

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.171

DOI: 10.26897/2687-1149-2021-4-46-52

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ АГРОТЕХНОЛОГИЙ

ШИРОКОВ ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, *д-р техн. наук, профессор*

shirokov001@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация,
г. Москва, Тимирязевская ул., 49

Аннотация. В статье показано, что необходим комплексный межотраслевой подход к решению вопросов системного управления энергосбережением в сельском хозяйстве и обоснования рациональных мер экономической поддержки внедрения энергосберегающих технологий, машин, проектов со стороны государства. Таким требованиям отвечает энергоэкономический (биоэнергетический) метод оценки. Энергоэкономическая оценка заключается в сопоставлении в единых единицах измерения затрат на возделывание растений или обслуживание животных с результатами производства и имеет преимущественно общегосударственное стратегическое значение. На основе такого обоснования могут быть разработаны экономические ориентиры и стимулы для внедрения новых энергоэффективных технологий, машин и проектов, направленных на использование возобновляемых источников энергии. Приведен подход к совершенствованию методологии энергоэкономической оценки аграрных технологий и проектов при использовании в технологических процессах возобновляемых источников энергии. Обосновано, что для обеспечения достоверности энергоэкономической оценки в связи с постоянными технологическими и организационными изменениями и цифровизацией техники и экономики необходимо продолжить исследования в направлении совершенствования методологии оценки, уточнения и регулярного обновления энергетических эквивалентов.

Ключевые слова: агротехнологии, проекты, машины, энергосбережение, энергоэкономическая оценка, методика, энергетические эквиваленты.

Формат цитирования: Широков Ю.А. Анализ перспектив энергоэкономической оценки агротехнологий // Агроинженерия. 2021. № 4(104). С. 46-52. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-4-46-52.

© Широков Ю.А., 2021



ORIGINAL PAPER

ANALYSIS OF THE PROSPECTS OF ENERGY-ECONOMIC ASSESSMENT OF AGRICULTURAL TECHNOLOGIES

YURIY A. SHIROKOV, *DSc (Eng), Professor*

shirokov001@mail

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434,
Russian Federation

Abstract. The paper shows that a comprehensive intersectoral approach is needed to address the issues of systematic management of energy saving in agriculture and to justify rational measures of economic support for the state-initiated introduction of energy-saving technologies, machines, and projects. Such requirements are met by the energy-economic (bioenergy) assessment method. The energy-economic assessment consists in comparing the costs of cultivating plants or servicing animals in single units of measurement with the production results and is mainly of national strategic importance. On the basis of such assessment, economic guidelines and incentives for the introduction of new energy-efficient technologies, machines and projects, including the use of renewable energy sources, can be developed. The author presents an approach to improving the methodology of energy-economic assessment of agricultural technologies and projects when using renewable energy sources in technological processes. It is proved that in order to ensure the reliability of the energy-economic assessment associated with permanent

technological and organizational changes and the digitalization of technology and economy, it is necessary to continue research to improve the assessment methodology, as well as clarify and regularly update energy equivalents.

Key words: agricultural technologies, projects, machines, energy saving, energy economic assessment, methodology, energy equivalents.

For citation: Shirokov Yu.A. Analysis of the prospects of energy-economic assessment of agricultural technologies. *Agricultural Engineering*, 2021; 4 (104): 46-52. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-4-46-52.

Введение. Сельское хозяйство России ежегодно потребляет в среднем 3,3...3,5 млн т дизельного топлива. Вследствие климатических особенностей большинства регионов страны более 1 млн т топлива тратится на обогрев помещений и сушку с.-х. продукции. Совокупные энергетические затраты на производство 1 т условной зерновой единицы в России в сравнении с США выше более чем в 5 раз. Это значительно снижает потенциал конкурентоспособности российской сельскохозяйственной продукции [1].

Постоянный рост стоимости энергоносителей увеличивает долю затрат на эти ресурсы в структуре себестоимости конечного продукта. Развитые страны активно внедряют в свое сельскохозяйственное производство энергосберегающие технологии и возобновляемые источники энергии [2-4].

В Российской Федерации находят применение лишь отдельные элементы энергоэффективных решений. В то же время в Государственной программе Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» отмечено: «...В этих условиях основным путем сохранения конкурентоспособности является снижение затрат (по возможности) по тем статьям, в которых имеется существенное отставание от уровня международных товаропроизводителей. В сельском хозяйстве России такой статьей прежде всего являются затраты на энергоносители. Все это требует пересмотра научных взглядов, принципов организации и качества работы по энергосбережению как сельского хозяйства в целом, так и отдельных его предприятий. Необходим комплексный межотраслевой подход к решению вопросов системного управления энергосбережением в сельском хозяйстве»^{1,2}. Необходимы также меры со стороны государства по экономической поддержке внедрения энергосберегающих технологий, машин и проектов [5-9]. Например, в США начиная с 1998 г. принят ряд законов и государственных программ, направленных на экономическую поддержку внедрения энергосберегающих технологий в сельское хозяйство. В частности, Закон 2005 г. «Об энергетической политике» (Energy Policy Act) предусматривал финансовую помощь производителям биоэтанола в виде субсидий, налоговых льгот и импортных пошлин, Закон «О продовольствии, охране природы и энергии» (The Food, Conservation, and Energy Act of 2008 – Farm Bill) – финансовую поддержку для развития производства возобновляемых источников энергии в сельских регионах [5].

Государственные структуры, ответственные за принятие решений о видах и об уровне экономического стимулирования энергосбережения, должны четко представлять

полную энергоэффективность технологий, то есть действительную экономию энергии не только в аграрном производстве, а по всем товарным цепям и жизненному циклу оборудования: от производства энергоносителей, машин и технологических линий, строительства зданий и сооружений и т.п. до выполнения полевых технологических операций, эксплуатации и утилизации машин и оборудования. Поэтому на уровне государства необходим комплексный межотраслевой подход к обоснованию и решению вопросов системного управления энергосбережением. В связи с этим возникает необходимость достоверного обоснования снижения расхода энергии на различных уровнях:

- на уровне государства – с целью выработки эффективной ресурсосберегающей политики и разработки мер поддержки наиболее энергоэффективных направлений;
- на уровне исследовательских и проектных организаций – с целью оценки энергоэффективности машин, технологий, проектов;
- на уровне аграрного предприятия – с целью снижения себестоимости и повышения конкурентоспособности продукции.

Для безошибочного принятия решений на каждом уровне управления необходимо наличие соответствующих методик оценки реальной энергоэффективности. Основы такой методологии созданы, но они требуют организационных, технологических и технических усовершенствований, использования возобновляемых источников энергии не только в полевых технологиях, но и во всей цепи промышленного производства.

Цель работы: совершенствование методологии энергоэкономической оценки агротехнологий и проектов для системного управления энергосбережением в сельском хозяйстве.

Материалы и методы. Методически при соизмерении эффективности затрат энергии соизмеряют затраты и эффект при наличии качественной однородности и количественной сопоставимости. Одновременно необходимо учитывать «правило тождества эффекта» (сравнение вариантов, выполняющих тождественные задачи по всем сравниваемым параметрам), и правило «приведения проектных вариантов к общему эффекту» [10].

Методологическую основу работы составляет системный анализ, конкретизированный в рамках подхода к оценке эффективности использования энергии при производстве сельскохозяйственной продукции с учетом её затрат во всех сопутствующих отраслях экономики.

Результаты и обсуждение. Рациональность потребления энергии может быть оценена путем сопоставления объема энергии, аккумулированной в продукции растениеводства или животноводства, с затратами совокупной энергии на производство. Этот метод получил название «Метод энергоэкономической оценки», или

¹ Миндрин А.С. Энергоемкость сельскохозяйственного производства: теория, методология, оценка. М.: Восход-А, 2009. 387 с.

² Новожилов В.В. Проблемы измерения затрат и результатов при оптимальном планировании. М.: Экономика, 1967. 376 с.

«Метод биоэнергетической оценки» (Базаров Е.И., Новиков Ю.Ф., Широков Ю.А. и др., 1982-1985).

Авторы методологии исходили из того, что совокупная энергия (полная энергоёмкость) включает в себя два основных вида затраченной энергии: прямой (в виде энергетических ресурсов на осуществление технологического процесса и энергии живого труда участников сельскохозяйственного производственного процесса) и овеществленной (энергии, затраченной на производство средств производства на всех этапах технологической цепи включая расход энергии на добычу, транспортирование, переработку полезных ископаемых и производство энергоносителей, удобрений, средств защиты растений, материалов, деталей, машин и оборудования и т.п.). Если прямые затраты энергии определить достаточно легко, то оценка овеществлённых затрат энергии затруднительна вследствие значительной разветвлённости технологических и транспортно-логистических цепочек и сложности доступа к первичной информации предприятий различных форм собственности.

Для определения величины затрат прошлой, овеществленной энергии применяют два подхода: прямой расчет и использование коэффициентов полных затрат энергии на учетную единицу сырья или готовой продукции (кг, м³ и т.п.) – энергетических эквивалентов.

Показателем эффективности использования энергии является коэффициент биоэнергетической эффективности $K_{бэ}$, равный отношению выхода энергии, накопленной в хозяйственно-полезной части урожая E_y (Дж), к сумме приходящей на единицу площади посевов p -й культуры фотосинтетически активной радиации (ФАР) Солнца за вегетационный период E_c (Дж) и совокупной энергии, потраченной на обслуживание посевов p -й культуры на данной площади за этот же период $E_{ап}$ (Дж):

$$K_{бэ1} = \sum E_y / (E_c + \sum E_{ап}). \quad (1)$$

Показатель оценивает, как соотносится энергия, накопленная в урожае (усвоенная растениями), к сумме солнечной энергии, приходящей на возделываемую площадь за вегетационный период в данной климатической зоне, и энергии ресурсов, помогающих растениям эффективно усвоить солнечную энергию, обеспечивая получение урожая [11].

В США и Канаде используют коэффициент биоэнергетической эффективности, рассчитанный как отношение выхода энергии в продукции (E_y) минус затраты совокупной энергии ($E_{ап}$) к инсоляции (E_c) [12]:

$$K_{бэ2} = (E_y - \sum E_{ап}) / E_c. \quad (2)$$

В связи с тем, что энергия Солнца, участвующая в процессе фотосинтеза, отличается в различных зонах страны, расчет величины $K_{бэ}$ имеет значение при зонировании сельского хозяйства, когда необходимо сопоставить эффективность размещения сельскохозяйственных культур по территории страны и обосновать соответствующие рекомендации сельхозтоваропроизводителям или стимулировать эффективное размещение сельскохозяйственных культур экономическими методами. Также использование формулы (1) является целесообразным при оценке генетического потенциала и перспектив культивации (районирования) сортов сельскохозяйственных культур.

При сравнительных расчетах нужно учитывать, что фотосинтетически активная солнечная энергия, достигающая 1 га земли за 3-месячный вегетационный период, зависит от региона страны и составляет от 8 до 35 млрд кДж (исходные данные можно получить в региональных метеорологических службах). Растения в процессе фотосинтеза обычно усваивают от 0,8 до 1,5% этой энергии, редко – до 5%.

Для практических расчетов оценки эффективности использования совокупных затрат энергии при производстве продукции сельского хозяйства (полной энергоёмкости сельскохозяйственного производства) с целью выбора энергоэффективных машин, агротехнологий и проектов предложена методика, оценивающая величину коэффициента биоэнергетической эффективности $K_{бэс}$.

Этот показатель показывает соотношение между энергией Солнца E_y , аккумулированной в сельскохозяйственном продукте, собранном с единицы площади, и совокупной энергией $E_{ап}$:

$$K_{бэс} = \sum E_y / \sum E_{ап}. \quad (3)$$

Совокупная энергия $E_{ап}$ определяется как сумма затрат энергии энергоносителей в технологическом процессе растениеводства ($E_{эн.с}$), энергии живого труда участников процесса ($E_{ж}$) и сумма затрат прошлой энергии, овеществленной в средствах производства E_a :

$$E_{ап} = \sum E_{эн.с} + \sum E_{ж} + \sum E_a; \quad (4)$$

$$E_a = \sum M_i \cdot \epsilon_{si}, \quad (5)$$

где M_i – масса i -х изделий, применяемых в сельскохозяйственном производстве, т; ϵ_{si} – энергетический эквивалент (содержание прошлой энергии в единице i -го изделия), МДж/кг, МДж/м³.

При использовании методики энергоэкономической оценки необходимо обратить внимание на то, что работа по расчету энергетических эквивалентов ϵ_{si} была выполнена в 80-е гг. прошлого столетия. В расчетах применяли ряд допущений: усредненная энергетическая «стоимость» 1 т трактора составляет 35 ГДж; 1 т с.-х. машин – 30 ГДж; 1 куб. м здания – 55 ГДж; 1 т удобрений: азотных – 86 ГДж, фосфорных – 12 ГДж, калийных – 8 ГДж; 1 т дизельного топлива – 79,5 ГДж; 1 тыс. кВт·ч электроэнергии – 12 ГДж; 1 тыс. чел.-ч. живого труда – 43 ГДж; и т.п. Это позволяло сделать достаточно сопоставимыми результаты расчетов коэффициентов биоэнергетической эффективности конкретных технологий [11].

Эквиваленты на основные средства рассчитаны с учетом ежегодного переноса на продукцию части совокупной энергии пропорционально сроку службы и времени на возделывание культуры. Эквиваленты живого труда учитывают затраты мускульной силы и интеллектуальной энергии с учетом профессиональной подготовки, сложности работ, а также затрат энергии на жизнеобеспечение. Поэтому, например, высвобождение одного тракториста-машиниста за счет роста производительности труда при использовании новой техники или технологии уменьшает энергоёмкость процесса не только на величину затрат его личной энергии, но и затраты энергии на его коммунально-бытовое обеспечение (тепло, электроэнергия, газ и др.).

На базе энергетических эквивалентов ϵ_{si} осуществляется дальнейший расчет совокупной энергии. Чем более

достоверно и тщательно проведен расчет энергетических эквивалентов, тем точнее результат расчета коэффициентов биоэнергетической эффективности и энергоэкономической оценки и более обоснованными являются управленческие решения, принятые на основе таких расчетов.

Рассмотрим, например, энергоэкономическую оценку нового вида биотоплива для котельных и турбогенераторных установок – гомогенизованную целлюлозо-масляную смесь на основе кавитационной гомогенизации рапсового масла и (или) печного (дизельного) топлива с мукой из рапсовой биомассы (и других отходов полеводства: соломы зерновых и т.п.) и (частично) водой³.

Урожайность семян рапса в РФ составляет от 1,8 до 4,0 т/га; выход рапсового масла – 0,7...1,8 т/га (26000...67000 МДж энергии). В поле остается значительная часть биомассы рапса – 3,0...4,5 т сухого вещества/га (стебли, стручки, листья), что составляет 43000...65000 МДж. Затраты совокупной энергии на производство 1 т рапсовой травяной муки естественной сушки составят не более 3500 МДж, содержание энергии в 1 т рапсовой травяной муки – около 11000...14000 МДж, то есть коэффициент трансформации энергии $K_{\text{бс}}$ – от 3,14 до 4,0.

Постоянное совершенствование технологий в машиностроении, химическом производстве, производстве стройматериалов и других ресурсов, а также изменяющиеся затраты на добычу и производство каждого вида энергоносителей и сырья требуют и постоянного уточнения количественных значений энергетических эквивалентов. Согласно статистическому отчету «Показатели энергоэффективности 2019 года» количество энергии, используемой для производства единицы ВВП, также называемой энергоемкостью экономики (ТПЭ/ВВП), в период с 1990 по 2017 гг. сократилось на 35%.

Методология нуждается в некоторой коррекции с учетом и того, что в современном сельском хозяйстве все больше используется ресурсов и труда прошлых периодов, и значение этих материальных агентов постепенно возрастает. Например, достаточно сравнить машинно-тракторные агрегаты периода разработки энергетических эквивалентов (рис. 1а) и современный посевной комплекс (рис. 1б), чтобы увидеть значительные изменения, которые должны найти отражения в применяемых энергетических эквивалентах.



Рис. 1. Посевной машинно-тракторный агрегат:
а – в период разработки энергетических эквивалентов; б – современный

Fig. 1. Seeding machine-tractor unit:
а – during the development of energy equivalents; б – the modern version

Компьютеризация машин и производственных процессов еще более увеличивает затраты овеществленной энергии. Процессы, ранее выполняемые оператором (трактористом-машинистом) за счет собственных

энергетических затрат (энергии живого труда), сейчас в значительной степени выполняются уже за счет энергии, овеществленной в компьютерных и спутниковых системах (рис. 2).



Рис. 2. Изменения в системах управления машинно-тракторным агрегатом

Fig. 2. Modifications in the control systems of a machine-tractor unit

³ Energy Efficiency Indicators. Statistical report – December 2020 the IEA. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-indicators> (accessed: 18.02.2021).

Для методического обеспечения будущих корректировок были разработаны «Методические рекомендации по обоснованию энергетических эквивалентов на машины и оборудование для агропромышленного производства» и «Методические рекомендации по обоснованию энергетических эквивалентов на сельское строительство» (М.: ВАСХНИЛ, 1984). Однако в расчетах многих исследователей, в диссертациях используются в основном устаревшие показатели без коррекции на произошедшие изменения.

Для оценки абсолютной энергоэффективности необходимо учитывать все без исключения элементы затрат совокупной энергии, что может представить большие сложности при получении доступа к информации для расчета энергетических эквивалентов. Например, предлагается использовать интегрированный экономико-энергетический метод оценки производства продукции [8]. Для этого необходимо расчетным путем установить энергетический эквивалент рубля и стоимостную оценку единицы энергии. Энергетический эквивалент рубля ε_p , Дж/руб., определяется по формуле:

$$\varepsilon_p = E_{\text{эп}} / \text{Ч}_{\text{МП}} \cdot \eta, \quad (6)$$

где $E_{\text{эп}}$ – использование энергоресурсов в текущем (прошедшем) году, Дж; $\text{Ч}_{\text{МП}}$ – чистый материальный продукт, руб.; η – индекс производства $\text{Ч}_{\text{МП}}$ по отраслям экономики.

Близкий подход к расчету энергетических эквивалентов предложен в работе [9]. Однако есть риск того, что уход в переоценку энергетических эквивалентов через стоимость ресурсов (а здесь – влияние конъюнктуры рынка, волатильность рубля, вклад коммерческих посредников и т.п.) приведет к тем же ошибкам, что и прямая оценка в денежном выражении. Поэтому в целях оценки на общегосударственном уровне необходимо вернуться к эквивалентам через неизменные энергии, учитывающие затраты энергии на 1 кг (т) (металла, жидкого топлива, удобрений, семян и т.п.), м³ (газ, помещения и др.) и т.п.

Проблема заключается и в том, что при расчете энергетических эквивалентов многие авторы не учитывают, что машины, здания и сооружения служат несколько лет и часто участвуют в процессах производства нескольких сельскохозяйственных культур, поэтому переносят только часть энергии.

В методиках энергоэкономической оценки необходимо учесть значительное возрастание доли возобновляемых источников энергии в производственном процессе. При расчете совокупной энергии E_a необходимо исключать долю затраченной возобновляемой энергии (солнца, ветра, энергии биомассы и др.), используемой в технологическом процессе E_n . Требуется также уточнение в отношении ресурсов импортного происхождения. В расчетах совокупной энергоемкости аграрного производства при общегосударственной оценке эффективности энергосбережения необходимо исключать затраты ошестовленной энергии импортных изделий (машины, оборудование, семена, удобрения, средства защиты растений и т.п.). Это отличает методику оценки энергетической эффективности от расчетов экономической эффективности. В данном случае имеет место «национальный

эгоизм» – экономия энергии внутри страны за счет межгосударственного разделения труда, то есть противоречие с переходом на импортозамещение. Поэтому величину $K_{\text{эс}}$ необходимо уточнить:

$$K_{\text{эс}} = E_y / (\sum E_a - \sum E_{\text{имп}} - \sum E_n), \quad (7)$$

где E_y – энергия, аккумулированная в хозяйственно-полезной части урожая растений или продукции животноводства, Дж/т; $E_{\text{имп}}$ – часть совокупной энергии, затраченной на все импортные средства производства для производства этой хозяйственно-полезной части растений или животных, Дж/т; E_n – природная энергия (солнца, ветра, энергия биомассы и др.), используемая в технологическом процессе, Дж/т.

Включение $E_{\text{имп}}$ в формулу имеет чисто методическое значение, так как практически эту составляющую не нужно рассчитывать и определять. Но затраты совокупной энергии на оборудование для использования возобновляемых источников энергии, созданное внутри государства, должны быть обязательно учтены при расчете E_n .

В целях общегосударственной оценки эффективности энергосбережения уже нельзя пренебрегать точностью расчетов энергии, ошестовленной в машинах и оборудовании (технологических линиях), так как расчеты искажат реальную эффективность использования совокупной энергии и приведут к ошибочным выводам и управленческим решениям.

Определение энергоемкости отдельных видов сельскохозяйственной продукции усложняется тем, что, во-первых, процесс ее производства опосредуется межотраслевыми связями; во-вторых, на аналогичных этапах технологического цикла используются многообразные машины и оборудование с различными параметрами энергоемкости; в-третьих, большинство машин участвует в производстве нескольких сельскохозяйственных продуктов (накопителей энергии) [8, 9].

Для расчетов энергетических эквивалентов целесообразно использовать удельные затраты энергии E_d на производство i -го вида машин или оборудования, энергетических средств и инвентаря по d -му машиностроительному предприятию:

$$E_{di} = (\sum M_{ki} \cdot \varepsilon_{ki} + \sum E_{si} + \sum E_{si} \cdot \varepsilon_{si} + \sum E_{ti} + \sum E_{ti} \cdot \varepsilon_{ti}) / \sum M_i \cdot N_i, \text{ Дж/т}, \quad (8)$$

где M_{ki} – масса k -х материалов и покупных изделий (узлов) для изготовления годового объема i -й машины или оборудования, т; ε_k – энергетический эквивалент k -х материалов и покупных изделий (узлов), Дж/т; $\sum E_{si}$ – сумма затрат энергии s -х. энергоносителей (электроэнергии, топлива, тепловой энергии) при производстве i -й техники, Дж; ε_s – энергетический эквивалент s -х. энергоносителей, Дж/т; $\sum E_{ti}$ – энергия живого труда работников предприятия при производстве i -й машины или оборудования, Дж; ε_{ti} – энергетический эквивалент энергии живого труда f -х работников, Дж/чел.-ч; M_i – масса i -й машины или оборудования, т; N_i – число выпускаем i -х в год машин или оборудования на d -м предприятии, шт.

Количество слагаемых формулы (8) может быть больше в зависимости от видов и количества других ресурсов, используемых в производственных процессах.

Затраты прошлой энергии, овеществленной в зданиях, можно рассчитать по формуле:

$$E_{зл.г} = \sum V_{зл.г} N_{зл.г} \varepsilon_p \quad (9)$$

где $V_{зл.г}$ – объем здания r -типа, m^3 ; $N_{зл.г}$ – количество зданий r -типа, шт.; ε_r – энергетический эквивалент здания r -типа (считается по аналогичному принципу с (8), $MДж/м^3$).

В свою очередь величина затрат совокупной энергии E_a рассчитывается по формуле:

$$E_a = (\sum E_{пз.с} + \sum E_{пз.с} \cdot \varepsilon_s + \sum E_{жт.в} + \sum E_{жт.в} \cdot \varepsilon_{жт.в} + \sum E_{зл.г} + \sum \alpha (\sum (M_{ip} \cdot \varepsilon_{di}) / t), \quad (10)$$

где $E_{пз.с}$ – прямые затраты энергии s -х. энергоносителей в процессе возделывания p -й культуры (производства p -й продукции сельского хозяйства), $Дж$; ε_s – энергетический эквивалент s -х. энергоносителей, $Дж/т$; $E_{жт.в}$ – затраты энергии живого труда v -х работников в производственном процессе сельского хозяйства, $Дж$; $\varepsilon_{жт.в}$ – энергетический эквивалент энергии живого труда, затраченного в производстве сельскохозяйственной продукции, $Дж/Дж$; α – доля времени в году, которое машина занята на i -й культуре; M_{ip} – масса i -х машин и оборудования, вовлеченных в процесс производства p -й продукции сельского хозяйства, $Дж$; ε_{di} – удельные затраты энергии E_s на производство i -го вида машин или оборудования, полученные по формуле (8); t – фактический срок службы машины (оборудования, здания) до списания.

Затраты энергии, овеществленной в энергоносителях s -го вида, –

$$E_{эн.с} = \sum q_i \cdot t_{ci} \cdot T_i \cdot \varepsilon_{эн.сi}, \quad (11)$$

где q_i – часовой расход s -го вида ГСМ i -й машиной, $кг/ч$; t_{ci} – суточный фонд рабочего времени i -й машины или оборудования; T_i – количество дней работы i -й машины или оборудования в году, дней; $\varepsilon_{эн.сi}$ – энергетический эквивалент s -того вида ГСМ (энергоносителя) i -й машины, $Дж/кг$.

Для расчета энергии E_y , аккумулированной в продукции сельского хозяйства, может быть применено следующее выражение:

$$E_y = E_p F_p \lambda_p [(x_{п.р} - \sum \alpha_p) + \alpha_{p2} \delta_p x_{ж} + \alpha_{p2} \delta_p k_{п} k_{в} + \alpha_{p3} k_{б}], \quad (12)$$

где E_p – приход солнечной радиации на единицу площади пашни, занятых p -й культурой, $МДж/га$; F_p – площадь, занятая p -й культурой, $га$; λ_p – коэффициент фотосинтеза;

$x_{п.р}$ – коэффициент выхода хозяйственно-полезной части урожая p -й культуры; α_p – доля использования урожая p -й культуры для непищевого назначения (α_{p1} – остатки в поле, α_{p2} – корма, α_{p3} – биотопливо и т.п. $\sum (\alpha_{p1} + \alpha_{p2} + \alpha_{p3} + \dots + \alpha_{pn} = 1)$); δ_p – коэффициент конверсии энергии корма из p -х растений в энергию продукции животноводства; $x_{ж}$ – доля потерь продукции животноводства при переработке в пищевую продукцию; $k_{п}$ – коэффициент выхода органических продуктов жизнедеятельности животных; $k_{в}$ – коэффициент выхода энергии биогаза; $k_{б}$ – коэффициент потерь энергии биомассы при производстве биотоплива.

Методика расчета энергетических эквивалентов – сложный, длительный и дорогой процесс, требующий не только скрупулезного подхода, но и доступа к исходной информации сотен предприятий, поскольку необходимо точно знать энергетические затраты на каждый вид сырья и на все этапы передела до конечной продукции. Такая работа доступна только крупным исследовательским коллективам. Поэтому научным учреждениям важно провести серьезную работу по уточнению энергетических эквивалентов и только после этого применять методы энергоэкономической оценки для принятия управленческих решений или использовать их в исследовательских целях.

Выводы

1. Энергоэкономическая оценка дает возможность сопоставить в единых единицах измерения (независимых от исторического периода или государства, сиюминутной рыночной конъюнктуры, волатильности валют) затраты на возделывание растений или производство продукции животноводства с результатами производства и имеет общегосударственное стратегическое значение.

2. На основе энергоэкономической оценки государственные структуры могут разрабатывать экономические ориентиры на внедрение новых энергоэффективных технологий, машин и проектов, в том числе на использование возобновляемых источников энергии.

3. В связи с постоянными технологическими и организационными изменениями и цифровизацией техники и экономики необходимо продолжить исследования по совершенствованию, уточнению и регулярному обновлению энергетических эквивалентов для обеспечения достоверности энергоэкономической оценки.

Библиографический список

1. Pelletier N., Adslie E., Brodt S. et al. Energy intensity of Agriculture and food systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 2011; 36: 223-246. URL: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-081710-161014>.
2. Woods J., Williams A., Hughes J.K. et al. Energy and food systems. *Philosophical transactions of the Royal society B: Biological Sciences*, 2010; 365 (1554): 2991-3006. URL: <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0172>.
3. Pelletier N., Audsley E., Brodt S. et al. Energy intensity of agriculture and food systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 2011; 36: 223-246. DOI:10.1146/annurev-environ-081710-161014.

References

1. Pelletier N., Adslie E., Brodt S. et al. Energy intensity of Agriculture and food systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 2011; 36: 223-246. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-081710-161014>.
2. Woods J., Williams A., Hughes J.K. et al. Energy and food systems. *Philosophical transactions of the Royal society B: Biological Sciences*, 2010; 365 (1554): 2991-3006. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0172>.
3. Pelletier N., Audsley E., Brodt S. et al. Energy intensity of agriculture and food systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 2011; 36: 223-246. DOI: 10.1146/annurev-environ-081710-161014.

4. Овчинников О.Г. Влияние научно-технического прогресса на продовольственную безопасность (на примере развития биоэнергетики в сельском хозяйстве США) // США и Канада: экономика, политика, культура. 2017. № 1. С. 54-74.

5. Широков Ю.А. Анализ возможностей по управлению себестоимостью продукции растениеводства // Аграрная Россия. 2020. № 2. С. 32-39. DOI: 10.30906/1999-5636-2020-2-32-39.

6. Smith L., Williams A., Pearce B. (2015). The energy efficiency of organic agriculture: A review. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 30 (3), 280-301. DOI:10.1017/S1742170513000471.

7. Picková A., Vilhelm V. Aspects of energy intensity of agriculture. *Ekonomika a Management, Prague University of Economics and Business*, 2009 (4). RePEc: prg: jnleam: v: 2009: y:2009: i:4: id:82.

8. Самойлова Н.В. Методика энергоэкономической оценки сельскохозяйственного производства через энергетические эквиваленты стоимости продукции отраслей // Известия ТСХА. 2013. № 6. С. 94-101

9. Qin J., Tao H., Cheng Ch. et al. (2020): Analysis of factors influencing carbon emissions to the energy base. *Xinjiang Autonomous region, China*. P. 1-15. RePEc: gam: jsusta: v:12: y:2020: i:3: p:1089-: d:316066.

10. Базаров Е.И., Широков Ю.А. Управление энергетическим балансом в интегрированной биотехнической системе // Вестник сельскохозяйственной науки. 1986. № 9. С. 101.

11. Pimentel D., Berardi G., Fast S. Energy efficiency of farming systems: organic and traditional agriculture. *Agriculture, ecosystems and environment*, 1983; 9(4): 359-372. URL: [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(83\)90021-X](https://doi.org/10.1016/0167-8809(83)90021-X).

12. Широков Ю.А., Смирнов Г.Н. Технология производства целлюлозо-масляных топливных суспензий // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2015. С. 330-333.

4. Ovchinnikov O.G. Vliyanie nauchno-tekhnicheskogo progressa na prodovol'stvennuyu bezopasnost' (na primere razvitiya bioenergetiki v sel'skom khozyaystve SShA) [Impact of scientific and technological progress on food security (as exemplified by bioenergy development in agriculture in the USA)]. *SShA i Kanada: ekonomika, politika, kul'tura*, 2017; 1: 54-74. (In Rus.)

5. Shirokov Yu.A., Analiz vozmozhnostey po upravleniyu sebestoimost'yu produktsii rasteniyevodstva [Analysis of opportunities for managing the cost of crop production]. *Agranaya Rossiya*, 2020; 2: 32-39. (In Rus.)

6. Smith L., Williams A., Pearce B. (2015). The energy efficiency of organic agriculture: A review. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 30(3), 280-301. DOI: 10.1017/S1742170513000471.

7. Picková A., Vilhelm V. Aspects of energy intensity of agriculture. *Ekonomika a Management, Prague University of Economics and Business*, 2009 (4). RePEc: prg: jnleam: v: 2009: y:2009: i:4: id:82.

8. Samoylova N.V. Metodika energoekonomicheskoy otsenki sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva cherez energeticheskie ekvivalenty stoimosti produktsii otrasley [Method of energy-economic assessment of agricultural production using an energy equivalent of the production cost of industries]. *Izvestiya TSKHA*, 2013; 6: 94-101. (In Rus.)

9. Qin J., Tao H., Cheng Ch. et al. (2020): Analysis of factors influencing carbon emissions to the energy base. *Xinjiang Autonomous region, China*. P. 1-15. RePEc: gam: jsusta: v:12: y:2020: i:3: p:1089-: d:316066.

10. Bazarov E.I., Shirokov Yu.A. Upravlenie energeticheskim balansom v integrirovannoy biotekhnicheskoy sisteme [Energy balance management in an integrated biotechnical system]. *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*, 1986; 9: 101 (In Rus.)

11. Pimentel D., Berardi G., Fast S. Energy efficiency of farming systems: organic and traditional agriculture. *Agriculture, ecosystems and environment*, 1983; 9(4): 359-372. URL: [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(83\)90021-X](https://doi.org/10.1016/0167-8809(83)90021-X).

12. Shirokov Y.A., Smirnov G.N. Tekhnologiya proizvodstva tsellyulozo-maslyanykh toplivnykh suspenziy [Production technology of pulp and fuel oil slurries]. In: *Innovatsionnye napravleniya razvitiya tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva*. Voronezh, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2015: 330-333 (In Rus.)

Критерии авторства

Широков Ю.А. выполнил теоретические исследования, на основании полученных результатов провёл обобщение и подготовил рукопись. Широков Ю.А. имеет на статью авторские права и несёт ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 11.03.2021

Одобрена после рецензирования 02.06.2021

Принята к публикации 03.06.2021

Contribution

Yu.A. Shirokov performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. Yu.A. Shirokov has author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 11.03.2021

Approved after reviewing 02.06.2021

Accepted for publication 03.06.2021