

НАУКА ЗА РУБЕЖОМ

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ РАЗВИТИЯ НАУКИ РАН

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ



Наука за рубежом

№ 22, май 2013

Ежемесячное обозрение

Электронное издание:

www.issras.ru/global_science_review

Рубрика **«Энергетика и транспорт»**

Обзор выполнил **Н. А. Трофимов**

Выпускающее подразделение: **Сектор анализа зарубежной науки**

Руководитель проекта **Л. К. Пипия**

Редактор **О. Е. Осипова**

Верстка: **Н. В. Шашкова**

СОДЕРЖАНИЕ

1. Перспективы развития биоэнергетики до 2050 г.	4
2. Применение технологий биоэнергетики и направления их совершенствования	10
ПРИЛОЖЕНИЕ	14
Рис. 1. Виды сырьевой биомассы в соотношении с их стоимостью и типичной мощностью электростанций	14
Рис. 2. Первичное потребление топливно-энергетических ресурсов в мире	14
Рис. 3. Конечное потребление биоэнергии в различных секторах экономики	15
Рис. 4. Эмиссии парниковых газов на единицу конечной энергии для биоэнергетики и традиционной энергетики	15
Рис. 5. Технологии конверсии биомассы и уровень их разработки	16
Табл. 1. Конверсионная эффективность биоэлектростанций	17
Табл. 2. Основные технологические усовершенствования в биоэнергетике в перспективе до 2030 г.	17

Биоэнергетика обладает потенциалом для существенного сокращения отрицательного воздействия человека на окружающую среду, который возможно реализовать только при условии обеспечения устойчивого и возобновляемого пополнения ресурсов сырьевой биомассы. При развитии технологий биоэнергетики, учитывая зрелость большинства из них, основное внимание уделяется минимизации вероятных последствий для окружающей среды и здоровья человека и обеспечению конкурентоспособности биоэнергетики в соперничестве с традиционной энергетикой на ископаемых углеводородах. Разработка принципиально новых технологий в рассматриваемой отрасли зависит от роста поддержки со стороны государства как в развитых, так и в развивающихся странах, долгосрочные планы развития которых ориентируются в том числе и на возобновляемые источники энергии.

В мае 2012 г. Международное энергетическое агентство ОЭСР (IEA) опубликовало прогноз развития биоэнергетики на период до 2050 г. [1]. Согласно прогнозу, общее потребление первичных ресурсов биоэнергии¹ к 2050 г. возрастет до 160 ЭДж по сравнению с текущим показателем – 50 ЭДж. В основном биоэнергия будет использоваться для производства тепловой энергии и электричества для частного сектора, промышленности, сельского хозяйства и других целей (в общем около 100 ЭДж), а также в качестве топлива для транспорта (60 ЭДж).

1. Перспективы развития биоэнергетики до 2050 г.

Для достижения намеченных целей в области развития биоэнергетики потребуются масштабные инвестиции. Например, финансовые вложения в создание биоэлектростанций составят в 2012–2030 гг. порядка

¹Биоэнергия – энергия, полученная путем конверсии биомассы с использованием как исходного сырья, так и прошедшей переработку биомассы в жидком или газообразном виде. При этом полезной биоэнергией считается объем произведенной конечной энергии (электричества или тепла), исключая потери при трансформации.

290 млрд долл. США, а в 2031–2050 гг. – еще 200 млрд долл. США. На сырье до 2050 г. будет затрачено 7–14 трлн долл. США в зависимости от ценовой конъюнктуры. Кроме этого потребуются значительные инвестиции для оснащения биоэнергетическими системами частных хозяйств и теплоэлектроцентралей (ТЭЦ).

Планируется, что к 2030 г. около 320 млн домашних хозяйств в развивающихся странах будут оснащены кухонными плитами, работающими на биомассе² или биогазе. Производство электроэнергии на базе биоэнергии к 2050 г. достигнет 3000 ТВт·ч, что соответствует 7,5% прогнозируемого общего производства электроэнергии в мире. Биоэнергетика обеспечит до 15%³ суммарного потребления тепловой энергии в промышленном секторе и около 20%⁴ – в частном секторе⁵.

Для удовлетворения потребностей биоэнергетики в 2050 г. потребуется 5–7 млрд т сухой биомассы⁶, в дополнение к 3–4 млрд т⁷, необходимых для производства биотоплива. Предполагается, что источником для значительной части⁸ биомассы послужат различного рода «энергетические культуры»⁹. Ключевым вопросом останется возможность сохранения приемлемого баланса между доступной максимальной площадью мировых сельскохозяйственных земель, отведенных под выращивание «энергетических культур», и вероятными экологическими последствиями такого рода изменений в землепользовании.

² Биомасса – любой вид органического (т. е. подверженного разложению) вещества, полученного на возобновляемой основе из сырья животного и растительного происхождения, включая лесные и сельскохозяйственные растения, городские отходы и навоз.

³ Соответствует конечному потреблению топлива и энергии порядка 22 ЭДж.

⁴ Соответствует конечному потреблению топлива и энергии порядка 24 ЭДж.

⁵ Домашние хозяйства и здания.

⁶ Соответствует первичному потреблению топливно-энергетических ресурсов порядка 100 ЭДж.

⁷ Соответствует первичному потреблению топливно-энергетических ресурсов порядка 60 ЭДж.

⁸ Энергетические культуры (от англ. energy crops) – виды сельскохозяйственных растений, специально выращиваемые для энергетики. Например, кукуруза и сахарный тростник – для производства этанола. Для получения биомассы используются сравнительно быстро растущие древесноволокнистые культуры, такие как канарский тростник, мискантус, тополь. В данном направлении продолжаются активные исследования и разработки.

⁹ По имеющимся оценкам, эта доля может составить до 50%. В таком случае потребуется от 4 до 6% мировых сельскохозяйственных земель.

В настоящее время энергетика на основе биомассы является самым крупным источником возобновляемой энергии¹⁰ в мире, на ее долю приходится около 10% мирового потребления первичных топливно-энергетических ресурсов.

Биомасса – уникальный источник возобновляемой энергии, широко доступный в виде твердого, жидкого или газообразного топлива, используемого для производства электрической и тепловой энергии, а также в качестве топлива для транспорта¹¹. Запасы биомассы могут экономично храниться¹² в периоды низкого спроса и по мере необходимости использоваться для производства биоэнергии в периоды повышенного спроса.

Один из наиболее важных производных продуктов биомассы – био-метан, по своим свойствам похожий на природный газ, может быть получен либо методом анаэробного брожения, либо путем термохимической переработки. Важное свойство биометана заключается в том, что он может транспортироваться по существующим газопроводам аналогично природному газу.

Для производства энергии и отопления помещений используется широкий спектр исходного сырья (рис. 1), включая сырые осадки сточных вод, отходы животного происхождения, городские отходы, побочные продукты сельского и лесного хозяйства, специально выращиваемые для энергетики растения, в том числе многолетние древесноволокнистые растения.

В производстве электроэнергии биомасса имеет ряд преимуществ в сравнении с ископаемыми видами топлива, так как она широко распространена, ее добыча не связана с большими затратами, а эмиссии CO₂ на единицу полезной энергии сравнительно ниже. В дополнение к этому запасы биомассы могут устойчиво пополняться, в том числе на возобновляе-

¹⁰ Далеко не вся биомасса, используемая для производства биоэнергии в мире, пополняется возобновляемым образом.

¹¹ Еще одной областью применения биомассы является производство материалов и химикатов (в данном обзоре не рассматривается).

¹² Запасы необработанной биомассы могут храниться под открытым небом (в полях или лесах) в течение нескольких месяцев, а при наличии специально подготовленных хранилищ – до нескольких лет.

мой основе, а содержание фосфора в ней, как правило, ниже, чем в нефти и каменном угле.

Однако широкое использование биомассы имеет существенные ограничения. Удельная энергетическая ценность биомассы сравнительно невелика, что зачастую делает трудоемким и нерентабельным ее транспортировку, по крайней мере в необработанном виде. Некоторые виды биоресурсов восполняются посезонно, например в период сбора урожая или жатвы, поэтому требуются дополнительные капиталовложения для их хранения. Кроме того, необработанная биомасса содержит значительное количество влаги, а сухая – впитывает влагу и подвержена деградации.

Термохимические характеристики биомассы могут существенно варьироваться в зависимости от типа сырья, что зачастую связано с необходимостью разработки специальных систем сжигания во избежание загрязнения воздуха продуктами горения, предотвращения их поломки и коррозии. Это означает, что технические характеристики систем сжигания должны соответствовать конкретному виду биомассы, которой требуется предварительная обработка для ее последующей конверсии в биоэнергию.

Для реализации «сценария 2°C»¹³ доля биоэнергии в первичном потреблении топливно-энергетических ресурсов должна увеличиться с 10% (2009 г.) до 24% к 2050 г. (рис. 2), что предполагает разработку и, самое главное, повсеместное внедрение более эффективных технологий конверсии биомассы. Одновременно должно существенно сократиться традиционное использование биомассы¹⁴, прежде всего в слаборазвитых и

¹³ Сценарий предполагает, что глобальные эмиссии парниковых газов в энергетике сократятся к 2050 г. на 50% в сравнении с 2005 г., а атмосферные парниковые газы стабилизируются на уровне 450 ppm (от англ. part per million – частиц на миллион). В результате глобальная температура повысится на 2°C к концу столетия. В противном случае (при сохранении современных тенденций развития энергетики) глобальная температура может вырасти на 6°C, что повлечет за собой серьезные климатические изменения. По-прежнему продолжаются дискуссии относительно возможного вклада биоэнергетики в достижение целей данного сценария. Многие эксперты сомневаются, что к 2050 г. удастся довести долю биоэнергетики до намеченного уровня 24% от глобального первичного потребления топливно-энергетических ресурсов.

¹⁴ Традиционное использование биомассы – конверсия древесины, угля, сельскохозяйственных отходов, помета, навоза и удобрений для отопления жилищ и приготовления пищи на открытом огне или с применением примитивных печей.

развивающихся странах. Это связано с тем, что при традиционном использовании биомассы ее конверсионная эффективность составляет только 20–30%. В то же время наносится вред здоровью населения вследствие попадания в атмосферу опасных продуктов горения, включая смолу и сажу¹⁵. Из-за отравления продуктами горения в помещениях, в случае отсутствия изменений, к 2030 г. ежегодно в мире могут погибать около 1,5 млн человек.

Незначительные инвестиции, зачастую в пределах 100 долл. США, в усовершенствование печей, которые используются повсеместно для приготовления пищи и отопления, могут значительно повысить конверсионную эффективность, а также улучшить качество воздуха. Эксперты рассчитывают, что во многом благодаря данным усовершенствованиям удастся существенно сократить объемы конечного энергопотребления биоэнергии в частном секторе (рис. 3). Этому будет способствовать не только широкое использование печей на биомассе и биогазовых установок для частных хозяйств, но и появление более доступных альтернативных технологий, включая солнечные плиты¹⁶ и нагревательные элементы. В расчете на распространение доступных технологических инноваций эксперты ОЭСР прогнозируют сокращение потребления биомассы в частном секторе. В то же время существенные темпы роста потребления биомассы прогнозируются для промышленного сектора: с 8 ЭДж в 2009 г. до 22 ЭДж к 2050 г. В частности, ожидается рост использования биомассы для производства высокотемпературной тепловой энергии.

В том случае если воспроизводство биомассы будет устойчивым и возобновляемым, а также удастся достигнуть намеченных сокращений эмиссии парниковых газов, биоэнергетика сможет к 2050 г. снизить на 150 млн т выбросы парниковых газов в эквиваленте CO₂ в частном секторе и на 500 млн т – в промышленном секторе. Уровень эмиссии парниковых газов для традиционной энергетике и биоэнергетике приведен на рис. 4.

По мнению многих экспертов, предполагаемые преимущества биоэнергетики в сравнении с традиционной энергетикой на ископаемом топливе в

¹⁵ Так называемый черный углерод (от англ. black carbon).

¹⁶ От англ. solar cooker – плиты для приготовления пищи с использованием солнечной энергии.

части сокращения выбросов углерода в атмосферу могут не соответствовать действительности, поскольку при проведении оценок не учитываются изменения в землепользовании¹⁷. В то время как некоторые данные, касающиеся прямых изменений в землепользовании, доступны уже сейчас, для оценки опосредованных изменений потребуются дополнительные масштабные исследования. По предварительным данным, сделанным на основании изучения увеличения парниковых эмиссий вследствие изменений в землепользовании при производстве конвенциональных видов биотоплива¹⁸, возможно предположить, что в некоторых случаях рост выбросов может быть очень высоким.

Помимо сомнений относительно влияния биоэнергетики на снижение парникового эффекта специалистами высказываются и другие критические замечания. Например, будет ли обеспечено предложение биомассы на рынке первичных энергоресурсов в необходимом объеме. Даже при условии, что этого удастся достичь, велика вероятность негативного влияния биоэнергетики на биоразнообразие и плодородие земель, что может привести к деградации животного мира, истощению почв, ухудшению качества пресной воды. Кроме того, возможны отрицательные последствия для здоровья людей. Изменения в экосистемах связаны в первую очередь с вырубкой лесов и опустыниванием земель. В сельском хозяйстве существенно и влияние чрезмерного изъятия из природного кругооборота отходов (биомассы), а также избыточного использования пестицидов и ирригационной инфраструктуры. Здоровью людей угрожает рост выбросов мелких частиц (до 2,5 мкм в диаметре) в результате сжигания биомассы. Распространение технологий фильтрации в этой области происходит недостаточно быстро, несмотря на то что данные технологии все более доступны, например электростатические осадители.

¹⁷ Изменения в землепользовании (от англ. land-use change) характеризуются как прямые и опосредованные. Прямые изменения происходят в случае выращивания растений специально для биоэнергетики на землях, которые могли бы быть использованы для других целей (например, выращивания пшеницы) или еще не обрабатывались. Опосредованные – в случае когда выращивание растений для биоэнергетики ведет к дисбалансу производства иных видов культур растений, которые приходится высевать на других земельных участках, в других регионах и странах, или происходит увеличение совокупного спроса на биомассу.

¹⁸ Биотопливо, произведенное из сахарного тростника, кукурузы и масличных культур.

2. Применение технологий биоэнергетики и направления их совершенствования

В биоэнергетике широко применяются технологии предварительной обработки и переработки биомассы, технологии переработки биомассы в тепловую и электрическую энергию (рис. 5). Продолжаются также исследования и разработки, направленные на выведение «энергетических культур» с усовершенствованными характеристиками.

Самостоятельным направлением НИОКР является инженерия, селекция и выведение однолетних и многолетних древесноволокнистых растений с повышенной урожайностью и адаптационной способностью, а также разработка и внедрение сельскохозяйственных методов выращивания «энергетических культур», включая методы точного земледелия. Данные НИОКР предполагают проведение полевых испытаний в разных регионах планеты для определения адаптационного потенциала культурных растений, прежде всего учитывая их региональное разнообразие и взаимодействие с природными видами.

Среди наиболее распространенных технологий предварительной обработки отмечаются сушка, изготовление топливных гранул (пеллетов), торрефикация, пиролиз и гидротермическая обработка. Сушка является базовой разновидностью такой обработки, необходимой для уменьшения веса биомассы и упрощения ее транспортировки. Изготовление пеллетов – недорогой и успешно коммерциализированный метод механической обработки биомассы для придания ей компактности, например в форме топливных гранул из древесного волокна (щепы, опил) и других отходов сельского и лесного хозяйства. Пеллеты, прошедшие торрефикацию (термическую бескислородную обработку при температуре 200–300°C), имеют на 25–35% большую энергоемкость в сравнении с традиционными. Пиролиз и гидротермическая обработка производятся при температуре 400–600°C, они нацелены на получение пиролизных масел, древесного угля и биогаза. Энергоемкость пиролизного масла вдвое выше, чем у обычных пеллетов, а его транспортировка на большие расстояния экономически более выгодна.

Зрелой технологией является теплоэлектроцентраль, работающая на биомассе, показатели эффективности которой сопоставимы с традиционной ТЭЦ, использующей ископаемые носители энергии. Наибольшая величина КПД 70–90% достигается тепловыми электростанциями (ТЭС), вырабатывающими как тепловую, так и электрическую энергию. При этом, как правило, доля энергии для отопления зданий существенно выше доли электроэнергии. Таким образом, ТЭС целесообразно возводить в условиях доминирующего спроса на тепловую энергию.

Размеры коммерчески доступных биоэнергетических систем варьируются от крупных паровых котлов для сжигания биомассы (бойлеры биомассы) мощностью 1–10 МВт до систем, рассчитанных на частные домашние хозяйства. Отопительные системы на биогазе небольшой мощности 10–500 кВт стали появляться на рынках Китая и Юго-Восточной Азии, несмотря на то что уровень их надежности и безотказности пока еще недостаточен.

Электростанции, работающие на биомассе, мощностью 10–50 МВт с использованием паровых турбин обеспечивают КПД 18–33%, что несколько ниже аналогичного КПД электростанций на ископаемых энергоносителях. Типичные параметры электростанций, работающих на паровых турбинах, по состоянию на сегодняшний день, а также с учетом прогнозируемого прогресса к 2030 г. представлены в табл. 1. При прямом совместном сжигании¹⁹ биомассы и каменного угля можно задействовать уже существующий потенциал угольных электростанций, что значительно сокращает объем начальных капиталовложений. В данном случае достаточно оснастить электростанцию системами предварительной обработки и загрузки биомассы. Сокращение выбросов углерода в атмосферу при этом достигается за счет уменьшения количества сжигаемого угля. Доля биомассы, которая напрямую сжигается вместе с углем, составляет всего 5–10%. При непрямом и параллельном совместном сжигании²⁰ требуются более значительные начальные капиталовложения²¹.

¹⁹ От англ. direct co-firing.

²⁰ От англ. indirect co-firing и parallel co-firing. При этом используются отдельные камеры сжигания для угля и биомассы.

²¹ В этом случае необходима специальная система сжигания для биомассы, а также модификация электрогенерирующей системы, однако данные разработки еще не коммерциализированы.

В настоящее время разрабатываются системы газификации биомассы²², прежде всего в Европе, США, Японии и Индии. Однако до сих пор не ясно будущее данных разработок: многие специалисты по-прежнему сомневаются в перспективах масштабного производства электроэнергии на основе газификации биомассы.

Одновременно продолжают разрабатываться проекты биорефинировочных заводов – некоего аналога нефтеочистительных заводов. Биорефинировочный завод может представлять собой как одно предприятие, так и кластер заводов для обработки отходов и побочных продуктов промышленных предприятий. Примером предприятий такого типа являются фабрики по производству целлюлозного этанола.

Многие эксперты полагают, что одним из наиболее перспективных сценариев развития биоэнергетики является реализация проекта фабрик по производству жидкого биотоплива и биогаза, оснащенных технологией фиксации и хранения диоксида углерода. Это связано с тем, что при производстве биотоплива в качестве одного из побочных продуктов нередко образуется сравнительно чистый углекислый газ (CO_2). Таким образом, захват CO_2 , полученного в процессе конверсии биомассы, и обеспечение его длительного геологического захоронения может стать дополнительным экономическим стимулом для развития биоэнергетики. В особенности если одновременно будет внедрен механизм формирования цены на энергоносители с учетом выбросов углерода. Аналогично этому снижение выбросов парниковых газов может быть достигнуто путем извлечения из атмосферы метана (CH_4), который образуется при разложении органических отходов, например на бумажных фабриках.

Перспективные исследования и разработки в биоэнергетике в первую очередь будут ориентированы на технологии высокоэффективной конверсии энергии, миниатюризацию энергосистем, переработку биомассы в биометан, для доставки которого могут быть использованы сети транспортировки природного газа.

В среднесрочной перспективе следует ожидать значительного улучшения экономических показателей технологий, которые пока что находятся на стадии разработки или демонстрационных проектов, включая техно-

²² Термохимический процесс трансформации биомассы в газообразное топливо.

логии торрефикации, пиролиза и термохимической газификации. В то же время потребуются дополнительные пилотные и демонстрационные проекты для определения перспектив биоэлектростанций с фиксацией двуокиси углерода. Прогнозируемые технологические усовершенствования на период до 2030 г. приведены в табл. 2.

В 2010 г. общие частные и правительственные инвестиции в НИОКР в области биоэнергетики составили 600 млн долл. США, что на 18% больше, чем в предыдущем году. Это немного в сравнении с аналогичными инвестициями в солнечную энергетику и производство биотоплива. С одной стороны, данный факт свидетельствует о зрелости многих технологий биоэнергетики. С другой стороны, остается еще большое количество проблем, которые потребуют поиска новых технологических решений и соответствующих инвестиций в НИОКР. Очевидно, что дальнейшее развитие биоэнергетики напрямую зависит от объема государственного финансирования.

Приложение

Рисунок 1. Виды сырьевой биомассы в соотношении с их стоимостью и типичной мощностью электростанций

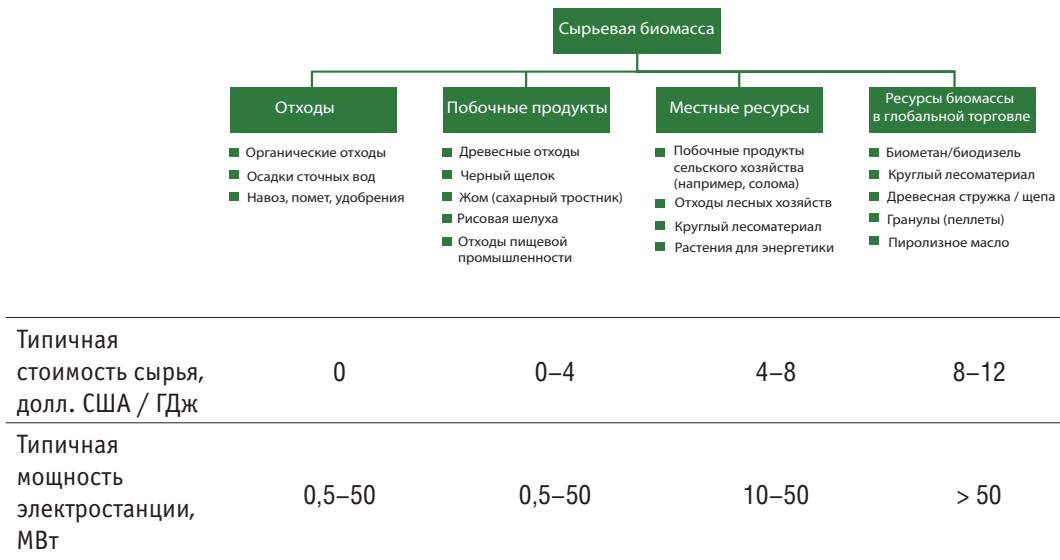
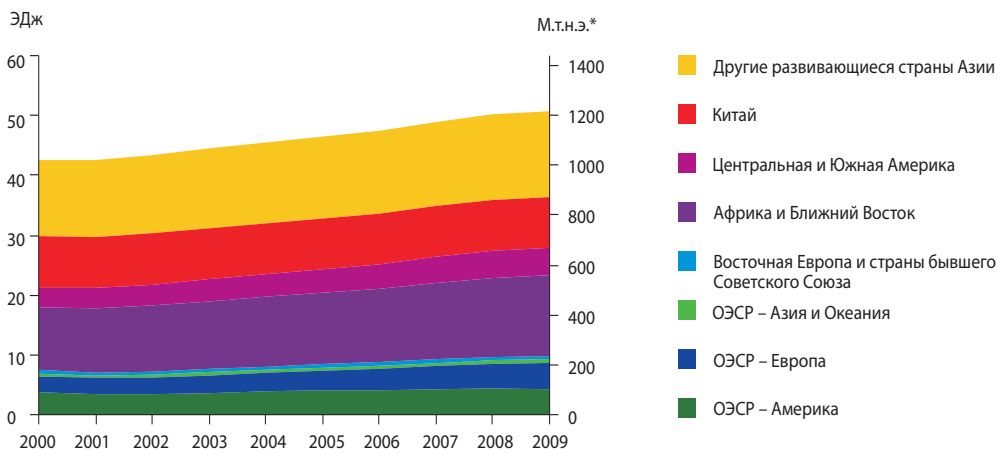
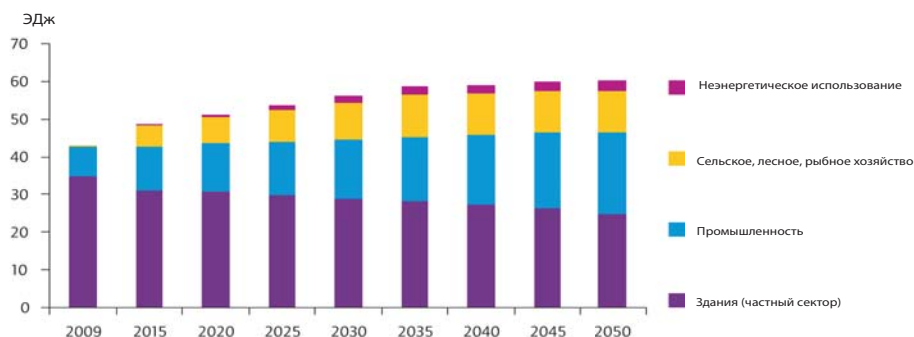


Рисунок 2. Первичное потребление топливно-энергетических ресурсов в мире



* Миллионов тонн условного топлива в нефтяном эквиваленте.

Рисунок 3. Конечное потребление биоэнергии в различных секторах экономики



Примечание. Использование биоэнергии в частном секторе включает отопление и приготовление пищи. Потребление биотоплива не учитывалось.

Рисунок 4. Эмиссии парниковых газов на единицу конечной энергии для биоэнергетики и традиционной энергетики (в эквиваленте граммов CO₂/МДж)



Примечание. Рассматривается текущий уровень технологий. Возможные эмиссии вследствие изменений в землепользовании не учитывались.

Рисунок 5. Технологии конверсии биомассы и уровень их разработки

	Базовые и прикладные НИОКР	Демонстрация	Ранняя коммерциализация	Уже коммерциализированы
Предварительная обработка биомассы	Гидротермическая обработка	Торрефикация	Пиролиз	Изготовление пеллетов
Анаэробное брожение	Микробные топливные ячейки		Двухфазное разложение Производство обогащенного биогаза	Однофазное разложение Газ, образовавшийся в результате разложения отходов Газ, образовавшийся в канализационных коллекторах
Биомасса для отопления			Маломасштабная газификация	Сжигание биомассы в бойлерах и печах
Биомасса для производства электроэнергии				
Сжигание		Двигатель Стирлинга	ORC-турбинные технологии	Цикл сжигание – парообразование
Совместное сжигание		Непрямое совместное сжигание	Параллельное совместное сжигание	Прямое совместное сжигание
Газификация	Газификация при помощи топливных ячеек	BICGT* BIGCC**	Газификация при помощи двигателя	Газификация при помощи парового цикла

* BICGT – газовые турбины внутреннего сгорания биомассы.

** BIGCC – внутренняя газификация биомассы комбинированного цикла.

Таблица 1. Конверсионная эффективность биоэлектростанций

Мощность	менее 10 МВт	10–50 МВт	более 50 МВт
Текущая			
Типичные КПД, %	14–18	18–33	28–40
Капитальные затраты, долл. США/кВт	6000–9800	3900–5800	2400–4200
Операционные затраты, в % от капитальных затрат	5,5–6,5	5–6	3–5
К 2030 г.			
Типичные КПД, %	16–20	23–38	33–45
Капитальные затраты, долл. США/кВт	4800–7800	3100–4600	1900–3400
Операционные затраты, в % от капитальных затрат	5,5–6,5	5–6	3–5

Таблица 2. Основные технологические усовершенствования в биоэнергетике в перспективе до 2030 г.

Технология	Сроки
Разработка недорогих эффективных печей на биомассе для потребителей	2012–2015
Первая фабрика по торрефикации и пиролизу на коммерческой основе	2015
Первая коммерческая фабрика по производству биосинтетического газа на основе BIGCC*	2015
Разработка проекта ТЭС универсального типа**	2012–2020
Более гибкие технологии предварительной обработки***	2012–2020
Первый проект биоэнергетической станции с фиксацией и хранением диоксида углерода, введенной в эксплуатацию на коммерческой основе	2020–2025
Среднее увеличение КПД биоэлектростанций на 5%	2030

* От англ. biomass integrated gasification combined cycle – внутренняя газификация биомассы комбинированного цикла.

** ТЭС, не требующая специального инжиниринга, определенного заданным видом топлива и соответствующими техническими характеристиками (поскольку многие базовые процессы аналогичны для биомассы, угля и других видов твердого топлива).

*** Технологии позволяют использовать более широкий спектр сырья биомассы.

Обзор выполнен на основе следующих публикаций:

1. OECD/IEA (2012), Bioenergy for Heat and Power. Technology Roadmap. IEA Publications, May 2012. www.iea.org

Тематические рубрики ежемесячного обзора

Аэронавтика и космос

Биотехнологии и генетика. Сельское хозяйство,
пищевая и химическая промышленность

Информационные и телекоммуникационные технологии
и вычислительная техника

Исследования в области ядерной и квантовой физики

Медицинские технологии и оборудование

Нанотехнологии и новые материалы, микроэлектроника

Социальные и экономические науки и статистика

Энергетика и транспорт