

КОНЦЕПЦИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ АПК РОССИИ В ПОСТКРИЗИСНЫЙ ПЕРИОД

© 2011 г. А.Л. Арутюнов

(Москва)

В статье рассматривается вопрос о целесообразности использования традиционных и альтернативных видов энергоресурсов для нужд сельскохозяйственного производства России. Дается анализ технологий и экономики получения жидких углеводородов из биомассы, а также целесообразности производства биотоплива в России.

Ключевые слова: АПК России, альтернативная энергетика, традиционные виды энергоресурсов, биотопливо, прогноз.

ВВЕДЕНИЕ

Для эффективного и рационального с экономической точки зрения развития сельскохозяйственных организаций АПК России, а следовательно, и сельскохозяйственных регионов страны (преимущественно Южного федерального округа, Красноярского и Алтайского краев), необходимо рационально использовать природные ресурсы, особенно те, которые относятся к категории невозобновляемых (дизельное топливо, мазут, автобензин, биодизель, биоэтанол и т.д.).

Чтобы в общих чертах выявить масштабы и закономерности динамики использования энергии (электроэнергии) в сельских районах, необходимо знать специфические особенности их социально-экономического развития и факторы, определяющие направления и эффективность как потребления энергии (в целом), так и электрификации сельских районов.

К числу проблем относятся *особенности сельских районов как потребителей энергии*. Эти особенности вытекают из специфики производства и деятельности в сельской местности и, в частности, определяются условиями земледелия как обязательной и важнейшей сферы приложения труда в сельских районах. Наблюдается рост требований к качеству энергоносителей, который проявляется в виде объективного увеличения потребности в электроэнергии как энергоносителе с комплексом более высоких потребительских свойств. Рост потребностей связан с: а) индустриализацией и интенсификацией процессов производства в агропромышленном комплексе и сельском хозяйстве на основе прогрессивных технологий, базирующихся на использовании электроэнергии; б) особым значением социальных аспектов развития сельской экономики и необходимостью скорейшего преодоления отставания сельской местности по условиям труда и быта людей.

Одновременно происходит удорожание живого труда, сырья и материалов, в первую очередь кормов и качественного топлива, по сравнению с электроэнергией, что определяется изменением места электроэнергии в общей системе производственных ресурсов и ростом эффективности использования электротехнологий. Одним из важных моментов здесь является расширяющаяся возможность и объективная необходимость массового использования сельскохозяйственных потребителей в качестве регуляторов нагрузки в крупных объединенных электроэнергетических системах.

Важнейшая особенность хозяйства в сельских районах состоит в том, что основные предметы труда – почва, домашние растения и животные – являются частично или полностью биологиче-

ческими объектами, а основная продукция сельского хозяйства (продовольствие или основное сырье для его производства – семена и корма) имеет *биоэнергетический характер*.

Сельское хозяйство, точнее земледелие, является, таким образом, энергопроизводящей отраслью. Энергия, создаваемая здесь растениями на основе фотосинтеза (т.е. использования энергии Солнца и питательных веществ почвы), выступает в виде особого энергоносителя – *биомассы*, которая направляется на питание людей и корм скоту. Отходы растениеводства используются непосредственно для местных энергетических нужд (кизьяк, солома и т.д.). В отличие от естественных условий в сельском хозяйстве имеет место расширенное воспроизводство биомассы в результате применения труда и дополнительной энергии.

В естественных условиях растения и животные не могут быть высокопродуктивными, так как затрачивают большое количество энергии на преодоление неблагоприятных внешних факторов. Поэтому человек, сознательно вкладывая дополнительные энергозатраты в виде живого труда, а также с помощью машин и природных и преобразованных энергетических ресурсов, уменьшает затраты энергии растениями и животными на поддержание собственной жизнедеятельности и повышает тем самым их продуктивность.

Для исследования проблем энергетики сельскохозяйственного производства и понимания его особенностей необходимые совокупные энергетические затраты в сельском хозяйстве можно разделить на две составляющие. Первая – оперативная (прямая) энергия, которая расходуется непосредственно в самом сельскохозяйственном производстве в виде топлива, электрической и тепловой энергии, энергетических затрат рабочего скота и людей. Именно об этом виде энергии прежде всего идет речь, когда рассчитывают показатели энергопотребления в сельском и других отраслях хозяйства. Однако сельское хозяйство, кроме того, потребляет так называемую овеществленную энергию, перенесенную сюда в виде энергии, затрачиваемой на производство минеральных удобрений, пестицидов, рабочих и транспортных машин, оборудования. Особенности сельскохозяйственного производства являются ускоренный рост потребления и высокий удельный вес именно овеществленной энергии.

Учет, наряду с затратами прямой энергии, совокупных энергетических затрат в условиях сельского хозяйства представляет не только теоретический интерес, но имеет прямое отношение к решению крупных проблем энергосбережения. Так, например, для обеспечения добычи, переработки и транспортировки 1 кг светлых нефтепродуктов требуются затраты совокупной энергии, эквивалентные 1,5–2,0 кг условного топлива (у.т.), для производства и транспортировки электроэнергии – на 30% меньше (Агропромышленный портал России, 2010). Поэтому если критерием выбора вариантов являются не только приведенные затраты, но и минимальный расход энергии как одного из ограниченных производственных ресурсов, появляются дополнительные соображения в пользу применения электроэнергии.

Важным следствием биоэнергетического характера сельскохозяйственного производства является возможность тонкого энергетического воздействия непосредственно на предметы труда, в том числе и в особых формах.

РОЛЬ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КАК ФАКТОРА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ

В 1995 г. в России завершилась эпоха глобальных социально-экономических трансформаций (с 1985 по 1995 г.), связанная с переходом от административно-командной к либерально-рыночной системе ценностей как в социально-общественных институтах, так и в отраслях народного хозяйства. В результате реформ многократно сократились государственные инвестиции в аграрный сектор, усилился диспаритет между отраслями народного хозяйства из-за того, что в фондообразующих отраслях цены были полностью отпущены, за исключением цен на энергоносители. Результатом этого стало полное дерегулирование цен. Резко снизился платежеспособный спрос населения, сократилось потребление продовольственных товаров. Сельскохозяйственные организации, приспособившись к относительно низким доходам потребителей, были вынуждены предлагать свою продукцию по заниженным ценам, не окупающим затраты на ее производство. Немаловажную роль в данной цепи событий сыграло искусственное и ускоренное форсированное

развитие фермерства на базе колхозно-совхозной системы – поспешная реорганизация крупных сельскохозяйственных организаций. К началу 1995 г. большая часть сельскохозяйственных организаций России (СХО) оказались нерентабельными (табл. 1, п. 1 и 5), работали с отрицательным балансом в основном из-за дороговизны традиционных видов энергоносителей (электроэнергии, дизельного топлива и автомобильного бензина, использовавшихся при производстве), цены и тарифы которых драматически росли, в то время как ВВП страны сокращался. Как показывают

Таблица 1. Основные показатели деятельности сельскохозяйственных организаций (СХО)

| № | Показатели деятельности | 1990 | 1995 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008* |
|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | Число СХО (на конец года), тыс. | 25,8 | 26,9 | 27,6 | 24,8 | 24,2 | 22,1 | 20,6 | 19,0 | 16,9 | 15,2 | – |
| 2 | Потребление электроэнергии на производственные нужды, млрд кВт/ч | 67,3 | 53,0 | 30,2 | 25,4 | 22,7 | 20,3 | 18,0 | 16,9 | 16,8 | 14,9 | 14,3 |
| 3 | Потребление дизельного топлива, млн т | 20,0 | 7,1 | 5,0 | 5,0 | 4,7 | 4,9 | 4,9 | 5,1 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| 4 | Потребление автомобильного бензина, млн т | 11,3 | 3,3 | 1,8 | 1,7 | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 1,7 | 1,4 | 1,3 | 1,3 |
| 5 | Число убыточных СХО, тыс. | 0,7 | 15,4 | 14,1 | 11,4 | 13,3 | 10,8 | 7,2 | 7,6 | 5,4 | 3,3 | – |
| 6 | Посевная площадь, млн га | 112,1 | 86,2 | 69,1 | 66,4 | 64,6 | 58,3 | 55,4 | 51,4 | 48,2 | 45,1 | 58,3 |
| 7 | Продукция СХО (в ценах 2002 г.), млрд руб. | 919,4 | 446,3 | 362,1 | 402,2 | 409,9 | 393,7 | 412,6 | 425,4 | 443,7 | 465,4 | 540,8 |
| 8 | Реализация основных продуктов сельскохозяйственными организациями (для государственных и муниципальных нужд), млн т | | | | | | | | | | | |
| | Зерно | – | 7,1 | 5,5 | – | – | 2,5 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 1,6 | 2,0 |
| | Сахарная свекла | – | 425 | 979 | – | – | 1009 | 1308 | 1039 | 1765 | 1406 | 1214 |
| | Семена масличных культур | – | 425 | 218 | – | – | 153 | 157 | 189 | 170 | 159 | 130 |
| | Картофель | – | 431 | 202 | – | – | 154 | 155 | 146 | 151 | 152 | 165 |
| | Овощи | – | 1110 | 494 | – | – | 342 | 265 | 214 | 225 | 160 | 160 |
| | Скот и птица (в живом весе) | – | 2,9 | 1,2 | – | – | 1,1 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,5 |
| | Молоко | – | 15,5 | 9,1 | – | – | 8,2 | 7,6 | 6,5 | 6,5 | 5,6 | 5,0 |
| | Яйца, млрд шт. | – | 18,3 | 11,7 | – | – | 8,5 | 6,6 | 5,7 | 5,6 | 5,0 | 4,5 |

*С 2008 г. ФСГС РФ (Росстат) прекратил ведение учета статистической отчетности по некоторым основным показателям деятельности СХО.

данные табл. 1 (п. 7), с 2001 г. наблюдается рост (при продолжающемся спаде темпов потребления основных видов энергоносителей (табл. 1, п. 2–4)) продукции СХО на уровне 11% в год в результате принятых Правительством РФ программ поддержки сельскохозяйственных производителей (в СХО и фермерских хозяйствах) в рамках приоритетного национального проекта “Развитие АПК” России (Арутюнов, 2010, с. 248–249) и Государственной программы развития сельского хозяйства России (Арутюнов, 2008, с. 48–49). Одна из таких форм поддержки заключалась в создании Россельхозбанка РФ и его филиалов в регионах с более развитым сельским хозяйством (Краснодарский, Ставропольский и Алтайский края). Этот банк работал по программе долгосрочного кредитования (на 8–10 лет) сельскохозяйственных производителей (под земельные ресурсы СХО) и частных фермерских хозяйств.

В условиях постоянного роста цен и тарифов на традиционные виды энергоносителей¹ и спада показателей финансово-хозяйственной деятельности (например, производства продукции сельского хозяйства до 1999 г.) практически во всех отраслях сельскохозяйственного производства возникает вопрос о целесообразности организации эффективного управления производством на сельскохозяйственных предприятиях и в крестьянских и фермерских хозяйствах аграрного сектора России.

Для организации эффективного производства, скорейшего преодоления процессов спада в данной области народного хозяйства и роста продукции сельского хозяйства требуются не только капиталовложения в виде прямых инвестиций со стороны частного сектора и государственных субсидий при хорошем менеджменте, но и долгосрочные прогнозные оценки потребления различных ресурсов, задействованные в производственном процессе. Важна роль оценок экономической эффективности прогнозов, т.е. степени их надежности. Такие прогнозы должны обеспечивать своевременное принятие управленческих решений. Например, информация о прогнозных оценках потребления, цен и тарифов на различные виды энергоносителей обеспечит наиболее эффективное расходование данных видов топлива. В последующем это, вероятнее всего, приведет к снижению тарифной нагрузки на энергоресурсы в сельскохозяйственном производстве, а также поможет разработать технико-экономические обоснования производства и использования жидких углеводородных энергоносителей из биомассы в сельскохозяйственном производстве России.

Имеются различные методы получения прогнозных оценок. Существует несколько нетривиальных методов – например, система опережающих индикаторов (СОИ) и соответствующая методика оценки сводного опережающего индекса. Идея заключается в нахождении таких индикаторов (показателей), у которых поворотные точки наступают раньше, чем у экономики в целом. Достижение пика (или впадины) таким опережающим индикатором (leading indicator) позволило бы говорить о вероятном приближении пика или впадины в макроэкономической динамике. Впервые эта идея была предложена представителями кейнсианской школы и использована в 1930-е годы в США во времена Великой депрессии. Еще одним методом получения прогнозных оценок является стационарное дискретное вейвлет-преобразование (stationary discrete wavelet transformation, SDWT), основанное на преобразовании стационарных временных рядов Фурье, а также модели авторегрессии со скользящим средним (АРСС).

Расчеты СОИ для России, по существу, проводились лишь в экспериментальном порядке. Причина – многолетний спад производства, никак не достигавший нижней точки, связанный с трансформацией экономической системы и переходом от плановой экономики к рыночной. Выделять на таком фоне какие-либо поворотные точки в динамике экономической конъюнктуры было бы искусственным решением. Тем более что временной промежуток был слишком мал и не позволял реально “отличить” долговременную тенденцию от циклических и краткосрочных колебаний.

В условиях постоянного спада (случай отсутствия “точек перегиба”) динамики экономических показателей (потребления электроэнергии, автомобильного бензина и дизельного топлива) для получения темпов прироста (или спада) и построения прогнозов для России целесообразно строить системы опережающих индикаторов и применять методики оценки сводного опережающего индекса (Минсельхоз России). Именно такой подход используется во многих странах, но в России он до сих пор не нашел применения.

¹Основными видами энергии, которые используются в сельскохозяйственном производстве России, являются электроэнергия, дизельное топливо и автомобильный бензин.

На основе упомянутых выше методов были получены прогнозные оценки темпов роста на долгосрочный период (до 2030 г.) таких индикаторов сельскохозяйственного производства, как продукция сельского хозяйства в стоимостном выражении, потребление дизельного топлива, автомобильного бензина и электроэнергии на производственные нужды в СХО (табл. 2, 3).

Особенности данных методик, в частности технологии SDWT, заключаются в сокращении погрешностей моделей ARIMA, т.е. при $y_t = \sum_i^n \theta_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t$ будет приближаться к нулю в зависимости от конкретной модели, но значения нуля не достигнет. Тем самым повышается точность прогнозных оценок, полученных при помощи моделей APCC (ARIMA). Особенность методики СОИ заключается в том, что наиболее значимое влияние на получение адекватных прогнозных оценок оказывает ретроспектива исследуемого временного ряда. Это означает, что такая методика основана на циклическом варианте развития событий (повторе прошлых событий на новом витке).

При получении прогнозных оценок невозможно учесть всех факторов и связей многоукладной экономической системы. Устойчивое развитие российской экономической системы (рис. 1) возможно только при условии использования достижений не только прикладной, но главным образом фундаментальной науки, внедрения высоких технологий и перехода на социально ориентированную экономику.

Таблица 2. Прогнозные значения темпов роста показателей сельскохозяйственного производства России до 2030 г., %

| Год | Усредненные показатели | По СОИ | SDWT | ARIMA/APCC | Согласно данным Минэкономразвития России |
|------|------------------------|--------|------|------------|--|
| 2010 | 3,3 | 3,1 | 3,4 | 4,1 | 4 |
| 2015 | 3,9 | 3,7 | 3,8 | 4,3 | 4 |
| 2020 | 3,8 | 3,4 | 3,5 | 4,2 | – |
| 2025 | 3,8 | 3,4 | 3,5 | 4,2 | – |
| 2030 | 3,8 | 3,4 | 3,5 | 4,2 | – |

Таблица 3. Факторы и параметры эконометрической модели потребления энергоресурсов в СХО России

| Факторы производства в СХО России | | Коэффициент детерминации, % | Коэффициент Дарбина–Уотсона |
|-----------------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|
| Y_1 | Потребление электроэнергии, млрд кВт/ч | 96,7 | 2,41 |
| X_1 | Поголовье скота, млн голов | | |
| X_2 | Поголовье, млн голов | | |
| X_3 | Продукция животноводства, млрд руб. | 95,5 | 2,36 |
| Y_2 | Потребление бензина, млн т | | |
| X_4 | Сельскохозяйственные угодья, млн га | | |
| X_5 | Малая механизация, тыс. шт. | | |
| X_6 | Производство молока, млн т | 98,8 | 2,44 |
| Y_3 | Потребление дизельного топлива, млн т | | |
| X_7 | Сельскохозяйственные угодья и посевные площади, млн га | | |
| X_8 | Внесение минеральных и органических удобрений, млн т | | |
| X_9 | Валовой сбор продуктов растениеводства, млн т | 98,8 | 2,44 |
| X_{10} | Парк сельскохозяйственной техники (тыс. шт., на конец года) | | |

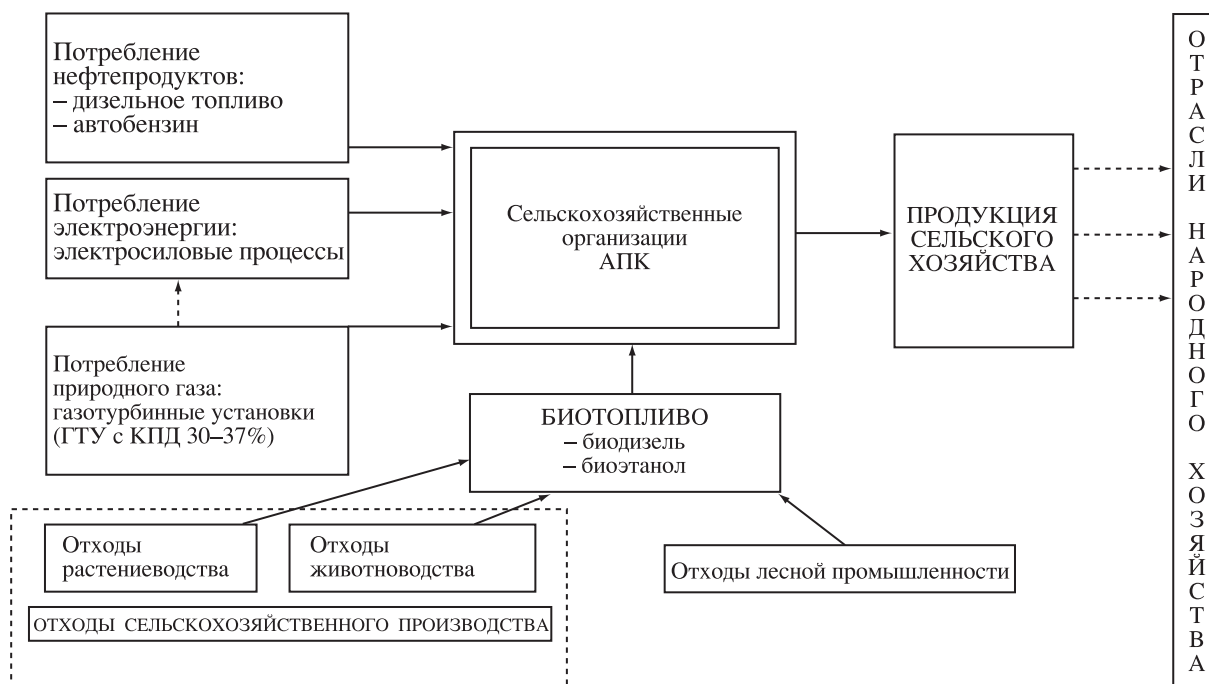


Рис. 1. Модель энергоэффективного потребления различных видов топлива в АПК России (газотурбинный)

Для построения концепции рационального пользования различными видами топлива, необходимой для функционирования АПК России, необходимо знать не только межотраслевые связи и потоки, прогнозные оценки потребления, но и то, каким образом и на что расходуются конкретные виды энергоносителей. Чтобы ответить на эти вопросы, рассмотрим многофакторные эконометрические модели, построенные на регрессионных уравнениях, отражающих потребление традиционных видов энергоресурсов (электроэнергии, дизельного топлива и автомобильного бензина) в сельскохозяйственном производстве России:

$$\begin{cases} Y_1 = 15,53 + 1,22X_1 + 0,03X_2 - 0,17X_3; \\ Y_2 = 6,22 - 0,069X_4 - 0,005X_5 + 0,107X_6; \\ Y_3 = 20,93 - 0,121X_7 - 0,047X_8 - 0,007X_9 + 0,006X_{10}. \end{cases}$$

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ РОССИИ

В условиях постоянного роста цен и тарифов на традиционные виды энергоносителей возникает вопрос о целесообразности использования альтернативных энергоресурсов на основе получения углеродного сырья из биомассы и отходов сельскохозяйственного производства. Речь идет о получении и последующем применении в сельскохозяйственном производстве “смешанных” видов (традиционных и альтернативных – биотоплива) энергоресурсов для снижения тарифной нагрузки на энергоресурсы в СХО.

В настоящее время в стадии различных решений и коммерциализации находятся несколько технологий получения биотопливных материалов различной природы для автомобильного транспорта, сельскохозяйственного производства, а также электроэнергии и тепла:

- биоэтанола – из крахмалосодержащего сырья;
- биодизеля – на основе растительных масел;

- биогаза – из различных отходов органической природы;
- биобутанола – смеси ацетона и бутанола на основе зерна.

Биотопливо создает свою “биоэкономику”, которая имеет ряд преимуществ:

1) *социальные*:

- диверсификация сельского хозяйства и его рост;
- развитие сельских регионов;
- улучшение социальной ситуации в сельских населенных пунктах;
- улучшение здоровья человека, экологии и качества жизни;

2) *экономические*:

– снижение себестоимости сельскохозяйственной продукции и более тщательный контроль качества продукции;

- появление новых продуктов и рынков;
- снижение зависимости сельскохозяйственного производства от поставки энергоресурсов;

3) *экологические*:

– предотвращение загрязнения окружающей среды, снижение выбросов газов, вызывающих парниковый эффект, и других вредных выбросов (этанол разлагается на биокomпоненты и не загрязняет природные водные системы. Так, содержание в бензине 10% этанола снижает токсичность выхлопа на 30% и не требует изменения конструкции двигателей (Панцхава, Пожарнов, Шипилов, 2007, с. 12–14));

- применение продуктов многоразового использования.

В связи со сложившейся ситуацией на рынке традиционных видов энергоресурсов, предназначенных на производственные нужды в сельском хозяйстве, целесообразно смешанное использование как традиционных, так и альтернативных источников энергоносителей, для значительного снижения издержек сельхозпроизводства.

В ряде стран–лидеров по производству альтернативных энергоресурсов (Бразилия, США, Канада, Китай, Индия и страны Европы) существуют специальные правительственные программы по переходу на биотопливо и доведению до 2010–2012 гг. его производства и потребления до 5–7%.

Согласно прогнозно-аналитическим расчетам Международного энергетического агентства (International Energy Agency, IEA) производство биоэтанола и биодизеля в США, Канаде, Европейском союзе и других странах, подписавших Киотский протокол по выбросам парниковых газов (CO₂) в атмосферу, будет неуклонно расти. Причем средняя загрузка введенных в последние годы в странах ЕС мощностей для производства этого вида топлива до 2020 г. сохранится на уровне 75–80% (в 2002–2006 гг., рис. 2, 3). Также неуклонно будет расти спрос населения на биотопливо.

Россия имеет хорошую природно-сырьевую базу (согласно данным ФСГС РФ об отходах лесного хозяйства, животноводства и растениеводства) для создания отечественного биотоплива.

Основным поставщиком сырья для производства биоэтанола в России является сельское хозяйство (например, потенциальным источником сырья для производства биоэтанола в России являются выведенные из сельскохозяйственного оборота пахотные земли). Переработка органических отходов необходима также в целях защиты окружающей среды. С помощью высокорентабельных технологий при переработке органических отходов можно получить твердое, жидкое или газообразное топливо, электрическую и тепловую энергию и высокоэффективные органические удобрения (после вторичной переработки отходов). Учитывая, что до 70% территории России, в том числе около 30–35% крестьянских хозяйств, не имеют постоянного централизованного энергоснабжения (Панцхава, Пожарнов, Шипилов, 2007, с. 12–14), создание безотходных предприятий АПК существенно повысит энергооборуженность страны.

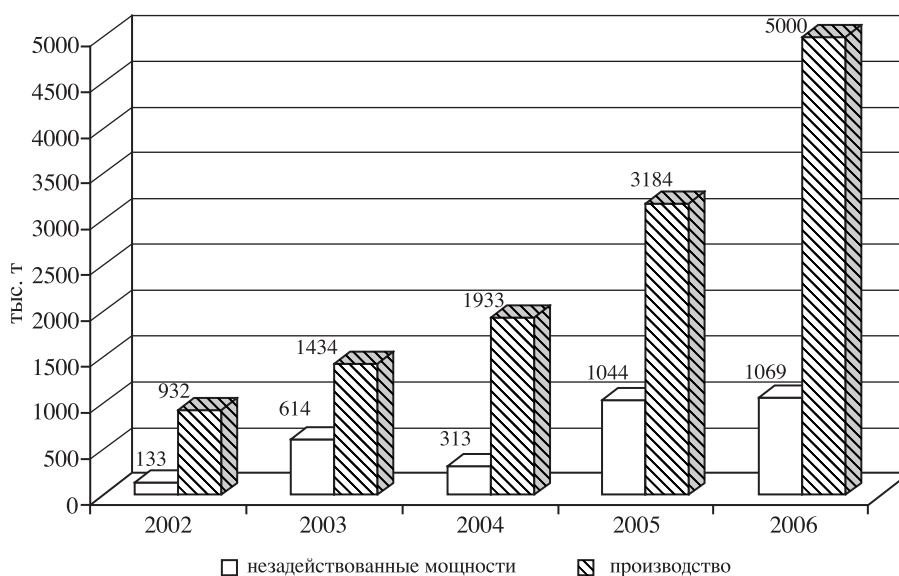


Рис. 2. Мощности и производство дизельного биотоплива в странах ЕС

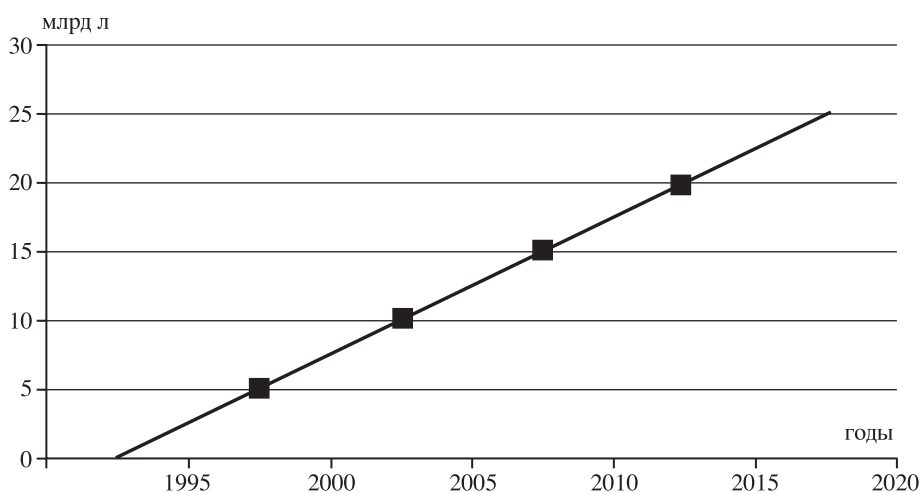


Рис. 3. Производство биоэтанола и биодизеля до 2020 г.

Развитие данной отрасли энергетики в России базируется на трех основных составляющих: высокорентабельные промышленные технологии, пригодные для любых климатических условий, эффективное и надежное оборудование, востребованное на внутреннем рынке, масштабная сырьевая база.

Потенциальной ресурсной базой органических отходов АПК, по данным отчетов региональных и окружных комитетов (Росстат, 2008), являются отходы птицеводства (яичного и мясного направлений), скотоводства (крупного и мелкого рогатого скота), свиноводства, растениеводства (зернобобовых, подсолнечника, сахарной свеклы, картофеля, овощей), перерабатывающей промышленности (мукомольной, масложитной, сахароварения, переработки мяса, спиртовой).

Общее количество органических отходов АПК на начало 2006 г., по данным (Росстат, 2008), достигло 624,2 млн т (из них 225 млн т сухих веществ (с.в.)) с общим валовым энергосодержанием 80,6 млн т условного топлива (у.т.). Отходы птицеводства составили 23,1 млн т (5,8 млн т с.в.) с энергосодержанием 1,5 млн т у.т., животноводства – 349,7 млн т (58,3 млн т с.в.) с энергосодержанием 17,5 млн т у.т., растениеводства – 222,2 млн т (147 млн т с.в.) с энергосодержанием 54,1 млн т у.т., перерабатывающей промышленности – 29,2 млн т (14 млн т с.в.) с энергосодержанием 7,3 млн т у.т.

Данные отходы используются для переработки в биогаз, пеллеты, синтез-газ, биоводород и биоэтанол.

Из 75 млрд м³ биогаза можно получить 150 млрд кВт/ч электрической и 150 Гкал тепловой энергии в год. Для обеспечения сельских подворий электроэнергией (3 кВт · ч/чел. в сутки (Росстат, 2008)) необходимо вырабатывать 42,7 млрд кВт/ч в год, что втрое меньше возможного производства электроэнергии из биогаза.

Второе по значимости место в производстве биоэнергоресурсов принадлежит пеллетам и газификации – пиролизу, далее идет этанол из отходов сахарной промышленности. Для производства биогаза можно использовать все органические отходы АПК. Потенциальный объем производства этого топлива в год может составить до 75 млрд м³ с энергосодержанием 59 млн т у.т., что позволяет заместить до 52 млрд м³ природного газа (10% его современной добычи в РФ) и до 37 млн т автомобильного бензина. К слову, ежегодно Россия продает до 26–30 млн т автомобильного бензина, сельское хозяйство потребляет в среднем до 2 млн т автомобильного бензина и до 4,8 млн т дизельного топлива.

Согласно результатам исследований российских специалистов 1 л бензина или дизельного топлива может быть заменен 1 м³ природного газа в сжатом состоянии, что эквивалентно 2 м³ биогаза. Для нужд транспорта и сельскохозяйственной техники необходимо до 16,6 млрд м³ биогаза в год (25% его возможного производства).

При использовании когенерационных электрогенераторов из указанного выше потенциального объема биогаза ежегодно можно производить до 150 млрд кВт/ч электроэнергии и до 150 Гкал тепловой энергии.

Переработка отходов растениеводства дает до 135 млн т пеллет, конвертируемых в 133 млрд м³ синтез-газа, из которого, в свою очередь, можно получить до 69 млрд м³ биоводорода (Панцхава, Пожарнов, Шпилов, 2007, с. 12–14).

В результате экономических реформ общая площадь пашни в стране с 1992 г. сократилась на 37 млн га, из которых 20 млн га приходится на европейскую часть (International Energy Agency). Производство биоэтанола может стимулировать возобновление использования этих земель. К примеру, по расчетам аналитиков из Международной биоэнергетической организации (Bioenergy International), один завод мощностью 100 тыс. т биоэтанола в год использует в среднем 300–400 тыс. т пшеницы, для выращивания которой требуется 100–200 тыс. га пахотных земель. Возможно также использование и других видов сырья для выработки биоэтанола, к примеру мелассы. В России производится около 1 млн т мелассы ежегодно. Для производства, например, биодизельного топлива также целесообразно использовать семена рапса. В стране имеются хорошие условия для выращивания рапса и производства рапсового масла для биодизельного топлива. АПК России расходует в среднем 4,8 млн т дизельного топлива. Чтобы удовлетворить эту потребность, необходимо засеять рапсом до 12 млн га при урожае семян 10 ц/га. С использованием технологии прямого сжигания смеси отходов птицеводства и растениеводства в пароэлектрогенераторах сельское хозяйство страны может получать 210 млрд кВт/ч электрической и 151,1 Гкал тепловой энергии в год.

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМОВ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ПОЛУЧЕНИЕ БИОТОПЛИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

Одним из наиболее эффективных направлений научно-технического прогресса в энергетике является биоконверсия органических отходов промышленности, сельского хозяйства и коммунально-бытового сектора в топливо с целью экономии высококачественных жидких и газообразных энергоресурсов.

Сооружение биоэнергетических установок (БЭУ), осуществляющих биоконверсию органических отходов путем анаэробной ферментации, позволяет полностью перерабатывать отходы не только животноводств, но и полеводства и коммунально-бытового хозяйства сельских населенных пунктов. При этом в отличие от существующих способов аэробной очистки стоков

получаются качественные обеззараженные удобрения и биогаз (метан), который позволяет полностью или частично заменить жидкое и газообразное топливо, в том числе в теплогенераторах, печах и даже двигателях внутреннего сгорания.

Расчет материальных потоков удобно производить по сухому веществу, так как эта составляющая субстрата остается неизменной при изменении влажности субстрата на отдельных стадиях процесса. Для расчета материального баланса БЭУ можно представить как систему, в которую поступает исходный субстрат с количеством сухого вещества G и концентрацией s . Для обеспечения заданной концентрации субстрата s_0 , подаваемого в метантенк, происходит, как правило, разбавление его водой в количестве B (одновременно вода служит теплоносителем для подогрева смеси до температуры ферментации).

В результате процесса анаэробной ферментации получается биогаз в объеме V_0 с удельным весом g_b и остаток, содержащий неразложившееся сухое вещество и бактериальную массу в количестве $G_{ост}$ при концентрации сухого вещества в остатке $s_{ост}$.

В общем виде уравнение материального баланса БЭУ выглядит следующим образом:

$$G \frac{1-s}{s} + B = g_b V_0 + G_{ост} + G_{ост} \frac{1-s_{ост}}{s_{ост}}$$

Слагаемые левой части уравнения определяют количество сухого вещества субстрата, количество естественной влаги субстрата и добавку воды для доведения концентрации до заданной, а в правой части – выход биогаза, сухого вещества остатка и содержание влаги в остатке. В табл. 4 приведен материальный баланс БЭУ при ферментации различных отходов.

Таблица 4. Материальный баланс БЭУ при ферментации различных отходов объемом 500 т/год

| Отходы | КРС | | Свиньи | | Птица | |
|----------------------------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|
| | т/год | % | т/год | % | т/год | % |
| <i>Поступление:</i> | | | | | | |
| Сухое вещество | 42 | 8,4 | 19 | 3,8 | 37,5 | 7,5 |
| Естественная влага | 214 | 42,8 | 75,5 | 15,1 | 31,5 | 6,3 |
| Добавок воды | 244 | 48,8 | 405,5 | 81,1 | 431 | 86,2 |
| Итого | 500 | 100,0 | 500 | 100,0 | 500 | 100,0 |
| <i>Выход:</i> | | | | | | |
| Биогаз | 10 | 2,5 | 8 | 1,6 | 19,5 | 3,9 |
| Сухой остаток | 32 | 6,5 | 11 | 2,2 | 18 | 3,6 |
| Влага | 458 | 91,5 | 481 | 96,2 | 462,5 | 92,5 |
| Итого | 500 | 100,0 | 500 | 100,0 | 500 | 100,0 |
| Распад органического вещества, % | 10 | 22,6 | 8 | 42 | 19,5 | 52 |

Примечание. Время экспозиции составляет: КРС – 10, свиней – 8, птицы – 35 сут. Что касается экономии топлива за счет биогаза и прироста сельскохозяйственной продукции, то в расчетах принималось, что топливо стоит 250 долл./т у.т.², а продукция – 350 долл./т³.

На модели были проведены расчеты эффективности БЭУ для различных по климатическим условиям районов страны. Результаты расчетов показывают, что с точки зрения получения товарного биогаза эффективность технологии анаэробной ферментации изменяется несущественно при изменении климатических районов. Так, например, при ферментации отходов фермы крупного рогатого скота на 1 тыс. голов для климатических условий юга европейской части России расход биогаза на собственные нужды составляет 20,7% валового выхода при мезофильном

² В 2006 г. средняя по России стоимость 1 т условного топлива была равна (долл.): дизельное топливо – 294, мазут топочный – 109, уголь энергетический – 27,2, природный газ – 12,1 (Росстат, 2008, с. 744). В перспективе цены на органическое топливо будут только расти.

³ Стоимость 1 т сельскохозяйственной продукции в 2006 г. составляла (долл.): зерновые – 114, подсолнечник – 188, картофель – 211, свекла сахарная – 44, ягодные культуры – 1150, овощи – 641, в том числе помидоры – 1092, огурцы – 1192, капуста – 200, лук – 287 (Росстат, 2008, с. 792).

и 37,2% – при термофильном режимах (табл. 5). Для района Западной Сибири эти показатели будут следующими – соответственно 29,1 и 46,1%. Эффект от внедрения технологии в этих районах различается незначительно и составляет соответственно 158,5 тыс. и 153,8 тыс. долл. в год для мезофильного и 151,3 тыс. и 147,1 тыс. долл. в год – для термофильного режимов.

Таблица 5. Техничко-экономические параметры БЭУ при анаэробной ферментации отходов крупного рогатого скота фермы на 1000 голов при мезофильном (37 °С) и термофильном (55 °С) режимах для различных климатических районов России

| Регион РФ | Валовой выход биогаза, тыс. м ³ /год | Расход на собственные нужды, % | Капиталовложения, тыс. долл. | Эксплуатационные издержки, тыс. долл./год | Эффект, тыс. долл./год | | | Срок окупаемости, лет |
|---------------------------|---|--------------------------------|------------------------------|---|------------------------|-----------|------------|-----------------------|
| | | | | | полный | от урожая | от топлива | |
| Мезофильный режим | | | | | | | | |
| Европейская часть: | | | | | | | | |
| Северо-запад | 438,1 | 26,2 | 127,4 | 33,2 | 155,3 | 87,3 | 68,1 | 1,0 |
| Центр | 438,1 | 25,9 | 127,4 | 33,2 | 155,5 | 87,2 | 68,3 | 1,0 |
| Юг | 438,1 | 20,7 | 127,4 | 33,2 | 158,6 | 87,2 | 71,4 | 1,0 |
| Западная Сибирь | 438,1 | 29,1 | 127,4 | 33,2 | 153,8 | 87,3 | 66,5 | 1,0 |
| Термофильный режим | | | | | | | | |
| Европейская часть: | | | | | | | | |
| Северо-запад | 480,5 | 43,5 | 99,1 | 28,4 | 148,3 | 82,5 | 65,8 | 0,8 |
| Центр | 480,5 | 43,1 | 99,1 | 28,4 | 148,5 | 82,5 | 66,0 | 0,8 |
| Юг | 480,5 | 37,2 | 99,1 | 28,4 | 151,3 | 82,5 | 68,8 | 0,8 |
| Западная Сибирь | 480,5 | 46,1 | 99,1 | 28,4 | 147,1 | 82,5 | 64,6 | 0,8 |

Примечание. Время экспозиции при мезофильном режиме – 9 дней, при термофильном – 7 дней. Распад органического вещества при мезофильном режиме – 35,5%, при термофильном – 39,0%, с утилизацией тепла отходов.

Функционирование БЭУ в зависимости от температуры процесса можно ориентировать на мезофильный или термофильный режим, каждый из которых имеет положительные и отрицательные стороны. Мезофильный процесс происходит при более низкой по сравнению с термофильным температуре (37 °С), вследствие чего требует меньше энергии на собственные нужды (обычно 20–30% от валового выхода по сравнению с 35–45% при термофильном процессе) и обеспечивает большее количество товарного биогаза. Вместе с тем в силу малой скорости процесса здесь необходим больший объем метантенка, а следовательно, и большие капиталовложения. Термофильный процесс (55 °С) характеризуется большей интенсивностью, из-за чего распад органического вещества здесь выше, а выход остатка (и, следовательно, эффект от повышения урожайности) меньше (Синяк, 1984).

Расчеты показали, что затраты в БЭУ при термофильном режиме ферментации в среднем на 12–15% ниже, чем при мезофильном процессе⁴.

Оценка эффективности БЭУ во многом зависит от стоимости вытесняемого топлива и сельскохозяйственной продукции, получаемой дополнительно за счет внесения остатка сбраживания отходов в виде удобрений. Чем выше эти показатели, тем привлекательнее будет выглядеть технология анаэробного сбраживания органических отходов. Как отмечено выше, расчеты проводились при стоимости топлива 250 долл./т у.т. и продукции – 350 долл./т. При таких показателях

⁴ Расчеты проводились для фермы КРС размером 1 тыс. голов в климатических условиях различных районов России.

телях срок окупаемости инвестиций не превышает 2–3 лет. При снижении обоих показателей до 100 долл./т у.т. и 100 долл./т срок окупаемости увеличивается до 4–6 лет, а при увеличении соответственно до 500 долл./т – сокращается до полугода.

При оценке возможного вклада технологии анаэробной ферментации в энергетический баланс страны следует учитывать, что для сбора и утилизации доступна лишь часть отходов: в животноводстве утилизация отходов реальна в основном когда животные содержатся в течение года в специальных помещениях, так как при пастбищном содержании сбор и утилизация отходов практически неэффективны; в коммунально-бытовом хозяйстве централизованный сбор сточных вод и бытовых отходов пока возможен лишь в крупных городах; в полеводстве – значительная часть отходов употребляется на нужды самого хозяйства в качестве подстилки, строительного материала и кормов (Синяк, 1984).

Удельный годовой эффект при ферментации различных отходов при термофильном процессе составляет⁵:

- крупный рогатый скот – 130–145 долл./голов в год;
- свиньи – 20–24 долл./ голов в год;
- птица – 3800–4000 долл./1 тыс. голов в год;
- отходы полеводства – 200–220 долл./га;
- канализационные стоки – 2,2–2,6 долл./человек в год;
- бытовые отходы – 7–8 долл./ человек в год⁶.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агропромышленный портал России (2010): [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.agro.ru>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: май 2010).
- Арутюнов А.Л.** (2008): Потребление энергоресурсов в сельском хозяйстве России // *Экономическая наука современной России*. № 1(13).
- Арутюнов А.Л.** (2010): Методика долгосрочного прогноза индикаторов экономической деятельности АПК России // *Обзорные прикладной и промышленной математики*. Т. 17. Вып. 2.
- Министерство сельского хозяйства РФ (2010): [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.mcx.ru/documents/document/v2_show/5268.172.htm, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: май 2010).
- Министерство сельского хозяйства РФ (2010): [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.mcx.ru/navigation/docfeeder/show/146.htm>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: май 2010).
- Панцхава Е., Пожарнов В., Шипилов М.** (2007): Развитие биоэнергетики в России // *Агрорынок*. № 2.
- РосБизнесКонсалтинг (2010): [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.rbc.ru/rbcfreenews/20080515130030.shtml>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: май 2010).
- Российская Биотопливная Ассоциация(2010): [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.biotoplivo.ru>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: май 2010).
- Российский статистический ежегодник (2007). Статистический сборник. М.: Росстат.
- Российский статистический ежегодник (2008). Статистический сборник. М.: Росстат.
- Синяк Ю.В.** (1984): Энергия из отходов // *Энергия: экономика, техника, экология*. № 5.
- International Energy Agency, (2010): [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.worldenergyoutlook.org/graphs>, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: май 2010).
- Bioenergy International, (2010): [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.bioenergyinternational.com>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: май 2010).

Поступила в редакцию
20.06.2010 г.

⁵ При стоимости сельскохозяйственной продукции 350 долл./т и цене сэкономленного топлива 250 долл./т у.т.

⁶ Доллар США считать равным одной условной единице (у.е.). 1 у.е. равна среднестатистическому значению курса рубля к доллару США с 2005 по 2010 г. (1 долл. США = 30 руб.).

Concept of Energy-Efficient Consumption of the Energy Resources in Russian Agro-Industrial Complex in the Post-crisis Period

A.L. Arutyunov

The author discusses the problems of the use of traditional and alternative types of energy resources for the needs of agro-industrial complex in Russia. The analysis of technologies and economy of liquid hydrocarbons production from biomass, and the manufacture of biofuel in Russia are given.

Keywords: Russian Agro-Industrial complex, alternative power industry, traditional types of energy resources, biofuel, prognosis.