

- experimental analysis of the electromagnetic compatibility of discharge and LED artificial light sources for crop production]. Vestnik NGIEI. 2018. No. 12 (91): 39–49. (In Russian)
5. Aizenberg, Yu. B. Sovremennye problemy energoэффективного освещения [Modern problems of energy efficient lighting]. Energoberezhenie. 2009. No. 1: 42–48. (In Russian)
6. Klimov V. P., Moskalev A. D. Problemy vysshikh garmonik v sovremennykh sistemakh elektropitaniya [Problems of higher harmonics in modern power supply systems] Available at: <http://www.tensi.ru/article01.html> (accessed 06.04.2019) (In Russian)
7. Solenyi C.V., Solenaya O.Ya. Bezopasnaya ekspluatatsiya energeticheskikh sistem “Umnogo doma” [Safe operation of “Smart Home” energy systems]. Izvestiya VUZov. Priborostroenie. 2016. vol. 59, No. 11: 921–927. (In Russian)
8. Chauvin-Arnoux Company. Available at: <http://qualistar.chauvin-arnoux.com/en> (accessed 06.04.2019)
9. GOST 32144-2013. Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoi energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya [Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems]. M.: Standartinform. 2014: 16. (In Russian)
10. Terentev P. V. Issledovanie kachestva i povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya elektroenergii v elektrotekhnicheskikh kompleksakh sluzhebnykh i zhilykh zdaniy: avtoreferat diss. na soisk. uch. step. kand. tekhn. Nauk [Investigation of the quality and increase of the efficiency of the use of electric power in the electrical engineering complexes of office and residential buildings: author's abstract of Cand. Sc. (Engineering) thesis]. Nizhnii Novgorod, 2014: 19. (In Russian)
11. Shepelev A. O., Kiselev B. Yu., Lysenko V. S. i dr. Puti resheniya problemy primeneniya svetodiodnykh istochnikov sveta [Solutions of a problem of application of LED light sources]. Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. 2016. No 5-3 (47): 211–213. Available at: <https://research-journal.org/technical/puti-resheniya-problemy-primeneniya-svetodiodnykh-istochnikov-sveta/> (accessed 08.04.2019). doi: 10.18454/IRJ.2016.47.292 (In Russian)
12. Potapkin N.N., Vishnevskii S.A., Ashryatov A.A. Povyshenie energoэффективности осветительных установок obshchestvennykh pomeshchenii [Improving the energy efficiency of lighting installations of public premises]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. No. 2. Available at: <http://www.science-education.ru/122-20831> (accessed 06.04.2019) (In Russian)

УДК: 620.92+620.98

DOI 10.24411/0131-5226-2019-10149

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ КОММЕРЧЕСКИХ ПРОГРАММ В ЗАДАЧАХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

А.В. Бобыль¹, д-р физ.-мат. наук;
В.Г. Малышкин¹, канд. физ.-мат. наук;
А.Б. Тарасенко²;

Е.И. Теруков³, д-р техн. наук;
И.С. Шахрай³;
А.Ф. Эрк, канд. техн. наук

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

² ОИВТ РАН, Москва, Россия

³ ГК «Хевел», Москва, Россия

⁴ ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Построение экономически обоснованных солнечных энергоустановок требует учёта разноуровневых факторов: от одномоментного баланса между мощностями генерации и потребления/накопления, работы контроллеров, локальных климатических условий, до региональных условий энергосетей и условий эксплуатации, и далее до таких глобальных характеристик как учётная ставка Центробанка и тарифы производителей солнечных панелей. Практический учёт этих столь разнородных факторов недоступен большинству исследователей, поэтому для многих единственно возможным выходом становится математическое моделирование. В последние годы наблюдается резкий всплеск научных работ по моделированию установок альтернативной энергетики. Только с начала 2019 года было опубликовано свыше 17000 научных работ. В представленной статье проведён библиометрический анализ программных продуктов моделирования систем альтернативной электроэнергетики. Обнаружено, что наиболее востребованы программы HOMER, RETScreen, PVSyst и TRNSYS, причём первые две наиболее распространены в научно-образовательной среде, а вторые – в инженерно-технической. Также наблюдается особенно быстрый рост работ по моделированию «виртуальных» установок с целью публикации статей, частично оправданный в парадигме научно-образовательных задач.

Ключевые слова: коммерческая программа, технико-экономическое моделирование, солнечная энергоустановка.

Для цитирования: Бобыль А.В., Малышкин В.Г., Тарасенко А.Б., Теруков Е.И., Шахрай И.С., Эрк А.Ф. Анализ применимости коммерческих программ в задачах технико-экономического моделирования солнечных энергоустановок // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019. № 2(99). С.32-50

ANALYSIS OF THE APPLICABILITY OF COMMERCIAL PROGRAMS IN TECHNICAL AND ECONOMIC MODELING OF SOLAR POWER PLANTS

A.V. Bobyl¹, DSc (Physics and Mathematics);
V.G. Malyskin¹, Cand Sc, (Physics and
Mathematics);

A.B. Tarasenko², DSc (Engineering);
E.I. Terukov³, DSc (Engineering);
I.S. Shakhrai³;
A.F. Erk⁴, Cand. Sc (Engineering)

¹ A.F. Ioffe Physical and Technical Institute of RAS, Saint Petersburg, Russia

² Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences (JIHT RAS), Moscow, Russia

³ The Hevel Group

⁴ Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production IEEP – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

The construction of economically justified solar power plants requires taking into account the different levels of factors: from the balance between the generation and consumption / accumulation capacities, operation of controllers and local climatic conditions, to regional power grid conditions and operating conditions, and further to the global characteristics such as the discount rate of the Central Bank of the Russian Federation and the tariffs of solar panel manufacturers. Most researcher cannot take into account all the various factor involved in their practical work. Therefore, mathematical modeling is the only possible

option for many of them. In recent years there has been a sharp surge in research papers on the simulation of alternative energy installations. Since the beginning of 2019 more than 17,000 scientific papers have been published. This article deals with the conducted bibliometric analysis of software products for alternative energy systems modeling. The HOMER, RETScreen, PVSyst and TRNSYS programs were found the most in-demand, with the first two being the most common in the scientific and educational environment, and the other two – in engineering. A particularly rapid growth is observed in the number of studies associated with the “virtual” installations modeling with the aim of having more publications. This may be partly justified under the paradigm of scientific and educational problems.

Key words: commercial software, technical and economic modeling solar energy plant.

For citation: Bobyl A.V., Malyshkin V.G., Tarasenko A.B., Terukov E.I., Shakhrai I.S., Erk A.F. Analysis of the applicability of commercial programs in technical and economic modeling of solar power plants. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019. 2(99): 32-50 (In Russian)

Введение

В последнее десятилетие наблюдается значительный рост альтернативной энергетики. При этом ее можно разделить на четыре области:

Производство оборудования и электростанций.

Установка и обслуживание электростанций.

Государственное регулирование и взаимодействие с финансовыми структурами.

Наука и образование.

Первые два пункта связаны с движением значительных денежных средств и высокими рисками и стоимостью принятия ошибочных решений [1,2]. Для описания взаимодействия с государственными и финансовыми структурами необходимо проведение специального анализ и не рассматривается в настоящей работе. Изучение проблем альтернативной энергетики в науке и образовании имеет значительный лавинообразный рост. Только с начала 2019 года было опубликовано [3] свыше 17000 статей, посвящённых изучению технико-экономических аспектов солнечной энергетики. Во многих случаях не описываются результаты разработок технологии и результаты создания и практической эксплуатации работающих

электростанций. Часто компьютерное моделирование становится единственным инструментом анализа технико-экономической эффективности и не затрагивает движение денежных средств, анализ которого является принципиально важным для реализации экономических преимуществ перехода к альтернативной, экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике. Наиболее очевидным критерием этого перехода является уменьшение нормированной стоимости электроэнергии (LCOE - Levelised Cost of Energy), достижение за более короткий срок не только автономного, но и сетевого паритета стоимости электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии по сравнению с традиционными источниками. Однако подход компьютерного моделирования вполне оправдан в парадигме поисковых и научно-образовательных задач. Ниже перечислены типы научных работ имеющих значительный лавинообразный рост.

Изучение географически локального баланса генерация/потребление.

Содержанием является выбор определённых географический регион и проведение для этого региона изучения баланса солнце/ветер/гидро/накопитель/или простая сеть с целью получения модели

локального производства/потребления электроэнергии. Такие работы исчисляются многими тысячами (см. Таблица 1). Критерии экономической эффективности могут различаться, выход на экономическую эффективность обычно возможен или за счёт сравнения с дотируемыми тарифами, или учётом дополнительной полезности [2]. Главной особенностью таких работ можно назвать использование стандартных

коммерческих программных продуктов (HOMER, RETScreen, и др.), практика их использования описана ниже. Отметим, что входные данные, необходимые для работы таких программ, по крайней мере, приближённо, можно получить из общедоступных баз данных, обсуждение некоторых таких баз данных приведено ниже.

Таблица 1

Количество статей (шт.), использующие программные продукты

год	HOMER	RETScreen	iHoga	pvSol	SolarGIS	ViPOR	PVSyst	TRNSYS
2013	2580	532	9	23	121	9	293	1900
2014	3110	578	14	35	183	8	373	2290
2015	3040	658	41	31	322	15	469	2340
2016	3240	632	43	44	464	12	531	2460
2017	3380	667	52	60	446	5	597	2670
2018	3260	596	62	71	484	10	646	2570
2019	906	143	25	16	131	2	161	789

Из Таблицы 1 следует, что наиболее часто используемой является программа HOMER (Hybrid Renewable and Distributed Generation

System Design Software) [4]. Это коммерческая программа, производитель утверждает о более 150,000 пользователей этой программы. Помимо продажи самой программы значительную часть дохода производителя составляют курсы обучения пользованием программы и продажа учебных материалов к ним. Также возможно выполнение расчётов “на заказ” у производителя. Программа имеет 21 день free—trial, с последующей ежемесячной оплатой от \$6 до более \$200, в зависимости от используемой функциональности и статуса покупателя (скидки для студентов). HOMER является наиболее часто используемой программой в России и С-Петербурге [5,6]. Программа HOMER моделирует весь жизненный цикл системы генерации энергии, включая в себя не только

базовые экономические и технологические параметры, но и позволяет учесть инвестиционную стоимость, стоимость топлива, стоимость обслуживания и других расходов в течении эксплуатации системы. На рис. 1 приведены принципиальные возможности программы HOMER и screenshots ее использования. Можно ввести параметры потребления/генерации и смоделировать баланс вплоть до расчёта потока денег, связанного с установкой альтернативной энергетики. Программа состоит из 3 блоков: 1) симуляция: моделирование системы для всех возможных комбинаций оборудования и условий эксплуатации, 2) оптимизация: моделирование системы в соответствии с критериями, в частности, экономической оптимизации, либо уменьшение расходов на топливо, 3) анализ чувствительности: моделирование влияния переменных, которые находятся вне вашего контроля, таких как ветер, скорость, стоимость топлива

и т. д. для оценки их влияния оптимальность системы.

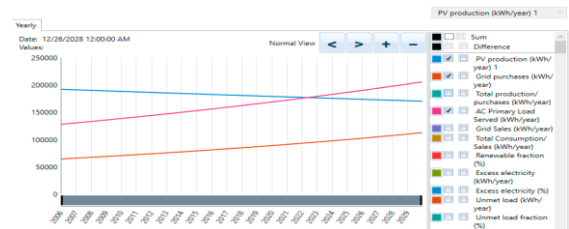
Программа RETScreen (Clean Energy Management Software) [7], используют в более 600,000 случаях, близка по функциональности на программу HOMER, предназначена главным образом для моделирования альтернативных энергетических установок в широком диапазоне мощности электростанций. К отличительной особенности программы RETScreen можно отнести её использование различными государственными — политическими учреждениями, в частности, European Environment Agency (EU), NASA. Программа тесно интегрирована с географическими базами данных, что позволяет относительно легко моделировать работу станций в различных географических условиях. Стоимость составляет \$869.00/year/user с возможными скидками для студентов. На Рис. 2 приведены схема зависимости точности оценки стоимости проекта в сравнении с фактическими затратами и типичные данные на вход/выход программы RETScreen.

Solar-GIS [8] — веб-сайт, предоставляющий доступ к широкому инструментарию для анализа проекта электрификации. Доступна информация о распределении населения, географически и климатические особенности, а также особенности рельефа. Данные обычно представлены на карте мира. Также присутствует инструментарий для симуляции солнечных, ветровых и гибридных станций в выбранном регионе с последующим прогнозированием выходных параметров. Доступен выбор множества изменяемых параметров, таких как размеры фотовольтаических модулей, угол наклона солнечных панелей, использование различных типов ветровых турбин и т.д. Большая часть функциональности требует

оплаты, однако информация о некоторые регионы доступны бесплатно (демо-режим).

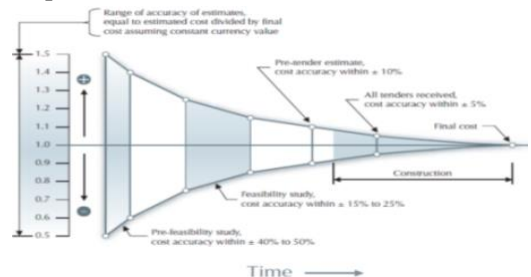


а)



б)

Рис.1. а) –Расчет потока денег: капитальных и операционных затрат, нормированной стоимости электроэнергии (LCOE) за жизненный цикл электростанции. б) Временная зависимость выходных показателей в течении 20-летнего периода: нагрузка увеличивается, выход солнечной генерации снижается, потери батареи увеличиваются, что требует их замены через 14 лет. [HOMER® Pro V3.7.7 UM].



а)

RETScreen - Financial Analysis				Subscriber - Viewer			
Financial Parameters		Inputs (Scenario 1 Summary)		Yearly Cash Flow		Cumulative	
General		Initial costs	\$ 0	Year	Pre-tax	Year	Pre-tax
Fuel cost escalation rate	2%	Initial costs	\$ 0	0	\$ 0	0	\$ 0
Inflation rate	2%	Initial costs	\$ 0	1	1,132	1,132	
Discount rate	8%	Initial costs	\$ 0	2	1,134	2,266	
Replacement rate	2%	Initial costs	\$ 0	3	1,177	3,443	
Project life	20	Initial costs	\$ 0	4	1,201	4,644	
Finance		Annual costs and debt payments	\$ 330	5	1,225	5,869	
Investment and grants		Debt payments - 15 yrs	\$ 0	6	1,249	7,118	
Debt ratio	70%	Annual costs	\$ 330	7	1,274	8,412	
Debt	\$ 0	Annual savings and revenue	\$ 1,419	8	1,300	9,712	
Equity	\$ 0	Electricity export revenue	\$ 1,419	9	1,326	11,037	
Debt interest rate	7%	Grid reduction revenue	\$ 0	10	1,352	12,389	
Debt term	15	Other revenue (loss)	\$ 0	11	1,407	13,796	
Debt payments	\$/yr	CE production revenue	\$ 1,419	12	1,425	15,221	
Income tax analysis		Total annual savings and revenue	\$ 1,419	13	1,464	16,685	
Scenario 1 Summary		Net yearly cash flow - Year 1	\$ 1,109	14	1,503	18,188	
Electricity export revenue	\$/MWh	Pre-tax IRR - equity	% Positive	15	1,544	19,732	
Electricity export rate	0.10	Pre-tax IRR - assets	% Positive	16	1,585	21,317	
Electricity export revenue	\$	Pre-tax MIRR - equity	% Positive	17	1,626	22,942	
		Pre-tax MIRR - assets	% Positive	18	1,667	24,609	
				19	1,708	26,317	
				20	1,749	28,066	

б)

Рис. 2. а) Концепция зависимости точности оценки стоимости проекта в сравнении с фактическими затратами [Gordon, J. L., Black Boxing Hydro Costs, 1989.]. Результаты реализованных проектов - уровень неопределенности в оценках уменьшается от $\pm 50\%$ до 0% . б) Типичный ввод/вывод программы RETScreen: потребление, генерация, потоки денег

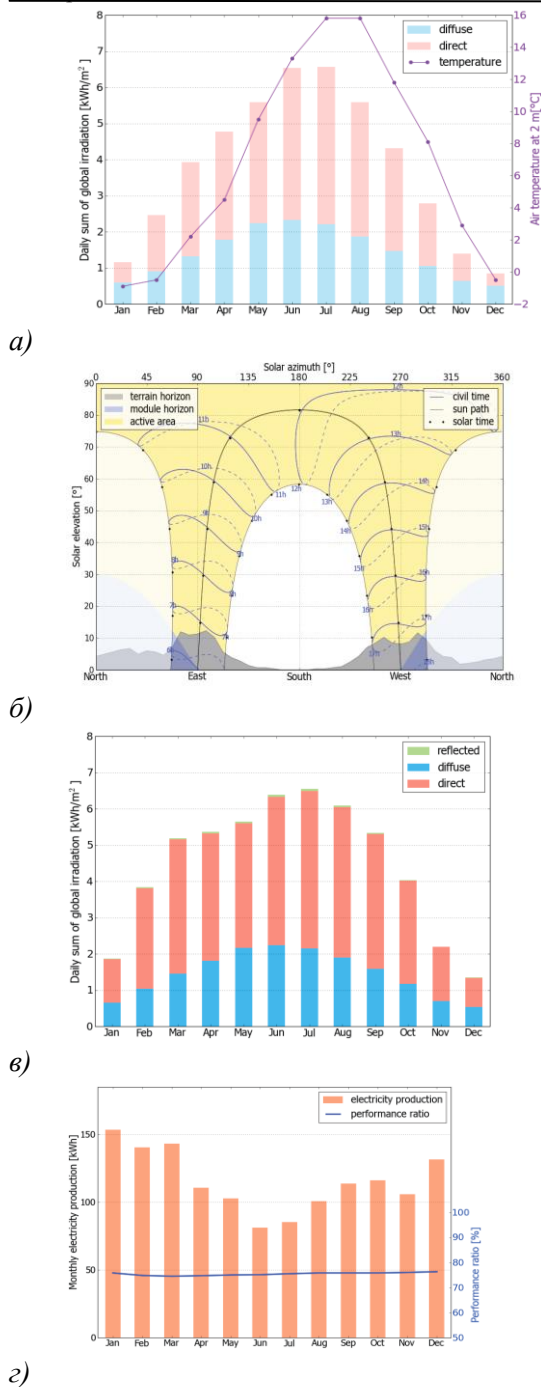


Рис.3. Типичные SolarGIS данные. а)- Глобальное горизонтальное облучение и температура воздуха - климатическая справка, Autoporto, Italy, б)- Горизонт местности (серая заливкой), горизонт модуля (синяя заливка) и влияние затенения на солнечную радиацию. Черные точки показывают истинное солнечное время. Синие метки показывают местное время, Bootharandi, India, в) Потери глобального облучения за счет затенения местности [%] (Autoporto, Италия), г) Процентная доля ежемесячного производства электроэнергии и коэффициент эффективности, Bootharandi, India

Программа pvSol [9] – способна моделировать фотовольтаические системы в условиях выбранного региона. В пользовательском интерфейсе можно выделить 6 основных разделов: географическое положение, выбор объекта, выбор модуля, выбор системы размещения модуля, конфигурация модуля и план по размещению интеркоммуникаций. Важной особенностью данной программы является симуляция затенённых областей от окружающих объектов.

Кроме перечисленных программных продуктов отметим еще: Hybrid2 – продукт, основной упор в котором сделан на симуляцию эксплуатации гибридных (солнечные + ветровые модули) станций. Выходным результатом данной программы является моделирование долгосрочной эксплуатации гибридной автономной станции с учетом всех компонентов: фотовольтаические модули, ветровые генераторы, аккумуляторы, инверторы и другие компоненты. Программа демонстрирует экономические прогнозы на основе выходных параметров систем и капиталовложений, необходимых для эксплуатации гибридной станции. ViPOR (Village Power Optimization for Renewables) – программа, специализирующаяся на решении вопроса электрификации отдаленных регионов. Отличительной особенностью является использование информации об особенностях местности для минимизации затрат по передаче энергии от источника к потребителю. Помимо прочего, программа обладает функцией распределения нагрузки электросети, которую можно использовать для оптимизации использования существующих сетей. LAP (Low Voltage Electrification Analysis and Planning) – отличительной особенностью данной программы является специализация на системах низковольтной электрификации. В ней представлены

наиболее распространенные источники возобновляемой энергии наряду с обычными дизельными и электростанциями. iHoga (Improved Hybrid Optimization by Genetic Algorithm) – программное обеспечение в котором применяется «генетический алгоритм» и чувствительный (чувствительный к изменениям) анализ систем возобновляемой энергии. Данная программа рассчитана на моделирование и оптимизацию систем с фотовольтаическими элементами, ветровыми турбинами, топливными элементами, и гидр-электрогенераторами.

Как мы отмечали в начале статьи, научно-образовательные и прикладные инструменты отличаются весьма сильно. Инженерами-инсталляторами фотоэлектрических станций по всему миру в основном используется мощный инструмент проектирования фотоэлектрических систем, разработанный в Швейцарии, и ставший своего рода отраслевым стандартом инженерного конфигуратора программа PVSyst [10], которая предназначена для:

быстрой предварительной оценки проектируемой системы (в анализ входит оценка производительности на основе данных почасового моделирования; рассмотрение всевозможных вариантов моделей системы и их сравнение; первичный анализ затенения на выработку при помощи инструмента 3D tool; анализ потерь в системе и экономический анализ на основе реальных цен компонентов); такой анализ можно выполнить для соединенных с сетью, автономных и водоподъемных ФЭС.

полноценного детального проектирования ФЭС с почасовым моделированием с возможностью работы с многочисленными базами метеоданных и базой данных компонентов; для соединенных с сетью, автономных, водоподъемных ФЭС и ФЭС с нагрузкой постоянного тока.

Блок «Solar tool box» позволяет проанализировать солнечную геометрию ФЭС, смоделировать затенение, транспозицию солнечных модулей; проанализировать поведение ФЭМ в зависимости от затенения и др. факторов, посмотреть ВАХ затеняемых ФЭ ячеек и т.д. Блок «Measured data» позволяет импортировать измеренные системой мониторинга параметров ФЭС почасовые данные, редактировать их, визуализировать в виде таблиц и графиков и анализировать, сравнивать со смоделированными значениями. После выбора местоположения и источника среднемесячных данных сразу же генерируются почасовые данные – из суммарной или рассеянной солнечной радиации (опционально). В ходе расчета также появляется сообщение о том, что в программе нельзя сгенерировать часовые последовательности скорости ветра из среднемесячных и что в настоящее время разработчикам не известны способы это сделать, поэтому в расчетах используются среднемесячные значения скорости ветра. А также сказано, что влияние скорости ветра на работу фотоэлектрического модуля (а точнее – на его температуру) мало. При этом PVSyst в случае расчета автономных энергоустановок допускает генерацию графика нагрузки путем ввода количества приборов-потребителей и времени их работы.

Ряд зарубежных и отечественных работ по моделированию выполнен в системе динамического моделирования установок возобновляемой энергетики TRNSYS [11]. Данная среда моделирования изначально создавалась под нужды тепловой солнечной энергетики, но позже с ее использованием рассчитывались и другие системы автономно и централизованной энергетики. Она включает в себя типовые модули ввода и вывода данных, модули компонентов систем и блок решения дифференциальных

уравнений, используемый согласно задаваемым пользователем связями между объектами. Система имеет открытую архитектуру, то есть у пользователя есть возможность дописать новые модули под свои компоненты.

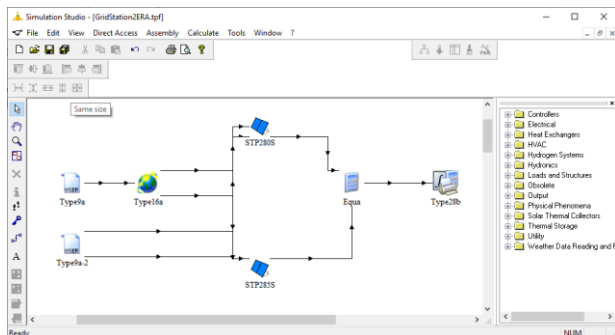


Рис. 4. Информационная диаграмма модели сетевой фотоэлектрической станции в TRNSYS

В качестве примера на рисунке 4 приведена информационная диаграмма (расчетная схема) для сетевой фотоэлектрической станции. Модули Type9a и Type9a.2 читают из файлов часовые суммы солнечного излучения на горизонтальной поверхности и температуры окружающего воздуха, модуль Type16a пересчитывает потоки солнечного излучения с горизонтальной поверхности на наклонную (использовались рекомендованные в TRNSYS модели Рейндла [12], соотношения прямого и рассеянного излучения и диаграммы направленности рассеянного излучения). Собственно модели фотоэлектрических модулей реализованы в модулях STP280S и STP285S. Производительность модулей различных типов суммируется и умножается на среднюю эффективность инвертора в Equa, затем интегрируется и выводится модулем Type28b. Все модули кроме Equa, представляющего собой совокупность пользовательских уравнений, являются входящими в поставку модулями TRNSYS.

Разработан также ряд специализированных программных

продуктов для моделирования систем возобновляемой энергетики, в том числе направленных на применение продуктов конкретных производителей, таких как SMA Off-Grid Configurator [13]. База данных включает линейку сетевых и автономных инверторов широко известной на рынке фотоэнергетики компании SMA GmbH, а также широкий спектр фотоэлектрических модулей, использовавшихся специалистами данной компании, либо специфических систем аккумулирования, например, на основе водородного цикла [14].

Изучение глобального баланса генерация/потребление на уровне страны/региона.

Такие работы обычно включают учёт очень большого числа факторов, что одновременно является их и силой и слабостью. Помимо сложностей в построении модели баланса, имеет место неопределённость многих параметров. например оценки будущего потребления электроэнергии. Классическим примером такой неопределённости является избыток в настоящее время генерирующих мощностей в северо-западном регионе России. Сочетание прогнозов правительства, договоров ДПМ, и оценки роста экономики привели к избыточному строительству генерирующих мощностей [15]. Задачи же моделирования региональных альтернативных энергосистем являются значительно более сложными аналогами моделирования классических энергосистем. В качестве примера такой работы приведём один из самых цитируемых авторов Финляндии [16,17], в которой разработана модель (LUT-модель) региональных расчетов условия применения альтернативной энергетики с учётом сетей, накопления, потребления, генерации разных видов (рис. 5).

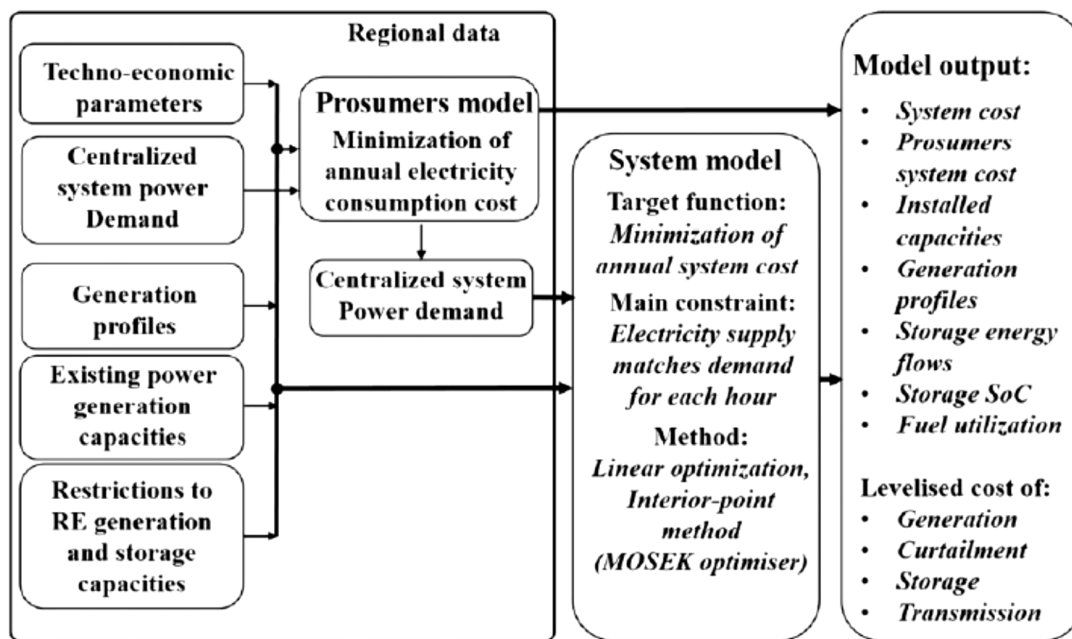


Рис. 5. Основные входные и выходные параметры LUT-модели, описанной в [17]

В качестве примера таких расчетов в статье [16] была разработана модель супер-сети для Северо-Восточной Азии, которая описывает пять сценариев для 100%-ных систем возобновляемой энергии с различными уровнями развития высоковольтной сети электропередачи постоянного тока, включая потребность в промышленном газе и дополнительную энергетическую безопасность. (Рис. 6) Возобновляемые источники энергии могут поставлять достаточно энергии для покрытия предполагаемой потребности в электроэнергии и газе в этом районе в 2030 году и поставлять более 2000 ТВт-ч тепла с конкурентоспособной стоимостью 84 евро / МВт на электроэнергию. Кроме того, это может быть достигнуто за счет цены на синтетический природный газ по японскому уровню цен на импорт сжиженного природного газа в 2013 году и без дополнительных затрат на производство доступного тепла. Общая стоимость системы площади может составить 69,4 евро / МВт, если учитывать только сектор электроэнергетики. В этой системе около 13% энергии обменивается между 13 регионами, что отражает довольно

децентрализованный характер, который обеспечивается 27% запасенной энергии.



Рис. 6. Схема сети регионы Северо-Восточной Азии [16]

В связи с неизвестностью ряда характеристик такой подход в ряде случаев является, по сути, аналогом расчёта сетевого паритета. Особенностью работ такого типа является использование, как правило, оригинального программного продукта, в ряде работ используются открытые программные продукты [18] для моделирования сетей. Модели энергетических систем, безусловно, являются полезными, используются для изучения будущих энергетических систем и часто применяются к вопросам, связанным с энергетической и климатической политикой. Сами модели сильно различаются по типу,

дизайну, программированию, применению, объёму, уровню детализации, сложности и недостаткам. В процессе использования этих моделей часто описывается некоторая форма их математической оптимизации.

Моделирование отдельного фотовольтаического элемента и солнечной электростанции.

Ряд программ позволяют рассчитать четырёх параметрическую модель солнечного элемента с учётом температуры, влажности, освещённости (прямой и диффузной) и пр. Далее массив таких элементов моделируется уже в рамках солнечной энергоустановки с учётом контроллера заряда, инверторов и других элементов. Сочетание компонентов разной природы, как правило, приводит к созданию программы, составленной из слабо совместимых компонент, при этом корректность расчётов в большинстве случаев проверить невозможно. В работе [19] для моделирования элементов солнечных энергоустановок наиболее часто использован подход «моделирования цепей», т. е. солнечная энергоустановка рассматривается как некая «радиотехническая схема» достаточно большой сложности (см. рис. 7). Далее привлекаются программы Simulink, PSIM, PSPICE, PSCAD, или свободно доступное программа NGSPICE [20].

Приведённая на рис. 7а на модель фотозлектрического элемента [19], характеризуется учётом электрических и температурных характеристик. Помимо солнечных элементов энергоустановка имеет ряд других компонент, таких как контроллер заряда аккумулятора, DC-DC конвертор и др. Типичная модель DC-DC конвертора [19], приведена на рис. 7б.

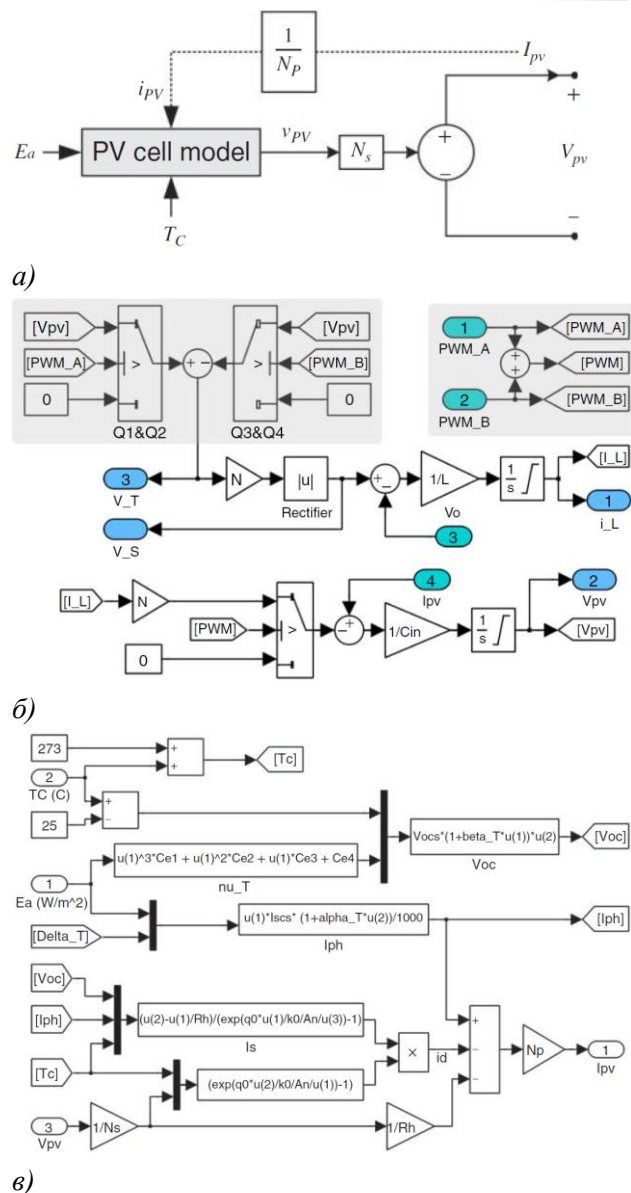


Рис. 7. а) Блок-схема массива PV и интерфейс подключения терминала, представляющий выход PV в качестве источника напряжения, б) Simulink - модель мостового DC / DC-преобразователя для фотозлектрического интерфейса. в) Simulink-модель массива солнечных элементов. [19]

Следует отметить, что моделирование различных компонент - экономическое моделирование, моделирование отдельной фотовольтаической ячейки, моделирование одного аккумулятора и т.д. - допускает использование весьма простых, но в то же время достаточно полезных моделей. Моделирование же энергетической установки целиком, требует правильных моделей для всех её компонент, что

кардинально увеличивает общую сложность модели, при этом резко увеличивается возможность ошибки в связи с ошибками выбора параметров, выбора неверных моделей для отдельных модулей. В практических приложениях, например, оценки производителем стоимости конкретного заказа, часто используется интерполирование результатов достаточно сложной модели, ранее вычисленной для набора различных входных параметров. В ряде случаев используются очень простые, однако значительно легче верифицируемые расчёты. Такой подход обычно имеет место в коммерческих компаниях, занимающихся сооружением солнечных энергоустановок. Использование стандартизованных характеристик позволяет получить пусть и неидеальный, но удовлетворяющий заказчика результат. В практическом применении условия эксплуатации могут приводить к отличиям в выработке энергии на десятки процентов.

Таким образом, интеграция модели солнечной электростанции с географическими и климатическими моделями часто является достаточно сложной задачей в связи с разнородностью данных и отличием используемых программ. Заметим, что моделирование этих электростанций обычно осуществляется инженерами-электронщиками, а моделирование экономико-географических факторов делают другие специалисты. Это часто приводит к ошибкам, если специалисты не имеют комплексного образования.

Географические данные, используемые для моделирования

Моделирование фотоэлектрических станций и систем солнечного теплоснабжения при их проектировании требует исходных данных о приходящем солнечном излучении [21]. Как правило, моделирование выполняется с часовым

шагом и для него необходимы часовые суммы солнечного излучения, поступающего на приемные поверхности солнечных элементов.

Предпочтительными источниками данных о поступающем на земную поверхность солнечном излучении являются многолетние актинометрические наблюдения. Результаты обработки измерений приводятся в справочных изданиях и в виде баз данных (БД). Основная проблема наземных актинометрических наблюдений – редкая сеть метеостанций, ведущих такие наблюдения. Экстраполяция и интерполяция данных актинометрических станций малоприменима, поскольку такие измерения с приемлемой погрешностью могут распространяться на расстояние не более 100-130 км от метеостанции, что меньше расстояния между метеостанциями.

Для решения проблемы недостаточности наземных данных о поступлении солнечной энергии в последние десятилетия все шире стали использоваться математическое моделирование и восстановление данных так называемого реанализа, который широко используется в метеорологии, климатологии, океанологии и других областях. В настоящее время в данных NCEP и ERA представлена информация о падающем солнечном излучении на сетке с высоким разрешением. На основе восстановления данных регулярной сетке разработана глобальная по охвату база данных NASA POWER (NASA Prediction of Worldwide Energy Resource), которая широко используется при прогнозировании и проектировании в солнечной энергетике.

Основным источником климатических данных служат результаты проекта NASA POWER [22]. Бесплатно доступная через Интернет база данных содержит дневные суммы коротковолнового солнечного и длинноволнового излучения, поступающего на земную поверхность, заатмосферного

солнечного излучения и ряд климатических параметров – влажность, температуру на разных высотах. Данная база является результатом обработки заатмосферных спутниковых наблюдений посредством математической модели прохождения солнечных лучей через атмосферу. В настоящее время специалисты NASA заявляют о том, что база позволяет выдавать данные с пространственным разрешением $0,5^\circ \times 0,5^\circ$.

Проект NASA POWER разрабатывается с 2003 г. как продолжение и развитие проекта NASA SSE и направлен на подготовку параметров для солнечной энергетики и других отраслей, использующих солнечную энергию. В базе NASA POWER в открытом доступе предоставляются суточные значения (включая потоки солнечного излучения на верхней границе атмосферы и на уровне Земли, нисходящий поток длинноволнового излучения, температуры воздуха и земной поверхности, скорость ветра) с разрешениями $1^\circ \times 1^\circ$ и $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (для солнечного излучения только $1^\circ \times 1^\circ$) для каждого дня (суток) с 1 июля 1983 г. по настоящее время. Погрешность спутниковых актинометрических данных определялась путём сравнения с данными наблюдений наземных метеостанций, входящих в международную сеть BSRN (Baseline Surface Radiation Network) и составила по данным разработчиков порядка 20%.

Большое количество актинометрических данных содержат базы Европейской системы мониторинга климата по спутниковым данным (Satellite Application Facility on Climate Monitoring, CM SAF [23]): климатические и актинометрические данные наблюдений геостационарных спутников (базы SARA-H, 1983-2015 гг., $\pm 65^\circ$ по широте, $\pm 65^\circ$ по долготе, пространственное разрешение $0,05^\circ \times 0,05^\circ$; SARA-H-E, 1999-2016 гг., $\pm 65^\circ$ по широте, $10...130^\circ$ в.д.,

$0,05^\circ \times 0,05^\circ$) и полярных спутников (CLARA-A, 1982-2015 гг., глобальная, $0,25^\circ \times 0,25^\circ$). Детальные климатические и актинометрические данные ERA-реанализа имеются в базах Европейского центра среднесрочного прогноза погоды (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF [24], [25]), в частности часовые суммы суммарного солнечного излучения на горизонтальной поверхности (2000-2017 гг., глобальные данные, $0,25^\circ \times 0,25^\circ$). Данные предоставляются CM SAF и ECMWF в архивах, организованных по временному принципу. Хотя система CM SAF и позволяет выкачивать данные не по всей покрываемой её базами данных территории, пользоваться ими крайне неудобно, ECMWF выделить из пространственной области отдельные регионы не позволяют.

В качестве источника наземных актинометрических данных для ряда локаций может быть выбрана БД Мирового центра радиационных данных, содержащая дневные суммы поступающего на горизонтальную поверхность солнечного излучения для 27 метеостанций на территории России, а источника данных по скорости ветра на высоте 8-10 м - ресурс «Расписание погоды» [26], содержащий архивы срочных (через 3 часа для метеостанций и через 1 час для аэропортов) для 878 метеостанций, входящих в сеть ВМО, и 74 аэропортов, входящих в сеть METAR.

Иногда в качестве исходной климатической информации применяется так называемый типичный метеогод (ТМУ), в случае России разработанный с участием ГГО им. Воейкова (Санкт-Петербург) на основе статистической обработки многолетних наблюдений метеостанций Москвы в соответствии с принятой международной методологией. Типичный метеогод включает в себя ежечасную информацию о прямой, рассеянной и

суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, о температуре воздуха, его влажности и скорости и направлении ветра.

Штатным источником климатических данных для конфигуратора PVSyst является база данных Meteonorm, распалюющая мете информацией с более 1700 станций по всему миру (среднемесячные данные за период 10-30 лет (1980-2010 гг)). Для локаций, удаленных от наземных метеостанций, в PVSyst применяется метод интерполяции между тремя ближайшими станциями; в случае отсутствия таковых данные импортируются из NASA POWER. 36 наземных станций по РФ во встроенной базе данных MeteoNorm 7.1

После выбора местоположения и источника среднемесячных данных сразу же генерируются почасовые данные — из суммарной или рассеянной солнечной радиации (опционально).

Перечень баз метрологической информации, доступных для загрузки из программного продукта PVSyst приведен в таблице 2.

Сравнение метеоданных из разных баз метеоданных для разных локаций представлено в виде картинки (ниже) (анализ проведен специалистами PVSyst). Более подробный анализ доступен по ссылке <http://www.pvsyst.com/en/publications/meteo-data-comparaisons>.

В таблице 3 приведена библиометрическая статистика по использованию различных баз данных. ECMWF является наиболее популярной, однако она используется не только для альтернативной энергетики, но и для других приложений, требующих климатических данных.

Таблица 2

Перечень баз метеоданных, доступных для загрузки в программу PVsyst

Database	Region	Values	Source	Period	Variables	Availability	PVsyst import
Meteonorm	Worldwide	Monthly	1700 Terr. Stations Interpolations	1995-2005 (V 6.0) Averages	Gh, Ta, Wind, Others	Software	Direct by file (300 stations in PVsyst DB)
Meteonorm	worldwide	Hourly	Synthetic generation	idem	Gh, Dh, Ta, WindVel	Software	Direct by file
Satellite	Europe	Hourly	Meteosat pixel of about 5x7 km ²	1996-2000	Gh No Ta	Web free	Direct by file
US TMY2	USA	Hourly	NREL, 239 stations TMY	1960-1990 samples	Gh, Dh, Ta, WindVel	Web free	Included in database
ISM-EMPA	Switzerland	Hourly	22 stations DRY	1981-1990 samples	Gh, Dh, Ta, WindVel	Included in PVsyst	Included in database
Helioclim (SoDa)	Europe Africa	Hourly	Meteosat	From 02/2004	Gh No Ta	Webrestricted 2005 free	Direct by copy/paste
NASA-SSE	Worldwide	Monthly	Satellites 1°x1° cells (111x111km ²)	1983-1993 averages	Gh, Ta	Web free	Direct
WRDC	Worldwide	Hourly Daily Monthly	1195 stations	1964-1993 each	Gh No Ta	Web free	Direct by copy/paste
PVGIS-ESRA	Europe	Monthly	Europe : interp. 1x1 km ²	1981-1990 averages	Gh, Ta Linke turbidity	Web free	Direct by copy/paste
	Africa		Africa : Meteosat (Helioclim-1 database)	1985-2004			
Helioclim - 1 (SoDa)	Europe Africa	Monthly	Meteosat 50x50 km ²	1985-2005 each year	Gh No Ta	Web Restricted 1985-89 free	Direct by copy/paste
RETScreen	Worldwide	Monthly	Compil. 20 sources Incl. WRDC - NASA	1961-1990 averages	Gh, Ta WindVel	Software, free	Direct by copy/paste
SolarGIS	Europe Africa, Asia Brazil	Hourly	Meteosat Approx. 4x5 km ²	From 1994 (1999)	Gh, Dh, Ta	Web, paid access	Direct

Библиометрическая статистика использования климатических баз данных. Статьи штук
 использующие определённую базу данных. Данные получены с использованием [3]

	NSRDB	NASA SSE/POWER	PVGIS	ESMAP	Worldcli mate	WRDC	Meteonorm	Helioclim	ECMWF	METAR
2013	175	87	482	293	55	105	527	81	6740	823
2014	204	135	586	350	46	99	615	102	6920	898
2015	233	137	689	352	37	99	666	98	7360	1210
2016	294	164	689	352	43	117	756	110	7750	1360
2017	296	206	720	389	39	111	760	130	7700	1340
2018	397	186	737	454	33	94	766	98	7850	1170
2019	131	46	151	123	8	47	260	33	3090	217

Выводы

В работе показано, что за прошедшее десятилетие резко выросла роль моделирования в области альтернативной энергетики. При этом в научно-образовательной области лидируют программные продукты HOMER и RETScreen, а в инженерно-прикладных областях лидируют программные продукты TRNSYS и PVSyst. Такое отличие наблюдается не только в программах, отличие скорее в мировоззрении исследователей: «написать статью» vs. «сделать работающее устройство». В настоящей работе проведён библиометрический анализ числа научных статей, использующих тот или иной программный продукт, обсуждается публикационная динамика. Ожидается продолжение роста работ по моделированию, поскольку моделирование является наиболее простым и дешёвым способом «войти в альтернативную энергетику» для начинающих, а для профессионалов наиболее простым и дешевым методом оценки функциональности и рисков. Любая программа требует «правильных» данных

вход. В работе сделан обзор различных геоинформационных баз данных. Большинство используемых программных продуктов интегрированы с ними. Заметим, что технико-экономическое моделирование, помимо геоинформационных данных, также требует и данные по текущему и будущему: потреблению, ставки дисконтирования, инфляции и пр. Такие данные не могут быть получены из «стандартных» баз данных. Именно поэтому успех или неудача конкретной инсталляции солнечной энергоустановки зависит, прежде всего, от умения оценить конкретную ситуацию, и использовать соответствующие инструменты анализа.

Участие АББ и АБТ обеспечивалось поддержкой РФФИ гранта 18-58-41005.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобыль А. В. и др. Источники развития альтернативной энергетики // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2017. – №. 92. с. 30-35. <https://www.researchgate.net/publication/320559406>
2. Бобыль А. В., Малышкин В. Г., Эрк А. Ф. Методы оценки экономической эффективности солнечных электростанций // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2018. – №. 4 (97). с. 49-56. <https://www.researchgate.net/publication/332875388>
3. Google Scholar [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://scholar.google.ru> (дата обращения 15.04.2019.)
4. HOMER (Hybrid Renewable and Distributed Generation System Design Software) [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.homerenergy.com/> (дата обращения 15.04.2019.)
5. Contreras-Vielma M., Elistratov V. V. Technical evaluation of the wind resource in Venezuela. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11. No. 7. 4399-4403. (In English)
6. Елистратов В. В. Возобновляемая энергетика. Санкт-Петербург: «Наука». 2013. 308 с.
7. RETScreen (Clean Energy Management Software) [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465> (дата обращения 15.04.2019.)
8. Solar-GIS [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://solargis.info/> (дата обращения 15.04.2019.)
9. pvSol software [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.valentin-software.com/en/node/39441> (дата обращения 15.04.2019.)
10. PVSyst Logiciel Photovoltaïque [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.pvsyst.com/> (дата обращения 15.04.2019.)
11. TRNSYS – Transient System Simulation Tool (2019). [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://trnsys.com/>. (дата обращения 15.04.2019.)
12. Даффи Дж., Бекман У. Основы солнечной теплоэнергетики. Учебно-справочное руководство. Пер. с англ. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект». 2013. 888 с.
13. SMA Off-Grid Configurator [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.sma.de/en/products/planning-software/sma-off-grid-configurator.html> (дата обращения 15.04.2019.)
14. Guinot B., Bultel Y., Montignac F., Riu D., Pinton E., Noirot-LeBorgne I. Economic impact of performances degradation on the competitiveness of energy storage technologies - Part 1: Introduction to the simulation-optimization platform ODYSSEY and elements of validation on a PV-hydrogen hybrid system. International journal of hydrogen energy. 2013. No. 38. 15219-15232
15. Тукалин Глеб. В России скопился избыток энергомощности. Новая Газета. 22.06.2018 [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.ng.ru/economics/2018-06-22/100_izbytok.html (дата обращения 15.04.2019.)
16. Bogdanov D., Breyer C. North-East Asian Super Grid for 100% renewable energy supply: Optimal mix of energy technologies for electricity, gas and heat supply options. Energy Conversion and Management. 2016. No. 112. 176-190. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.01.01917. Breyer C., Bogdanov D., Aghahosseini A., Gulagi A., Child M., Oyewo A. S., Farfan J.,

- Sadovskaia K., Vainikka P. Solar photovoltaics demand for the global energy transition in the power sector. *Progress in Photovoltaics*. 2017. 1–19. DOI 10.1002/pip.2950
18. Open energy system models. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Open_energy_system_models#Open_electricity_sector_models (дата обращения 15.04.2019.)
19. Weidong Xiao Photovoltaic Power System: Modeling, Design, and Control. 2017. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.wiley.com/en-ae/Photovoltaic+Power+System%3A+Modeling%2C+Design%2C+and+Control-p-9781119280347> (дата обращения 15.04.2019.)
20. NGSPICE [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://ngspice.sourceforge.net> (дата обращения 15.04.2019.)
21. Photovoltaic software. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://photovoltaic-software.com/principle-ressources/solar-radiation-databases> (дата обращения 15.04.2019.)
22. NASA Prediction of Worldwide Energy Resource. POWER Project Data Sets (2018). [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://power.larc.nasa.gov/>. (дата обращения 15.04.2019.)
23. EUROMETSAT. CM SAF Climate Monitoring (2018). [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.cmsaf.eu/EN/Home/home_node.html. (дата обращения 15.04.2019.)
24. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Browse Reanalysis Datasets (2018). [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.ecmwf.int/forecasts/datasets/archive-datasets/browse-reanalysis-datasets>. (дата обращения)
25. Europe's eyes on Earth. ERA5 hourly data on single levels from 2000 to present (2018). [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview> (дата обращения 15.04.2019.)
26. Расписание погоды. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://tr5.ru/> (дата обращения 15.04.2019.)

REFERENCES

1. Bobyl' A. V. i dr. Istochniki razvitiya al'ternativnoi energetiki [The sources of alternative energy development]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2017. No. 92: 30-35. (In Russian) <https://www.researchgate.net/publication/320559406>
2. Bobyl' A. V., Malyshkin B. G., Erk A. F. Metody otsenki ekonomicheskoi effektivnosti solnechnykh elektrostantsii [Methods of economic efficiency evaluation of solar power plants]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2018. No. 4 (97): 49-56. (In Russian). <https://www.researchgate.net/publication/332875388>
3. Google Scholar. Available at: <https://scholar.google.ru> (accessed 15.04.2019.)
4. HOMER (Hybrid Renewable and Distributed Generation System Design Software). Available at: <https://www.homerenergy.com/> (accessed 15.04.2019.)
5. Contreras-Vielma M., Elistratov V. V. Technical evaluation of the wind resource in Venezuela. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016. Vol. 11. No. 7: 4399-4403. (In English)
6. Elistratov V. V. Vozobnovlyаемая энергетика [Renewable power generation]. Saint Petersburg: «Nauka». 2013: 308. (In Russian)

7. RETScreen (Clean Energy Management Software) Available at: <https://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465> (accessed 15.04.2019.)
8. Solar-GIS Available at: <https://solargis.info/> (accessed 15.04.2019.)
9. pvSol software. Available at: <https://www.valentin-software.com/en/node/39441> (accessed 15.04.2019.)
10. PVSystLogicielPhotovoltaïque Available at: <https://www.pvsyst.com/> (accessed 15.04.2019.)
11. TRNSYS – Transient System Simulation Tool (2019). Available at: <http://trnsys.com/>. (accessed 15.04.2019.)
12. Duffie J. A., Beckman W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2006: 928. (Russ.ed.: Daffi Dzh., Bekman U. Osnovy solnechnoi teploenergetiki. Uchebno-spravochnoe rukovodstvo. Dolgoprudnyi: Izdatel'skii Dom "Intellect". 2013: 888)
13. SMAOff-GridConfigurator Available at: <http://www.sma.de/en/products/planning-software/sma-off-grid-configurator.html> (accessed 15.04.2019.)
14. Guinot B., Bultel Y., Montignac F., Riu D., Pinton E., Noirot-LeBorgne I. Economic impact of performances degradation on the competitiveness of energy storage technologies - Part 1: Introduction to the simulation-optimization platform ODYSSEY and elements of validation on a PV-hydrogen hybrid system. International Journal of Hydrogen Energy. 2013. No. 38: 15219-15232
15. Tkalin Gleb. V Rossii skopilsya izbytok energomoshchnosti [Excess energy has accumulated in Russia]. Novaya Gazeta. 22.06.2018 Available at: http://www.ng.ru/economics/2018-06-22/100_izbytok.html (accessed 15.04.2019.)
16. Bogdanov D., Breyer C. North-East Asian Super Grid for 100% renewable energy supply: Optimal mix of energy technologies for electricity, gas and heat supply options. Energy Conversion and Management. 2016. No. 112: 176-190. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.01.019 (In English)
17. Breyer C., Bogdanov D., Aghahosseini A., Gulagi A., Child M., Oyewo A. S., Farfan J., Sadovskaia K., Vainikka P. Solar photovoltaics demand for the global energy transition in the power sector. Progress in Photovoltaics. 2017: 1–19. DOI 10.1002/pip.2950 (In English)
18. Open energy system models. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Open_energy_system_models#Open_electricity_sector_models (accessed 15.04.2019.)
19. Weidong Xiao Photovoltaic Power System: Modeling, Design, and Control. 2017. Available at: <https://www.wiley.com/en-ae/Photovoltaic+Power+System%3A+Modeling%2C+Design%2C+and+Control-p-9781119280347> (accessed 15.04.2019.)
20. NGSPICE Available at: <http://ngspice.sourceforge.net> (accessed 15.04.2019.)
21. Photovoltaic software. Available at: <https://photovoltaic-software.com/principles-ressources/solar-radiation-databases> (accessed 15.04.2019.)
22. NASA Prediction of Worldwide Energy Resource. POWER Project Data Sets (2018). Available at: <https://power.larc.nasa.gov/>. (accessed 15.04.2019.)
23. EUROMETSAT. CM SAF Climate Monitoring (2018). Available at: https://www.cmsaf.eu/EN/Home/home_node.html (accessed 15.04.2019.)
24. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Browse Reanalysis Datasets (2018). Available at: <https://www.ecmwf.int/forecasts/datasets/archive-datasets/browse-reanalysis-datasets>. (accessed 15.04.2019.)
25. Europe's eyes on Earth. ERA5 hourly data on single levels from 2000 to present (2018). Available at: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/datas>

et/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview
(accessed 15.04.2019.)

26. Raspisanie pogody [Weather schedule].
Available at: <https://rp5.ru/> (accessed
15.04.2019.) (In Russian)

УДК 004.658.2

DOI 10.24411/0131-5226-2019-10150

БАЗА ДАННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БИОЛОГИЗИРОВАННЫМИ МАШИНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

Э.А. Папушин, канд. техн. наук;

С.Н. Матейчик

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

Одной из проблем производства качественной продукции растениеводства является недостаточная информативность о протекающих технологических процессах, о работе технических средств, о климатических условиях. Использование средств автоматизации для дистанционного мониторинга агроценозов и управления продукционным процессом сельскохозяйственных культур, обеспечивает все преимущества управления выполнением технологических операций в режиме on-line. В ИАЭП-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разрабатывается программный комплекс –система управления биологизированными машинными технологиями производства продукции растениеводства. Разработана база данных интеллектуальной системы управления биологизированными машинными технологиями производства продукции растениеводства. В базе данных накапливается следующая информация: метеорологические данные; данные состояния почвенно-растительного комплекса; о работе машинно-тракторных агрегатов на опытном поле; с/х культуры участвующие в севообороте; методики экспериментальных исследований и результаты экспериментов, и т.д.

Ключевые слова: база данных, автоматизация, метеоданные, машинные технологии, растениеводство.

Для цитирования: Папушин Э.А., Матейчик С.Н. База данных интеллектуальной системы управления биологизированными машинными технологиями производства продукции растениеводства // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019. № 2 (99). С.50-57

DATABASE WITHIN THE INTELLECTUAL CONTROL SYSTEM OF BIOLOGY-ORIENTED AND MACHINE-BASED TECHNOLOGIES FOR CROP PRODUCTION

E.A. Papushin, Cand.Sc (Engineering);

S.N. Mateichik

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia