

УДК 004.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УДАЛЕННЫХ АГРАРНЫХ ХОЗЯЙСТВ

Борисоглебская Лариса Николаевна

д. э. н., к.т.н., профессор, проректор по научной и проектно-инновационной деятельности,

e-mail: boris-gleb@rambler.ru

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева,

302026 г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95.

Сергеев Сергей Михайлович

к.т.н., старший научный сотрудник, доцент

e-mail: sergeev2@yandex.ru

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева,

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

195251 г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

Лебедева Яна Олеговна

к.э.н., докторант, начальник отделения проектно-инновационной деятельности

e-mail: yana-lebedeva@bk.ru

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева,

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

190005 г. Санкт-Петербург, ул. Красноармейская 1-я, д. 13

Аннотация. В статье изложены результаты исследований в рамках выполнения стратегических направлений деятельности Инжинирингового центра технологий цифровой среды для обеспечения комплексной безопасности телекоммуникации, средств связи и энергоэффективности Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева. Рассмотрен актуальный для аграрного сектора вопрос функционирования периферийных сельскохозяйственных объектов в условиях ограниченных энергоресурсов. Предложен научный подход с использованием математического моделирования.

Ключевые слова: энергия, эффективность, аграрное хозяйство, математическая модель, оптимизация.

Цитирование: Борисоглебская Л. Н., Сергеев С. М., Лебедева Я. О. Моделирование проблемы энергоэффективности удаленных аграрных хозяйств // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 2 (22). С. 32-38. DOI:10.38028/ESI.2021.22.2.003

Введение. При формировании области деятельности Инжинирингового центра, созданного на базе ОГУ им. И.С. Тургенева, принимались во внимание цели и задачи, поставленные в ряде документов стратегического характера, включая Национальную программу «Цифровая экономика Российской Федерации» [1] и Национальный доклад о результатах реализации в 2018 году Госпрограммы развития сельского хозяйства [2]. Данные документы подтверждают, что решение стратегических задач программы развития сельского хозяйства [3] требует применения научно-обоснованных методик. Цифровизация позволяет решить одну из самых сложных проблем их внедрения. В концепции цифровой экономики поток данных о состоянии управляемой системы поступает в режиме реального времени, что позволит использовать их в качестве аргументов математической модели. Такая возможность оперировать с данными [4], является ключевым аргументом при внедрении математических оптимизационных моделей. Такая концепция позволит полнее реализовать потенциал периферийных и удаленных агропромышленных хозяйств, что является принципиально важным с учетом масштабов нашей страны. Если, начиная с 2015 года, усилия

производителей имели вектор импортозамещения, то сейчас на первый план выходят оптимизация затрат и повышении экономической эффективности, что позитивно скажется не только на показателях товаропроизводителей, но и на наполнении потребительской корзины отечественной конкурентоспособной сельхозпродукцией по доступным ценам.

1. Область исследования. Обзор современного состояния и методик передовых производителей агропромышленной продукции в ближайших по климатическим условиям странах Европы показывает, что использование цифровизации снижает долю энергозатрат в среднем до 7,2% от конечной цены продукта компьютеризированных систем [5]. В аналогичной продукции Российских предприятий доля энергозатрат в их стоимости достигает величины 21%. Это наглядно демонстрирует значительный потенциал данного направления исследований. Кроме того, согласно этим данным, увеличение производства сельскохозяйственной продукции на один процент вынужденно повышает общие необходимые энергозатраты на 2,4...3,1%. В пересчете на условное топливо это равно 250-280 кг на один гектар пахотных земель в России, в то время как применение компьютеризированных систем в странах Европейского союза позволяет снизить этот показатель до 140-180 кг условного топлива.

2. Постановка задачи. В ходе проведения совместной работы исследователей Инжинирингового центра технологий цифровой среды для обеспечения комплексной безопасности телекоммуникации, средств связи и энергоэффективности Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева (ИЦ ТЦС) с предприятиями Орловской области была поставлена задача разработки программных решений для ЭВМ [6]. В их основу должны быть положены разработанные алгоритмы управления, ориентированные на применение в удаленных аграрных хозяйствах Орловской и Воронежской областей. Необходимо отметить, что к такому виду объектов можно отнести подавляющее большинство животноводческих и растениеводческих предприятий по всей территории Российской Федерации.

3. Математическое моделирование. Для математического моделирования формализуем показатели производственных и природных ресурсов [7]. Эти показатели взаимно увязаны, так как при повышении производственной нагрузки снижаются показатели качества природных ресурсов такие, как плодородие почв, урожайность, состояние пастбищных угодий. Задача состоит в оптимизации потребления энергоресурсов при условии ограниченности наличных природных возможностей к воспроизводству.

Введем число n предприятий, размещенных в зоне земледелия, включая животноводство. Интенсивность потребления R^{SUM} природных возможностей воспроизводимых ресурсов обозначим r_i , для $i=1...n$. Это можно свести в общий вектор $\bar{R} = (r_1, r_2, \dots, r_n)$ [8].

Тогда определим $R^{SUM} = \sum_{i=1}^n r_i$. Определим показатель экономической выгоды $\gamma(r_i)$ и значение переменных расходов V . Практика показывает, что, начиная с объема суммарной нагрузки, равного R^{MAX} , отдача природного ресурса снижается по причинам насыщения его возможностей, а также участия других пользователей. Таким образом, начиная с $R^{SUM} > R^{MAX}$, для первой производной выполняется $\gamma'(r_i) < 0$. Поскольку деятельность n аграрных предприятий в зоне одного ограниченного природного ресурса несет негативную компоненту, имеем также выполнение условия $\gamma''(r_i) < 0$. Для каждого i -го из n потребителей коммерческая выгода равна: $Q_i = r_i \gamma(r_1 + r_2 + \dots + r_n) - V r_i = r_i \gamma(R^{SUM}) - V r_i$. Если подойти с точки зрения математической теории игр [9], то при равновесии по Нэшу найдется

интенсивность нагрузки i -го предприятия r_i^* дающее максимально возможное значение Q_i для $i=1...n$ при остальных составляющих вектора нагрузки \bar{R} для $\bar{R}_i^*(r_1^*, r_2^*, \dots, r_{i-1}^*, r_{i+1}^*, \dots, r_n^*)$.

Приравняв нулю частные производные $\frac{\partial Q_i}{\partial r_i} = 0$, для всех $i=1...n$, введя значение $r_{-i}^* = \sum_{k \neq i} r_k^*$,

в итоге имеем: $\gamma(r_i + r_{-i}^*) + r_i \gamma'(r_i + r_{-i}^*) - V = 0$, при всех $i=1...n$. Если просуммировать в

равновесных условиях R^* [10], рассчитаем: $R^* = n \frac{V - \gamma(R^*)}{\gamma'(R^*)}$. Проведя такой расчет [11] для

поиска оптимального [12] использования R_0 природного ресурса всеми участниками

сельскохозяйственной деятельности, то получим другое выражение: $R_0 = \frac{V - \gamma(R_0)}{\gamma'(R_0)}$. Так как

при этом выполнены условия $\gamma''(r_i) < 0$ и $n \gg 1$, то следует, что $R^* > R_0$

На практике это можно представить как, например, выращивание кормовых культур на ограниченных площадях удаленной животноводческой фермой или, применительно к аналогичной сельскохозяйственной деятельности, в условиях использования ограниченного природного ресурса. После расчета можно определить оптимальную нагрузку на ресурс и потребляемые энергоресурсы исходя из условия достижения максимума планируемой прибыли [13].

4. Практическое применение. Результаты изложенных исследований ИЦ ТЦС были использованы в рамках совместного проекта с Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого. Такой выбор был основан на значительных достижениях в освоении современных методик энергосберегающих способов ведения сельского хозяйства в Ленинградской области с посевными площадями 230 тыс. га. Результаты расчетов, выполненных с применением данных, предоставленных отчетностью двух опытных хозяйств агропрома Орловской области и трех хозяйств Воронежской области, показаны в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение исходных и расчетных данных о потреблении энергоресурсов.

Наименование	Вид	Прежнее значение	После применения методики	% экономии / прироста
Потребляемые энергоресурсы	Твердое топливо (т)	204	198	2,9%
	Автомобильные ГСМ (т)	1060	980	7,55%
	Электрическая энергия (МВт)	170	155	8,8%
	Хладагенты и технические жидкости (т)	21	20,5	2,4%
	Газ (т. М ³)	14	13,6	2,8%
	Вода (т.л.)	7290	7400	-1,5%
Показатели	Урожайность (т.)	1340	1390	3,7%
	Численность работников	880	855	-2,8%

Для России в целом, в перспективе, набор показателей, аналогичный приведенным выше в таблице 1, должен выглядеть существенно лучше, а экономический эффект гораздо

выше, по причине того, что процессы внедрения инноваций в отечественном АПК только начинаются и в наличии огромный потенциал энергосбережения [14].

Заключение. В современной России основная масса сельскохозяйственной продукции реализуется через коммерческие сети. Их сегмент в общей торговле превышает 80%. Одним из важных драйверов внедрения современных методов ведения аграрного бизнеса стало развитие концепции Private Label. Это означает глубокую аффилиацию сельскохозяйственных предприятий в состав торговых сетей. Достижения цифровизации в первую очередь внедрялись у крупных игроков этого вида коммерции. Во всех работающих на территории России коммерческих сетях широко применяются современные программные решения для управления процессами и системы поддержки управленческих решений. Предлагаемая в работе методика повышения энергоэффективности удаленных аграрных хозяйств может быть встроена в качестве одного из дополнительных программных модулей в подсистему Private Label общей системы планирования деятельности коммерческой сети. Именно такое взаимодействие позволит применить научные методы организации агробизнеса, адаптировать их в состав хорошо налаженного программного обеспечения управления сетевой коммерцией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паспорт национального проекта Национальная программа "Цифровая экономика Российской Федерации" (утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7). Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>
2. Национальный доклад о ходе и результатах реализации в 2018 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы (утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 июня 2019 года №1352-р). Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>
3. Sergeev S.M., Sidnenko T.I., Sidnenko D.B. Distribution centers for agriculture, their modeling // International Scientific School. Paradigma Summer-2016 Selected Papers. Yelm. WA. USA. 2016. С. 92-97.
4. Piashenko O., Sergeev S., Krasnov S. Calculation of high-rise construction limitations for non-resident housing fund in megacities // В сборнике: E3S Web of Conferences. 2018. С. 03006.
5. Сергеев С.М. Решение задачи сетевого взаимодействия при учете ресурсных ограничений // Экономика и менеджмент систем управления. 2016. Т. 20. № 2-2. С. 291-297.
6. Борисоглебская Л.Н., Сергеев С.М. Кросс-функциональное моделирование процессов взаимодействия коммерческих сетей // Инновации. 2016. № 11 (217). С. 111-116.
7. Sergeev S.M. Expansion of DEA methodology on the multimodal conception for the 3PL // В сборнике: Modern informatization problems in simulation and social technologies Proceedings of the XXIII-th International Open Science Conference. Editor in Chief O.Ja. Kravets. 2018. С. 169-176.
8. Borisoglebskaya L.N., Provotorov V.V., Sergeev S.M., Kosinov E.S. Mathematical aspects of optimal control of transference processes in spatial networks // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering International Workshop "Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering. MIP: Engineering – 2019".

- Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2019. С. 42025.
9. Sergeev S., Kirillova T., Krasnyuk, I. Modelling of sustainable development of megacities under limited resources // В сборнике: E3S Web of Conferences. 2018 Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics. TPACEE 2018. 2019. С. 05007
 10. Provotorov V.V., Sergeev S.M., Part A.A. Solvability of hyperbolic systems with distributed parameters on the graph in the weak formulation // Vestnik of Saint Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes. 2019. Т. 15. № 1. С. 107-117.
 11. Krasnov S., Sergeev S., Titov A., Zotova Y. Modelling of digital communication surfaces for products and services promotion // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019. С. 012032.
 12. L. N. Borisoglebskaya, E. N. Provotorova, S. M. Sergeev. Promotion based on digital interaction algorithm//International Scientific Workshop "Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering". MIP: Engineering-2019. 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 537 042032.
 13. Krasnov, S., Zotova, E., Sergeev, S., Krasnov, A., Draganov, M. Stochastic algorithms in multimodal 3PL segment for the digital environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 8th International Scientific Conference "TechSys 2019" - Engineering, Technologies and Systems 2019. С. 012069.
 14. Борисоглебская Л.Н., Миронова И.А., Сергеев С.М. Моделирование коммерческой деятельности предприятий в условиях инновационных предложений // Инновации. 2013. № 1 (171). С. 107-111.

**MODELING THE PROBLEM OF ENERGY EFFICIENCY
REMOTE AGRARIAN FARMS**

Larisa N. Borisoglebskaya

Doctor of economics, candidate of technical sciences, professor, vice-rector for scientific and design and innovation activities,

e-mail: boris-gleb@rambler.ru

Oryol State University named after I.S. Turgenev,
302026, Komsomolskaya st., 95., Oryol, Russia.

Sergei M. Sergeev

Candidate of technical sciences, senior researcher, associate professor,

e-mail: sergeev2@yandex.ru

Oryol State University named after I.S. Turgenev,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
195251, Polytechnic st., 29, St. Petersburg, Russia.

Yana O. Lebedeva

Candidate of economic sciences, doctoral student, head of the department of design and innovation activities

e-mail: yana-lebedeva@bk.ru

Oryol State University named after I.S. Turgenev,
BSTU "VOENMEKH" them. D.F. Ustinova
190005 St. Petersburg, Russia, st. Krasnoarmeiskaya 1st, 13.

Annotation. The article presents the results of research in the framework of the implementation of the strategic directions of the Engineering Center for Digital Environment Technologies to ensure the integrated security of telecommunications, communications and energy efficiency of the Oryol State University named after I.S. Turgenev. The issue of the functioning of peripheral agricultural facilities in conditions of limited energy resources, which is relevant for the agricultural sector, is considered. A scientific approach using mathematical modeling is proposed.

Keywords: energy, efficiency, agricultural economy, mathematical model, optimization.

REFERENCES

1. Pasport natsional'nogo proyekta Natsional'naya programma "Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii" (utv. protokolom zasedaniya prezidiuma Soveta pri Prezidente Rossiyskoy Federatsii po strategicheskomu razvitiyu i natsional'nym proyektam ot 4 iyunya 2019 g. № 7) [Passport of the national project National Program "Digital Economy of the Russian Federation" (approved by the minutes of the meeting of the Presidium of the Council under the President of the Russian Federation for Strategic Development and National Projects № 7 dated June 4, 2019)]. Available at: <http://www.consultant.ru>. (in Russian)
2. Natsional'nyy doklad o khode i rezul'tatakh realizatsii v 2018 godu Gosudarstvennoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva i regulirovaniya rynkov sel'skokhozyaystvennoy produktsii, syr'ya i prodovol'stviya na 2013–2020 gody (utv. Rasporyazheniyem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 22 iyunya 2019 goda №1352-r) [National report on the progress and results of the implementation in 2018 of the State Program for the Development of Agriculture and Regulation of Agricultural Products, Raw Materials and Food Markets for 2013–2020 (approved by the Order of the Government of the Russian

- Federation of June 22, 2019 № 1352-р)]. Available at: <http://www.consultant.ru/> (in Russian)
3. Sergeev S.M., Sidnenko T.I., Sidnenko D.B. Distribution centers for agriculture, their modeling. International Scientific School. Paradigma Summer-2016 Selected Papers. Yelm. WA. USA. 2016. Pp. 92-97.
 4. Iliashenko O., Sergeev S., Krasnov S. Calculation of high-rise construction limitations for non-resident housing fund in megacities. E3S Web of Conferences. 2018. P. 03006.
 5. Sergeev S.M. Resheniye zadachi setevogo vzaimodeystviya pri uchete resursnykh ogranicheniy [Solving the problem of network interaction while taking into account resource constraints]. *Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya = Economics and management of control systems*. 2016. Vol. 20. № 2-2. Pp. 291-297.
 6. Borisoglebskaya L.N., Sergeev S.M. Cross-functional modeling of the processes of interaction of commercial networks [Cross-functional modeling of processes of interaction of commercial networks]. *Innovatsii = Innovations*. 2016. № 11 (217). Pp. 111-116.
 7. Sergeev S.M. Expansion of DEA methodology on the multimodal conception for the 3PL // In the collection: Modern informatization problems in simulation and social technologies Proceed-ings of the XXIII-th International Open Science Conference. Editor in Chief O. Ja. Kravets. 2018. S. 169-176.
 8. Borisoglebskaya L.N., Provotorov V.V., Sergeev S.M., Kosinov E.S. Mathematical aspects of optimal control of transference processes in spatial networks. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering International Workshop "Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering. MIP: Engineering - 2019". Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2019. S. 42025.
 9. Sergeev S., Kirillova T., Krasnyuk, I. Modeling of sustainable development of megacities under limited resources. E3S Web of Conferences. 2018 Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics. TPACEE 2018. 2019. S. 05007.
 10. Provotorov V.V., Sergeev S.M., Part A.A. Solvability of hyperbolic systems with distributed parameters on the graph in the weak formulation. *Vestnik of Saint Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*. 2019. Vol. 15. № 1. Pp. 107-117.
 11. Krasnov S., Sergeev S., Titov A., Zotova Y. Modeling of digital communication surfaces for products and services promotion. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019. S. 012032.
 12. Borisoglebskaya L. N., Provotorova E. N., Sergeev S. M. Promotion based on digital interaction algorithm. International Scientific Workshop "Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering". MIP: Engineering-2019. 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 537 042032.
 13. Krasnov, S., Zotova, E., Sergeev, S., Krasnov, A., Draganov, M. Stochastic algorithms in multimodal 3PL segment for the digital environment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 8th International Scientific Conference "TechSys 2019". Engineering, Technologies and Systems 2019, S. 012069.
 14. Borisoglebskaya L.N., Mironova I.A., Sergeev S.M. Modeling the commercial activities of enterprises in the context of innovative proposals [Modeling the commercial activity of enterprises in the context of innovative proposals]. *Innovatsii = Innovations*. 2013. № 1 (171). Pp. 107-111.