

Научная статья
УДК 621.311
doi:10.35694/YARCX.2024.68.4.018

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПРИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ ОБЪЕКТОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

В. В. Морозов¹, Н. Ю. Махаева², Г. М. Зюзин³, Д. А. Васиков⁴, Н. В. Сухоруких⁵

^{1, 2, 3}Ярославский государственный аграрный университет, Ярославль, Россия

^{4, 5}Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны, Ярославль, Россия

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Александрович Васиков, zoomd@yandex.ru

Реферат. Создание автономных систем электроснабжения на базе дизельных электростанций приводит к решению ряда задач, а именно, генерированию электроэнергии с необходимыми параметрами, уменьшению продолжительности работы электростанций в режимах с нагрузкой ниже номинальных значений, увеличению коэффициента полезного действия, увеличению ресурса изделия. Решить названные задачи позволит правильный выбор способов адаптации автономных систем электропитания к изменяющимся с течением времени значениям нагрузки. Показан способ управления частотой вращения вала двигателя внутреннего сгорания. Для стабилизации выходных параметров электроэнергии предлагается использовать асинхронизированный генератор.

Ключевые слова: автономные источники электроэнергии, двигатель внутреннего сгорания, удельный расход топлива, автоматизированная система управления

IMPROVEMENT OF DIESEL POWER STATIONS IN THE POWER SUPPLY OF AGRICULTURAL FACILITIES

V. V. Morozov¹, N. Yu. Makhaeva², G. M. Zyuzin³, D. A. Vasikov⁴, N. V. Sukhorukikh⁵

^{1, 2, 3}Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russia

^{4, 5}Yaroslavl Higher Military Institute of the Air Defense, Yaroslavl, Russia

Author responsible for correspondence: Dmitriy A. Vasikov, zoomd@yandex.ru

Abstract. The creation of autonomous power supply systems based on diesel power stations leads to the solution of a number of tasks, namely, the generation of electricity with the necessary parameters, a decrease in the duration of operation of power stations in modes with a load below nominal values, an increase in performance index, an increase in product life. To solve these problems will allow the correct choice of methods for adapting autonomous power supply systems to changing load values over time. A method of controlling the shaft speed of an internal combustion engine is shown. To stabilize the output parameters of electricity, it is proposed to use an asynchronous generator.

Keywords: autonomous sources of electric power, internal combustion engine, specific fuel consumption, automated control system

Введение. Всё большее использование электрической энергии в агропромышленном комплексе (АПК) даёт возможности повысить производительность применяемых технологических процессов. Круглосуточное освещение теплиц и оранжерей, автоматизированные замкнутые циклы животноводческих комплексов, перевод сельскохозяйственной техники на работу от аккумуляторных батарей, внедрение сельскохозяйственных беспилотных летательных аппаратов и т.д. модернизируют отрасль и дают ей возможности для дальнейшего развития.

Развитию энергетики всегда придаётся важное значение. Электрификация дальних районов и территорий всегда за собой приводит к росту промышленности, в первую очередь, АПК. Сегодня весь мир ищет и осваивает новые способы получения электроэнергии, идёт полным ходом развитие возобновляемых источников электроэнергии, но традиционные способы ещё

долгое время будут вырабатывать её большую часть. В России, например, до недавнего времени имеющей большие запасы топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), развитию альтернативной энергии не уделялось столько внимания. Хотя развитие научной мысли в области энергетики и, в частности, энергоэффективности шло как никогда раньше. В настоящее время пришло осознание и наблюдается движение в сторону того, что ТЭР необходимо расходовать экономно, рачительно, а также повсеместно использовать имеющийся потенциал возобновляемых источников местных видов топлива. При оценке всеобщей электрификации нашей страны и из-за её огромных территорий сейчас эксперты насчитывают до 50 млн га земель сельскохозяйственного назначения, которые ещё могут быть освоены АПК, но в этих местах нет централизованного электроснабжения, в первую очередь это связано с удалённостью или исчезновением сёл и деревень, из-

за массового переселения местных жителей в ближайшие крупные города. В такой ситуации для решения вопроса электрификации применяются автономные источники электроэнергии, в частности, дизельные электростанции (ДЭС) [1].

В районах, где есть центральная сеть, электротехническое оборудование, применяемое в сельском хозяйстве, может быть оценено по надёжности и отнесено к различным категориям. К первым и вторым категориям можно отнести такие системы, как: кормления и поения животных и птиц, обеспечения микроклимата и инкубации, локального обогрева молодняка как птиц, так и животных, водоснабжения, доения и т.д. В случае пропадания электроэнергии в указанных электрифицированных категориях и системах произойдёт изменение или прекращение технологического процесса, что может привести к полной потере или большому ущербу в производстве соответствующего АПК [2].

В рассмотренных случаях автономные источники электроэнергии (АИЭ) берут на себя роль резервных источников энергоснабжения.

Методика. Большой выбор АИЭ с различными типами характеристик отечественного производства, их доступность и простота в обслуживании расположило к себе производителей. АИЭ активно используются для обеспечения работ удалённых производств в сфере сельского хозяйства, животноводческих и лесных комплексов и других отраслей АПК.

Среди имеющегося разнообразия АИЭ (солнечные, ветряные, бензиновые, газотурбинные и т.д.) на сегодняшний день дизельные электростанции (ДЭС) получили большее распространение, их выделяют за удобство в эксплуатации, обслуживании и относительно небольшие массогабаритные показатели.

В свою очередь при использовании АИЭ на базе ДЭС производителям в АПК приходится сталкиваться со следующими трудностями. В определённых условиях эксплуатации (работа на резкопеременный и неравномерный с течением времени характер нагрузки) электроэнергия, генерируемая ДЭС, имеет параметры, не удовлетворяющие требованиям ГОСТ 32144-2013 [3]. Следствием этого также является уменьшение продолжительности работы энергосилового оборудования ДЭС с нагрузкой, имеющей номинальные значения. Работа на резкую и изменяющуюся с течением времени нагрузку автономной ДЭС приводит впоследствии к недоиспользованию номинальной мощности используемого электрогенератора, снижению его КПД, некачественному образованию топливной смеси в форсунках энергосилового оборудования (что приводит к нерациональному расходу топлива), повышенной напряжённости в местах трения узлов и деталей, что неизбежно приведёт к преждевременному износу составных частей энергосилового оборудования [4; 5]. Данные обстоятельства приводят к уменьшению срока технической эксплуатации, в отдельных случаях до 30%, уменьшению периодов между техническим обслуживанием, а порой и необходимости преждевременной замены энергосилового оборудования. Целью работы является устранение возникших негативных факторов за счёт постоянной работы ДЭС в номинальном режиме работы.

Резкопеременный и неравномерный тип нагрузки, воздействующий на энергосиловое оборудование ДЭС, возникает из-за того, что потребление электроэнергии при выполнении технологических процессов различных производств в АПК не сбалансированы по нагрузке и не согласованы по времени.

Анализ проведённых исследований в области совершенствования имеющегося парка автономных ДЭС с целью уменьшения последствий работы на резкую и неравномерную типы нагрузки показал, что они проводятся в направлении совершенствования энергосилового агрегата и его систем. В настоящее время предложено и разработано много разнообразных способов сохранения параметров КПД, а также уменьшения негативных последствий долгой работы ДЭС на нагрузках ниже номинальных значений при динамических нагрузках, которые так и не стали из-за различных причин широко применяться на практике.

Целесообразнее при адаптации ДЭС к резкопеременной и неравномерной во времени значению нагрузки пойти по пути баланса между генерацией и потреблением электроэнергии.

Один из способов адаптации ДЭС к резкопеременной и неравномерной с течением времени значению нагрузки является использование возможности изменения частоты вращения вала двигателя внутреннего сгорания (ДВС) энергосилового оборудования ДЭС [6].

Если для каждого значения нагрузки, в диапазоне для имеющегося технологического цикла в АПК, определить свою частоту вращения ДВС, которой будет соответствовать номинальный режим работы для энергосилового оборудования дизеля, то можно добиться как минимального удельно эффективного расхода топлива, так и износа деталей и узлов изделия.

В основном значение нагрузки и частоты вращения вала ДВС будет смещаться в сторону уменьшения и снижения оборотов. Анализ эксплуатации ДЭС в производствах АПК показал, что почти половину времени (около 48%) энергосиловое оборудование работает с нагрузкой меньше номинальных значений. Это связано с тем, что мощность ДЭС при использовании в АПК закладывается из расчёта максимально возможных нагрузок, имеющих в технологическом цикле производства и плюсом для повышения надёжности ещё 10%, запас по нагрузке закладывается и в сами ДЭС производителями. Кроме всего прочего неравномерность нагрузки очень сильно снижает этот показатель. Данное обстоятельство будет являться основой для сбалансированной работы энергосилового оборудования ДЭС и потребителей электроэнергии.

Для оценки эффективной работы ДЭС возьмём удельный расход топлива на выработку одного кВт/ч электрической энергии (B_e). Изменение B_e ДЭС в зависимости от значения нагрузки (N_e) представлено на рисунке 1.

Представленная на рисунке 1 нагрузочная характеристика энергосилового оборудования ДЭС показывает значения коэффициента полезного действия (η) от N_e и часового расхода топлива (B_{ch}) в зависимости от значения нагрузки N_e при условии постоянной частоты вращения (n) вала ДВС. Из вышеописанного следует, что для повышения КПД необходимо, чтобы двигатель

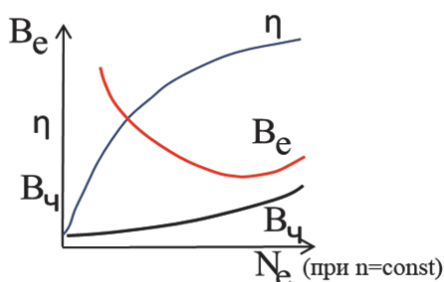


Рисунок 1 – Нагрузочная характеристика энергосилового оборудования ДЭС

ДЭС работал на определённой частоте, соответствующей минимальному значению V_e .

Для понимания принципа предложенного способа повышения энергоэффективности работы ДЭС при резкопеременной и неравномерной с течением времени значению нагрузки рассмотрим рисунок 2, который можно назвать экономической характеристикой при работе энергосилового оборудования ДЭС.

Внимание нужно обратить на зависимости удельного расхода топлива (V_e) от нагрузки (N_e) при разных частотах вращения вала ДВС ДЭС ($n_1 > n_2 > n_3 > n_4 > n_5$), они отличаются друг от друга смещением по кривой АВ.

Способ позволяет сбалансировать работу ДЭС в зависимости от значения нагрузки. Идея экономии ТЭР состоит в том, что при изменении нагрузки при технологическом процессе в АПК меняется и частота вращения вала ДВС, для сохранения оптимального режима работы для энергосилового оборудования ДЭС, т.е. номинального. Для этого, как упоминалось ранее, частота вращения вала ДВС должна соответствовать точкам на кривой АВ (рис. 2).

Использование названного способа адаптации ДЭС к нагрузкам приводит к необходимости решения ряда задач:

- необходимо знать математическую модель, характеризующую изменение частоты от значения нагрузки и соответствующую кривой АВ на рисунке 2, для конкретной ДЭС;

- энергосиловое оборудование ДЭС имеет в своём составе синхронные генераторы (СГ), которые жёстко связаны с валом двигателя фланцевым соединением. Изменение скорости вращения вала двигателя приведёт к изменению параметров вырабатываемой электроэнергии, а именно частоты тока;

- каждому значению нагрузки будет соответствовать своя скорость вращения вала ДВС. Необходимо

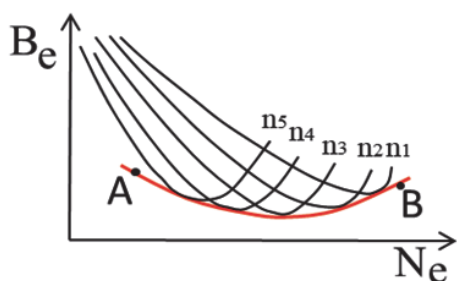


Рисунок 2 – Экономическая характеристика ДЭС

знать значение частоты для всех возможных значений нагрузки в диапазоне технологического цикла, реализованного в АПК.

Решение данных задач возможно следующими способами.

Для вычисления математической модели достаточно проведение многофакторных экспериментов на предприятии, представленная зависимость будет иметь вид полинома второго порядка.

Изменение скорости вращения вала ДВС возможно решить на основе современных автоматизированных платформ, причём многие из них уже имеются в ДЭС и выполняют задачи по стабилизации частоты вращения. Системы уже управляют количеством впрыска топлива форсунками в цилиндры двигателя. Причём для сбора информации о работе систем двигателя также достаточно имеющихся датчиков и систем контроля.

Для решения проблемы изменения параметров тока при изменении частоты вращения вала ДВС предлагается использовать асинхронизированные генераторы (АСГ). Они на современном этапе уже довольно хорошо себя зарекомендовали и относятся к системам стабилизации параметров выдаваемой электроэнергии типа переменная скорость – постоянная частота.

Качество выходного напряжения и стабильность электрических параметров ДЭС независимо от значения нагрузки является недооценённым достоинством таких систем стабилизации на основе АСГ [6].

Выводы. Экономное использование ТЭР в технологических процессах АПК – это путь к более экологичным технологиям, конкурентоспособности продукции и сохранению земельного фонда за счёт наращивания производств на уже освоенных территориях. Приведённые выше задачи повышения энергоэффективности сельскохозяйственных объектов на сегодняшний день могут быть решены вышеизложенным способом, в основе которого лежит сбалансированность между потреблением и выработкой электроэнергии.

Современный уровень технологий при модернизации ДЭС готов предложить без существенных капитальных вложений и переделывания систем энергосилового оборудования способы, решающие задачи повышения энергоэффективности в области автономной энергетики. В сельском хозяйстве дизельные электростанции на сегодняшний день остаются основными источниками электроэнергии при отсутствии других автономных источников. Энергоэффективность является важным направлением развития при модернизации ДЭС. Снижение энергоресурсов, потребляемых ДЭС за счёт адаптации дизельных электростанций к нагрузке, перспективное направление.

Анализ результатов применения данного способа показал, что ресурс ДЭС при работе с нагрузкой от 15–30% от номинальной возможно повысить в два раза. При работе с нагрузкой 110% общее время её работы не должно превышать 10–15% от времени гарантийной наработки. Использование описанного способа позволяет работать ДЭС с нагрузкой 110%, как и со 100% (работать в номинальном режиме), что повышает указанный параметр до 10 раз. Кроме того, экономия удельно эффективного расхода топлива и условного топлива составит от 5 до 10%.

Список источников

1. Отраслевой информационный портал «Новости энергетики». URL: <https://novostienergetiki.ru/> (дата обращения: 03.09.2024).
2. Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 N 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_130498/ (дата обращения: 03.09.2024).
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 03.09.2024).
4. Василов Д. А., Тюкавин К. В., Скороспехов Ю. Г. Анализ эксплуатации дизельных электростанций в войсках, повышение надежности системы электроснабжения // Сборник научных трудов: ВКА им. А. Ф. Можайского (филиал, г. Ярославль). Ярославль, 2014. С. 277–282.
5. Завалишин В. В. Улучшение эксплуатационных характеристик дизельной электростанции при работе на изменяющуюся нагрузку: автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.09.03. Саратов, 2010. 20 с.
6. Абсальмов Д. Р., Благовещенский А. С., Василов Д. А. Повышение показателей энергоэффективности системы электроснабжения объектов войск воздушно-космической обороны путем применения дизель-генераторных установок с переменной частотой вращения // Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники : труды Всерос. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург : Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, 2014. С. 345–350.

References

1. Otrasleyvoj informacionnyj portal «Novosti energetiki». URL: <https://novostienergetiki.ru/> (data obrashcheniya: 03.09.2024).
2. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 04.05.2012 N 442 «O funkcionirovanii roznichnyh rynkov elektricheskoy energii, polnom i (ili) chastichnom ogranichenii rezhima potrebleniya elektricheskoy energii». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_130498/ (data obrashcheniya: 03.09.2024).
3. GOST 32144-2013. Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemah elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (data obrashcheniya: 03.09.2024).
4. Vasikov D. A., Tyukavin K. V., Skorospekhov Yu. G. Analiz ekspluatatsii dizel'nykh elektrostancij v vojskakh, povyshenie nadezhnosti sistemy elektrosnabzheniya // Sbornik nauchnykh trudov: VKA im. A. F. Mozhajskogo (filial, g. Yaroslavl'). Yaroslavl', 2014. S. 277–282.
5. Zavalishin V. V. Uluchshenie ekspluatatsionnykh harakteristik dizel'noj elektrostancii pri rabote na izmenyayushchuyusya nagruzku: avtoref. dis. ... kand. tekh. nauk : 05.09.03. Saratov, 2010. 20 s.
6. Absalyamov D. R., Blagoveshchenskij A. S., Vasikov D. A. Povyshenie pokazatelej energoeffektivnosti sistemy elektrosnabzheniya ob'ektov vojsk vozdušno-kosmicheskoy oborony putem primeneniya dizel'-generatornykh ustanovok s peremennoj chastotoj vrashcheniya // Sovremennyye problemy sozdaniya i ekspluatatsii vooruzheniya, voennoj i special'noj tekhniki : trudy Vseros. nauch.-prakt. konf. Sankt-Peterburg : Voенно-kosmicheskaya akademiya imeni A. F. Mozhajskogo, 2014. S. 345–350.

Информация об авторах

Вадим Владимирович Морозов – кандидат физико-математических наук, первый проректор – проректор по научной работе и цифровой трансформации, и.о. заведующего кафедрой электрификации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 2150-3745.

Наталья Юрьевна Махаева – проректор по учебной и воспитательной работе, молодежной политике, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет».

Глеб Максимович Зюзин – обучающийся агротехнологического факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет».

Дмитрий Александрович Василов – кандидат технических наук, преподаватель кафедры командных пунктов зенитных ракетных систем, Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны» Министерства обороны Российской Федерации, spin-код: 2619-5730.

Наталья Викторовна Сухоруких – преподаватель кафедры иностранных языков, Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны» Министерства обороны Российской Федерации, spin-код: 6050-8330.

Information about the authors

Vadim V. Morozov – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, First Vice-Rector – Vice-Rector for Research and Digital Transformation, Acting Head of the Department of Electrification, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 2150-3745.

Natalya Yu. Makhaeva – Vice-Rector for Academic and Educational Work, Youth Policy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University".

Gleb M. Zyuzin – student of the Agrotechnological Faculty, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Yaroslavl State Agrarian University”.

Dmitriy A. Vasikov – Candidate of Technical Sciences, Lecturer of the Department of Command posts of Anti-aircraft Missile Systems, Federal Educational institution of higher professional education “Yaroslavl Higher Military Institute of the Air Defense” of the Ministry of Defense of the Russian Federation, spin-code: 2619-5730.

Nataliya V. Sukhorukikh – Lecturer of the Department of Foreign Languages, Federal Educational institution of higher professional education “Yaroslavl Higher Military Institute of the Air Defense” of the Ministry of Defense of the Russian Federation, spin-code: 6050-8330.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

