

Научная статья
 УДК 631.371:621.31.0.03
 doi:10.35694/YARCX.2022.59.3.008

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

**В. И. Загинайлов¹, Н. А. Стушкина², О. В. Лештаев³, Е. А. Овсянникова⁴,
 Т. А. Мамедов⁵**

^{1, 2, 3, 4}Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева,
 Москва, Россия

⁵Объединенная электросетевая компания, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Владимир Ильич Загинайлов, energo-viz@mail.ru,
 ORCID 0000-0002-2623-760X

Реферат. Поставленная в работе цель – повышение энергоэффективности производства сельскохозяйственной продукции (СП) на предприятиях АПК – может быть достигнута только при снижении энергоёмкости производства продукции на всех предприятиях страны, производящих продукцию или оказывающих услуги населению, в том числе и на сельскохозяйственных предприятиях (СХП). Предлагается в основу определения энергоёмкости производства СП положить метод расчёта аналогичный методу определения энергоёмкости ВВП страны. Энергоёмкость производства СП в СХП может быть снижена как за счёт внедрения и использования возобновляемых источников энергии и получения энергии из вторичных энергетических ресурсов, экономии и снижения потребления первичной энергии на всех этапах её производства, так и за счёт применения высокоэффективных технологий и системы машин, использования высокоурожайных сортов и высокопродуктивных пород сельскохозяйственных животных и птиц, создания оптимальных условий для жизнедеятельности растений и животных для реализации заложенного в них генетического потенциала и позволяющих повысить количество и качество произведённой и реализуемой СП, а также при создании «умных» сельскохозяйственных предприятий с комплексом взаимосвязанных «умных» полей, ферм и вспомогательных производств, а не с отдельно взятым «умным» полем или «умной» фермой. Только при взаимосвязи технологий основных и вспомогательных производств СХП между собой и учёте внешних связей с другими предприятиями обеспечивается снижение материальных, энергетических и трудовых затрат на производство СП. Это обеспечивает решение основной задачи СХП – получение максимального валового дохода и прибыли при производстве СП. Проведённое определение энергоэффективности производства СП в СХП позволяет вести учёт, планирование и прогнозирование планомерного снижения энергоёмкости на предприятиях АПК и тем самым обеспечить снижение энергоёмкости ВВП страны.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, энергоёмкость, коэффициент полезного действия, валовой доход, сельскохозяйственная продукция, сельскохозяйственное предприятие, «умное» предприятие

ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT OF MANUFACTURING BY AGRICULTURAL ENTERPRISES

**Vladimir I. Zaginaylov¹, Nataliya A. Stushkina², Oleg V. LeshtaeV³,
 Elena A. Ovsyannikova⁴, Timur A. Mamedov⁵**

^{1, 2, 3, 4}Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia

⁵United Electric Grid Company, Moscow, Russia

Author responsible for correspondence: Vladimir Ilyich Zaginaylov,
energo-viz@mail.ru, ORCID 0000-0002-2623-760X

Abstract. The goal set in the work is to increase the energy efficiency of agricultural product (AP) production at agro-industrial enterprises can be achieved only by reducing the energy intensity of manufacturing at all enterprises of the country that produce products or provide services to the population, including agricultural

Повышение энергоэффективности производства продукции сельскохозяйственными предприятиями

enterprises (AE). It is proposed to base the determination of the energy intensity of AP production on a calculation method similar to the method of determining the energy intensity of the country's GDP. The energy intensity of AP production in the AE can be reduced both due to the introduction and use of renewable energy sources and the production of energy from secondary energy resources, saving and reducing the consumption of primary energy at all stages of its production, and due to the use of highly efficient technologies and a system of machines, the use of high-yielding varieties and highly productive breeds of farm animals and poultry, creating optimal conditions for the life of plants and animals for the realization of the genetic potential inherent in them and allowing to increase the quantity and quality of the produced and sold AP, as well as when creating "smart" agricultural enterprises with a complex of interconnected "smart" fields, farms and auxiliary processes, and not with a single "smart" field or "smart" farm. Only if the technologies of the main and auxiliary production of the AE are interconnected and the external relations with other enterprises are taken into account, the material, energy and labor costs for the production of the AP are reduced. This provides a solution to the main task of the CSA – obtaining the maximum gross income and profit in the production of AP. The conducted determination of the energy efficiency of AP production in the AE allows us to record, plan and predict a systematic decrease in energy intensity at agro-industrial complex enterprises and thereby ensure a decrease in the energy intensity of the country's GDP.

Keywords: energy saving, energy efficiency, energy intensity, efficiency, gross income, agricultural products, agricultural enterprise, "smart" enterprise

Введение. Уровень жизни населения любой страны во многом зависит от эффективности использования энергии, определяемой величиной энергоёмкости валового внутреннего продукта (ВВП) [1]:

$$\mathcal{E}_{ВВП} = \frac{W_{ВВП}}{ВВП}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{ВВП}$ – энергоёмкость ВВП, произведённого за год (т у.т./1000 \$); $W_{ВВП}$ – количество энергии, используемой на внутреннее потребление в стране в течение года, т у.т.; ВВП – общая стоимость товаров (продукции), производимых в стране за год, отнесённая к 1000 \$ США. Основными составляющими ВВП являются произведённая продукция и оказанные услуги за год, а также расходы государства на образование, строительство дорог и др.

Энергоёмкость ВВП нашей страны в 2–3 раза больше, чем Японии, США и других ведущих стран мира [1]. Соответственно, повышение энергоэффективности производства продукции является одним из ключевых направлений энергетической стратегии России [2; 3].

В 2008 году был издан Указ Президента РФ «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» [4], в 2009 принят Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» [2], в 2010 году разработана государственная программа по энергосбережению и повышению энергетической эффективности до 2020 года [5]. При выполнении положений Указа и программы энергоёмкость ВВП к 2020 году должна быть снижена на 40% по сравнению с 2007 годом. Однако снижение энергоёмкости ВВП произошло всего на 13,5% [6], и отставание от ведущих стран мира остаётся на прежнем уровне [7].

В 2018 году правительством РФ принят комплексный план мероприятий по повышению энергоэффективности экономики страны до 2030 года [8], в котором намечена амбициозная задача – к 2030 году снизить энергоёмкость ВВП страны на 21% (при поэтапном снижении энергоёмкости ВВП не менее чем до 1,5 процента в год) по сравнению с 2016 годом. Считаем, что достижение поставленной цели возможно только при снижении энергоёмкости производства продукции на всех предприятиях страны, производящих продукцию или оказывающих услуги населению Российской Федерации, в том числе и на сельскохозяйственных предприятиях [9]. Для этого необходимо определить показатель энергоэффективности деятельности и снижение затрат энергии в сельхозпредприятиях (СХП) на производство сельскохозяйственной продукции (СП), в соответствии с которым можно определять и снижение энергоёмкости ВВП страны.

Одним из направлений снижения энергоёмкости производства продукции СХП является механизация и автоматизация процессов, т.е. замена ручного труда на работу машин в технологических операциях и в операциях управления производством. В настоящее время производство сельскохозяйственной продукции на предприятиях АПК является высокомеханизированным и автоматизированным [10], однако из-за:

- возросшего количества управленческих решений, влияющих на экономические показатели предприятия, которые в течение сезона необходимо принимать руководителю СХП в ограниченные промежутки времени (более 40 различных управленческих решений в течение сезона [11]);

- увеличившихся объёмов производства СП, высоких скоростей обработки и переработки про-

дукции, человек (оператор) не в состоянии справиться с потоком получаемой стохастической информации, которую необходимо оперативно обрабатывать, принимать правильные решения и одновременно управлять производственным процессом [12];

– несоблюдения требований современных технологий к обеспечению параметров жизнедеятельности биологических объектов (сельскохозяйственных растений и животных), их генетический потенциал реализуется не полностью, что приводит к высоким материальным и энергетическим затратам и потерям при производстве СП [10]. Так, при максимально возможной урожайности зерновых культур, определяемой биоклиматическим потенциалом в стране, в 13,4 т/га [13], средняя урожайность в 1995 году составила всего 1,5...2 т/га [14]. В последние годы урожайность в стране выросла на 60%, но по-прежнему уступает урожайности в США и Германии в 3–4 раза [11].

Выход из создавшегося положения – это переход к цифровой трансформации экономики страны [15; 16], внедрение «умных» систем производства ВВП, в том числе производства СП. «Умное» производство (англ. Smart Manufacturing) – это комплекс технологий, методов и организационных подходов, который способен обеспечить более высокую продуктивность и качество производимой продукции при быстрой перенастройке технологических процессов производства и одновременном снижении затрат на материалы, энергию и трудовые ресурсы [17].

К настоящему времени в России созданы все предпосылки перехода к цифровизации производства, созданию интеллектуально-информационных систем управления (ИИСУ) предприятиями. Приняты Указы Президента [15; 18; 19], в которых поставлены задачи по стратегическому развитию экономики страны до 2030 года, включая внедрение цифровых технологий и платформенных решений во всех отраслях экономики и социальной сферы, и определён переход к роботизированным комплексам и интеллектуальным системам управления преимущественно на основе отечественных разработок. При этом обращено внимание на:

– создание системы правового регулирования цифровой экономики и комплексной системы финансирования проектов по разработке и (или) внедрению цифровых технологий и платформенных решений при глобальной конкурентоспособной инфраструктуре передачи, обработки и хранения данных и обеспечении их информационной безопасности, гарантирующей защиту интересов личности, бизнеса и государства;

– применение на всех объектах, оказывающих воздействие на окружающую среду, системы

экологического регулирования, основанной на использовании наилучших доступных технологий;

– повышение эффективности процессов планирования, прогнозирования и принятия управленческих решений (включая прогнозирование отказов оборудования и его превентивное техническое обслуживание, оптимизацию планирования поставок, производственных процессов и принятия финансовых решений);

– обеспечение подготовки высококвалифицированных кадров для цифровой экономики.

В соответствии с поставленными задачами, в том числе с целью обеспечения ускоренного внедрения цифровых технологий в социальной сфере, в экономике, включая сельское хозяйство, Правительством РФ скорректирована Национальная программа (проект) «Цифровая экономика Российской Федерации» [20] и утверждено «Стратегическое направление в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года» [16].

Согласно принятым решениям Министерством сельского хозяйства Российской Федерации подготовлен ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство» [21], согласно которому, при стимулировании процессов цифровизации экономики агропромышленного комплекса и подготовке специалистов сельскохозяйственных предприятий в области цифровой экономики, поставлена цель – обеспечить технологический прорыв в АПК и рост производительности труда на «цифровых» сельскохозяйственных предприятиях в 2 раза к 2024 г. посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений.

Для осуществления цифровизации экономики агропромышленного комплекса предлагается создание цикла сквозных цифровых программ [11]: «умное сельскохозяйственное предприятие», «умное поле», «умная ферма», «умная теплица», «умный сад», основанных на современных конкурентоспособных отечественных информационных технологиях.

Цель работы – повышение энергоэффективности производства СП в СХП за счёт перехода к цифровизации его производственных процессов и создания комплекса «умных» производств, обеспечивающих как снижение энергоёмкости производства сельскохозяйственной продукции в СХП и повышение прибыли СХП при реализации произведённой продукции, так и соответствующий вклад в снижение энергоёмкости ВВП страны.

Материалы и методы. Достижение поставленной цели, как уже было отмечено выше, обеспечивается при переходе к цифровым технологиям производства СП [15; 16]: использовании промышленного интернета (*IoT*) и больших данных (*Big*

Data) при сборе и обмене информацией; создании цифровых двойников производств; использовании цифровых нейротехнологий и искусственного интеллекта при анализе, прогнозировании и принятии оперативных решений по оптимальному управлению производством СП и получению более высокой продуктивности и качества производимой продукции, при одновременном снижении затрат на материалы, энергию и трудовые ресурсы [17].

Сельскохозяйственное предприятие является большой и сложной системой, находящейся во взаимосвязи с окружающими системами (с другими организациями и предприятиями, в том числе и конкурентами) и охватывающей основные технологии производства сельскохозяйственной продукции (растениеводства, животноводства) и вспомогательные технологии СХП (производство и приготовление корма, органических удобрений из отходов основных технологий, энергии из вторичных энергетических ресурсов СХП и др.). Поэтому управление СХП должно основываться на системном анализе входных и выходных параметров предприятия и его технологий, изменяющихся во времени и пространстве, которые необходимо постоянно контролировать в условиях неопределённости и изменчивости окружающей среды, обрабатывать, хранить, прогнозировать и осуществлять информационно-интеллектуальные воздействия на информационные, вещественные (материальные), энергетические и финансовые (денежные) потоки для реализации основной задачи СХП – получения максимально возможной прибыли при реализации СП, произведённой при наименьших материальных, энергетических, трудовых и финансовых затратах [22; 23]. При этом контроль и учёт факторов, влияющих на производство СП и управление его параметрами, обеспечивается на взаимосвязанных внешнем и внутреннем уровнях СХП.

На уровне внешних связей СХП с другими предприятиями и организациями обеспечивается подготовка к производству СП с решением задач: юридических и правовых, финансовых и экономических, административно-хозяйственных и социальных (обеспечение производственных процессов техникой, материалами, энергией, трудовыми ресурсами и технологической информацией (проекты, договоры, сметы, технологии и т.д.), реализация СП с наибольшей выгодой, используемой на решение вышеуказанных задач и повышение благосостояния и уровня жизни работников СХП).

На внутреннем уровне управления СХП непосредственно решаются задачи по производству различных видов конкурентоспособной экологически чистой СП, при рациональном использовании приобретённых материалов, техники, энергии и технологической информации трудовым коллек-

тивом посредством создания комплекса «умных» производств: в растениеводстве – «умных» полей, садов, теплиц; в животноводстве – «умных» ферм КРС, свиноводческих комплексов, птицефабрик и т.д. [11], объектом которых является один из видов СП, состоящей из живых биологических объектов с генетической программой воспроизводства и развития, для которых необходимо создать оптимальные условия для жизнедеятельности, и высококачественная, экологически чистая СП данного вида будет получена в прогнозируемых количествах, при минимальных трудовых, материальных и энергетических затратах, за счёт естественного роста и развития биологических объектов [10].

В основу расчёта и определения энергоэффективности производства СП положен метод, аналогичный методу расчёта и определения энергоэффективности ВВП (1). Предлагается расчёт и определение энергоэффективности производства СП осуществлять по энергоёмкости производства продукции [24], т.е. по величине потребления энергии и (или) топлива, расходуемых на основные и вспомогательные технологические процессы изготовления продукции, выполнение работ, оказание услуг на базе заданной технологической системы:

$$\mathcal{E}_{СП} = \frac{W_{СП}}{ВД}, \quad (2)$$

где $\mathcal{E}_{СП}$ – энергоёмкость производства сельскохозяйственной продукции, произведённой предприятием АПК за год, (т у.т./1000 \$); $W_{СП}$ – количество энергии (включая энергию топлив $W_{ЭТ}$, электрическую $W_{ЭЭ}$ и тепловую $W_{ТЭ}$ энергии), потребляемой и используемой на предприятии АПК на производство сельскохозяйственной продукции и оказание услуг в течение года, т у.т.; $ВД$ – валовой доход СХП, величина которого определяется количеством видов и качеством произведённой продукции (предоставленных услуг), реализуемой на рынке в течение года и отнесённой к 1000 \$ США.

В соответствии с (2) снижение $\mathcal{E}_{СП}$ может быть достигнуто как при уменьшении количества энергии, используемой на предприятии АПК на производство сельскохозяйственной продукции и оказание услуг в течение года, так и при увеличении годового валового дохода СХП, т.е. увеличении количества (качества) произведённой и реализованной СП на рынке продовольствия. Снижение энергоёмкости производства продукции на предприятиях страны, соответственно, приведёт к снижению $\mathcal{E}_{ВВП}$.

При снижении $\mathcal{E}_{СП}$ за счёт увеличения годового валового дохода СХП, достигается и решение основной задачи СХП – получение максимально возможной прибыли (Π) от реализации СП, т.к. $\Pi = ВД - И$, при постоянстве или снижении

издержек (И) на производство сельскохозяйственной продукции и оказание услуг населению.

Результаты и обсуждения. Рассмотрим изменение энергоёмкости производства сельскохозяйственной продукции (2) на примере современного коллективного хозяйства, ориентированного на производство продукции растениеводства с высокой урожайностью и животноводства с высокой продуктивностью [23], при цифровизации его производств продукции и создании «умного» предприятия.

В основу системы управления «умным» СХП положим систему контроля, учёта, анализа, планирования (прогнозирования) и управления энергообеспечением и энергосбережением (рис. 1), включая:

- информационно-аналитический центр с информационно-коммутиционной (ИКС) и геоинформационной системами связи (ГИС), предназначенными для контроля и управления потоками информации, определяемыми как параметрами основных и вспомогательных производств СХП, так и изменяющимися условиями окружающей среды, а также включая контроль и управление потоками информации на уровне внешних связей СХП с другими предприятиями и организациями;

- технологии производства продукции растениеводства (ТППР), с системой машин для производства продукции растениеводства (СМР) образуют совокупность «умных» производств продукции растениеводства: «умное» поле, «умная» теплица, «умный» сад и т.д. (количество «умных» производств продукции растениеводства определяется количеством полей, теплиц, садов и других производств продукции растениеводства);

- технологии производства продукции животноводства (ТППЖ), с системой машин для производства продукции животноводства (СМЖ)

образуют совокупность «умных» производств продукции животноводства: «умная» молочно-товарная ферма, «умная» ферма по откорму КРС, «умный» свинокомплекс, «умная» птицеферма и т.д. (количество «умных» производств продукции животноводства определяется количеством ферм, комплексов и других производств продукции животноводства);

- технологии производства продукции во вспомогательных технологических процессах (ТППВ), с системой машин для производства продукции вспомогательных производств (СМВ) образуют совокупность «умных» вспомогательных производств СХП: «умный» кормоцех, «умное» зернохранилище, «умное» производство энергии из вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), «умное» правление СХП и т.д. (количество «умных» вспомогательных производств СХП определяется видом деятельности СХП и целесообразностью создания вспомогательных производств).

В соответствии со схемой движения и распределения основных потоков энергии и продукции сельскохозяйственного предприятия (рис. 1) потребляемая энергия СХП равна:

$$W_{СП} = W_{ЭП} - W_{ВИЭ} - W_{ВЭР} \quad (3)$$

где $W_{ЭП}$ – энергия, закупаемая предприятием (дизельное топливо, бензин, природный газ, уголь), теплота, электроэнергия; $W_{ВИЭ}$ – энергия, которая может быть произведена на предприятии за счёт возобновляемых источников энергии (солнечные, ветро-, гидро-, геотермальные источники энергии); $W_{ВЭР}$ – энергия, которая может быть получена за счёт использования вторичных энергетических ресурсов СХП (биогаз из отходов производства продукции растениеводства и животноводства, биоэтанол из спиртосодержащих

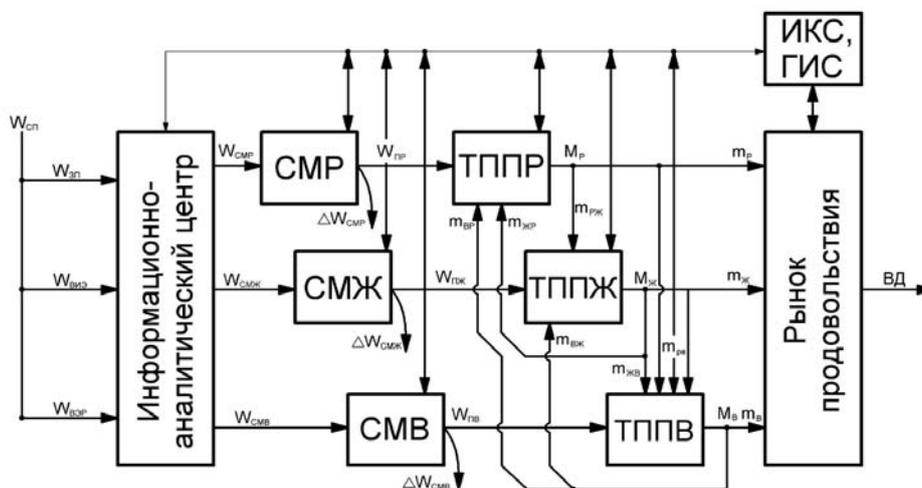


Рисунок 1 – Схема движения и распределения основных потоков энергии и продукции сельскохозяйственного предприятия

сельскохозяйственных культур, биодизель из ма-
слосодержащих сельскохозяйственных культур).

Энергия, потребляемая СХП, использует-
ся СМР, СМЖ и СМВ на оказание регулирующих
воздействий (на рис. 1 не показано) на пара-
метры технологий производства СП (ТПСП) с целью
устранения негативного влияния возмущающих
воздействий окружающей среды (на рис. 1 не по-
казано) на ТПСП и создания оптимальных условий
жизнедеятельности для растений и животных в
основных ТП или для обеспечения заданных па-
раметров функционирования вспомогательных ТП
СХП, т.е. на производство, переработку, хранение
и транспортировку соответствующей СП и исполь-
зуемых при этом материалов (рис. 1).

Энергия, потребляемая СХП и используемая
СМР, СМЖ и СМВ в ТПСП, определяется по выра-
жению:

$$W_{СП} = W_{СМР} + W_{СМЖ} + W_{СМВ} \quad (4)$$

где $W_{СМР}$ – энергия, используемая на произ-
водство, обработку, переработку, хранение и
транспортировку продукции растениеводства; $W_{СМЖ}$
– энергия, используемая на уход за животными,
производство, обработку, переработку, хране-
ние и транспортировку продукции животноводст-
ва; $W_{СМВ}$ – энергия, используемая на проведение
вспомогательных технологических процессов на
предприятии, в том числе на собственные нужды
предприятия, т.е. использование энергии на ТП,
например, на: производство энергии из ВЭР или
с использованием возобновляемых источников
энергии (ВИЭ), приготовление кормов для живот-
ных, проведение работ по ремонту техники, ока-
зание услуг населению или другим предприятиям,
отопление и освещение административных зда-
ний, топливо для служебных автомобилей и т. д.

В основу оценки энергоэффективности ис-
пользования топливно-энергетических ресурсов
(ТЭР) сельскохозяйственным предприятием по-
ложена её оценка по энергоёмкости производст-
ва продукции (2) и контроль и учёт полезно ис-
пользуемой энергии на проведение ТППР, ТППЖ
и ТППВ:

$$W_{ПИ} = W_{ПР} + W_{ПЖ} + W_{ПВ} \quad (5)$$

где $W_{ПР}$ – полезно используемая энергия на об-
работку и подготовку почвы к посеву, посев, уход
за посевами, уборку и транспортировку урожая;
 $W_{ПЖ}$ – полезно используемая энергия на производ-
ство, подработку и транспортировку продукции
животноводства; $W_{ПВ}$ – полезно используемая энер-
гия на проведение вспомогательных технологиче-
ских процессов СХП на обработку, переработку и
хранение продукции растениеводства, животно-

водства и вспомогательных производств, их тран-
спортировку и др.

Оценку энергоэффективности использования
ТЭР СМ проведём в соответствии с ГОСТ 31607-
2012 [24]:

– по средневзвешенному коэффициенту по-
лезного действия (КПД) системы машин, исполь-
зуемых на предприятии:

$$\eta_{СМ} = \frac{W_{ПИ}}{W_{СП}}; \quad (6)$$

– по потерям энергии в системе машин пред-
приятия:

$$\Delta W_{СМ} = W_{СП} - W_{ПИ} = \Delta W_{СМР} + \Delta W_{СМЖ} + \Delta W_{СМВ}, \quad (7)$$

где $\Delta W_{СМР}$, $\Delta W_{СМЖ}$, $\Delta W_{СМВ}$ – соответственно потери
энергии в системах машин растениеводства, жи-
вотноводства и для производства продукции вспо-
могательных производств.

Параметры энергоэффективности использова-
ния ТЭР (2)–(7), при производстве СП в СХП, взаи-
мосвязаны между собой, так, определяя $W_{СП}$ из (6)
и подставляя в (2), получаем:

$$\mathcal{E}_{СП} = \frac{W_{ПИ}}{\eta_{СМ} \cdot ВД}. \quad (8)$$

Следовательно, при производстве СП, для
снижения $\mathcal{E}_{СП}$, необходимо использовать энергос-
берегающие ТПСП с малым потреблением полезно
используемой энергии и высокоэффективные СМ с
высоким КПД, что также обеспечивает снижение
потерь энергии в СМ:

$$\Delta W_{СМ} = W_{СП} \cdot (1 - \eta_{СМ}). \quad (9)$$

Уравнение (9) получено при преобразовании
выражения (7) после подстановки в него $W_{ПИ}$ опре-
делённой по выражению (6).

Для определения энергоэффективности ТПСП,
согласно (2) или (8), необходимо знать величину
ВД СХП, которая определяется движением матери-
альных потоков на предприятии, исходя из произ-
водства продукции:

– растениеводства в ТППР:

$$M_P = m_P + m_{PP} + m_{PJ} + m_{PB};$$

– животноводства в ТППЖ:

$$M_J = m_J + m_{JJ} + m_{JP} + m_{JB};$$

– вспомогательных производств в ТППВ:

$$M_B = m_B + m_{BB} + m_{BP} + m_{BJ};$$

где $m_{СП} = m_P + m_J + m_B$ – количество (масса)

продукции СХП, соответственно, равная количеству (массе) продукции растениеводства, животноводства и вспомогательных производств предприятия, произведённой и реализованной на рынке продовольствия; $m_{PP}, m_{ЖП}, m_{BP}$ – соответственно количество (масса) произведённой продукции растениеводства, животноводства и вспомогательных производств предприятия, включая отходы производств, используемое в качестве органического удобрения полей (почвы); $m_{РЖ}, m_{ЖЖ}, m_{ВЖ}$ – соответственно количество (масса) произведённой продукции растениеводства, животноводства и вспомогательных производств предприятия, включая отходы производства, на корм животным; $m_{PB}, m_{ЖB}, m_{BB}$ – соответственно количество (масса) произведённой продукции растениеводства, животноводства и вспомогательных производств предприятия, включая отходы производства, используемое на производство кормов, органических удобрений, вторичной энергии (топлива, электрической или тепловой энергии) и т.д. в ТППВ.

Количество (масса) произведённой СП (растениеводства, животноводства и вспомогательных производств предприятия) и реализованной на рынке продовольствия определяет величину ВД СХП:

$$ВД = \sum_{i=1, j=1}^{n, m} m_{СПij} \cdot C_{СПij} \quad (10)$$

где $m_{СПij}$ – количество (масса) произведённой i -й СП j -го качества в СХП для реализации; $C_{СПij}$ – цена i -й СП j -го качества, реализованной на рынке продовольствия.

Материальные потоки на предприятии во многом определяются кругооборотом питательных веществ (ПВ): почва – растения – животные. Растениям нужны ПВ, которые они поглощают из почвы: животным – корма, выращиваемые на полях предприятия; ПВ в почве возмещаются внесением на поля органических и минеральных удобрений. Чем выше урожайность, тем больше вынос ПВ из почвы, которые должны быть возмещены за счёт внесения в неё минеральных удобрений.

В соответствии с выражениями, аналогичными (2)–(10), можно рассчитать параметры энергоэффективности и энергосбережения, определяющие энергоэффективность и энергосбережение основных и вспомогательных технологий производства СП, «умных» производств СХП, а также технологических операций по производству СП; машин и оборудования, образующих СМ предприятия. Для этого необходим контроль и учёт параметров потоков энергии и материалов, как поступающих, так и распределяемых на предприятии между основными и вспомогательными технологическими процессами, вплоть до контроля и учёта энергопотребления и потерь энергии отдельно взятой

энергоустановкой при выполнении заданной технологической операции.

Выводы. Повышение энергоэффективности производства продукции на сельскохозяйственном предприятии и решение основной задачи СХП (получение максимальной прибыли СХП при минимальной энергоёмкости производства СП) достигается при переходе к цифровизации сельскохозяйственного производства и внедрении «умных» производств СП: полей, ферм и т.д.

Для производства СП должны создаваться «умные» сельскохозяйственные предприятия с комплексом взаимосвязанных «умных» полей, ферм и вспомогательных производств, а не с отдельно взятым «умным» полем или «умной» фермой, так как только при взаимосвязи ТПС основных и вспомогательных производств между собой и учёте внешних связей с другими предприятиями обеспечивается снижение материальных, энергетических и трудовых затрат на производство сельскохозяйственной продукции.

В основу создания «умного» сельскохозяйственного предприятия необходимо положить ИИУС энергообеспечением и энергосбережением, так как при этом определяются не только пути снижения энергоёмкости и повышения энергоэффективности производства СП, но и решается основная задача СХП – получение максимальной прибыли при минимальных затратах энергии, труда и материалов.

Энергоёмкость производства сельскохозяйственной продукции на предприятии может быть снижена как за счёт внедрения и использования ВИЭ и получения энергии из ВЭР, экономии и снижения потребления первичной энергии на всех этапах её производства, передачи и потребления, так и за счёт:

- выбора и применения высокоэффективных технологий с минимальными затратами полезной энергии на производство, переработку, хранение и транспортировку сельскохозяйственной продукции;

- производства высокоурожайных сортов, гибридов сельскохозяйственных культур и высокопродуктивных пород сельскохозяйственных животных и птиц;

- увеличения количества и качества произведённой и реализуемой сельскохозяйственной продукции.

Кроме того, надо помнить, сельскохозяйственные технологии отличаются от промышленных тем, что производимая СП является живой и самовоспроизводится с высоким качеством и экологически чистой с минимальными вещественными и энергетическими затратами, и повышение энергоэффективности производства СП можно достичь при создании оптимальных условий для жизнеде-

тельности биологических объектов и реализации ими заложенного в них генетического потенциала.

Проведённое определение энергоэффективности производства СП в СХП позволяет опреде-

лить величину энергоёмкости производства СП и вести учёт, планирование и прогнозирование планомерного снижения энергоёмкости на предприятиях АПК, и тем самым обеспечивать снижение энергоёмкости ВВП страны.

Список источников

1. Фортов В. Е., Попель О. С. Энергетика в современном мире : монография. М. : Издательский дом «Интеллект», 2011. 167 с. ISBN 978-5-91559-095-2.

2. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ (с изменениями на 11 июня 2021 года). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902186281> (дата обращения: 25.11.2021).

3. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 г. № 1715-р // Прил. к обществ.-дел. журн. «Энергетическая политика». М. : ГУ ИЭС, 2010. 184 с.

4. Указ Президента Российской Федерации от 4 июня 2008 г. № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики». URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/27565/print> (дата обращения: 25.11.2021).

5. Государственная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года». Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации № 2446-р от 27.12.2010, с подпрограммой «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в сельском хозяйстве». URL: <https://rg.ru/documents/2011/01/25/energoberejenie-site-dok.html> (дата обращения: 25.11.2021).

6. Романовская А. А. Доклад «Россия и Парижское соглашение по климату» // Зелёный курс России: перезагрузка экономики : онлайн-конференция (17 ноября 2020 г.). URL: <https://greenpeace.russia.timepad.ru/event/1477228/> (дата обращения: 20.11.2020).

7. Государственный доклад «О состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации». М. : Мин. экономического развития, 2020. 117 с.

8. Комплексный план мероприятий по повышению энергетической эффективности экономики Российской Федерации. Утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 19.04.2018 г. № 703-р. URL: https://base.garant.ru/71930276/#block_1000 (дата обращения: 25.11.2021).

9. Загинайлов В. И., Ещин А. В., Стушкина Н. А. Снижение энергоёмкости производства продукции // Сельский механизатор. 2016. № 2. С. 27–28. ISSN 0131-7393.

10. Загинайлов В. И. Электрофизические методы и средства контроля и управления сельскохозяйственными технологиями : дис. ... д-ра техн. наук по специальности 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве / ФГОУ ВПО МГАУ. М., 2007. 294 с.

11. Лачуга Ю. Ф. Особенности автоматизации производства сельскохозяйственной продукции на современном этапе // Автоматизация сельскохозяйственного производства : сб. докладов междунар. науч.-технич. конф. (г. Москва, 29–30 сентября 2004 г.). М. : Изд-во Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 2004. С. 3–14.

12. Гордеев А. В., Клещенко А. Д., Черняков Б. А. [и др.] Биоклиматический потенциал России: теория и практика : монография. М. : ООО «Товарищество научных изданий КМК», 2006. 512 с. ISBN 5-87317-304-4.

13. Ладонин В. Ф., Цимбалит Н. И. Методические принципы изучения эффективности комплексного применения удобрений и пестицидов в агрохимических экспериментах // Совершенствование методологии агрохимических исследований : материалы науч. конф. (г. Белгород, 19–21 сентября 1995 г.). М. : МГУ Издательский дом, 1997. С. 187–192.

14. Концепция «Научно-технологического развития цифрового сельского хозяйства «Цифровое сельское хозяйство». 2018. 50 с. URL: <http://www.viapi.ru/download/2018/.pdf> (дата обращения: 20.01.2022).

15. Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45726> (дата обращения: 25.11.2021).

16. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 3971-р от 29.12.2021 г. «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйст-

венного комплексов РФ на период до 2030 года». URL: <https://bazanpa.ru/pravitelstvo-rf-rasporiazhenie-n3971-r-ot29122021-h5447066/> (дата обращения: 20.01.2022).

17. Бахтадзе Н. Н., Потоцкий В. А. Современные методы управления производственными процессами // Проблемы управления. 2009. № 3 S1. С. 56–63. ISSN 1819-3161.

18. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027> (дата обращения: 20.11.2020).

19. Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731> (дата обращения: 20.12.2021).

20. Постановление Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации от 18 ноября 2020 года № 493-СФ «О ходе реализации национального проекта «Цифровая экономика Российской Федерации». URL: <http://council.gov.ru/activity/documents/121565/> (дата обращения: 20.12.2021).

21. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство»: официальное издание / А. В. Гордеев, Д. Н. Патрушев, И. В. Лебедев [и др.]. М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 48 с. ISBN 978-5-7367-1494-0.

22. Пенкин А. А. Экономика предприятий: методические указания для практических занятий. Кинель : РИЦ СГСХА, 2015. 63 с.

23. Зотов В. П., Грязнова Н. Л. Формы организации хозяйств в аграрном секторе экономики // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 4 (27). С. 185А–190. ISSN 2074-9414.

24. ГОСТ 31607-2012. Межгосударственный стандарт. Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения. Дата введения 2015-01-01. М. : Стандартинформ, 2019. 19 с.

References

1. Fortov V. E., Popel' O. S. Jenergetika v sovremennom mire : monografija. M. : Izdatel'skij dom «Intellect», 2011. 167 s. ISBN 978-5-91559-095-2.

2. Ob jenergosberezhenii i o povyshenii jenergeticheskoy jeffektivnosti i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii : feder. zakon Rossijskoj Federacii ot 23 nojabrja 2009 g. № 261-FZ (s izmenenijami na 11 ijunja 2021 goda). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902186281> (data obrashhenija: 25.11.2021).

3. Jenergeticheskaja strategija Rossii na period do 2030 goda. Utverzhdena rasporjazheniem Pravitel'stva RF ot 13.11.2009 g. № 1715-r // Pril. k obshhestv.-del. zhurn. «Jenergeticheskaja politika». M. : GU IJeS, 2010. 184 s.

4. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 4 ijunja 2008 g. № 889 «O nekotoryh merah po povysheniju jenergeticheskoy i jekologicheskoy jeffektivnosti rossijskoj jekonomiki». URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/27565/print> (data obrashhenija: 25.11.2021).

5. Gosudarstvennaja programma «Jenergosberezhenie i povyshenie jenergeticheskoy jeffektivnosti na period do 2020 goda». Utverzhdena rasporjazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii № 2446-r ot 27.12.2010, s podprogrammoj «Jenergosberezhenie i povyshenie jenergeticheskoy jeffektivnosti v sel'skom hozjajstve». URL: <https://rg.ru/documents/2011/01/25/energoberezhenie-site-dok.html> (data obrashhenija: 25.11.2021).

6. Romanovskaya A. A. Doklad «Rossija i Parizhskoe soglasenie po klimatu» // Zeljonyj kurs Rossii: perezagruzka jekonomiki : onlajn-konferencija (17 nojabrja 2020 g.). URL: <https://greenpeace.russia.timepad.ru/event/1477228/> (data obrashhenija: 20.11.2020).

7. Gosudarstvennyj doklad «O sostojanii jenergosberezhenija i povyshenii jenergeticheskoy jeffektivnosti v Rossijskoj Federacii». M. : Min. jekonomicheskogo razvitija, 2020. 117 s.

8. Kompleksnyj plan meroprijatij po povysheniju jenergeticheskoy jeffektivnosti jekonomiki Rossijskoj Federacii. Utverzhden rasporjazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 19.04.2018 g. № 703-r. URL: https://base.garant.ru/71930276/#block_1000 (data obrashhenija: 25.11.2021).

9. Zaginajlov V. I., Eshchin A. V., Stushkina N. A. Snizhenie jenergoemkosti proizvodstva produkcii // Sel'skij mehanizator. 2016. № 2. S. 27–28. ISSN 0131-7393.

10. Zaginajlov V. I. Jelektrofizicheskie metody i sredstva kontrolja i upravlenija sel'skohozjajstvennymi tehnologijami : dis. ... d-ra tehn. nauk po special'nosti 05.20.02 – Jelektrotehnologii i jelektrooborudovanie v sel'skom hozjajstve / FGOU VPO MGAU. M., 2007. 294 s.

11. Lachuga Yu. F. Osobennosti avtomatizacii proizvodstva sel'skohozjajstvennoj produkcii na sovremennom jetape // Avtomatizacija sel'skohozjajstvennogo proizvodstva : sb. dokladov mezhdunar. nauch.-tehnič. konf.

(г. Москва, 29–30 сентябрja 2004 г.). М. : Изд-во Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut mehanizacii sel'skogo hozjajstva, 2004. S. 3–14.

12. Gordeev A. V., Kleshchenko A. D., Chernyakov B. A. [i dr.] Bioklimaticheskij potencial Rossii: teorija i praktika : monografija. М. : ООО «Tovarishhestvo nauchnyh izdanij KMK», 2006. 512 s. ISBN 5-87317-304-4.

13. Ladonin V. F., Tsimbalist N. I. Metodicheskie principy izuchenija jeffektivnosti kompleksnogo primenenija udobrenij i pesticidov v agrohimičeskikh jeksperimentah // Sovershenstvovanie metodologii agrohimičeskikh issledovanij : materialy nauch. konf. (g. Belgorod, 19–21 sentyabrja 1995 g.). М. : MGU Izdatel'skij dom, 1997. S. 187–192.

14. Koncepcija «Nauchno-tehnologičeskogo razvitija cifrovogo sel'skogo hozjajstva «Cifrovoe sel'skoe hozjajstvo». 2018. 50 s. URL: <http://www.viapi.ru/download/2018/.pdf>. (data obrashhenija: 20.01.2022).

15. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 21.07.2020 g. № 474 «O nacional'nyh celjah razvitija Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45726> (data obrashhenija: 25.11.2021).

16. Rasporjazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii № 3971-r ot 29.12.2021 g. «Ob utverzhenii strategičeskogo napravlenija v oblasti cifrovoj transformacii otraslej agropromyšlennogo i rybohozjajstvennogo kompleksov RF na period do 2030 goda». URL: <https://bazanpa.ru/pravitelstvo-rf-rasporiazhenie-n3971-r-ot29122021-h5447066/> (data obrashhenija: 20.01.2022).

17. Bakhtadze N. N., Pototskij V. A. Sovremennye metody upravlenija proizvodstvennymi processami // Problemy upravlenija. 2009. № 3 S1. S. 56–63. ISSN 1819-3161.

18. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 07.05.2018 g. № 204 «O nacional'nyh celjah i strategičeskikh zadachah razvitija Rossijskoj Federacii na period do 2024 goda». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43027> (data obrashhenija: 20.11.2020).

19. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 10.10.2019 g. № 490 «O razvitii iskusstvennogo intellekta v Rossijskoj Federacii». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731> (data obrashhenija: 20.12.2021).

20. Postanovlenie Soveta Federacii Federal'nogo Sobranija Rossijskoj Federacii ot 18 nojabrja 2020 goda № 493-SF «O hode realizacii nacional'nogo proekta «Cifrovaja jekonomika Rossijskoj Federacii». URL: <http://council.gov.ru/activity/documents/121565/> (data obrashhenija: 20.12.2021).

21. Vedomstvennyj proekt «Cifrovoe sel'skoe hozjajstvo»: oficial'noe izdanie / A. V. Gordeev, D. N. Patrushev, I. V. Lebedev [i dr.]. М. : FGBNU «Rosinformagroteh», 2019. 48 s. ISBN 978-5-7367-1494-0.

22. Penkin A. A. Jekonomika predpriyatij: metodicheskie ukazanija dlja praktičeskikh zanjatij. Kinel' : RIC SGSHA, 2015. 63 s.

23. Zotov V. P., Gryaznova N. L. Formy organizacii hozjajstv v agrarnom sektore jekonomiki // Tehnika i tehnologija pishhevyh proizvodstv. 2012. № 4 (27). S. 185A–190. ISSN 2074-9414.

24. GOST 31607-2012. Mezhhgosudarstvennyj standart. Jenergoberezenie. Normativno-metodičeskoe obespečenie. Osnovnye položenija. Data vvedenija 2015-01-01. М. : Standartinform, 2019. 19 s.

Сведения об авторах

Владимир Ильич Загинайлов – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электроснабжения и электротехники имени академика И. А. Будзко, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», spin-код: 5230-0756.

Наталья Алексеевна Стушкина – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электроснабжения и электротехники имени академика И. А. Будзко, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», spin-код: 4764-1119, natastushkina@gmail.com, ORCID 0000-0001-9615-3340.

Олег Валерьевич Лештаев – старший преподаватель кафедры электроснабжения и электротехники имени академика И. А. Будзко, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», spin-код: 1803-2881, oleg-leshtaev@yandex.ru, ORCID 0000-0001-6066-1087.

Елена Александровна Овсянникова – старший преподаватель кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородин, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», spin-код: 8062-2931, energo-ovs@mail.ru, ORCID 0000-0003-1169-7687.

Тимур Азерович Мамедов – советник генерального директора, Общество с ограниченной ответственностью «Объединенная электросетевая компания», mta020593@mail.ru, ORCID 0000-0002-4914-0149.

Information about the authors

Vladimir I. Zaginaylov – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Power Supply and Electrical Engineering named after Academician I. A. Budzko, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian Timiryazev State Agrarian University”, spin-code: 5230-0756.

Natalya A. Stushkina – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Power Supply and Electrical Engineering named after Academician I. A. Budzko, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian Timiryazev State Agrarian University”, spin-code: 4764-1119, natastushkina@gmail.com, ORCID 0000-0001-9615-3340.

Oleg V. Leshtaev – Senior Lecturer of the Department of Power Supply and Electrical Engineering named after Academician I. A. Budzko, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian Timiryazev State Agrarian University”, spin-code: 1803-2881, oleg-leshtaev@yandex.ru, ORCID 0000-0001-6066-1087.

Elena A. Ovsyannikova – Senior Lecturer of the Department of Automation and Robotization of Technological Processes named after Academician I. F. Borodin, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian Timiryazev State Agrarian University”, spin-code: 8062-2931, energo-ovs@mail.ru, ORCID 0000-0003-1169-7687.

Timur A. Mamedov – Advisor to the General Director, United Electric Grid Company LLC, mta020593@mail.ru, ORCID 0000-0002-4914-0149.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.