нужды, кинетикой физико-химических

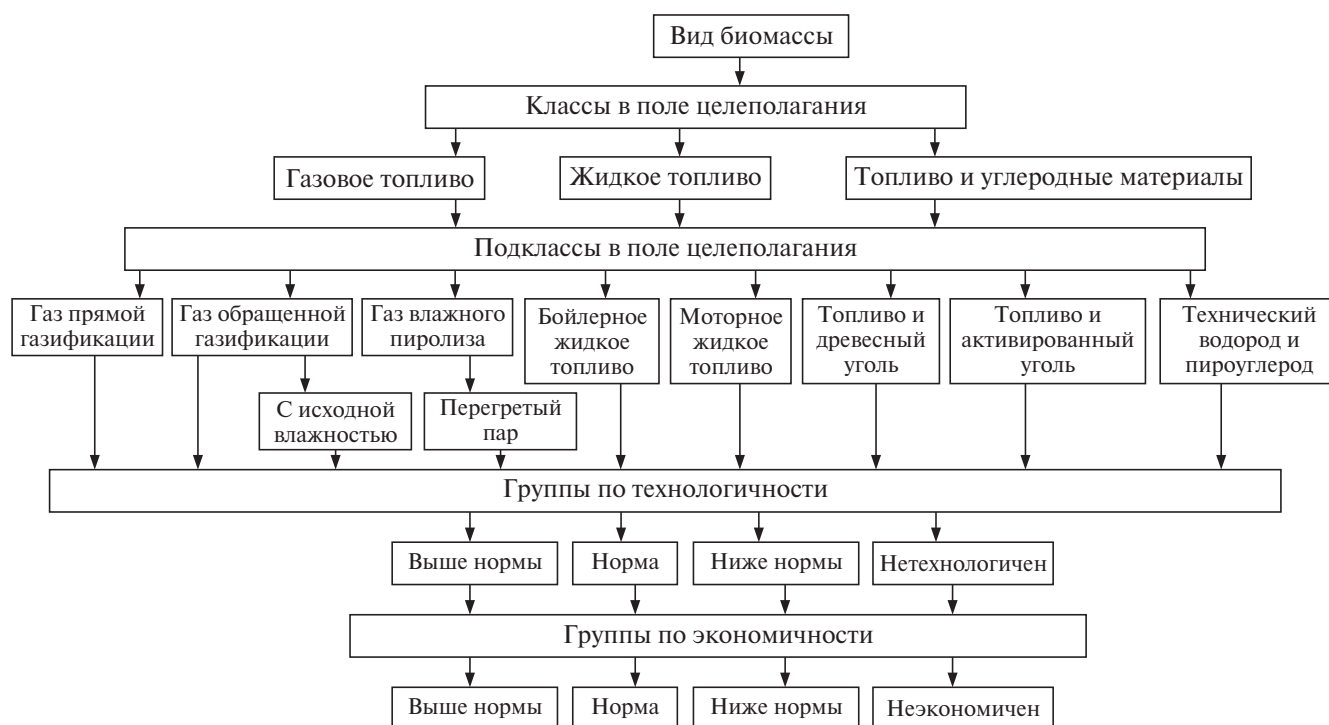


Рис. 1

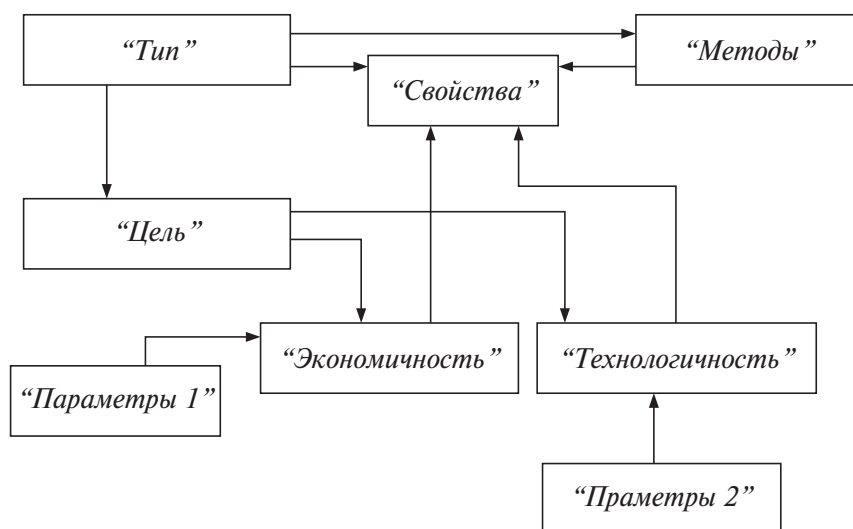


Рис. 2

превращений, которая определяет материалоемкость технологического процесса. Нижней (не по значимости) иерархической ступенью являются подподгруппы “норма”, “ниже нормы”, “выше нормы”, “экономически нецелесообразен”.

Формализованная структура полей базы данных представлена на рис. 1.

Дополнительно определяются методы термических исследований видов биомассы: термогравиметрический (изотермический, политермический и дериватный); дифференциальный

термический; сочетание обоих видов анализа для одновременного исследования этими методами одной и той же навески; дифференциальная сканирующая калориметрия; вещественный и элементный химический анализы.

Таким образом, база данных состоит из восьми взаимосвязанных таблиц (рис. 2), каждая из которых содержит следующие поля:

“Тип”: информация общего характера (название, вид, дополнительная справочная информация), а также данные вышеперечисленных анализов.

“Свойства”: влажность, зольность, гранулируемость, поллютанты (тип и содержание);

“Методы”: термогравиметрический, дифференциальный термический, дифференциальная сканирующая калориметрия, предэкспоненциальный множитель, энергия активации, порядок реакции;

“Цель”: получение газообразного топлива, жидкого топлива, углеродных материалов (каждое поле является записью и содержит связанную таблицу);

“Экономичность”: цена, коэффициент преобразования энергии биомассы в энергию продуктов конверсии, коэффициент преобразования вещества, верхний температурный уровень термического воздействия, теплота сгорания получаемого топлива, адиабатная температура горения получаемого топлива; дополнительно для углеродных материалов: содержание углерода, плотность, адсорбционная способность;

“Технологичность”: гранулируемость, зольность, вероятность агломерации, вероятность диспергирования;

“Параметры 1”: норма экономичности, ниже нормы, выше нормы, неэкономичен;

“Параметры 2”: норма технологичности, ниже нормы, выше нормы, нетехнологичен.

Кинетическая модель термодеструкции группы видов биомассы опирается на таблицу “Методы”, которая имеет связь с внешним блоком расчета термодинамических свойств и математическими методами обработки данных. В частности, имеется возможность обработки экспериментальных данных по термодеструкции биомассы с получением кинетических параметров процесса и заполнением полей, предэкспоненциального множителя, энергии активации, порядка реакции. Кинетические параметры позволяют наполнить конкретным содержанием критерий “экономичность”, поскольку по этим параметрам можно рассчитать объем реактора, количество материалов и их качество, т. е. огнеупорность и теплопроводность.

Исходные предположения математической модели, принятые при описании кинетики:

любая биомасса состоит из трех компонентов: целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина; термодеструкция этих трех компонентов всех видов биомассы в группе происходит по одинаковому механизму, но с различными кинетическими параметрами.

Разложение органической массы по трем параллельным каналам описывается уравнениями вида:

$$\frac{dX_i}{dt} = -a_1(i) \exp\left(\frac{-a_2(i)}{T}\right) (X_i^k)^{a_3(i)},$$

где $a_1(i)$, $a_2(i)$, $a_3(i)$ — параметры реакций ($i = 1 \div 3$) — всего 9 параметров.

Эти уравнения дополняются начальными условиями $X_i(t=0) = a_4(i)$ — всего 3 параметра. Таким образом, для описания одного вида биомассы необходимо 12 параметров. Для определения параметров решается оптимизационная задача минимизации функционала ошибок [4]. В результате решения этой задачи получаем для конкретного вида биомассы:

1) содержание трех компонент (лигнина, целлюлозы, гемицеллюлозы) в исходной биомассе — параметры $a_4(i)$;

2) кинетические параметры разложения по каждому из каналов (предэкспоненциальный множитель, энергия активации, порядок реакции) — параметры $a_1(i)$, $a_2(i)$, $a_3(i)$.

По принятым критериям классификации разработана система классификации видов биомассы, созданы логическая и физическая структуры базы данных. В качестве приложения к базе данных разработаны математическая модель и пакет программ многоканальной термической деструкции биомассы для обработки термогравиметрических кривых и получения кинетических характеристик процесса.

Список литературы

1. Bessmertnykh A. V., Kosov V. V., Zaichenko V. M. Development of Complex Technologies for Biomass Processing. — Proceedings of 7th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics. Antalya, Turkey, 19 – 21 July, 2010.
2. Бессмертных А. В., Зайченко В. М., Майков И. Л. Биомасса как возобновляемый источник энергии и углеродных материалов. — LapLambert academic publishing, 2012.
3. Popov R. G., Shpilrain E. E., Zaichenko V. M. Natural gas pyrolysis in regenerative gas heater, Part II: Natural gas pyrolysis “in the free volume” of regenerative gas heater. Int. J. Hydrogen Energy, 1999, № 24.
4. Майков И. Л., Директор Л. Б., Зайченко В. М. Методы теплогидравлической оптимизации и управления тепловыми сетями. — В кн.: Управление большими системами. М.: ИПУ РАН, 2011, вып. 32.

anbessmer@rambler.ru