

УДК 631.524.84

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА НЕТРАДИЦИОННЫХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Г.А. Булаткин, Институт фундаментальных проблем биологии РАН

В последние годы во многих странах ведутся исследования и промышленные разработки с целью выработки жидкого топлива из растительной продукции (сахарный тростник, зерновые культуры, масличный рапс). Так, энергополитика стран Евросоюза предусматривает увеличение доли возобновляемой энергии в энергобалансе с 7 до 20% к 2020 г. [2].

В России считается перспективным производство биоэтанола и биодизеля. Это связано со значительными площадями выведенных из оборота сельскохозяйственных земель, а также излишками зерна. Однако если в России будет производиться столько же мяса, сколько в бывшем СССР, то зерна не только не будет в избытке, но и не хватит — придется импортировать.

Эксперты ООН считают, что противостояние отраслей производства альтернативного биотоплива и традиционной пищевой индустрии — заметная причина подорожания и того и другого, что не было учтено при подсчете общей рентабельности «альтернативы» [4].

Проблема производства возобновляемых источников энергии имеет, по нашему мнению, пять аспектов: энергетический, экономический, социальный, политический и экологический.

Энергетический. При производстве альтернативного топлива в первую очередь должна ставиться главная задача — получение свободной энергии, т.е. дополнительной энергии сверх затрат технической на производство энергоносителя. На этот важный вопрос можно дать ответ только после проведения энергетического анализа всей технологической цепочки производства — от посева культуры в поле до бака автомобиля, трактора, самолета и т.д. К сожалению, такие исследования находятся в самом начале пути.

Экономический. Оценка эффективности производства нетрадиционных энергоносителей обычно проводят в денежном выражении. Почему же акцентируют внимание на экономической стороне проблемы? Экономическая оценка — основная принятая в мире мера оценки эффективности деятельности человека в настоящее время. Известно, что за последние годы стоимость энергоносителей на мировом рынке постоянно растет. Однако в целом стоимость нефти на мировых рынках мало связана с изменениями затрат на ее добычу и транспортировку и объясняется, в первую очередь, периодическими финансовыми и политическими проблемами в мире и в длительном масштабе времени имеет резкие колебания. Искажает объективность оценки себестоимости биотоплива и временной лаг. Амортизационные отчисления финансовых затрат на строительство заводов и изготовление оборудования, созданных в предыдущие годы, при относительно низкой цене на энергоносители автоматически через несколько лет получают заниженными при расчете себестоимости произведенного биотоплива по сравнению со стоимостью энергоносителя в расчетный период.

Социальный. Развитие производства альтернативного топлива из сельскохозяйственного сырья — вопрос социально противоречивый. В литературе уже высказывается мнение, что производство биотоплива грозит нехваткой продовольствия на мировых рынках. Насколько энергетически оправдано использование продовольственного

сырья для получения топлива — на этот важный и социально острый вопрос можно ответить только после тщательного энергетического анализа всего процесса его производства. И далее встает следующий не менее важный вопрос: какое количество продовольствия можно безболезненно для мирового сообщества переработать в биотопливо?

Политический. Наличие верифицированных источников энергии дает стране определенный временной «запас энергетической прочности» на случай внезапного перебоя в поступлении традиционных видов топлива и некоторую возможность для маневрирования энергоресурсами внутри государства. При получении возобновляемой биоэнергии даже при равенстве составляющих в цепочке «совокупные затраты технической энергии на производство — содержание энергии в энергоносителе» государство на данный момент все же обеспечивает себя дополнительными энергетическими ресурсами (фактически за счет амортизации ресурсов «накопленной» технической энергии в орудиях труда и средствах производства в предыдущие годы). Как долго можно получать такую энергию в «автономном режиме» без поступления извне энергии возобновляемых источников? На первый взгляд кажется, что единственным источником полученной энергии является переработанная биомасса растений или, в конечном счете, энергия Солнца. И вся содержащаяся в новом энергоносителе энергия является дополнительной. Действительно, энергия Солнца является главным источником энергии для зеленых растений. Однако для выращивания культурных растений используется большое количество различной сельскохозяйственной техники, тракторов, транспортных средств, минеральных удобрений и пестицидов, а при переработке растительной продукции в жидкое топливо — оборудования промышленных предприятий. На изготовление техники, оборудования, строительство зданий и сооружений расходуются значительные ресурсы технической энергии. В целом период поступления возобновляемой энергии из растительного сырья в энергетический баланс страны определяется длительностью времени амортизации сельскохозяйственной техники, оборудования и т.д. Начальным этапом в оценке целесообразности производства альтернативных носителей энергии из растительного сырья служит вывод об энергетической эффективности производства растительной продукции в сельскохозяйственном предприятии, соотношении накопленной энергии в биомассе и затрат технической энергии на получение этой биомассы. На основе отечественных данных разработаны методические рекомендации по оценке энергетической эффективности возделывания сельскохозяйственных культур [5], в которых приведены энергетические эквиваленты и нормы амортизации на сельскохозяйственные машины и орудия, трактора, минеральные и органические удобрения и методики пооперационного и суммарного расчета совокупных затрат технической энергии в агроэкосистемах.

Экологический. Виды сельскохозяйственных культур, интенсивность применения удобрений, способы обработки почв по-разному влияют на свойства и режимы почв, устойчивость их к эрозийным процессам и на энергозатраты на воспроизводство плодородия. Поэтому при анализе потоков технической энергии в земледелии необходимо учитывать не только затраты энергоресурсов на производс-

тво культуры, но и энергозатраты на воспроизводство почвенного плодородия после той или иной культуры и возможную экономию энергии в результате положительного последствия. При анализе можно выделить следующие этапы затрат энергии на производство жидкого топлива из растительной биомассы: энергетические вложения на выращивание растений; затраты энергии на восстановление плодородия почв до исходного уровня; уборка и доработка урожая в хозяйстве; транспортировка урожая до места промышленной переработки; производство жидкого топлива на био заводе; подготовка смеси с природными углеводородами, используемой в двигателях внутреннего сгорания; перевозка топлива до потребителя; переоборудование двигателя внутреннего сгорания (с учетом срока амортизации на весь период эксплуатации); затраты на специальные условия хранения альтернативного топлива. Производство энергии с нулевым или отрицательным балансом актуально, если при ее использовании достигается положительный экологический эффект в местах потребления «чистой» энергии. Например, известно, что второе место в мире по загрязнению окружающей среды занимает автомобильный транспорт. Сжигание транспортом ископаемого топлива повышает концентрации углеводородов, тяжелых металлов и твердых частиц в атмосфере. В России на долю автотранспорта приходится 90% общего объема вредных веществ, поступающих в атмосферу от всех видов транспорта [6, 7]. Использование биомассы продовольственных культур для производства топлива допустимо только в том случае, когда получается дополнительная энергия или наблюдается большой положительный эколого-энергетический эффект.

В качестве примера рассмотрим цепочку энергозатрат при производстве этанола из зерна озимой пшеницы в условиях Центрального федерального округа России.

Наши полевые эксперименты на серых лесных почвах показали, что при средних дозах минеральных удобрений ($N_{40}P_{40}K_{40}$) урожайность зерна озимой пшеницы сорта Мироновская 808 составила в среднем 3,8 т/га (при 14%-й влажности зерна). В полученном урожае зерна содержится около 68,6 тыс. МДж/га биологической энергии (табл. 1). Затраты совокупной технической энергии (на выращивание, уборку и доработку урожая в хозяйстве и восстановление плодородия почв) составляют 27,6 тыс. МДж/га.

Размеры полученной дополнительной энергии в урожае зерна озимой пшеницы в пределах сельскохозяйственного предприятия оцениваются в 41,0 тыс. МДж/га (или 60% от наличия в зерне). Следовательно, в 1 т зерна содержится около 10,8 тыс. МДж дополнительной энергии. Величина конечных продуктов при производстве спирта из 1 т зерна пшеницы составляет: этанола — 375 л, сухой барды — 330 кг.

Таблица 1. Энергетическая эффективность возделывания озимой пшеницы на серых лесных почвах Южного Подмосковья (среднее за 5 лет)

Вариант	Урожайность зерна (сухое вещество), т/га	Содержание энергии в урожае, тыс. МДж/га	Затраты на производство урожая и восстановление плодородия почв, тыс. МДж/га	Энергетическая эффективность
Контроль	2,85	59,6	22,9	2,6
$N_{40}P_{40}K_{40}$	3,28	68,6	27,6	2,5
$N_{135}P_{150}K_{110}$	3,53	73,8	38,7	1,9

Технологии производства пищевого спирта и биоэтанола значительно различаются, что сказывается на энергозатратах на единицу продукции. При производстве пищевого спирта используются 5 ректификационных колонок, биоэтанола — ограничиваются 2—3.

Однако в настоящее время в России нет завода по производству биоэтанола, и поэтому данные для предварительного анализа нами взяты по энергозатратам на спирт пищевой. По данным ФГУП «Росспиртпром», прямые затраты энергии на заводах с производительностью 20 тыс. л при получении этилового спирта из зерна пшеницы в расчете на 10 л спирта в 2007 г. были равны: электроэнергия — 2—3,5 кВт/часа, газа — 9,5—10 м³. В сумме прямые затраты энергоресурсов на получение 10 л этанола на заводе составили в среднем около 384,5 МДж, а на переработку 1 т зерна на заводе расходуется 14,4 тыс. МДж прямых затрат энергии.

Важным вопросом является распределение заводских затрат на полученную продукцию. По существующей в России методике на спиртозаводах все затраты относятся на основную продукцию. При использовании этой методики применительно к расчету энергозатрат получается, что на производство 10 л спирта в технологической цепочке «поле — отпуск с завода» затрачивается 588,6 МДж энергии.

Содержание энергии в 10 л этанола составляет 235 МДж. Поэтому в целом энергетическая эффективность производства спирта (отношение содержания энергии в 10 л спирта к затратам технической энергии на его производство) оказывается равной около 0,40. Однако такой вывод, по нашему мнению, не всегда является правомерным. Побочным продуктом на спиртозаводе является барда. Свежая хлебная барда — ценный корм для скота, который содержит около 6—8% сухого вещества, богатого белком (20—25%), бедного жиром и клетчаткой. Выход барды составляет около 120 л/л спирта. Мы полагаем, что, если свежая барда в полном объеме используется на корм скоту, распределение энергозатрат на производство основной продукции (спирта) и побочной (барды) следует производить пропорционально содержанию энергии в этих продуктах. Поэтому мы приводим данные на производство этанола в звене «поле — спиртозавод» (табл. 2).

Энергетическая эффективность производства этанола пищевого при выращивании зерна озимой пшеницы в Центральном федеральном округе и переработке его на спиртозаводах системы «Росспирт» с производительностью 20 тыс. л составляет около 0,71. Энергетическая эффективность производства биоэтанола будет значительно выше за счет уменьшения в 1,6—2,5 раза количества ректификационных колонн и более энергоэкономных методов переработки сырья, чем в приведенном примере.

Таблица 2. Структура затрат технической энергии на производство 10 л этанола из зерна озимой пшеницы

Затраты технической энергии (прямые и косвенные)	МДж/10 л спирта	% к итогу
Производство зерна озимой пшеницы	93,3	28,3
Воспроизводство почвенного плодородия	15,2	4,6
Погрузка и транспортировка зерна до завода на расстояние 50 км	5,9	1,8
Производство этанола на заводе (прямые затраты технической энергии)	215,3	65,3
Итого энергозатрат	329,3	100
Содержание энергии в этаноле	235	—
Энергетическая эффективность производства этанола	0,71	—

Одним из эффективных методов повышения выхода дополнительной энергии в биоэтаноле является снижение энергозатрат на этапе производства сырья (за счет использования почвоулучшающих культур в севооборотах, например, многолетних бобовых трав, пожнивных сидератов).

В связи с ограниченностью объемов возможного производства биоэтанола и биодизеля, для большей эффективности использования следует законодательно установить

их применение только в больших городах и промышленных центрах для улучшения существующей неблагоприятной экологической ситуации.

Учитывая накопленный международный опыт использования биоэтанола и биодизеля и современные экологические проблемы, сложившиеся в крупных городах и промышленных центрах Российской Федерации, можно предложить еще до начала крупномасштабного производства биотоплива продумать и принять следующую систему законодательных и организационных мероприятий:

На уровне государства принять законодательные акты, поощряющие использование биоэтанола и биодизеля в промышленных центрах с наиболее загрязненной автомобильными выбросами атмосферой. Администрациям этих городов издать законы, обязывающие автопредприятия

постепенно перевести весь городской автомобильный транспорт на «чистые» виды топлива. Снизить акцизный сбор на биоэтанол, входящий в смешанное топливо (E5...E85), пропорционально содержанию биотопливной составляющей. Организационно и законодательно стимулировать закупку автомобилей для общественного транспорта с «гибкими» двигателями для автопредприятий крупных промышленных городов.

Приведенные идеология, методика и результаты исследований потоков энергии на примере производства этанола из озимой пшеницы можно использовать при рассмотрении других нетрадиционных энергоносителей, например, различных видов растительных масел, биодизеля, пеллетов, биогаза, выработки жидкого и газообразного топлива из водорослей, быстрорастущих лиственных деревьев, новых источников энергии. ■

Оценка эффективности производства нетрадиционных энергоносителей из растительного сырья. Estimate of production efficiency of untraditional energy carriers from plant substances.

Г.А. Булаткин, Институт фундаментальных проблем биологии РАН
G.A. Bulatkin, Institute of Basic Biological Problems RAS

Резюме:

Рассмотрены затраты технической энергии на производство этанола из зерна озимой пшеницы в Центральном федеральном округе России.

Учтены прямые и косвенные энергозатраты при выращивании, уборке и доработке урожая зерна в хозяйстве и прямые – при производстве этанола на заводе. С учетом энергозатрат на барду энергетическая эффективность производства этанола составляет 0,71. При расчете энергетической эффективности должен также приниматься во внимание положительный экологический эффект от использования биотоплива. Предложена система законодательных и организационных мероприятий повышения эффективного использования биоэтанола в современных условиях Российской Федерации.

Идеология и методики анализа потоков энергии на примере получения этанола из зерна озимой пшеницы могут быть использованы при производстве других нетрадиционных энергоносителей.

Summary:

The expenses of technical energy on ethanol production from the grain of winter wheat in the Central Federal District of Russia have been considered.

It has been taken into account direct and indirect power inputs while growing, harvesting and improving grain harvest in agriculture and direct inputs - at ethanol production in the plant. Taking into consideration power inputs per DDGS energy efficiency of ethanol production is made up 0,71. While calculating the efficiency it should be also taken into consideration the positive ecological effect from biofuel usage. It has been proposed a system of legislative and organizing procedures to raise the efficient usage of bioethanol in current conditions of the Russian Federation.

Ideology and methods for analysis of the energy fluxes by the example of ethanol production from the winter wheat grain can be used while producing other untraditional energy carriers.

Литература:

1. Месяц Г.А., Прохоров М.Д. Водородная энергетика и топливные элементы // Вестник РАН. Т. 74. №7. С. 579-597.
2. Газпрому меняют ориентацию. http://www.rawmaterials.ru/news_5191.html от 19.11.2007.
3. Биотопливо для России // Экология и жизнь. 2007. №11 (72). С. 22.
4. Или поесть, или поехать ... <http://www.maslobaza.ru> от 26.02.2008.
5. Булаткин Г.А. Энергетическая эффективность применения удобрений в агроценозах. Методические рекомендации. Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР. 1983. 46 с.
6. Природные ресурсы и экология России. Федеральный атлас. 2-е издание. Под редакцией Н.Г. Рыбальского и В.В. Снакина. М.: НИИ-Природа. 2003. 278 с.
7. Национальный атлас России. В четырех томах. Т. 2. Природа. Экология. М.: ПКО «Картография». 2007. С. 495.