



ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА БИОЭНЕРГЕТИКИ

Кандидат экономических наук **М.Г. САЛЬКО**
(ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»)

Поступила в редакцию 09.07.2024
Принята к публикации 21.05.2025

Представлено научное исследование, целью которого является совершенствование методического подхода к оценке экономического потенциала биоэнергетики в РФ. Дана система оценочных показателей, методика их расчёта и приведён результат оценки экономического потенциала биоэнергетики за два года. Автором выделены достоинства предлагаемого методического подхода и предпосылки корректировки системы показателей, а также возможности модификации методического инструментария для более углублённого изучения потенциала развития биотехнологий как энергоресурса альтернативной энергетики, что определяет весомый научный вклад авторских рекомендаций.

Развитие промышленных производств во всём мире определяет рост потребности в энергетических ресурсах большими темпами. По прогнозам за 30 лет общий прирост потребления электроэнергии в мире к 2050 г. составит около 84%. Структура мирового энергопотребления зависит от объёма производства, показателей энергоёмкости производимой продукции, используемых видов энергоресурсов и других факторов. Основным направлением сокращения энергоёмкости продукции является повышение энергоэффективности производства продукции за счёт внедрения новых технологий, позволяющих повысить производительность продукции в расчёте на единицу используемых энергоресурсов.

Под новыми видами энергоресурсов авторами понимается использование альтернативных источников для получения тепло- и электроэнергии. Для потребителей и поставщиков энергоресурсов актуальным является вопрос снижения вредных выбросов в окружающую среду. Многие страны мира объявили о внедрении стандартов, ограничивающих продажу углеродоёмкой продукции. С целью сокращения углеродоёмкости актуальным является вопрос поиска альтернативных источников энергии. Вместе с тем выбор и развитие использования того или иного источника энергоресурсов зависит от наличия, имеющихся технологий и потенциала развития данной отрасли. На сегодняшний день выделено две группы альтернативных источников энергии: первичные возобновляемые и вторичные условно-возобновляемые энергоресурсы. Каждая группа включает несколько видов

энергоресурсов, обладающих различным потенциалом использования, что ставит задачу оценки и обоснованности их использования с учётом различных факторов производства.

К первичным возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) относят: энергию Солнца, энергию ветра, энергию воды (морских волн и океана, а также малых рек), геотермальную энергию, энергию получения водорода, энергию биоресурсов¹. Ко вторичным условно-возобновляемым энергетическим ресурсам относят: горючие отходы, содержащие углеродные и углеводородные включения, горючие газы и жидкости, имеющие температуру выше окружающей среды и/или избыточное давление, при сбросе их в окружающую среду. В РФ доля возобновляемых источников для производства электрической энергии составляет менее 1%, из них наибольшая доля приходится на солнечные электростанции (около 70% от всех ВИЭ).

Биоэнергетика представляет собой производство электроэнергии с использованием биотоплива в виде первичных энергоресурсов: растения, отходы животных и т.п., а также вторичных биологических отходов различных производств: пищевой, микробиологической промышленности и др.

Лидерами в биоэнергетике являются такие страны как: Китай, США, Германия и Бразилия, Россия находится на 27 месте в рейтинге стран мира (рис. 1).

¹ Shahzad U., Elheddad M., Swart Ju. [et al.]. *The role of biomass energy consumption and economic complexity on environmental sustainability in G7 economies // Business Strategy and the Environment. 2023. Vol. 32. № 1. P. 781–801.*

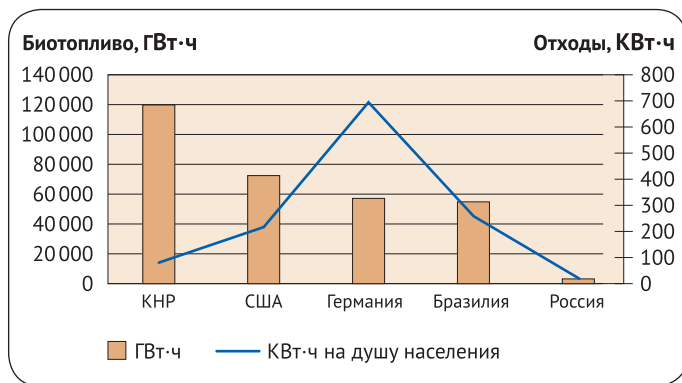


Рис. 1. Объём производства электроэнергии на биотопливе и отходах. Составлено автором по данным*

* Страны по производству электроэнергии из биомассы и отходов // Atlas Big Российская Федерация: сайт. URL: <https://goo.su/gghe>

Согласно представленным данным, малая доля биоэнергопотребления на душу населения в КНР обусловлена высокими показателями ветроэнергетики как альтернативы. Вместе с тем в Китае на сегодняшний день существенно уменьшили объёмы финансирования в наращивание ветроэнергетики, и, наоборот, существенно увеличили число проектов по развитию биоэнергетики, о чём свидетельствует общий объём выработки биоэнергии. Германия является лидером биоэнергопотребления на душу населения, что связано с размещением на территории страны самого крупного парка биогазовых установок Nawaro Bio-Energie Park Güstrow². Мощность этих установок может обеспечить энергоресурсами более 50 тыс. человек.

Стремительное развитие сельскохозяйственной промышленности в Бразилии вместе с ростом научного развития позволили добиться высоких показателей биоэнергетики. Основным стимулом к развитию технологий альтернативной энергетики в Бразилии явилось разви-

тие промышленного производства, рост энергопотребления и стремление снизить долю импортируемых энергоресурсов.

В России низкие показатели использования биотоплива в энергетике в основном обусловлены наличием большого запаса традиционных энергоресурсов. Вместе с тем, имеется огромный практический опыт и научный потенциал в области биоэнергетики. Инновационный проект "Создание и производство модульной климатонезависимой биогазовой установки на основе анаэробного реактора из композитных материалов" характеризуется высокими показателями энергетической, экологической и экономической эффективности³.

Развитие биоэнергетики в той или иной стране зависит от обоснования выбора различных источников энергии, и зачастую опирается на технико-экономические показатели проектов или развитие альтернативной энергетики в отдельных регионах, либо макроэкономическое обоснование развития ВИЭ с целью улучшения международного уровня

² Welcome to NAWARO® BioEnergie AG // NAWARO BioEnergie AG: сайт. URL: <https://www.nawaro.ag/en/>

³ Опытный образец биогазовой установки БГУ-100 // ООО "Гильдия М": сайт. URL: <https://gildiam.ru/ru-ru/Top/bgul/projects/bgu-100>

экологически безопасной техники и технологии. Вышеуказанные измерители определяют отдельную часть экономического потенциала биоэнергетики. Такой подход обладает недостатками: ограниченность внутренней или внешней оценки использования биологических источников энергии; условность измерения некоторых показателей, по которым отсутствуют статистические данные; не достаточно полный набор критериев, определяющих перспективы стратегического развития альтернативной энергетики в РФ в международном пространстве. В этой связи определение перспектив развития через экономический потенциал биоэнергетики требует комплексного обоснованного подхода, учитывающего множество внешних и внутренних факторов.

На наш взгляд, экономический потенциал использования биоэнергетики выражается через реализацию ресурсных возможностей повышения энергоэффективности производства с помощью биологических видов топлива и снижения углеродоемкости продукции с целью обеспечения конкурентных преимуществ в отрасли и мире.

Целью данного научного исследования является формирование методического подхода к оценке экономического потенциала использования источников энергии биологического происхождения. К задачам исследования относятся: формирование системы показателей и методики их оценки экономического потенциала, а также обоснование сформулированной гипотезы на основе прогнозных расчётов ресурсного потенциала биоэнергетики в РФ.

Гипотезой научного исследования является следующее предположе-

ние: оценка экономического потенциала использования биоэнергетики позволит определить перспективы реализации технологий по производству тепло- и электроэнергии с использованием первичных возобновляемых и вторичных энергоресурсов. Интерпретация полученных результатов оценки обеспечивает обоснованность принятия решений по устойчивому развитию топливно-энергетического комплекса страны с учётом факторов экологизации производства и конкурентной отраслевой позиции на рынке энергоресурсов.

Авторами предлагается использование комплексного интегрального подхода к оценке экономического потенциала использования биоэнергетики через систему показателей, учитывающих измерение ресурсов и возможностей, влияние стейкхолдеров⁴, особенности технологического процесса и энергопотребления, наличие необходимых компетенций, и возможные риски для гибкого реагирования.

Первая группа показателей оценки экономического потенциала "Доступность ресурсов" включает измерение:

- региональная структура природно-географического доступа к биологическим видам источников энергии (доля);
- энергоэффективность используемых биологических источников энергии;
- экологические ограничения по использованию биологических источников энергии;

⁴ Стейкхолдеры – это физические лица, сообщества или организации, которые имеют какие-либо ожидания по отношению к деятельности организации или развитию территории.

- уровень развития инфраструктурных объектов биоэнергетики;
- комплексный уровень развития технологий биоэнергетики;
- уровень капитальных и эксплуатационных затрат на реализацию проекта по созданию и эксплуатации энергобиоустановок;
- уровень кадрового потенциала в области биоэнергетики.

Вторая группа показателей оценки экономического потенциала “Инновационное развитие технологий” включает измерение:

- динамика действующих патентов по биоэнергетике;
- доля затрат на НИОКР в области использования биологических источников энергии;
- уровень интеллектуального развития в области биоэнергетики (формируемые компетенции будущих специалистов);
- инновационные риски.

Третья группа показателей оценки экономического потенциала “Макроэкономические и отраслевые показатели” включает измерение:

- индекс спроса на тепло- и электроэнергию внутри страны;
- индекс промышленного производства тепло-и электроэнергии;
- объёмы экспорта и импорта энергоресурсов;
- структура производства тепло-электроэнергии по видам используемых энергетических ресурсов (доля);

- индекс цен на основные носители энергоресурсов;
- энергоёмкость ВВП;
- углеродоёмкость продукции.

Четвертая группа показателей оценки экономического потенциала “Влияние стейкхолдеров” включает измерение:

- уровень налогообложения производителей тепло- и электроэнергии;
- уровень штрафных санкций за выбросы CO₂ в окружающую среду;
- уровень льгот за использование биологических источников энергии с минимальными выбросами CO₂ и др. вредных веществ;
- индекс производства оборудования для биоэнергетики;
- доступность кредитных средств на проекты биоэнергетики.

Автором предложен комплекс показателей наиболее значимый с точки зрения оценки потенциала использования различных биологических источников энергии⁵. Каждый блок может быть дополнен или уточнён показателями, характеризующими специфику технологии или особенности выработки энергии с помощью биологических энергоресурсов. Предложенная система показателей направлена на оценку потенциала их использования с целью определения приоритета развития соответствующей технологии. Измерение показателей позволит выявить за счёт каких направлений возможно развитие биотехнологии: за счёт увеличения финансирования данных проектов, привлечения дополнительных инвестиций, расширения системы партнёрских соглашений между участниками проектов и т.д.

Измерение показателей осуществляется на основе открытых стати-

⁵ Khezri M., Heshmati A., Khodaei M. *The role of R&D in the effectiveness of renewable energy determinants: A spatial econometric analysis* // *Energy Economics*. 2021. Vol. 99. P. 105287; Baloch M.A., Ozturk I., Bekun F.V., Khan D. *Modeling the dynamic linkage between financial development, energy innovation, and environmental quality: Does globalization matter?* // *Business Strategy and the Environment*. 2021. Vol. 30. № 1. P. 176–184.

стических данных, что позволяет снизить трудоёмкость и стоимость получаемой информации. Впоследствии значения разноизмеряемых показателей нормируются с целью приведения к единому измерителю по формуле:

$$z_{ij} = \frac{a_{ij} - \bar{a}_j}{a_j^{\max} - a_j^{\min}}, \quad (1)$$

где z_{ij} – нормированное значение измеряемого показателя a_{ij} ;

$\bar{a}_j$ – среднее значение показателя по j -тому периоду наблюдения;

$a_j^{\max}$, $a_j^{\min}$ – соответственно, наибольшее и наименьшее значение измеряемого показателя.

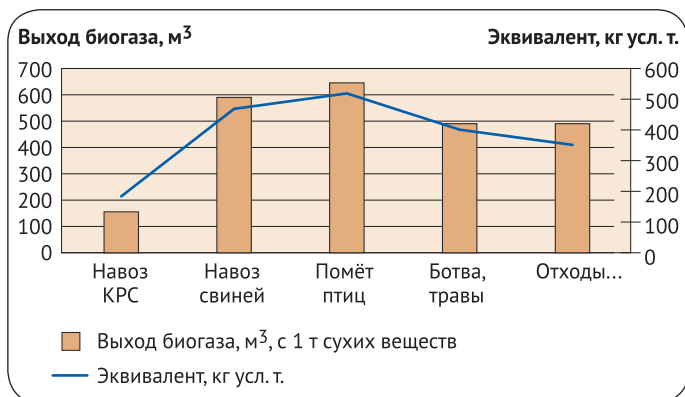
Нормированные значения измеряются от 0 до 1. Полученные нормативные значения показателей переводятся в баллы по шкале от 0 до 5, где, лучшему значению показателя присваивается 5 баллов, наихудшему – 0 баллов. Впоследствии значение баллов суммируется по отдельным блокам и подсчитывается итоговая сумма по всем блокам с целью получения интегральной оценки. Полученные значения за несколько лет позволяют определить динамику развития экономического потенциала биоэнергетики.

Важнейшим показателем оценки доступности биоресурсов является анализ географии расположения крупнейших агропромышленных комплексов в России. Согласно данным карты сельского хозяйства РФ, крупнейшие базы растениеводства сосредоточены: в Алтае, Поволжском районе, Северном Кавказе и на юге Западной Сибири. Наибольшая концентрация производственных комплексов по скотоводству кроме упомянутых выше представлена на Урале и Тыве. Стоит отметить, что в большинстве отмеченных районов до сих пор используется печное отопление как основное в жилых комплексах. Например, в Бурятии около 45% жителей используют дрова и уголь для отопления жилых домов. Такая статистика подтверждает высокую доступность биоресурсов для районов, где малоразвита газификация жилых и промышленных комплексов. Это позволяет оценить региональную структуру биоресурсов на высоком уровне.

Энергоэффективность некоторых видов биосырья в полученном объёме биогаза, используемого для сжигания и получения энергии представлена на рис. 2.

Рис. 2.
Энергоэффективность
биологических отходов.
Составлено автором по
данным*

* Биоэнергетика. Способы использования энергии биомассы // Современное производство и техника: сайт. URL: <https://676.su/SAQB>



Вместе с тем биогаз проигрывает природному газу в показателе энергоэффективности, если измерять по выходу энергии в процессе сгорания. Поэтому оценка данного показателя сравнительно низкая.

С точки зрения оценки экологических ограничений использования биологических источников энергии, автор рассматривается ограничение в размещении биогазовых установок. При этом, если сравнивать с любыми традиционными и альтернативными производственными объектами по выработке электроэнергии, биогазовые установки имеют существенное преимущество. Автономность энергоустановок на биогазе позволяет разместить их вблизи сельскохозяйственных комплексов, в местах переработки сырья и обеспечить подачу электроэнергии, соблюдая экологические требования производства.

Под уровнем развития инфраструктурных объектов автор понимает наличие централизованных дорог и/или трубопроводов для сбора биосырья, а также возможность поставки выработанной электроэнергии в центральную энергомагистраль. В настоящее время в РФ такого опыта практически нет, что подтверждает низкую оценку данного показателя. Следует отметить, что в других странах опыт развития инфраструктурных объектов биоэнергетики высоко развит и приносит существенный экономический эффект использования данных технологий.

Комплексный уровень развития технологий биоэнергетики в мире с каждым годом растёт, что вызывает большой интерес импортозависимых от энергоресурсов стран. В России также наблюдается высо-

кий темп наращивания производственных мощностей биоэнергетики, однако их доля в общем объёме альтернативных источников энергии очень низкая. В этой связи оценка уровня развития биотехнологий в РФ весьма невысокая.

Неразвитость биотехнологий сопровождается высокими капитальными расходами на их разработку. Требуется проведение НИОКР. Масштабирование производства биогазовых установок и другие процессы, направленные на сокращение капитальных вложений. При этом эксплуатационные расходы существующих биогазовых установок весьма небольшие, что создает высокую экономическую привлекательность их использования.

В основном, заинтересованность в использовании биогазовых установок проявляется в агропромышленном комплексе, как основных поставщиков биоресурсов. В этой связи в крупнейших ВУЗах страны выпускаются специалисты с необходимыми компетенциями работы в области биоэнергетики. Однако их доля в общем объёме специалистов промышленной энергетики низка, что позволяет сделать вывод о низком уровне кадрового потенциала биоэнергетики.

По блоку показателей "Инновационное развитие технологий" наилучшая динамика наблюдается по числу регистрируемых патентов в области биоэнергетики. По данным Росстата общее число патентов в 2023 г. в области сельскохозяйственных технологий выросло на 11%, а электрическое оборудование – на 7%. Также наблюдается положительный рост затрат на НИОКР в области биоэнергетики, в том числе с привлечением государственных

и частных инвестиций. Вместе с тем, инвесторы говорят о высоких инновационных рисках проектов в области биоэнергетики и необходимости развития международного сотрудничества с целью повышения интеллектуального капитала в данной области.

Макроэкономическая обстановка характеризуется изменением энергетического рынка. Санкционные ограничения по экспорту традиционных источников энергии в отношении РФ и высокая динамика развития альтернативной энергетики в мире сопровождается высоким потенциалом развития бионергетики. Кроме того, рост цен на традиционные источники энергии также вызывает спрос на альтернативные источники энергии, в том числе рост объёма производства сельскохозяйственной продукции сопровождается ростом ввода в эксплуатацию биоэнергетических установок. В целом, наблюдается рост энергоёмкости ВВП РФ, что положительно сказывается на развитии проектов в области биоэнергетики.

Углеродоёмкость продукции является важнейшим показателем экологической оценки используемых технологий в промышленной энергетике. До недавних пор самым низким показателем выбросов CO₂ характеризовалась атомная электроэнергетика (3 т на 1 ГВт · ч). Однако развитие технологий в области биоэнергетики как способа улавливания, хранения и использования углерода позволяет сократить выбросы CO₂ до нулевого уровня и повысить экологический потенциал биотехнологий.

Динамика развития биоэнергетики во многом обусловлена влиянием заинтересованных сторон.

Понятно, что сильнейшее отрицательное влияние оказывают крупные нефтегазовые компании – конкуренты в области альтернативной энергетики. Но, как показывает мировая практика, крупные международные нефтяные компании в качестве стратегических ориентиров рассматривают переход от традиционных углеводородов на альтернативные источники энергии. Ярким примером является датская компания-гигант Dong Energy, сменившая наименование на Ørsted. В настоящее время компания завершает трансформацию, отодвигая добычу нефти, газа и угля на второй план и приоритизируя освоение ВИЭ. Опыт российских нефтегазовых компаний также показывает динамику использования альтернативных источников энергии на собственных производственных объектах. В основном это ветряные и солнечные электростанции.

Вместе с тем, с большим влиянием стейкхолдера государственные органы в лице налоговых, экологических и иных структур ориентированы на поддержку биоэнергетики в России, в том числе путём финансирования крупных проектов. Частная и кредитная финансовая поддержка всё ещё на достаточно низком уровне, однако наблюдается положительная динамика⁶.

Производство отечественных биогазовых установок также набирает обороты, хотя доля их в настоящее время мала. "Русатом Сервис" прорабатывает несколько крупных проектов по запуску энергомо-

⁶ Бик С. Финансирование устойчивого развития в России: итоги 1 полугодия 2023 года: презентация доклада // Экспертно-аналитическая платформа ИНФРАГРИН: сайт. URL: <https://676.su/PU6N>

Оценка экономического потенциала биоэнергетики в РФ

Показатель	Биоэнергетика			
	Базисный год		Текущий год	
	z_{ij}	Балл	z_{ij}	Балл
1. Доступность ресурсов				
1.1. Региональная структура природно-географического доступа к биологическим видам источников энергии (доля)	0.7	4	0.8	5
1.2. Энергоэффективность используемых биологических источников энергии	0.4	3	0.4	3
1.3. Экологические ограничения по использованию биологических источников энергии	0.9	5	0.9	5
1.4. Уровень развития инфраструктурных объектов биоэнергетики	0.0	0	0.0	0
1.5. Комплексный уровень развития технологий биоэнергетики	0.1	1	0.1	1
1.6. Уровень капитальных и эксплуатационных затрат на реализацию проекта по созданию и эксплуатации энергобиоустановок	0.4	3	0.5	3
1.7. Уровень кадрового потенциала в области биоэнергетики	0.3	2	0.4	3
Всего по блоку	x	18	x	20
2. Инновационное развитие технологий				
2.1. Динамика действующих патентов по биоэнергетике	0.4	2	0.5	3
2.2. Доля затрат на НИОКР в области использования биологических источников энергии	0.3	2	0.4	2
2.3. Уровень интеллектуального развития в области биоэнергетики (формируемые компетенций будущий специалистов)	0.2	1	0.4	2
2.4. Инновационные риски	0.2	1	0.2	1
Всего по блоку	x	6	x	8
3. Макроэкономические и отраслевые показатели				
3.1. Индекс спроса на тепло- и электроэнергию внутри страны	0.7	4	0.8	5

Таблица (окончание)

Показатель	Биоэнергетика			
	Базисный год		Текущий год	
	z_{ij}	Балл	z_{ij}	Балл
3.2. Индекс промышленного производства тепло- и электроэнергии	0.6	4	0.7	4
3.3. Объемы экспорта и импорта энергоресурсов	0.4	2	0.4	2
3.4. Структура производства тепло-электроэнергии с помощью биоэнергетических ресурсов (доля)	0.1	0	0.2	1
3.5. Индекс цен на основные носители энергоресурсов	0.5	3	0.6	4
3.6. Энергоемкость ВВП	0.6	4	0.7	4
3.7. Углеродоемкость продукции	0.9	5	0.9	5
Всего по блоку	x	22	x	25
4. Влияние стейкхолдеров				
4.1. Уровень налогообложения производителей тепло- и электроэнергии	0.9	5	1.0	5
4.2. Уровень штрафных санкций за выбросы CO ₂ в окружающую среду	0.8	4	0.9	5
4.3. Уровень льгот за использование биологических источников энергии с минимальными выбросами CO ₂ и др. вредных веществ	0.9	5	0.9	5
4.6. Индекс производства оборудования для биоэнергетики	0.2	1	0.3	2
4.7. Доступность кредитных средств на проекты биоэнергетики	0.4	2	0.5	3
Всего по блоку	x	17	x	20
ИТОГО	x	63	x	73

ных биоустановок от 1 МВт⁷. Результаты оценки экономического потенциала биоэнергетики в РФ по предложенной методике представлены в таблице.

⁷ Дорохова И. "Росатом" запустит первую биогазовую станцию в Калужской области // Страна Росатом: сайт. URL: <https://strana-rosatom.ru/2023/07/13/rosatom-zapustit-pervuju-biogazovul>

На основе статистических данных получены значения показателей за два года, по которым произведён расчёт нормированных значений по формуле (1) и присвоен балл по шкале от 0 до 5, где лучшее значение 5, худшее – 0. Например, для показателя уровня штрафных санкций с нормировочным значением, близким к единице, присваивается

наименьший балл, а для показателя доли затрат на НИОКР, чем выше значение нормировочного значения, тем выше балл.

Согласно данным таблицы, из максимального возможного числа баллов 100 общий экономический потенциал биоэнергетики за прошлый год составил 63 балла, а за текущий год – 73 балла. Результаты оценки свидетельствуют о высокой динамике наращивания потенциала, и резервами роста в основном являются показатели: развития инфраструктурных объектов, комплексный уровень развития биотехнологий, наращивание кадрового и инновационного потенциала.

Биоэнергетика, с нашей точки зрения, является недооцененным видом альтернативных источников. В настоящее время большинство предприятий сельскохозяйственной индустрии имеют огромное количество отходов производства, которые не используются как энергоресурс. Вместе с тем в мире большими темпами развиваются технологии использования биоресурсов для производства биотоплива для транспортных средств. Основными причинами недоиспользования биоэнергетики, на наш взгляд, являются высокие инвестиционные затраты и уровень инновационных рисков. В этой связи автором рекомендовано с целью развития экономического потенциала биоэнергетики выстраивание частно-государственного и межотраслевого партнерства для наращивания производственных мощностей биоэнергетики.

В целом, предложенная комплексная оценка экономического потенциала биоэнергетики позволила определить общий уровень и динамику развития биотехнологий в РФ. Предложенный методический подход повысил обоснованность принятия решений о наращивании производственных мощностей и обеспечил выявление ключевых параметров формирования экономического потенциала и направления реализации резервов.

При формировании блоков групп показателей автор руководствовался наиболее распространёнными методами оценки экономического потенциала и составом измеряемых показателей. Отбор в предложенную комплексную систему оценки осуществлялся по принципам доступности информации, стоимости её получения, надёжности источников информации и соответствующих данных. При формировании группы показателей учитывался коэффициент корреляции с целью исключения взаимообусловленности их влияния на итоговый результат. Вместе с тем допускается расширение перечня предложенных показателей, в чём автор видит дальнейшее развитие научного исследования.

Развитие экономического потенциала биоэнергетики в РФ обеспечит, с одной стороны, улучшение конкурентной позиции отечественных компаний на международном рынке, а с другой – повысит эффективность топливно-энергетического комплекса и развитие экологических видов производств в мире.