

**ПЕРЕДВИЖНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВОДОПОДЪЕМНЫЕ
УСТАНОВКИ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ**© 2016 г. *В.А. Королев, Г.Н. Метлов, А.Т. Беленов*

Рассмотрена возможность использования солнечных фотоэлектрических водоподъемных установок для орошения в южных регионах России. Преимущества использования солнечной энергии именно для подъема воды связаны с сезонным совпадением максимума годового прихода солнечного излучения и годового максимума потребности в воде, с относительно низкой вероятностью наличия пасмурных дней в весенне-летне-осенний период. Приведены среднестатистические данные о числе часов солнечного сияния и месячных суммах суммарной радиации для Ростовской и Астраханской областей, где орошаемое земледелие применяется довольно широко. Одной из перспективных технологий использования солнечных водоподъемных установок может быть применение комплектных поливных трубопроводов для орошения различных пропашных культур по бороздам. В состав таких систем входят гибкие плоскостворачиваемые трубопроводы из полимерных материалов. Основное отличие таких систем в том, что для подачи воды из открытой оросительной сети требуется напор не более 1–3 м. Кроме того, так как в этих системах подача воды осуществляется по бороздам, исключаются термические удары для растений и система может работать в дневное время. Для оценки параметров водоподъемной установки можно воспользоваться обобщенным показателем, $1,5 \div 2,0 \text{ Вт/м}^4 \cdot \text{сутки}$, смысл которого в том, что на подачу 1 м^3 расхода в сутки на высоту 1 м требуется $1,5 \div 2,0 \text{ Вт}$ мощности солнечной фотоэлектрической батареи. Для более точных расчетов основных показателей солнечных водоподъемных установок приведена номограмма, которая увязывает параметры насосных агрегатов, требуемые мощности фотоэлектрической батареи и интенсивность прихода солнечной радиации. Номограмма позволяет решить и обратную задачу: исходя из потребного суточного количества воды и зная необходимую высоту подъема воды из оросительной сети, определить требуемую мощность фотоэлектрической батареи. Для сокращения затрат энергии предлагается применение низконапорных поливных трубопроводов совместно с насосными агрегатами с осевыми рабочими колесами.

Ключевые слова: орошение, солнечная энергия, водоподъемная установка, насосный агрегат.

The possibility of using solar photovoltaic systems for water-lifting irrigation in the southern regions of Russia is considered. The advantages of using solar energy to lift the water are associated with seasonal coincidental of the maximum of annual solar radiation parish and the maximum of annual water requirements, with a relatively low probability of having cloudy days in spring-summer-autumn period. There is presented average statistical data on the number of sunshine hours and monthly sums of total radiation for the Rostov and Astrakhan regions, where irrigated agriculture is used quite widely. One of the most promising technologies for the solar water-lifting systems application can be use of irrigation set pipes to irrigate various cultivated crops by furrows. The structure of such systems includes flexible flat collapsible pipelines made of polymer materials. The main difference between these systems is that the water supply from open irrigation system demands pressure no more than 1–3 m. Furthermore, as in these systems water supply is carried out by furrows thermal shocks for the plants are eliminated, and the system can work in the daytime. To evaluate water-lifting unit parameters, you can use such a generalized indicator as $1,5 \div 2,0 \text{ W/m}^4$ per day, whose meaning is that the supply flow rate of 1 m^3 per day to a height of 1 m there is required $1,5 \div 2,0 \text{ W}$ of solar photovoltaic battery power. For a more accurate calculating basic indicators of solar water-lifting systems, there is presented nomogram, which links the parameters of pump units, the required capacity of photovoltaic panels and the intensity of solar radiation. The nomogram allows to solve the inverse problem: according to the need of the daily water amount and knowing the desired height of lifting water from the irrigation network it can help to determine the required capacity of the photovoltaic battery. To reduce energy costs there is proposed to use low-pressure irrigation pipelines together with the pump units with axial impellers.

Keywords: irrigation, solar energy, water-lifting installation, the pump unit.

Введение. Солнечные водоподъемные установки в настоящее время разработаны и изготавливаются многими фирмами разных стран, в том числе, и российскими. Эти установки характеризуют широкий диапазон установленной мощности фотогенератора: от нескольких ватт до десятков киловатт. Солнечные фотоэлектрические системы для подъема воды из различных источников (колодцы, скважины, реки, озера, каналы) применяются для различных целей: как для водообеспечения населения и животных, так и для орошения [1–3].

Здесь применяют электроприводы постоянного и переменного тока с инверторами.

Перспективность использования фотоэлектрических водоподъемных установок состоит в том, что при их использовании можно отказаться от сложных и дорогостоящих систем аккумулирования энергии в электрохимических аккумуляторах и запасать воду в накопительных емкостях: стационарных или передвижных [4, 5]. Преимущества использования солнечной энергии именно для подъема воды также связаны с сезонным совпадением максимума годового прихода солнечного излучения и годового максимума потребности в воде при относительно низкой вероятности наличия пасмурных дней в весенне-летне-осенний период.

Из-за относительно высокой стоимости современных кремниевых фотоэлектрических преобразователей (60–70 руб./В_{тип.}) использование их для водоподъема пока применяют ограничено. Тем не менее, если в 1987 году практически действовало и эксплуатировалось более 3000 фотоэлектрических насосных установок на демонстрационных или коммерческих технологических объектах, в 1994 году количество действующих солнечных фотоэлектрических водоподъемников за рубежом составляло уже более 10 тысяч. По данным Комиссии Европейского Сообщества по энергетике к 2010 году прогнозировалось увеличение их числа ещё в 50 раз.

Установки данного класса, как правило, работают в наиболее солнечных регионах земного шара, где интенсивность солнечного излучения достаточно высока круглый год. Поэтому в этих регионах водоподъемные установки могут использоваться с максимально возможными значениями мощности, т.е. в стационарном положении и круглый год. Так, в Израиле запущена оросительная система капельного орошения с солнечной фотоэлектрической насосной станцией. Главная идея такой системы в том, что

капельное орошение весьма эффективно по расходу подаваемой воды, но требует больших напоров для прокачки воды по трубопроводам до капельниц.

Обоснование структуры системы и обсуждение. Для подъема воды из скважин фирмой (Grundfos) разработан типоразмерный ряд установок с одинаковой установленной мощностью 1500 В. В состав этих установок входят стационарная фотоэлектрическая батарея, специальный инвертор и погружной центробежный электронасос.

Инвертор преобразует постоянный ток, вырабатываемый фотоэлектрической батареей в переменный трехфазный. Кроме того, в схеме инвертора предусмотрена функция отбора максимальной мощности от фотоэлектрической батареи при изменении поступающей солнечной радиации. Для этой серии водоподъемных установок был разработан специальный погружной электродвигатель на пониженное напряжение 105 В, что в свою очередь позволило существенно упростить схему инвертора и выполнить его по бестрансформаторной схеме. Установки могут быть укомплектованы насосами с различными значениями гидравлических параметров и разным количеством рабочих ступеней.

Известная зависимость взаимосвязи основных параметров насосов

$$P = \frac{\gamma QH}{102 \eta},$$

где Q – производительность насосного оборудования;

H – требуемый напор;

H – КПД насосного оборудования;

γ – плотность воды,

применительно к автономным системам подачи воды с электроснабжением от фотоэлектрической батареи, несет важную смысловую нагрузку.

Но потребителю требуется вода, а создаваемый при этом напор представляет собой необходимые издержки. Учитывая, что стоимость фотоэлектрических систем в настоящее время все еще высока, необходимо стремиться к поиску таких систем и технологий, где требуемые

напоры будут минимальны и большая часть вырабатываемой энергии направляется на подачу расхода.

В нашей стране количество солнечной радиации имеет явно выраженный сезонный характер, даже в южных регионах на весенне-летний период приходится более 60% годового объема солнечной радиации. В этом и состоит основная перспективность использования солнечных установок, так как максимальное поступление солнечной радиации совпадает с потребностью орошения сельскохозяйственных культур.

В таблице приведены среднестатистические данные о числе часов солнечного сияния и месячных суммах суммарной радиации для Ростовской и Астраханской областей, где орошаемое земледелие применяется довольно широко.

Одной из перспективных технологий использования солнечных водоподъемных установок может быть применение комплектных поливных трубопроводов для орошения различных пропашных культур по бороздам. В состав таких систем входят гибкие плосковорачиваемые трубопроводы из полимерных материалов. Основное отличие таких систем состоит в том, что для подачи из открытой оросительной сети требуется напор не более 1–3 м. Кроме того, так как в этих

системах подача воды осуществляется по бороздам, исключаются термические удары для растений и система может работать в дневное время.

Для приблизительной оценки водоподъемной установки можно воспользоваться обобщенным параметром, предложенным в работе [3], где на основании многочисленных данных получен осредненный показатель $1,5 \div 2,0$ Вт/м⁴сут., смысл которого состоит в том, что на подачу 1м³ расхода в сутки на высоту 1 м требуется $1,5 \div 2,0$ Вт мощности солнечной фотоэлектрической батареи.

Для более точных расходов основных параметров солнечных водоподъемных установок фирмой Grundfos [6] разработана номограмма (рисунок 1) которая увязывает параметры насосных агрегатов, требуемые мощности фотоэлектрической батареи и интенсивность прихода солнечной радиации на плоскость фотоэлектрического генератора, находящегося под оптимальным углом к горизонту.

Номограмма позволяет на основании рабочих характеристик насосных агрегатов, полученных экспериментальным путем (рисунок 2) при различных оборотах двигателя определить суточную производительность водоподъемной установки.

Показатели энергетических ресурсов солнечной радиации

Наименование показателя	г. Таганрог Ростовской обл.		г. Астрахань	
	Суммарная радиация, кВтч/м ²	Продолжительность солнечного сияния, ч	Суммарная радиация, кВтч/м ²	Продолжительность солнечного сияния, ч
Январь	36	53	33	67
Февраль	55	73	54	95
Март	101	142	95	261
Апрель	128	191	150	231
Май	178	259	187	300
Июнь	187	291	216	333
Июль	191	315	184	327
Август	172	301	173	314
Сентябрь	127	246	132	256
Октябрь	78	154	81	189
Ноябрь	40	81	44	110

Декабрь	27	42	26	58
---------	----	----	----	----

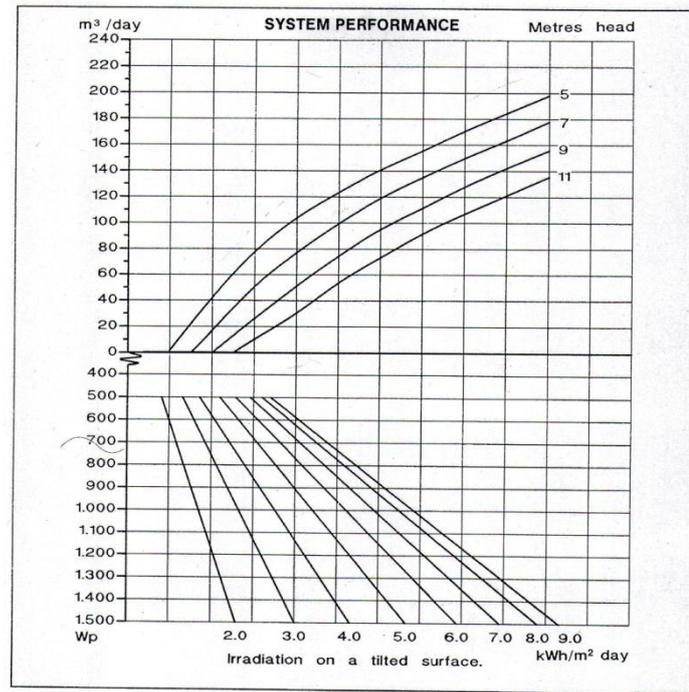


Рисунок 1 – Номограмма расчета основных параметров фотоэлектрической водоподъемной установки

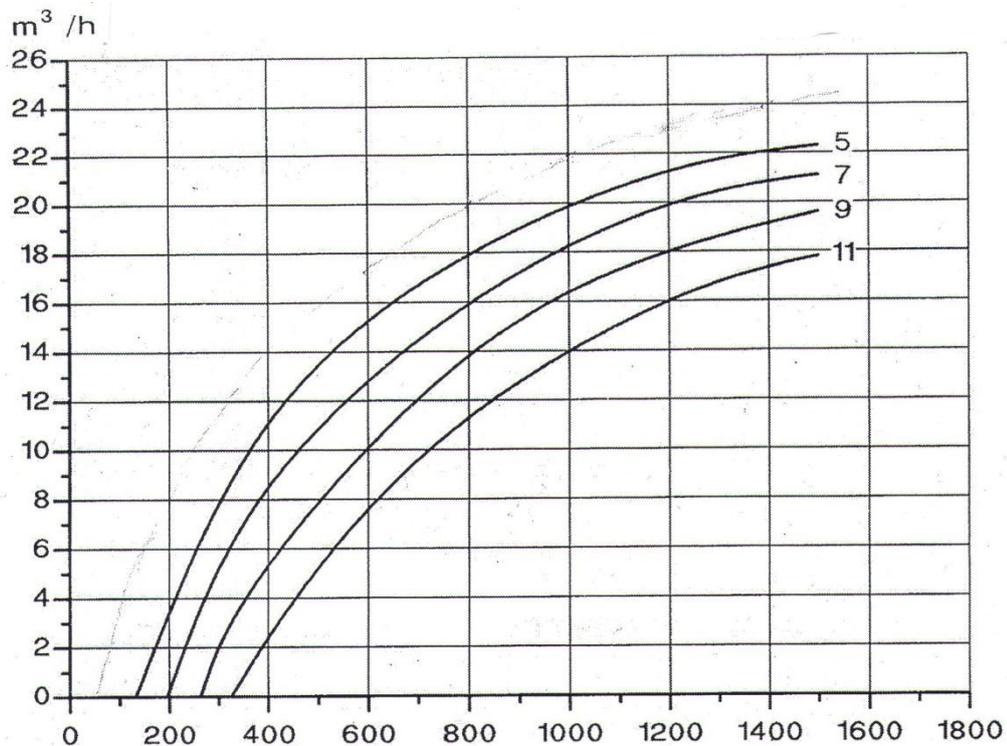


Рисунок 2 – Экспериментальные характеристики центробежного насоса при различных оборотах двигателя

Номограмма позволяет решить и суточного количества воды и зная обратную задачу: исходя из потребного необходимую высоту подъема воды из

источника (оросительной сети), определить требуемую мощность фотоэлектрической батареи.

Средняя величина прихода суммарной солнечной радиации в весенне-летний и осенний периоды для южных регионов страны составляет 1,2–1,5 кВт·ч/м² при годовом числе часов солнечного сияния 2200–2400 (более точные цифры можно уточнить на ближайшей метеостанции).

Представленная номограмма представляет собой некоторый аналог водно-энергетических расчетов, так как не в полной мере учитывает особенности использования технологии орошения с использованием низконапорных трубопроводов.

Представленная номограмма разработана для многоступенчатых погружных центробежных электронасосов, которые могут работать и с низкими напорами, но эффективность их (КПД) при этом становится весьма низкой, так как насос будет работать не в оптимальной зоне.

Для оптимального сочетания параметров Q и H в насосных агрегатах с напорами менее 5 м наиболее целесообразно применение насосов с

осевыми рабочими колесами. Именно такие насосные агрегаты применяются для подъема воды в мелиоративных системах и гидротехнических шлюзах, но, как правило, это крупные насосные агрегаты на десятки и сотни киловатт. КПД таких насосов весьма высок, превышает 90%. Таким образом, основная задача для широкого применения солнечных фотоэлектрических установок для орошения состоит в разработке небольших насосных агрегатов мощностью до 1,0 кВт с осевыми рабочими колесами с напором 2–3 м.

На рисунке 3 показан пример передвижной фотоэлектрической станции установленной мощности 800 Вт в развернутом положении. Весогабаритные параметры такой системы позволяют транспортировать ее с помощью мотоблока мощностью до 5 л. с. Фотоэлектрические установки мощностью до 1,0 кВт площадью 6–8 м² могут быть смонтированы на поплавках, и в таком случае их можно перемещать непосредственно по оросительным каналам.



Рисунок 3 – Передвижная фотоэлектрическая станция мощностью 800 Вт в развернутом положении

Вывод. В настоящее время в России практически не изготавливаются передвижные солнечные фотоэлектрические водоподъемные установки для орошения. Потребность в подобных установках сегодня высока в связи с активизацией агропромышленного комплекса, в частности, на юге страны. Возможности реализации этих проектов реальны и экономически обоснованы, но требуют привлечения внимания малого бизнеса для оперативного решения задачи по внедрению установок, применение которых за рубежом с каждым годом растет.

Литература

1. UNDP Project GLO/80/003. Main report: Small-Scale Solar – Powered Pumping Sism. U.K. 1983.
2. Беленов, А.Т. Солнечные фотоэлектрические водоподъемники / А.Т. Беленов, Г.Н. Метлов. – Москва: ВИЭСХ, 2014.
3. Метлов, Г.Н. Фотоэлектрические водоподъемные установки / Г.Н. Метлов

// Водоснабжение и санитарная техника. – 1986. – № 7.

4. Юдаев, И.В. Экономическая оценка применения автономной системы электроснабжения на базе ВИЭ крестьянских (фермерских) хозяйств Волгоградской области / И.В. Юдаев, С.А. Ракитов, Н.С. Филиппченкова // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.– Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – Том 4. – Вып. 13. – С. 78–83.

5. Юдаев, И.В. Использование автономного электроснабжения на базе ВИЭ животноводческих стоянок в Заволжских районах Волгоградской области / И.В. Юдаев, С.А. Ракитов // X Междунар. ежегодная конф. «Возобновляемая и малая энергетика 2012»: сборник трудов. – Москва, 2013. – С. 317–321.

6. Проспекты фирмы Grundfos. Солнечные насосные системы SP.

References

1. UNDP Project GLO/80/003. Main report: Small-Scale Solar – Powered Pumping Sism. U.K. 1983.

2. Belenov A.T., Metlov G.N. Solnechnye fotoelektricheskie vodopod`emniki [Solar PV units for waterlifting.], Moscow, VIJeSH, 2014.

3. Metlov G.N. Fotoelektricheskie vodopod`emnye ustanovki [Photovoltaic waterlifting units], *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika*, 1986, No. 7.

4. Judaev, I.V., Rakitov S.A., Filippchenkova N.S. Jekonomicheskaja ocenka primenenija avtonomnoj sistemy jelektrosnabzhenija na baze VIJe krest'janskih (farmerskih) hozjajstv Volgogradskoj oblasti [Economic assessment of the application of the autonomous power supply system of farms (peasant facilities) based on renewable energy sources in the Volgograd Region], *Praci Tavrijs'kogo derzhavnogo agrotehnologichnogo universitetu*, Melitopol', TDATU, 2013, Issue 13, Vol. 4, pp. 78–83.

5. Judaev, I.V., Rakitov S.A. Ispol'zovanie avtonomnogo jelektrosnabzhenija na baze VIJe zhivotnovodcheskih stojanok v Zavolzhskih rajonah Volgogradskoj oblasti [The application of autonomous power supply systems based on renewable energy in the livestock parking of Zavolzhskie districts in the Volgograd Region], *X Mezhdunar. ezhegodnaja konf. «Vozobnovljaemaja i malaja jenergetika 2012»: sbornik trudov*, Moscow, 2013, pp. 317–321.

6. Prospekty firmy Grundfos. Solnechnye nasosnye sistemy SP [Brochures of Grundfos company. SP Solar pump system].

Сведения об авторах

Метлов Геннадий Николаевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией электрификации мобильных процессов и водоснабжения, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства» (Москва, Россия). E-mail: viesh@dol.ru.

Королев Владимир Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства» (Москва, Россия).

Беленов Александр Тихонович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства» (Москва, Россия).

The information about the authors

Metlov Gennadiy Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Mobile electrification processes and water supply laboratory, FSBSI «All-Russian Research Institute for Electrification of Agriculture» (Moscow, Russia). E-mail: viesh@dol.ru.

Korolev Vladimir Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences, senior researcher, FSBSI «All-Russian Research Institute for Electrification of Agriculture» (Moscow, Russia).

Belenov Alexander Tikhonovich – Candidate of Technical Sciences, senior researcher, FSBSI «All-Russian Research Institute for Electrification of Agriculture» (Moscow, Russia).