УДК 338.2

JEL: O44, Q01

DOI: 10.17213/2312-6469-2019-3-198-210

МЕХАНИЗМЫ ТРАНСФЕРА ЗНАНИЙ И КОМПЕТЕНЦИЙ В ОБЛАСТИ БИОЭНЕРГЕТИКИ (НА ПРИМЕРЕ ОПЫТА ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИС-СИМУЛЯТОРА BIO SIMULATOR IRENA)¹

© * С.В. Ратнер, ** М.Д. Ратнер 2019

* *Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва, Россия*

** *Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия*

Недостаток знаний и компетенций в области биоэнергетики может являться существенным препятствием для диффузии инновационных технологий, причем не только в плоскости адаптации их российской промышленностью, но и в плоскости принятия стратегических управленческих решений как на уровне отдельных предприятий, так на уровне регионов и страны в целом. Преодоление такого «разрыва» в знаниях и компетенциях требует разработки и использования специализированных механизмов трансфера. В настоящей работе изучается практика использования онлайн ГИС-симулятора Bioenergy Simulator, разработанного Международным агентством по возобновляемой энергии (IRENA). Симулятор включен в платформу Global Atlas, которая является результатом более масштабного проекта IRENA по распространению знаний и компетенций в сфере развития возобновляемой энергетики, и предполагает использование технологии краудсорсинга для валидации и дальнейшего совершенствования. Работа над решением конкретной научно-практической задачи с использованием Bioenergy Simulator показала, что ГИС-симулятор можно рассматривать как полезный инструмент трансфера знаний и компетенций, в первую очередь, в профессиональной сфере. В то же время, при условии качественной русификации данного ГИС-симулятора и снабжении его соответствующим руководством пользователя, можно рекомендовать рассматриваемый продукт к использованию в сфере государственного управления в процессах разработки, корректировки и оценки эффективности региональных и отраслевых программ развития биоэнергетики.

Ключевые слова: биоэнергетика, ГИС-технологии, прогнозирование, оценка потенциала, региональная энергосистема.

¹ Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края, проект № 18-410-230011_a(p) «Разработка динамической модели оптимизации региональной энергетической системы с высоким потенциалом использования биоотходов и биоресурсов как источников энергии по эколого-экономическим параметрам (на примере Краснодарского края)»

MECHANISMS OF TRANSFER OF KNOWLEDGE AND COMPETENCE IN THE FIELD OF BIOENERGY: THE CASE OF BIO SIMULATOR

© S.V. Ratner, M.D. Ratner 2019

*V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia
Kuban State University, Krasnodar, Russia*

The lack of knowledge and competence in the field of bioenergy can create a significant barriers for innovation technology diffusion not only in industry itself, but also in strategy management. Overcoming such a “gap” in knowledge and competences requires the development and use of specialized transfer mechanisms. This paper examines the practice of using the online GIS simulator Bioenergy Simulator, developed by the International Renewable Energy Agency (IRENA). The simulator is included in the Global Atlas platform, which is the result of a larger-scale IRENA project to disseminate knowledge and competencies in the field of renewable energy, and involves the use of crowdsourcing technology for validation and further improvement. The practical oriented research on solving a specific scientific and practical problem using the Bioenergy Simulator has shown that the GIS simulator can be considered as a useful tool for transferring knowledge and competencies, primarily in the professional field. At the same time, in case of good translation of this GIS simulator into Russian and supplying it with the appropriate user guide, we can recommend to use the product by public administration in the processes of developing, adjusting and evaluating the effectiveness of regional and sectoral bioenergy development programs.

Keywords: *bioenergy, GIS-technology, forecast, estimation of potential, regional energy system.*

Введение

Инновационные технологии биоэнергетики, такие как производство моторного топлива и биогаза, в последние годы все шире осваиваются в промышленном масштабе во всем большем количестве стран мира [1]. Кумулятивная мощность установленных во всем мире энергоустановок по производству жидкого биотоплива и биогаза в конце 2017 года достигла 19323 МВт (рис. 1). И, хотя данный вид возобновляемой энергетики пока один из наименее заметных в общем мировом энергобалансе (за исключением твердой биомассы), растущие возможности производства и использования биотоплива второго и третьего поколений в качестве экологически чистой альтернативы традиционному моторному топливу для транспорта [2], а также новые технологии использования биогаза в центральных отопительных системах жилых районов [3], делают его все более привлекательным для активного промышленного освоения.

Как известно, Россия не является лидером в сфере развития новых технологий возобновляемой энергетики, в том числе и биоэнергетики [4].

Рис. 1. Динамика кумулятивной мощности установленных энергоустановок по производству жидкого биотоплива и биогаза

Источник: официальный сайт Международного Агентства по Возобновляемой Энергетике IRENA.

Отставание нашей страны в области возобновляемой энергетики проявляется как в сфере научных исследований, так и в сфере их коммерческого использования. Сравнение десятилетнего кумулятивного количества патентных заявок на изобретения в области биоэнергетики в России и странах-лидерах в этой сфере позволяет заметить, что этот разрыв по НИОКР весьма существенен (более чем в 10 раз меньше, чем в США, более чем в 9 раз меньше, чем в Китае, более чем в 6 раз меньше, чем в ЕС).

Недостаток знаний и компетенций в области биоэнергетики также может являться существенным препятствием для диффузии инновационных технологий, причем не только в плоскости адаптации их российской промышленностью (недостаток так называемого абсорбционного потенциала [5-6]), но и в плоскости принятия стратегических управленческих решений как на уровне отдельных предприятий, так на уровне регионов и страны в целом. Следует отметить, что цепочка поставок биоэнергии очень сложна, включает в себя множество источников, технологий и конечных пользователей, а также требует обязательного учета вопросов обеспечения устойчивости в пищевой и энергетической взаимосвязи.

Рис. 2. Кумулятивное количество патентных заявок в области биоэнергетики по странам мира (по данным Всемирной патентной статистической базы PATSTAT)

Поэтому преодоление такого «разрыва» в знаниях и компетенциях требует разработки и использования специализированных механизмов трансфера, более простых, дешевых и позволяющих быстрее достичь нужного результата, нежели традиционные механизмы передачи знаний через обучение и обмен профессиональным опытом. В качестве одного из таких механизмов мы предлагаем рассматривать симулятор прогнозирования и количественной оценки эффективности использования ресурсного потенциала модельной территории для развития биоэнергетики Bioenergy Simulator (<https://irena.masdar.ac.ae/bioenergy>), разработанный Международным агентством по возобновляемой энергии (IRENA) совместно с Исследовательским центром по картированию и оценке возобновляемой энергии Масдарского института науки и технологии (ОАЭ).

Описание ГИС-симулятора Bioenergy Simulator

В части ресурсного потенциала Bioenergy Simulator охватывает 4 типа потенциальных источников биоэнергии: 1) сельскохозяйственные культуры – 14 вариантов биоэнергетических культур, которые могут специально выращиваться для целей производства биотоплива; 2) отходы сельскохозяйственных культур – 30 вариантов различных типов отходов растениеводства; 3) отходы животноводства – 9 видов отходов; 4) лесные насаждения – 52 вида деревьев. В части производственного потенциала симулятор включает в рассмотрение 25 производственных процессов, в том числе, 6 процессов производства биотоплива из жидкого, твердого и газообразного топлива и 19 процессов генерации тепловой и электрической энергии.

При использовании Bioenergy Simulator любой исследователь может выбрать определённую территорию и оценить потенциал производства моторного топлива нескольких видов (этанол, этанол 2-го поколения, биодизель), тепловой и электроэнергии за счет выращивания на данной территории нескольких возможных видов сельскохозяйственных культур, развития животноводства или лесного хозяйства. На основании географического охвата исследования пользователя симулятор предлагает культуры или остатки сельхозкультур, подходящие для выращивания в местных агроэкологических условиях, и определяет ключевые факторы продуктивности. Для этого программный инструмент использует статистические данные Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН и Всемирного банка о продуктивности земель, урожайности сельхозкультур, потреблении домашних хозяйств. Помимо этого, симулятор информирует своих пользователей о потенциальных проблемах, связанных с производством биоэнергии на выбранной территории, таких как высокая плотность населения, наличие особо охраняемых природных территорий, дефицит воды.

В настоящее время Bioenergy Simulator включен в платформу Global Atlas, которая является результатом более масштабного проекта IRENA по распространению знаний и компетенций в сфере развития возобновляемой энергетики. Как и Global Atlas, онлайн-симулятор Bioenergy предполагает использование технологии краудсорсинга для валидации и дальнейшего совершенствования. Любой пользователь инструмента получает приглашение заполнить форму обратной связи и оценить работу симулятора, а также указать на потенциальные ошибки и неточности, если таковые выявлены в процессе моделирования.

Алгоритм работы с Bioenergy Simulator состоит из нескольких шагов. На первом этапе работы с симулятором пользователь выбирает тип биоресурса для оценки (сельскохозяйственная культура, отходы, отходы животноводства или лесные насаждения), а далее симулятор предлагает определить территорию, для которой будет осуществляться расчет потенциала производства биоэнергетических продуктов, на карте мира (рис. 3).

Далее для обозначенной территории симулятор предлагает на выбор несколько сельскохозяйственных культур (или их отходов, если изначально была выбрана соответствующая опция), которые могут выращиваться на данной территории, а также определяет несколько вариантов возможной урожайности данных культур (рис. 4).

Далее пользователю предоставляется возможность выбора способа применения биоресурса (для транспорта или генерации тепловой и электроэнергии) и, в зависимости от выбранного способа конечного использования, также предлагается несколько возможных технологий переработки исходного биоресурса в конечный биопродукт (рис. 5).

Рис. 3. Первый шаг работы со симулятором Bioenergy Simulator – выбор территории

Рис. 4. Второй шаг работы со симулятором Bioenergy Simulator – выбор источника биоэнергии

TECHNOLOGY

Bioenergy end-use

Transport

Bioenergy conversion technology i

Please select a conversion technology

Ethanol - engine

Overall electrical efficiency

Default: ☒ N/A

Overall thermal efficiency

Default: ☒ N/A

Рис. 5. Третий шаг работы со симулятором Bioenergy Simulator – выбор способа конечного использования и технологии переработки

В случае, если выбранная культура может быть использована для получения только одного вида биоэнергетического продукта или переработана только по одной разработанной технологии, на выбор предлагаются только эти промышленно освоенные варианты производственных процессов.

Следующим шагом работы симулятора является вывод и интерпретация результатов моделирования (рис. 6), которые указываются в следующем формате: 1) общий потенциальный объем производства выбранной сельхозкультуры (или ее отходов) на выбранной территории в тоннах; 2) общее потенциальное количество произведенного биоэнергетического продукта (в литрах для биотоплива, в МВт для электроэнергии и в МВт·час для теплоэнергии); 3) общий объем произведенной биоэнергии в ГДж; 4) энергоэффективность производства, ГДж/га; 5) потенциальные эффекты использования произведенного биоэнергетического продукта. Кроме того, программа выводит предупреждения о возможных неточностях данных и предположениях, в которых были сделаны оценки производительности.

Практика использования Bioenergy Simulator

ГИС-симулятор Bioenergy Simulator был использован для решения важной научно-практической задачи регионального уровня – оценки потенциала производства биоэнергетических продуктов из выращиваемых на территории Краснодарского края сельскохозяйственных культур и их отходов. Для этого на карте края была выбрана модельная территория площадью 50 тыс. га, не содержащая особо охраняемых природных зон или зон повышенного водного стресса.

Рис. 6. Окно вывода результатов моделирования

Для данной территории последовательно выбирались все возможные варианты производства биоэнергетических продуктов: варьировался вид сельскохозяйственной культуры, тип конечного биоэнергетического продукта и технология производства биоэнергетического продукта. Рассматривались все возможные сочетания.

Основные результаты моделирования по блоку «сельскохозяйственные культуры» представлены в табл. 1. Заметим, что данные были получены в следующих предположениях об урожайности сельхозкультур: для риса – средняя (3,9 т/га), для арахиса – средняя (0,5 т/га), для мискантуса – низкая (0,3 т/га), для рапса – средняя (1 т/га), для сахарного тростника – средняя (0,6 т/га), для соевых бобов – средняя (1,7 т/га), для подсолнуха – средняя (2 т/га), для проса – средняя (1,1 т/га).

Описание технологий переработки сельхозкультур в различные виды биоэнергетических продуктов, обозначенных в таблице кодами 1-12, приведены ниже.

Технология 1. Биоэтанол представляет собой спирт, производимый путем ферментации сахара или крахмала, полученного из определенных сельскохозяйственных культур (например, сахарного тростника, сахарной свеклы, кукурузы, пшеницы) или лигноцеллюлозной биомассы. Степень сложности конверсии зависит от природы используемого сырья.

Таблица 1

Результаты моделирования по блоку «сельскохозяйственные культуры»

Культура	Использование	Технология	Произведено топлива всего (л)	Эл-во, МВт	Тепло, МВтч
рис	транспорт	1	89 700 000		
арахис	электричество	3	11 590 909,09	38 620,909	
арахис	электричество	4	11 208 791,209	35 765,908	
арахис	когенерация	5	11 590 909,091	38 620,909	49 655,455
арахис	когенерация	6	11 208 791,209	35 765,908	45 984,738
арахис	транспорт	3	11 590 909,091		
мискантус	электричество	7	4 135 650 m ³	12 436,73	
мискантус	электричество	8	4 135 650 m ³	14 509,51	
мискантус	электричество	9	4 135 650 m ³	8 291,15	
мискантус	когенерация	10	4 135 650 m ³	12 436,73	18 655,09
мискантус	когенерация	11	4 135 650 m ³	14 509,51	18 655,09
мискантус	когенерация	12	4 135 650 m ³	8 291,15	20 727,88
мискантус	транспорт	2	8 475 000		
рапс	электричество	3	20 767 045,455	69 195,795	
рапс	электричество	4	20 082 417,58	64 080,585	
рапс	когенерация	5	20 767 045,455	69 195,795	88 966,023
рапс	когенерация	6	20 082 417,582	64 080,585	82 389,323
рапс	транспорт	3	20 767 045,455		
сахарный тростник	электричество	7	6 650 100 m ³	19 998,181	
сахарный тростник	электричество	8	6 650 100 m ³	23 331,211	
сахарный тростник	электричество	9	6 650 100 m ³	13 332,12	
сахарный тростник	когенерация	10	6 650 100 m ³	19 998,181	29 997,271
сахарный тростник	когенерация	11	6 650 100 m ³	23 331,211	29 997,271
сахарный тростник	когенерация	12	6 650 100 m ³	13 332,12	33 330,301
сахарный тростник	транспорт	2	19 330 000		
соя	электричество	3	16 420 454,545	54 712,955	
соя	электричество	6	15 879 120,879	50 668,369	
соя	когенерация	10	16 420 454,545	54 712,955	70 345,227
соя	когенерация	6	15 879 120,879	50 668,369	65 145,046
соя	транспорт	3	16 420 454,545		
сахарная свекла	транспорт	1	19 430 000		
подсолнух	электричество	3	42 500 000	141 610	
подсолнух	электричество	4	41 098 901,099	131 141,662	
подсолнух	когенерация	10	42 500 000	141 610	182 070

Продолжение табл. 1

Культура	Использование	Технология	Произведено топлива всего (л)	Эл-во, МВт	Тепло, МВтч
подсолнух	когенерация	4	41 098 901,099	131 141,662	168 610,708
подсолнух	транспорт	3	42 500 000		
просо	электричество	7	7 480 000 м ³	22 493,856	
просо	электричество	8	7 480 000 м ³	26 242,832	
просо	электричество	9	7 480 000 м ³	14 995,904	
просо	когенерация	10	7 480 000 м ³	22 493,856	33 740,784
просо	когенерация	11	7 480 000 м ³	26 242,832	33 740,784
просо	когенерация	12	7 480 000 м ³	14 995,904	37 489,76
просо	транспорт	2	22 550 000		

Наименее сложная технология включает сахарное сырье, например, растения, содержащие простые сахара, которые могут сбраживаться дрожжами или другими микроорганизмами непосредственно в этанол. Для крахмалистых растений необходим дополнительный этап, требующий добавления второго фермента для превращения крахмала в ферментированную глюкозу (процесс осахаривания). Биомасса лигноцеллюлозы требует предварительной обработки перед процессом осахаривания. Отходами данного процесса является твердый лигнин. Более сложная технология производства биомассы, включающая этап гидролиза, обозначена в таблице 1 кодом 2.

Технология 3. Производства биодизеля путем переэтерификации, в которой растительное масло (или животный жир) реагируют со спиртом в присутствии катализатора. Получаемые продукты – биодизель и глицерин. При расчете выхода биодизеля предполагается, что эффективность извлечения масла составляет 85% от общего содержания масла в семенах. Однако пользователи могут редактировать этот параметр, используя свои собственные значения.

Помимо непосредственного использования биодизеля в качестве моторного топлива для автомобиля, она также может применяться в дизельных электрогенераторах для производства электрической энергии. За счет использования биодизеля при таком способе генерации энергии также удастся снизить выбросы в атмосферу [7]. Еще одним вариантом модификации данной технологии является технология когенерации электрической и тепловой энергии посредством сжигания биодизеля в двигателе внутреннего сгорания. Усовершенствование производственной цепи достигается за счет утилизации тепла выхлопных газов и двигателя посредством теплообменника, из которого в качестве дополнительного полезного продукта поступает либо горячая вода, либо пар низкого давления. Эта технология обозначена в таблице 1 кодом 5.

Технология 4. Механическая экстракция растительного масла и его прямое сжигание в двигателе внутреннего сгорания. Как правило, в данном случае необходима незначительная модификация двигателя. Далее посредством использования генератора производится электроэнергия. Модификация данной технологии путем утилизации тепла выхлопных газов и двигателя через теплообменник приводит к получению дополнительно тепловой энергии, которая может расходоваться на подогрев воды или производство пара любого давления. Эта технология обозначена в табл. 1 кодом 6.

Технология 7. Биогаз представляет собой смесь в основном биометана (CH_4) и углекислого газа (CO_2). Он производится бактериями в результате анаэробного сбраживания органических отходов (например, сточных вод, навоза, пищевых отходов, мусорных свалок). Оставшиеся неперевариваемые твердые вещества собираются в виде шлама, который может быть ценным удобрением в сельском хозяйстве. Биогаз может быть очищен и превращен в природный газ или биометан. Далее он может поступать в обычный двигатель внутреннего сгорания и генерации электроэнергии. Модификацией данной технологии является технология когенерации тепловой и электрической энергии посредством утилизации тепла выхлопных газов и двигателя. Модифицированная технология обозначена в табл. 1 кодом 10.

Технология 8. В данной технологии, в отличие от технологии 7, генерация электроэнергии осуществляется посредством газовой турбины, которая может варьироваться в размерах и мощности от 30 кВт (микротурбины) до 250 МВт (крупные промышленные агрегаты). Для расчета выхода электроэнергии в качестве значения по умолчанию используется КПД 35% (для газотурбинной установки). При модификации базовой технологии, посредством дополнительной утилизации тепла выходящего из турбины газа, получается технология 11.

Технология 9. Еще один способ использования биометана для выработки электрической и тепловой энергии – это замена газовой турбины на паровую. При сжигании очищенного биометана и подогрева воды в котле, энергия пара из котла преобразуется в механическую энергию, которая передается непосредственно генератору для выработки электроэнергии. Тепловая энергия пара преобразуется в механическую работу, запускается генератор, вырабатывающий электричество. Пар выпускается из паровой турбины при достаточно высоком давлении, чтобы его можно было использовать в производственном процессе или в системе централизованного теплоснабжения. Затем конденсат транспортируется системой подачи воды в котел обратно в котел, где он снова используется. Мощность паротурбинных установок колеблется от 1 до 250 МВт, однако на практике из-за сложности транспортировки сырья на большие расстояния крайне редко используют турбины мощностью более 100 МВт.

Значительного повышения энергоэффективности данной технологии можно достичь путем утилизации тепла отработавшего пара и дальнейшего его использования для производства горячей воды или пара низкого давления (технология 12).

Выводы по практике работы с ГИС-симулятором

Работа над решением конкретной научно-практической задачи с использованием Bioenergy Simulator показала, что сам процесс моделирования не требует специальных знаний и навыков, помимо базовых знаний английского языка (в настоящее время онлайн симулятор реализован только на английском языке). При наличии четко описанного алгоритма проведения исследования, оценкой потенциала производства биоэнергетических продуктов могут заниматься студенты вуза практически любого направления подготовки, не обладающие какими-либо профессиональными знаниями и навыками в области сельского хозяйства, ГИС-технологий или, тем более, технологий биоэнергетики. Интерпретация полученных результатов также не представляет сложности. Однако использование полученных данных для принятия решений (например, о целесообразности развития того или иного способа производства биоэнергетического продукта или о целесообразности инвестиций) подразумевает все же наличие определённого минимума технических (для выбора технологии) и экономических (для расчета экономической целесообразности) знаний. Поэтому Bioenergy Simulator можно рассматривать как полезный инструмент трансфера знаний и компетенций, в первую очередь, в профессиональной сфере. В то же время, при условии качественной русификации данного ГИС-симулятора и снабжении его соответствующим руководством пользователя, можно рекомендовать рассматриваемый продукт к использованию в сфере государственного управления в процессах разработки, корректировки и оценки эффективности региональных и отраслевых программ развития биоэнергетики.

Литература

1. Иосифов В.В. Глобальные инновационные тренды развития транспортных систем и стратегические альтернативы для российского машиностроения // Друкеровский вестник. – 2018. – № 4 (24). – С. 165-178.
2. Ратнер С.В. Инновации в авиастроении: анализ результатов исследовательских программ по разработке альтернативных видов авиационного топлива // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2018. – Т. 14, вып. 3. – С. 492-506.
3. Weiss W., Spörk-Dür M. Solar Heat Worldwide. Global Market Development and Trends in 2017. AEE - Institute for Sustainable Technologies, Gleisdorf, Austria. 2018. 97 p.
4. Иосифов В.В., Бобылёв Э.Э. Развитие российского рынка электромобилей: тенденции, перспективы, барьеры // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2017. – Т. 10, № 11 (341). – С. 1273-1289.

5. Hurtado A., González C. Measurement of knowledge absorptive capacity: An estimated indicator for the manufacturing and service sector in Colombia // Journal Globalization, Competitiveness and Governability. 2015, Vol. 9, No 2, pp. 16-42.
6. Teece D., Leih S. Uncertainty, Innovation, and Dynamic Capabilities. An Introduction // California Management Review. 2016, 58 (4), Summer 2016, pp. 5-12.
7. Иосифов В.В. Оценка экологических эффектов инновационных автотранспортных технологий по стандарту ГОСТ Р ИСО 14040-2010 // Эксплуатация морского транспорта. – 2017. – № 3 (84). – С. 20-26.

Поступила в редакцию

13.03.2019

Ратнер Светлана Валерьевна – доктор экономических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экономической динамики и управления инновациями Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, Россия.

Ratner Svetlana – Doctor of Economics, Leading Researcher in Economic Dynamics and Innovation Management Laboratory, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Ратнер Мария Дмитриевна – студентка отделения геоинформатики Кубанского государственного университета, г. Краснодар, Россия.

Ratner Maria – student of Geoinformation Systems Department, Kuban State University, Krasnodar, Russia.

Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65
65, st. Profsoyuznaya, Moscow, 117997, Russia
e-mail: lanarat@ipu.ru
e-mail: keep3up3@gmail.com