

Повышение эффективности работы солнечной водоподъемной установки для орошения в условиях переменной облачности

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В пасмурную погоду использование солнечной энергии для электроснабжения потребителей без применения накопителей электроэнергии невозможно. При этом есть ряд электропотребителей, для которых электроснабжение может подаваться с промежутками, но в эти промежутки времени нужно подавать им номинальное напряжение. Таким потребителем является, например, водоподъемная установка для системы орошения с производительностью 3 м³/ч с глубины до 90 м и потребляемой мощностью 1500 Вт.

Методы. Моделирование процесса накопления электроэнергии от солнечной электростанции и передача ее электропотребителю.

Результаты. Предлагается использовать накопитель электроэнергии на основе суперконденсаторов с отдачей номинального напряжения потребителю через определенные промежутки времени. При этом если солнечная электростанция выдает достаточно энергии, то электропотребитель подключается напрямую к ней, если недостаточно — сначала происходит заряд суперконденсаторов, затем отдача электроэнергии от них. Приведены методика расчета емкости, времени заряда и количество суперконденсаторов в накопителе. Рассчитаны параметры накопителя для циклического электроснабжения водоподъемной установки в течение 60 сек. в пасмурную погоду с подачей в эти промежутки порций воды объемом по 50 л.

Ключевые слова: солнечная энергия, водоподъемная установка, система орошения, суперконденсатор, облачность

Для цитирования: Юферев Л.Ю. Повышение эффективности работы солнечной водоподъемной установки для орошения в условиях переменной облачности. *Аграрная наука*. 2023; 372(7): 134–137. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-134-137>

© Юферев Л.Ю.

Improving the efficiency of the solar water-lifting installation for irrigation in conditions of variable clouds

ABSTRACT

Relevance. In cloudy weather, the use of solar energy for power supply to consumers without the use of energy storage devices is impossible. Known electrical consumers for which power supply may be at intervals. But at these intervals, you need to supply them with a rated voltage. Such a consumer is, for example, a water-lifting installation for an irrigation system with a capacity of 3 m³/h from a depth of up to 90 m and a power consumption of 1500 W.

Methods. Modeling of the process of accumulating electricity from a solar power plant and its transmission to an electric consumer.

Results. It is proposed to use an electric power storage device based on supercapacitors with the return of the rated voltage to the consumer at certain intervals. At the same time, if a solar power plant produces enough energy, then the electric consumer is connected directly to it, if not enough — first the supercapacitors are charged, then the return of electricity from them. The method of calculating the capacity, charge time and the number of supercapacitors in the storage is given. The parameters of the storage device for cyclic power supply of the water-lifting installation for 60 seconds are calculated. in cloudy weather, with the supply of 50 liters of water in these intervals.

Key words: solar energy, water-lifting system, supercapacitor, cloudiness

For citation: Yuferev L.Yu. Improving the efficiency of the solar water-lifting installation for irrigation in conditions of variable clouds. *Agrarian science*. 2023; 372(7): 134–137 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-134-137>

© Yuferev L.Yu.

Введение/Introduction

Известно, что выработка электроэнергии солнечной электростанцией зависит от поступающей солнечной радиации, при этом в пасмурную погоду электроснабжать потребителя с номинальной установленной мощностью без применения накопителей электроэнергии невозможно [1–3]. Накопители на основе аккумуляторных батарей имеют известные недостатки, устранить которые технически возможно, используя электрические накопители на основе суперконденсаторов.

Есть ряд электропотребителей, для которых электроснабжение может подаваться с промежутками, но в эти промежутки времени нужно подавать им номинальное напряжение. Таким потребителем является, например, водоподъемная установка [4–6].

Схема солнечной водоподъемной установки с накопительным блоком на основе суперконденсаторов показана на рисунке 1. Основная задача этой установки — накапливать воду в баке-накопителе при любых условиях солнечной освещенности, а затем использовать в системе орошения сельскохозяйственных угодий.

Преимуществом данной системы является использование емкостного накопителя блока на основе суперконденсаторов, которые позволяют накапливать энергию при переменной облачности и имеют длительный срок эксплуатации.

Суперконденсаторы (ионисторы) работают как и электролитические (по тому же принципу) — накопление заряда в электрическом поле, однако при их изготовлении используются немного другие технологии. У суперконденсаторов металлические электроды покрыты активированным углем и погружены в электролит. Благодаря своей пористости они могут накапливать гораздо больше заряда по сравнению с электролитическими конденсаторами. В отличие от них, заряд накапливается не только на самом электроде, но и на его угольном покрытии, поэтому их также называют двухслойными конденсаторами (EDLC).

Толщина изолятора между обкладками у суперконденсаторов намного меньше, чем в обычных конденсаторах, и измеряется в нанометрах, в результате этого можно запасти гораздо больше заряда (вплоть до сотни фарад), но они имеют ограничение по напряжению.

Суперконденсаторы, доступные на рынке, обычно имеют номинальное напряжение 2,7 В (одинарные) и 5,4 В (сдвоенные). Увеличить напряжение можно, подключив последовательно несколько суперконденсаторов, но при этом пожертвовав емкостью.

Цель исследования — разработать схему водоподъемной установки, работающей в том числе в облачную погоду, методику расчета емкости, времени заряда и количество суперконденсаторов в накопителе.

Материалы и методы исследований /

Materials and methods

Объект исследований — солнечная водоподъемная установка для системы орошения. Место проведения исследования — экспериментальная лаборатория отдела возобновляемой энергетики.

Метод исследования — моделирование процесса накопления электроэнергии от солнечной электростанции и передача ее электропотребителю.

Принцип работы схемы: для эффективной работы накопителя на основе суперконденсаторов необходимо придерживаться определенного диапазона напряжений на нем. После окончания заряда (рис. 2) и достижения напряжения 600 В происходит запуск частотного преобразователя, который в свою очередь запускает насос на некоторое время, пока значение заряда конденсаторов не достигнет нижнего предела (разряд) — 350 В. За время работы насоса в баке-накопителе будет набираться объем воды, который можно будет использовать для полива или водоснабжения. После этого частотный преобразователь отключается и происходит следующий цикл заряда.

Если солнечная электростанция вырабатывает необходимую энергию для подачи на водоподъемную установку, то батарея суперконденсаторов будет постоянно заряжена и частотный преобразователь будет получать энергию напрямую от солнечной станции, а при затенении сразу подключится батарея конденсаторов и выдаст накопленный заряд. Таким образом, даже в пасмурную погоду будет подаваться вода небольшими порциями (по 50 л) в бак-накопитель.

Рис. 2. Принцип работы циклической подачи электроэнергии на водоподъемную установку при низкой освещенности с током заряда 1 А

Fig. 2. The principle of operation of the cyclic supply of electricity to the water-lifting installation in low light with a charge current of 1 A

Напряжение, В

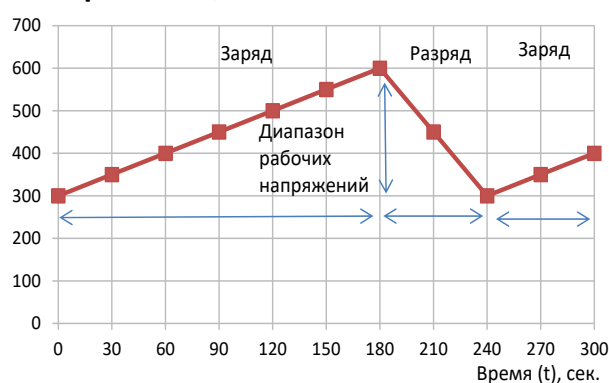


Рис. 1. Блок-схема работы системы с промежуточным емкостным накопителем: ФЭП — фотоэлектрическая панель, MPPT — зарядный преобразователь, С — суперконденсатор, ПУ — пороговое устройство, ЧП — частотный преобразователь (инвертор), ЗФ — трехфазный кабель, ЭН — электронасос, БН — бак-накопитель

Fig. 1. Block diagram of the system operation with an intermediate capacitive storage device: FEP — photovoltaic panel, MPPT — charging converter, C — supercapacitor, PU — threshold device, PE — frequency converter (inverter), 3F — three-phase cable, EN — electric pump, BN — storage tank

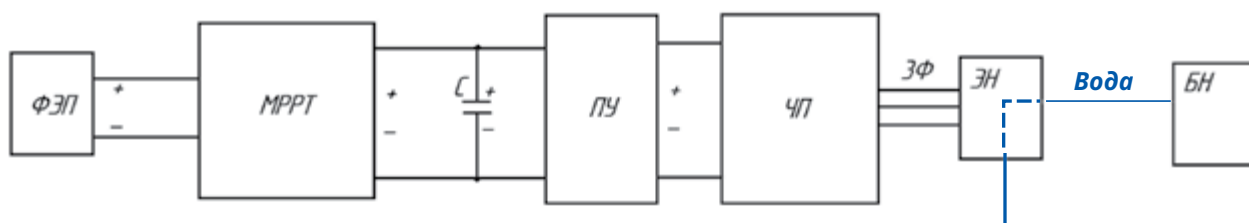
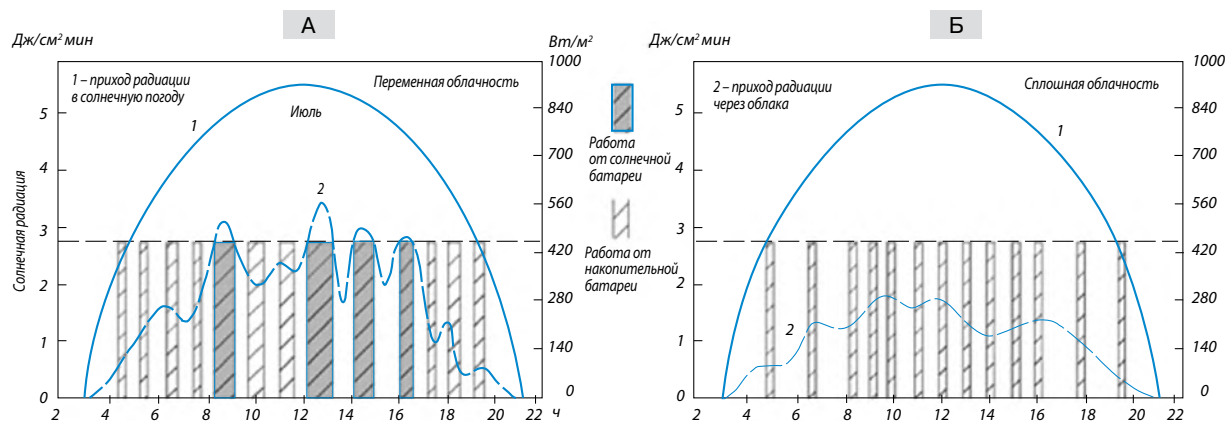


Рис. 3. График работы системы с емкостным накопителем энергии при различном уровне освещенности (А — переменная облачность с промежутками без облаков, Б — сплошная облачность)

Fig. 3. Graph of the system with a capacitive energy storage at different levels of illumination (А — partly cloudy with intervals without clouds, Б — continuous cloudiness)



Гипотетический график работы водоподъемной системы с применением суперконденсаторов показан на рисунке 3: сравнение вырабатываемой энергии в ясную солнечную погоду с переменной облачностью и со сплошной облачностью. Из графика видно, что в солнечную погоду летом водоподъемная установка получает энергию непрерывно с 5 ч. до 19 ч., в переменную облачность периодически энергии хватает для работы напрямую от солнечной электростанции, в сплошную облачность энергия может поступать только от предлагаемого накопителя на основе суперконденсаторов.

Как показано на рисунке 3, система способна работать при различной освещенности, при этом отличаться будет только время накопления заряда. Светлые участки графика — отдача энергии от заряженных суперконденсаторов, темные — работа насоса непосредственно от солнечной батареи. Время заряда суперконденсаторов при этом зависит от тока, вырабатываемого солнечной батареей.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Пример расчета солнечной водоподъемной установки для орошения с производительностью 3 м³/час с глубины до 90 м и потребляемой мощностью 1500 Вт. Для электроснабжения такой установки потребуется солнечная станция мощностью 2000 Вт, состоящая из 25 панелей (по 24 В) мощностью по 80 Вт с максимальным током 3,3 А [7, 8].

Расчет емкости накопительного суперконденсатора для электроснабжения системы орошения:

$$C_0 = \frac{2 \times P \times t}{U_3^2 - U_p^2} = \frac{2 \times 1500 \times 60}{600^2 - 350^2} = 0,76 \text{ Ф},$$

где P — мощность потребителя (1500 Вт); t — время работы системы, 60 сек.; U_3 — напряжение на обкладках блока конденсаторов при полном заряде; U_p — пороговое значение напряжения разрядки блока конденсаторов.

Расчет времени заряда конденсатора:

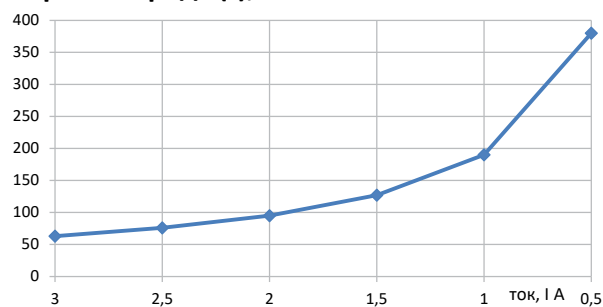
$$t = (U_p - U_3) \times \frac{C_0}{I} = (350 - 600) \times \frac{0,76}{1} = 190 \text{ сек},$$

где I — зарядный ток блока конденсаторов.

Рис. 4. Зависимость времени заряда батареи от вырабатываемого тока солнечной электростанции при недостаточной освещенности

Fig. 4. The dependence of the battery charge time on the generated current of the solar power plant in low light

Время заряда (t), сек.



Рассчитанная зависимость времени заряда батареи от тока, поступающего от солнечной батареи, показана на рисунке 4.

Количество последовательно включенных конденсаторов в батарее для получения необходимого напряжения накопителя рассчитывается следующим образом:

$$N = \frac{U_3}{U_c} \times 1,1 = \frac{600}{2,7} \times 1,1 = 245 \text{ шт.},$$

где U_c — напряжение одного конденсатора.

Поскольку конденсаторы включены последовательно, то расчет емкости одного конденсатора:

$$C_1 = C_0 \times N = 0,76 \times 245 = 186,2 \text{ Ф}$$

Следовательно, для получения необходимой емкости накопительной системы потребуется 245 суперконденсаторов емкостью по 200 Ф, соединенных последовательно.

Таким образом, даже в пасмурную погоду или на раннем рассвете и закате несколько раз в час будет запускаться насосная система и подкачивать в бак-накопитель порции воды объемом по 50 л.

Выводы/Conclusion

Разработана схема водоподъемной установки для орошения, работающей не только от солнечного излучения, но и в облачную и пасмурную погоду. В качестве накопителя электрической энергии предлагается использовать батарею суперконденсаторов.

Водоподъемная установка подключается к ней через управляемый частотный преобразователь, работающий в диапазоне 350–600 В.

Расчеты показали, что для водоподъемной установки мощностью 1500 Вт с кратковременным циклическим включением на промежутки по 60 сек. потребуется ба-

тарея емкостью 0,76 Ф на напряжение 600 В, состоящая из 245 конденсаторов емкостью по 200 Ф, включенных последовательно.

От предлагаемой схемы можно запитывать также и другие электропотребители, для которых допускается циклическое электроснабжение.

Автор несет ответственность за работу и представленные данные.

The author is responsible for the work and the submitted data.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Веселова Н.М., Панчишкин А.П., Ханин Ю.И. Оптимизация эффективности работы солнечных фотоэлектрических панелей на примере Волгоградской области. *Вестник аграрной науки Дона*. 2017; (3): 35–41. <https://www.elibrary.ru/zvhynt>
2. Андреева Е.В. Повышение эффективности энергоснабжения удаленных сельскохозяйственных объектов в северо-западном регионе России с использованием энергии солнца и ветра. *Экологическая безопасность в АПК*. 2011; (2): 296. <https://www.elibrary.ru/nufsmb>
3. Дебрин А.С., Бастрон А.В., Семенов А.Ф., Пашкевич Т.П. Обработка результатов исследования характеристик солнечных фотоэлектрических станций и определение рациональных режимов работы при изменении угла наклона и спектрального состава облучения фотоэлектрических модулей. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2019; (6): 175–179. <https://www.elibrary.ru/myidjz>
4. Бенамер А., Виссарионов В.И. Солнечная водоподъемная установка (СВУ) для водоснабжения автономных потребителей. *Техника и технология*. 2007; (1): 32–35. <https://www.elibrary.ru/judgsx>
5. Беленов А.Т., Королев В.А., Метлов Г.Н., Соколовский А.К. Оптимальный состав и параметры мобильных солнечных фотоэлектрических водоподъемных установок для орошения. *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016; (5): 193–198. <https://www.elibrary.ru/xtkecl>
6. Метлов Г.Н., Королев В.А., Беленов А.Т. Передвижные солнечные фотоэлектрические водоподъемные установки для орошения. *Вестник аграрной науки Дона*. 2016; (1): 49–55. <https://www.elibrary.ru/vzrrnv>
7. Парахнич А.С., Юфев Л.Ю. Предварительный расчет параметров солнечной водоподъемной установки. *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020; 67(3): 132–137. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-3-132-137>
8. Юфев Л.Ю., Парахнич А.С. Моделирование параметров солнечной водоподъемной установки. *Энергосбережение и водоподготовка*. 2021; (3): 10–13. <https://www.elibrary.ru/jfulrn>

ОБ АВТОРАХ:

Леонид Юрьевич Юфев,

доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, заведующий отделом возобновляемой и альтернативной энергетики, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия
leouf@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2751-3247>

REFERENCES

1. Veselova N.M., Panchishkin A.P., Hanin Yu.I. Optimization of the efficiency of solar photovoltaic panels on the example of the Volgograd region. *Don agrarian science bulletin*. 2017; (3): 35–41 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/zvhynt>
2. Andreeva E.V. Improving the efficiency of energy supply to remote agricultural facilities in the northwestern region of Russia using solar and wind energy. *Ekologicheskaya bezopasnost' v APK*. 2011; (2): 296 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/nufsmb>
3. Debrin A.S., Bastron A.V., Semenov A.F., Pashkevich T.P. Processing the results of studies on the characteristics of solar photoelectric stations and determining the rational operation modes in case of changing the tilt angle and the spectral composition of photoelectric modules irradiation. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019; (6): 175–179 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/myidjz>
4. Benamer A., Vissarionov V.I. Solar water-lifting installation for water supply of autonomous consumers. *Tekhnika i tekhnologiya*. 2007; (1): 32–35 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/judgsx>
5. Belenov A.T., Korolev V.A., Metlov G.N., Sokol'skiy A.K. Optimal composition and parameters of mobile solar photovoltaic water-lifting plants for irrigation. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2016; (5): 193–198 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/xtkecl>
6. Metlov G.N., Korolev V.A., Belenov A.T. Mobile solar photovoltaic water lifting systems for irrigation. *Don agrarian science bulletin*. 2016; (1): 49–55 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/vzrrnv>
7. Parakhnich A.S., Yuferev L.Yu. Preliminary calculation of the solar water-lifting installation. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2020; 67(3): 132–137 (In Russian). <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-3-132-137>
8. Yuferev L.Yu., Parakhnich A.S. Modeling the parameters of a solar water-lifting plant. *Energy Saving and Water Treatment*. 2021; (3): 10–13 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/jfulrn>

ABOUT THE AUTHORS:

Leonid Yurievich Yuferev,

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher, Head of the Department of Renewable and Alternative Energy, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russia
leouf@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2751-3247>