Информация об авторах

Токарев Кирилл Евгеньевич, доцент кафедры «Математическое моделирование и информатика», ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), кандидат экономических наук, тел. 8 (8442) 41-17-10, e-mail: tke.vgsha@mail.ru.

Руденко Андрей Юрьевич, доцент кафедры «Математическое моделирование и информатика», ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), кандидат экономических наук, тел. 8 (8442) 41-17-10, e-mail: rudenkovgsxa@mail.ru.

Кузьмин Всеволод Александрович, преподаватель кафедры «Математическое моделирование и информатика», ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ (РФ, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), кандидат экономических наук, тел. 8 (8442) 41-17-10, e-mail: pniemt.kuzmin@yandex.ru.

Чернявский Алексей Николаевич, ассистент кафедры Электрооборудование и электрохозяйство предприятий АПК, тел. 8 (8442) 41-11-27, e-mail: alexei.tcherniawskij@yandex.ru.

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-43

ANALYSIS OF LOAD DETERMINATION METHODS AT AGRICULTURE PRODUCTION ENTERPRISE

D.A. Desyatnichenko¹, Yu.V. Daus², I.V. Yudaev²

¹*Azov-Black Sea Engineering Institute,*

«Don State Agrarian University», Zernograd

²*«St. Petersburg State Agrarian University», Pushkin, St. Petersburg*

Received 11.03.2021

Submitted 30.11.2021

Summary

The article systematizes data on methods for calculating electrical loads. Analysis of various approaches to determining the load is presented on the example of real Agricultural Enterprise «Plant - Sorghum» of the Federal State Budget Scientific Center «Agrarian Scientific Center «Donskoy», located in Zernograd of Rostov region. Comparative analysis of the predicted and actual graphs of the electric load of the research object is carried out.

Abstract

Introduction. In the context of urgent necessity to support, develop, and restore the agro-industrial complex, the search for new energy sources that would meet the requirements of the introduced high-tech processes is most relevant for rural areas characterized by shortage of free capacities. At the forefront there are photovoltaic systems for converting solar energy, which are distinguished by the relative simplicity of the technology for generating electrical energy, environmental friendliness, ease of operation and maintenance. When justifying the parameters of photovoltaic power plant for agricultural facilities, special attention should be paid to the available initial information (list and capacity of power consumers, load schedules of the entire enterprise or each outgoing line from the substation switchgear separately, etc.), since this will affect the final power of the solar field and storage or backup devices. **Object.** The object of the study is the power supply system of the real Agricultural Enterprise «Plant - Sorghum» of the Federal State Budget Scientific Center «Agrarian Scientific Center «Donskoy», located in Zernograd of Rostov region. **Materials and methods.** For electrical consumers of the Agricultural Enterprise «Plant - Sorghum», annual and daily schedules of electrical load were calculated and constructed in three ways: by the calculation method, by the methodology of the guidelines and experimentally. **Results and conclusion.** Each considered method of determining the load of agricultural consumer has its own characteristics. The most accurate load monitoring method takes a long time to collect information. The guidelines methodology is the easiest to use and requires minimum of initial information, but its application in choosing the parameters of photovoltaic power plants can lead to underutilization of the available solar energy potential of the studied geographic point, which is especially significant in the summer period when the maximum intensity of solar radiation and the greatest workload of agricultural enterprises are observed. The use of the calculation method for constructing consumer load graphs is also associated with the collection of wide range of initial information. But the data predicted by the calculation method give a significant overestimation of the power consumption, which can lead to overestimation of the installed capacity of the photovoltaic power plant and excessive capital costs, and subsequently the need to utilize the excess generated electrical energy.

Key words: *agricultural consumer, method for calculating electrical load, load schedule.*

Citation. Desyatnichenko D.A., Daus Yu.V., Yudaev I.V. Analysis of load determination methods at agriculture production enterprise. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 4(64). 440-452 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-43.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

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

УДК 621.31

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ОБЪЕКТЕ

Д. А. Десятниченко¹, аспирант
Ю. В. Даус², кандидат технических наук
И. В. Юдаев², доктор технических наук

¹Азово-Черноморский инженерный институт,
ФГБОУ ВО Донской государственный аграрный университет г. Зерноград
²ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург

Дата поступления в редакцию 11.03.2021

Дата принятия к печати 30.11.2021

Актуальность. В условиях острой необходимости поддержки и развития агропромышленного комплекса поиск дополнительных источников электрической энергии, которые бы соответствовали всем требованиям по электроснабжению внедряемым высокотехнологическим процессам и оборудованию, наиболее актуален для сельских районов и территорий, характеризующихся дефицитом наличия свободных мощностей для подключения. Говоря о возобновляемых источниках энергии, можем отметить, что на первый план выходят фотоэлектрические системы, которые отличаются относительно простой технологией генерации электрической энергии, экологической чистотой, простотой эксплуатации и обслуживания. При обосновании параметров фотоэлектрической станции для сельскохозяйственных производственных объектов особое внимание следует уделять имеющейся в наличии исходной информации (перечень и мощность электроприемников потребителя, характер изменения графика нагрузки всего предприятия или на каждой отдельной отходящей линии от распределительного устройства подстанции и т.д.), так как это повлияет на конечную мощность гелиосистемы и аккумулирующих или дублирующих устройств. **Объект.** Объект исследования – система электроснабжения реального сельскохозяйственного предприятия «Завод Сорго» ФГБНУ «АНЦ «Донской», расположенного в г. Зерноград Ростовской области. **Материалы и методы.** Для электропотребителей сельскохозяйственного предприятия «Завод Сорго» рассчитаны и построены годовой и суточный графики электрической нагрузки тремя способами: расчетным методом, по методике руководящих указаний и экспериментально. **Результаты и выводы.** У каждого рассмотренного способа определения нагрузки сельскохозяйственного потребителя есть свои отличительные особенности. Наиболее точный метод – метод мониторинга нагрузки – требует большого периода времени для сбора информации. Методика руководящих указаний более проста в использовании и требует минимум исходной информации, однако её применение при выборе параметров фотоэлектрических установок может привести к недоиспользованию имеющегося потенциала солнечной энергии в рассматриваемой географической точке, что особенно сказывается в летний период – максимальной интенсивности солнечной радиации и наибольшей загруженности большинства сельскохозяйственных предприятий. Применение расчетного метода для построения графиков нагрузки потребителя также связано со сбором целого ряда исходной информации. При этом данные, прогнозируемые расчетным методом, дают существенное завышение потребляемой мощности, что может привести к завышению установленной мощности фотоэлектрической станции (установки) и излишним капитальным затратам, а в последующем и необходимости утилизации избытка вырабатываемой электрической энергии.

Ключевые слова: потребители электроэнергии, фотоэлектрические станции (установка), методы расчета электрической нагрузки, графики нагрузки.

Цитирование. Десятниченко Д. А., Даус Ю. В., Юдаев И. В. Анализ методов определения нагрузки на производственном сельскохозяйственном объекте. *Известия НВ АУК*. 2021. 4 (64). 440-452. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-43.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Продовольственная безопасность является одной из ключевых задач устойчивого развития мирового сообщества. Распространение пандемии COVID-19 по всему земному шару выявило серьезные проблемы, которые коснулись текущего развития сельского хозяйства, так как проявилась необходимость производства качественных, экологически чистых и безопасных с пищевой точки зрения продуктов питания в больших количествах, и особенно в период лечения и восстановления здоровья после перенесенного заболевания. Основное внимание в последних исследованиях уделяется изучению влиянию пандемии на цепочки производства и поставок сельскохозяйственной продукции, безопасность готовых к употреблению пищевых продуктов, продовольственную систему в целом [9, 10]. Всё это выявило острую необходимость поддержки и интенсивного развития агропромышленного сектора мировой экономики [1, 8].

Однако любая модернизация требует дополнительных затрат энергии, получаемых из источников, которые бы соответствовали требованиям внедряемых в сельское хозяйство высокотехнологичных процессов. Для сельских районов сегодня характерен дефицит свободных мощностей, что направляет вектор поиска в сторону возобновляемых источников энергии, функционирование которых характеризуется местными особенностями, а энергия, выработанная ими, может быть использована непосредственно в месте подключения к ним потребителей [2, 7].

При этом на первый план выходят фотоэлектрические системы преобразования солнечной энергии, характеризующиеся относительно простой технологией преобразования инсоляции в электрическую энергию, экологической чистотой, простотой эксплуатации и обслуживания [4, 6]. Также можно отметить, что конкретные сельские территории характеризуются высоким уровнем их задействования в разнообразных технологических операциях при производстве продукции и переработке сырья. Поэтому на них практически нет свободных больших по площади участков земли под размещение новых установок для производства электрической энергии. Фотоэлектрические станции (ФЭС) в таких условиях наилучшим образом подходят для создания резерва мощности, так как их основной структурный элемент (фотоэлектрический модуль) может располагаться как на неиспользуемой в производстве земле, так и на ограждающих конструкциях зданий и сооружений [5, 12]. Также можно отметить, что на территории фермерского хозяйства или сельскохозяйственного предприятия ФЭС могут быть размещены, рассредоточены на имеющихся небольших площадках и подключены к общей существующей системе электроснабжения, таким образом, будет сформирована система распределенной генерации, или микросеть без передачи генерируемой электрической энергии за точку балансовой принадлежности [11, 13].

При обосновании параметров фотоэлектрической станции или установки для сельскохозяйственного потребителя необходимо учитывать тот факт, что типовой график электрической нагрузки такого потребителя характеризуется дневным и вечерним максимумами нагрузки согласно конкретному технологическому процессу [3], а график

прихода солнечного излучения на приемную поверхность имеет свою известную, отличную от графика потребления, форму с максимумом в полдень. В результате отмеченных особенностей на ФЭС необходима установка дублирующих и/или аккумулирующих источников энергии, что приводит к дополнительным материальным и финансовым затратам. Поэтому необходимо особое внимание уделять имеющейся в наличии исходной информации (перечень и мощность электроприемников потребителя, графики нагрузки всего предприятия или отдельно для каждой отходящей линии от распределительного устройства подстанции и т.д.), так как это влияет на конечную мощность геосистемы и аккумулирующих или дублирующих устройств.

При проектировании объектов электроснабжения предприятий АПК, которые в большинстве случаев имеют сезонные графики потребления электрической энергии, необходимо учитывать не суммарное максимальное потребление электроэнергии, а расчетное максимальное потребление электроэнергии по сезонам в течение года. При проектировании резервного источника питания, как например, солнечная электростанция, функционирующая на основе фотоэлектрического эффекта, на действующих предприятиях АПК, необходимо учитывать не только сезонность функционирования предприятия, но и располагать фактическим годовым, месячным или суточным графиками потребления электрической энергии, а также целым рядом технических особенностей проектируемого резервного источника питания.

Одним из основных этапов проектирования систем электроснабжения производственного объекта является определение расчетных электрических нагрузок как отдельных электроприемников, так и узлов электрической нагрузки на всех уровнях системы электроснабжения. Зная электрические нагрузки, можем оценить необходимую мощность источников питания, выбрать и проверить коммутационное, измерительное электрооборудование и оборудование целого ряда электрических защит, согласовать токоведущие части по условию допустимого нагрева, оценить потери и колебания напряжения. В зависимости от наличия первичной исходной информации применяют конкретный метод расчета электрической нагрузки.

На рисунке 1 представлена структурная схема существующих методов определения и оценки нагрузки электроприемников [3].

Для вновь сооружаемых объектов или при отсутствии сведений об электропотреблении уже эксплуатируемых объектов рекомендовано применять стохастический метод расчета электрической нагрузки, основанный на результатах статистического обследования. Кроме этого, для объектов агропромышленного комплекса разработаны методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях сельскохозяйственного назначения под названием «РД 34.20.178. Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38-110 кВ сельскохозяйственного назначения: руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства».

Руководящие материалы (РМ) по проектированию электроснабжения объектов сельского хозяйства – это единое методическое указание, представленное в виде справочного материала всем проектным организациям, занимающимся проектированием и расчетом электрических нагрузок в сетях 0,38 – 110 кВ сельскохозяйственного назначения. В данных руководящих материалах унифицированы исходные данные для расчета электросетей на разных стадиях проектирования, учтена фактическая нагрузка элементов электросети (трансформаторов, линий электропередачи, и т.д.).

В основу методик определения нагрузок при расчете электрических сетей сельскохозяйственного назначения положено суммирование расчетных нагрузок, представленных в вероятностной форме на вводах потребителей или на шинах трансформатор-

ных подстанций на третий расчетный год. Расчетные нагрузки жилых домов в сетях 0,38 кВ определяются с учетом достигнутого уровня электропотребления на внутриквартирные нужды, а производственных, общественных и коммунальных потребителей – по нормам.

Рисунок 1 – Методы расчета электрических нагрузок

Figure 1 – Methods for calculating electrical loads

Расчетные нагрузки в сетях 0,38 – 110 кВ определяются с учетом достигнутой к исходному году фактической загрузки действующих трансформаторных подстанций.

Для реконструируемых объектов при наличии сведений о существующем уровне электропотребления полученных во время обследования потребителей электроэнергии рекомендовано применять расчетные методы оценки электрической нагрузки, основанные на составлении графиков электрических нагрузок потребителя. Для построения

графика электрических нагрузок необходимо знать технологический цикл работы электрооборудования и учитывать полную расчетную мощность в дневной и вечерний максимумы электрических нагрузок. Для промышленных потребителей электроэнергии расчет электрической нагрузки ведется методом коэффициента использования, для жилых и общественных зданий – методом коэффициента спроса, для сельскохозяйственных потребителей – методом коэффициентов загрузки электроприемников.

Объект исследования. Объект исследования – система электроснабжения действующего сельскохозяйственного предприятия «Завод Сорго» ФГБНУ «АНЦ «Донской», расположенного в г. Зерноград Ростовской области.

Согласно методическим указаниям по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38–110 кВ сельскохозяйственного назначения РД 34.20.178, производственный сельскохозяйственный объект «Завод Сорго» может быть отнесен к комплексу сооружений для хранения больших партий зерна в высокомеханизированном зернохранилище силосного типа и доведения его до кондиционного состояния. К основным потребителям электрической энергии на объекте (рисунок 2) относятся: сушильно-очистительная башня с силосохранилищем 10, машинное здание 7, склад готовой продукции 6. Кроме этого, на территории расположены: весовая 5, лаборатория 2, проходная 4, административное здание 3, склады № 3-5 1, склады № 6-7 11, мастерская 8, станция горюче-смазочных материалов (ГСМ) 12, сторожка 13, грузовой устройство автомобилеразгрузчик (ГУАР) 10, аварийные и не электрифицированные сооружения 20 – 25.

Сельскохозяйственный объект «Завод Сорго» имеет сезонную производственную загруженность по периодам года: июль – август, сентябрь – октябрь, ноябрь – февраль, март – апрель, май – июнь. В производственный период «май – июнь» в дневное время производятся ремонтные и уборочные работы, организуется обслуживание оборудования на сушильно-очистительной башне, в машинном здании, а также научного оборудования в складах и т.д. В отопительный сезон в ряде помещений зданий и сооружений присутствует электрическое отопление.

Рисунок 2 – План размещения электропотребителей сельскохозяйственного предприятия «Завод Сорго»

Figure 2 – Layout plan for electrical consumers of agricultural enterprise «Sorghum Plant»

Источником электрической энергии для сельскохозяйственного предприятия является трансформаторная подстанция КТП 10/0,4 с трансформатором ТМ-630 кВА, от которого осуществляется электроснабжение потребителей на заводе по 5-ти основным

радиальным линиям – Л1: электропотребители П1–П5; Л2: электропотребители П6–П8; Л3: электропотребители П11–П13; Л4: электропотребители П7; Л5: электропотребители П9; кроме этого выделены узлы электрических нагрузок – № 14–18 (рисунок 2).

Материалы и методы. Для электропотребителей сельскохозяйственного предприятия «Завод Сорго» рассчитаны и построены годовой и суточный графики электрических нагрузок тремя различными способами: расчетным методом, по методике руководящих указаний и на основании собранных экспериментальных данных.

Поскольку сельскохозяйственное предприятие «Завод Сорго» имеет односменный график работы и продолжительный (длительный) режим работы электроприемников, а особенность технологического цикла такова, что отношение активной мощности (электроэнергии) холостого хода электрооборудования к фактической активной мощности (электроэнергии) меньше 1 %, то в качестве расчетного метода выбран метод коэффициента спроса.

Суммарная максимальная номинальная активная мощность сельскохозяйственного предприятия «Завод Сорго» составляет 214,9 кВт. По данным таблицы 6 руководящих материалов [7], данная установленная мощность близка по мощности к объекту № 309 (зерноочистительно-сушильный комплекс КЗР-5 с Руст=250 кВт).

Мониторинг фактического потребления электроэнергии на сельскохозяйственном предприятии «Завод Сорго» осуществлялся на шинах распределительного устройства низкого напряжения 0,38 кВ КТП 10/0,4 кВ (объект № 19 на рисунке 1) на установленном узле коммерческого учета электроэнергии, состоящего из трех трансформаторов тока ТА1 – ТА3 товарного знака ИЕК (номинальное напряжение 0,66 кВ, номинальный первичный/вторичный ток – 600/5, класс точности 0,5 и номинальная полная мощность на вторичной обмотке S2=10 ВА); трехфазного счетчика электрической энергии товарного знака ЭНЕРГОМЕРА, марки ЦЭ6803ВМ (номинального напряжения 3х220 В (380 В) и вторичного тока 5 А (1-7,5 А)).

Результаты и обсуждение. При проектировании объектов электроснабжения предприятий АПК, которые в большинстве случаев имеют сезонные графики потребления электрической энергии, необходимо учитывать не суммарное максимальное потребление электроэнергии, а расчетное максимальное потребление электроэнергии по сезонам в течение года. При разработке резервного источника питания, как например солнечная фотоэлектростанция, функционирующая с использованием фотоэлектрических модулей, на действующих предприятиях АПК, необходимо учитывать не только сезонность функционирования предприятия, но и фактический годовой, месячный, а также характер поведения суточного графика потребления электрической энергии и целый ряд технических особенностей проектируемого резервного источника питания.

На рисунке 3 представлены суточные графики потребляемой электрической энергии сельскохозяйственным предприятием «Завод Сорго» электрической энергии для характерных дней года, полученные различными подходами к их построению.

Изучаемое сельскохозяйственное предприятие имеет односменный режим работы и практически равномерно загружено в течение рабочей смены с 8⁰⁰ до 17⁰⁰ (рисунок 3). В течение года наибольшая загруженность технологического оборудования наблюдается в летний период (75–85 кВт). В осенний период нагрузка снижается незначительно до 70–80 кВт. Наименьшая загруженность зафиксирована весной – 9–19 кВт. В характерный для зимнего периода день нагрузка составляет 35–40 кВт и большей частью определена системой электрического отопления помещений.

Рисунок 3 – Суточные графики потребляемой сельскохозяйственным предприятием «Завод Сорго» электрической энергии: а) для 15.03, б) для 1.07, в) для 15.09, г) для 15.12, построенные по данным различных методов

Figure 3 – Daily graphs of electricity consumed by the agricultural enterprise "Sorghum Plant": а) for March, 15, б) for July, 1, в) for September, 15, д) for December, 15, determined according to various methods

Анализ рисунка 3 позволяет сделать вывод, что в период с 22⁰⁰ до 7⁰⁰ прогнозирование потребления электрической энергии, согласно методике руководящих указаний, наиболее близко к фактическому потреблению. При этом во все характерные дни, кроме дней весеннего периода года, результаты расчетного метода также приблизительно соответствуют фактическим значениям.

Для характерного летнего дня отклонение данных, полученных согласно расчетному методу, от фактических значений составляет от 21,8 % во временной период 11⁰⁰ – 12⁰⁰ и 43,75 % – в 16⁰⁰–17⁰⁰, до 68,75 % – в 19⁰⁰ – 20⁰⁰ и 73,5 – в 13⁰⁰– 14⁰⁰. Количественные показатели нагрузки, полученные согласно методике руководящих указаний, практически в два раза превышают фактическую нагрузку.

Для характерного дня весеннего периода года прогнозируемая нагрузка превышает для обоих способов фактическое значение, при этом она имеет два выраженных максимума нагрузки: для расчетного метода – с 8⁰⁰ до 12⁰⁰ (42 кВт) и с 13⁰⁰ до 17⁰⁰ (42 кВт) и для методике руководящих указаний – с 11⁰⁰ до 12⁰⁰ (62,5 кВт) и с 16⁰⁰ до 17⁰⁰ (46 кВт). Фактическая же нагрузка изменяется в течение рабочего периода незна-

чительно – с 15 кВт до 19 кВт. При этом минимальное отклонение от расчетных способов составляет 56,2 %, а максимальное – в 2,35 и в 1,75 раза для методики руководящих указаний и расчетного метода соответственно.

В характерный день осеннего периода года расчетная нагрузка постоянна в течение рабочего дня (135 кВт), кроме периода с 12⁰⁰ до 13⁰⁰, когда она снижается до 15 кВт. При этом превышение над фактической нагрузкой составляет 68,8-92,8 %. График нагрузки, построенный согласно методике руководящих указаний, также имел два максимума нагрузки – 67 кВт с 11⁰⁰ до 12⁰⁰ и 45 кВт с 16⁰⁰ до 17⁰⁰. При этом следует отметить, что расчетная нагрузка ниже, чем фактическая на 29,3 – 133,3 %.

В зимнее время поведение графика нагрузки, построенного расчетными методами, аналогично осеннему характерному дню, однако фактическая нагрузка существенно ниже – практически в 2 раза.

На рисунке 4 представлены годовые графики потребления электрической энергии сельскохозяйственным предприятием «Завод Сорго», которые построены с использованием различных способов.

Согласно рисунку 4 наибольшая фактическая нагрузка фиксируется с июля по сентябрь во время активной уборки и переработки урожая (21-27 тыс. кВт·ч). Далее она снижается до марта до значения 10 тыс. кВт·ч, а с марта по июль фактическое потребление уменьшается до 2-6 тыс. кВт·ч, что связано с отключением системы электрического отопления помещений завода.

График, построенный по данным, полученным расчетным методом, сближается максимально с фактическим графиком потребления электрической энергии рассматриваемого объекта в период с марта по июль (отклонение не превышает 25-50 %). В остальное время наблюдается превышение прогнозируемых величин над фактическими практически в два раза.

Рисунок 4 – Годовые графики потребляемой сельскохозяйственным предприятием «Завод Сорго» электрической энергии, которые построены по данным различных методов

Figure 4 – Annual load graphs of the agricultural enterprise "Sorghum Plant", determined according to various methods

В период с февраля по май отклонение данных, полученных согласно методике руководящих указаний, от фактических наименьшее и составляет 12,5-50 %. В остальное время наблюдается превышение прогнозируемых величин над фактическими практически в два – три раза.

Наиболее удобный для использования в практике проектирования фотоэлектрических станций и установок следует считать методику руководящих указаний. В качестве исходных данных необходимо знать только тип потребителя (односменное или двухсменное, перерабатывающее предприятие или сельскохозяйственное производство и т.д.) и его суммарную установленную мощность, а все остальные данные приведены в таблицах руководящих указаний. Однако анализ рисунка 3 показывает, что даже суммарно за день отклонение прогнозируемого количества потребленной энергии от фактического существенно отличается: наибольшее отклонение по модулю наблюдается в марте – 105,3 %, наименьшее – в декабре – 10,2 %, при этом в летний и весенний периоды действующее предприятие потребляет больше электрической энергии, чем выставляет. Всё это может привести к недоиспользованию имеющегося потенциала солнечной энергии в рассматриваемой географической точке, что особенно заметно в летний период – период максимальной интенсивности солнечной радиации и наибольшей загруженности сельскохозяйственных предприятий. Суточная потребляемая электрическая энергия за сутки на 38,0 % ниже, чем фактическая для летнего характерного дня и на 20,6 % – для осеннего. Годовое потребление электрической энергии рассматриваемым объектом, прогнозируемое при помощи методики руководящих указаний, в 1,32 раза больше, чем зафиксированная приборами учета.

Применение расчетного метода для построения графиков нагрузки потребителя связано уже со сбором более широкого ряда исходной информации, а именно особенностей технологического процесса, схемой электрической принципиальной, номинальной мощности оборудования. Данная информация не всегда находится в открытом доступе, что приводит к затратам дополнительного времени на её сбор. Но данные суточных графиков электрических нагрузок существенно выше, чем для фактического сбора информации: суммарная суточная потребленная электрической энергия выше на 147,3 % в марте, на 120,2 % в июле, на 60,6 % в сентябре и на 156,1 % в декабре. Годовая потребленная электрическая энергия рассматриваемым объектом, прогнозируемая расчетным методом, в 1,79 раза больше, чем зафиксированная приборами учета.

Выводы. Таким образом, у каждого рассмотренного способа определения нагрузки сельскохозяйственного потребителя для проектирования фотоэлектрической станции (установки) есть свои особенности. Наиболее точный метод мониторинга нагрузки требует большого периода времени для сбора информации. Методика руководящих указаний наиболее проста в использовании и требует минимум исходной информации, однако её применение при выборе параметров фотоэлектрических установок может привести к недоиспользованию имеющегося потенциала солнечной энергии в рассматриваемой географической точке, что особенно проявляется в летний период – период максимальной интенсивности солнечной радиации и наибольшей загруженности сельскохозяйственных предприятий. Применение расчетного метода для построения графиков нагрузки потребителя также связано со сбором широкого ряда исходной информации. Но получаемые данные, прогнозируемые расчетным методом, дают существенное завышение потребляемой мощности, что может привести к завышению

установленной мощности фотоэлектрической станции (установки) и излишним капитальным затратам, а в последующем и возникающей необходимостью утилизации избытка вырабатываемой электрической энергии.

Библиографический список

1. Васильев С. И., Машков С. В., Сыркин В. А. Комплекс энергосберегающих элементов технологии выращивания овощных культур в контролируемых условиях // Вестник аграрной науки Дона. 2020. № 4 (52). С. 10-19.
2. Даус Ю. В., Ракитов С. А., Юдаев И. В. Оценка потенциала использования энергоустановок на основе преобразования солнечной энергии на примере г. Волгограда // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 2 (42). С. 261-267.
3. Ершов А. М. Системы электроснабжения. Часть 2: Электрические нагрузки. Компенсация реактивной мощности: курс лекций. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. 230 с.
4. Использование мультиконтактных коммутационных систем с мостовой схемой в микросетях для регулирования нагрузки возобновляемых источников энергии / А. В. Виноградов [и др.] // Агротехника и энергообеспечение. 2020. № 1 (26). С. 39-51.
5. Ресурсный потенциал солнечной энергии для установок, использующих ее в системе энергоснабжения потребителей г. Волжского / Ю. В. Даус [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 129. С. 297-307.
6. Чубайс А. Б., Копылов А. Е., Зубакин В. А. Развитие возобновляемой энергетики в России. Технологии и экономика. М.: Издательская группа Точка, 2020. 464 с.
7. A stochastic framework to evaluate the impact of agricultural load flexibility on the sizing of renewable energy systems / Ayse Selin Kocaman [et al.] // Renewable Energy. 2020. Vol. 152. P. 1067-1078.
8. Golan M. S., Jernegan L. H., Linkov I. Trends and applications of resilience analytics in supply chain modeling: systematic literature review in the context of the COVID-19 pandemic // Environ. Syst. Decis. 2020.
9. Gu Hai-ying, Wang Chang-Wei Impacts of the COVID-19 pandemic on vegetable production and countermeasures from an agricultural insurance perspective // Journal of Integrative Agriculture. 2020. № 19 (12). P. 2866–2876.
10. Impacts of COVID-19 on rural and agricultural development in 2020 and its countermeasures / X. Ye [et al.] // Issues Agric. Econ. 2020. Vol. 483. P. 4-10.
11. Kharchenko V., Gusarov V., Bolshev V. Reliable electricity generation in RES-based microgrids // Handbook of Research on Smart Power System Operation and Control. Hershey, PA, USA, 2019. P. 162-187.
12. Photovoltaic solar modules of different types and designs for energy supply / V. Panchenko [et al.] // International Journal of Energy Optimization and Engineering. 2020. Vol. 9. № 2. P. 74-83.
13. The concept of information modeling in interactive intelligence systems / S. Sinitsyn [et al.] // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1072. P. 249-259.

Conclusions. In the research region, pastures occupy a large part of the territory - 62.8%, another 19% is represented by a mosaic of cropland and pastures due to inconvenience. The share of pasture land in the regions varies from 7% (Sovietskii) to 80-90% in the Pallasovskii, Engelsskii and Zhanibekskii districts. In areas with strong erosive dissection, the proportion of mosaics from pastures and arable lands is greater: Sovetsky (52%), Krasnokutskii (49.6%), Ershovskii (48.3%), Fedorovskii (47.5%) areas of the Saratov region.

The region has seen a steady increase in livestock over the past decade. At the same time, the number of cattle was quite stable and amounted to 300-340 thousand heads in different years. The increase in cattle stock in Zhanibekskii (by 71%), Kaztalovskii (by 47%), Bykovskii (by 33%) and Rovenskii (60%) districts was offset by a corresponding decrease in the Saratov region (on average by 30-40%).

References

1. Vasil'ev S. I., Mashkov S. V., Syркиn V. A. Kompleks jenergosberegayuschih jelementov tehnologii vyraschivaniya ovoschnyh kul'tur v kontroliruemyh usloviyah // Vestnik agrarnoj nauki Dona. 2020. № 4 (52). P. 10-19.
2. Daus Yu. V., Rakitov S. A., Yudaev I. V. Ocenka potentsiala ispol'zovaniya jenergoustanovok na osnove preobrazovaniya solnechnoj jenergii na primere g. Volgograda // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2016. № 2 (42). P. 261-267.
3. Ershov A. M. Sistemy jelektrosnabzheniya. Chast' 2: Jelektricheskie nagruzki. Kompensaciya reaktivnoj moschnosti: kurs lekcij. Chelyabinsk: Izdatel'skij centr YuUrGU, 2018. 230 p.
4. Ispol'zovanie mul'tikontaktnyh kommutacionnyh sistem s mostovoj sxemoy v mikrosetyah dlya regulirovaniya nagruzki vozobnovlyaemyh istochnikov jenergii / A. V. Vinogradov [i dr.] // Agrotehnika i jenergoobespechenie. 2020. № 1 (26). P. 39-51.
5. Resursnyj potentsial solnechnoj jenergii dlya ustanovok, ispol'zuyuschih ee v sisteme jnergosnabzheniya potrebitelej g. Volzhskogo / Yu. V. Daus [i dr.] // Politemati-cheskij setevoy jlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 129. P. 297-307.
6. Chubajts A. B., Kopylov A. E., Zubakin V. A. Razvitie vozobnovlyaemoj jnergetiki v Rossii. Tehnologii i jekonomika. M.: Izdatel'skaya gruppa Tochka, 2020. 464 p.
7. A stochastic framework to evaluate the impact of agricultural load flexibility on the sizing of renewable energy systems / Ayse Selin Kocaman [et al.] // Renewable Energy. 2020. Vol. 152. P. 1067-1078.
8. Golan M. S., Jernegan L. H., Linkov I. Trends and applications of resilience analytics in supply chain modeling: systematic literature review in the context of the COVID-19 pandemic // Environ. Syst. Decis. 2020.
9. Gu Hai-ying, Wang Chang-Wei Impacts of the COVID-19 pandemic on vegetable production and countermeasures from an agricultural insurance perspective // Journal of Integrative Agriculture. 2020. № 19 (12). P. 2866-2876.
10. Impacts of COVID-19 on rural and agricultural development in 2020 and its countermeasures / X. Ye [et al.] // Issues Agric. Econ. 2020. Vol. 483. P. 4-10.
11. Kharchenko V., Gusarov V., Bolshev V. Reliable electricity generation in RES-based microgrids // Handbook of Research on Smart Power System Operation and Control. Hershey, PA, USA, 2019. P. 162-187.
12. Photovoltaic solar modules of different types and designs for energy supply / V. Panchenko [et al.] // International Journal of Energy Optimization and Engineering. 2020. Vol. 9. № 2. P. 74-83.
13. The concept of information modeling in interactive intelligence systems / S. Sinitsyn [et al.] // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1072. P. 249-259.

Author's Information

Desyatnichenko Danil Aleksandrovich, post-graduate student of the Heat power engineering and technosphere safety department, Azov-Black Sea Engineering Institute - branch of FSBEI HE "Don State Agrarian University" (Russia, 347740, Zernograd, Lenin st., 21), tel. 8 (86359) 4-25-75, e-mail: danilrunlife@mail.ru.

Daus Yulia Vladimirovna, engineer of the Research and Development, Intellectual Property and Technology Transfer department, FSBEI HE "St. Petersburg State Agrarian University" (Russia, 196605, St. Petersburg, Peterburgskoe highway, 2), candidate of technical sciences, tel. 8 (812) 476-23-33, e-mail: zirochka2505@gmail.com.

Yudaev Igor Viktorovich, Vice-Rector for Academic and Educational Work, FSBEI HE "St. Petersburg State Agrarian University" (Russia, 196605, St. Petersburg, Peterburgskoe highway, 2), candidate of technical sciences, professor, tel. 8 (812) 476-23-33, e-mail: etsh1965@mail.ru.

Информация об авторах

Десятниченко Данил Александрович, аспирант кафедры теплоэнергетики и техносферная безопасность, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» (РФ, 347740, г. Зерноград, ул. Ленина, 21), тел. 8 (86359) 4-25-75, e-mail: danilrunlife@mail.ru.

Даус Юлия Владимировна, инженер отдела НИОКР, интеллектуальной собственности и трансфера технологий, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (РФ, 196605, г. Санкт-Петербург, Петербургское ш., д. 2), кандидат технических наук, тел. 8 (812) 476-23-33, e-mail: zirochka2505@gmail.com.

Юдаев Игорь Викторович, проректор по учебной и воспитательной работе, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (РФ, 196605, г. Санкт-Петербург, Петербургское ш., д. 2), доктор технических наук, профессор, тел. 8 (812) 476-23-33, e-mail: etsh1965@mail.ru.

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-44

KINEMATICS OF MOTION OF THE MANIPULATING MECHANISM OF A ROBOTIC PROPELLER DURING THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF WEEDING

A. G. Ivanov, N. S. Vorob'yeva

Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

Received 10.09.2021

Submitted 15.11.2021

Summary

The article presents calculations of the movement of the working tool along a previously unknown and straight path, a comparative analysis was carried out, the result of which revealed that it is preferable to use a previously undefined trajectory for the movement of the working tool of a robotic weeding machine.

Abstract

Introduction. The article is devoted to the development of programmed movements of a working part, a robotic weeding machine in space by the method of kinematic synthesis. **Object.** The working part of the robotic weeding machine is used as a milling cutter with a vertical axis of rotation. **Materials and methods.** The solution to the problem of moving the working part (cutter) in space is divided into two stages. 1. The problem of positioning the manipulation mechanism (configuration problem) is solved, which provides the final position in the visual cutter of the weeder, determined by the coordinates of the weed, based on the optimization criterion. 2. After the configuration problem has been solved, the task is to find the motion of the executive links along the trajectory. The paper considers without inertial movement of the working part of a robotic weeding machine along two trajectories: 1 - straight; 2 - undefined in advance. **Results and conclusions.** The problem of moving the working part (milling cutter) of a weeding machine when moving along a straight line and along a previously undefined trajectory according to the law of inertialess motion using an optimal positioning algorithm has been solved. A comparative analysis of the movement of the working part of the weeding machine showed that the elongation along the indefinite trajectory of the working part is insignificant (up to 6%), and also that when the working part moves in a straight line, the rod of one actuator makes a reciprocating motion, which in turn negatively affects the drive. Therefore, it is preferable to use a previously undefined trajectory to move the weeding tool.

Key words: *robotic weeding machine, technological process of weeding, working part, executive links, trajectory of movement, law of motion.*

Citation. A. G. Ivanov, N. S. Vorob'yeva. Kinematics of motion of the manipulating mechanism of a robotic propeller during the technological process of weeding. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 4(64). 452-463 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-44.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

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