

Департамент по энергоэффективности Государственного  
комитета по стандартизации Республики Беларусь



ИЮЛЬ 2020

# ЭНЕРГО

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ

### САМРА

Les radiateurs d'exception

#### Уникальные радиаторы

- Управляемая инерция
- Идеальное сочетание уникальных натуральных материалов, точной настройки и высокопроизводительных нагревательных элементов

*Инновации и дизайн  
на службе комфорта*

Более подробную  
информацию  
читайте на нашем  
сайте [misot.by](http://misot.by)



ОДО «Оникс»  
тел.: + 375 232 29 56 95  
моб. тел.: +375 44 787 09 68  
e-mail: [onyxodo@yandex.ru](mailto:onyxodo@yandex.ru)



Инициативы европейских  
городов по энергии  
и климату

Стр. 2

Светодиодное  
освещение  
в Минске

Стр. 6

Прогноз:  
ветроэнергетика  
в Европе

Стр. 15

ОДО «Оникс»:  
электроконвекторы  
по стандартам ЕС

Стр. 26

В.О. Китиков, Ю.А. Башко  
ГНУ «Институт жилищно-коммунального  
хозяйства Национальной академии наук Беларуси»

А.С. Козорез  
ОАО «Завод Промбурвод»,  
г. Минск

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОПОДЪЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С СИНХРОННЫМ ПРИВОДОМ НА ВОДОЗАБОРАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УДК 628.1:621.313.323

## Аннотация

В статье представлены конструктивные особенности и преимущества синхронного привода, приведены результаты исследований по определению энергетической и экономической эффективности применения в технологии подъема и подачи воды из артезианских скважин на водозаборах Республики Беларусь водоподъемного оборудования с синхронным приводом в сравнении с асинхронным. Установлено, что предполагаемая экономия 9% и более электрической энергии при замене агрегатов электронасосных с асинхронным приводом системами подачи воды с синхронным приводом обеспечивает экономический эффект, с окупаемостью инноваций менее двух лет, что подтверждают результаты производственной проверки в условиях водозаборов Республики Беларусь, приведенные в статье.

V. Kitikov, Y. Bashko  
State Scientific Institution "Institute of Housing and Communal Services of the  
National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, Belarus

A. Kozorez  
OJSC «Plant Promburvod», Minsk, Belarus

## ENERGY AND ECONOMIC ASPECTS OF APPLICATION OF WATER-LIFTING EQUIPMENT WITH SYNCHRONOUS DRIVE AT THE WATER INTAKE OF THE REPUBLIC OF BELARUS

### Annotation

The article presents the design features and advantages of the synchronous drive, the results of research on the determination of the energy and economic efficiency of the use of water lifting equipment with synchronous drive in comparison with asynchronous in the technology of lifting and supplying water from artesian wells at water intakes of the Republic of Belarus. It was established that the estimated savings of 9% or more of electric energy when replacing electric pump units with an asynchronous drive with synchronous drive water supply systems makes it possible to obtain an economic effect, providing a payback period for investments in innovative technologies of less than two years, which is confirmed by the results of the production inspection in the conditions of water intakes of the Republic of Belarus, given in the article.

## Введение

Обеспечение населения качественной питьевой водой при одновременном сокращении удельных затрат, снижении себестоимости и обеспечении доступности услуг водоснабжения для граждан является одним из основных приоритетов социальной политики государства.

Концепцией совершенствования и развития жилищно-коммунального хозяйства до 2025 года, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29 декабря 2017 г. № 1037 [1], в качестве одного из целевых индикаторов предусмотрено снижение удельных норм расхода электрической энергии на подъем и подачу воды к 2025 году на 9% к уровню 2015 года.

Широкое внедрение достижений научно-технического прогресса в различных от-

раслях производства в настоящее время дает возможность решения поставленной задачи, в том числе, путем применения высокоэффективных, обладающих высоким КПД электронасосных агрегатов с синхронным приводом, менее энергоемких в сравнении с существующими агрегатами с асинхронным приводом.

Одним из основных показателей в структуре затрат на производство услуг водоснабжения является расход электроэнергии, составляющий около 25%, в том числе доля затрат на подъем воды из водозаборной скважины, составляет по разным данным 17–19,2% и более [2].

Практика показывает, что в настоящее время на водозаборах республики для подъема воды из скважин в большинстве своем применяются электронасосные агрегаты отечественного и зарубежного производства конструк-

ции 90-х годов прошлого века, не отвечающие в полной мере требованиям, предъявляемым к современным системам водоснабжения по критерию энергоэффективности.

При этом следует отметить, что в соответствии с унифицированной схемой, предложенной международной ассоциацией европейских производителей насосов Eurotrump, основанной на индексе энергетической эффективности (EEI – Energy Efficiency Index), формируемом на основе годового профиля загрузки, средний насос по энергоэффективности помещается в категории D и E [3].

Мировой опыт [4] подтверждает, что повысить энергоэффективность погружных центробежных насосов и процесса подачи воды в современных системах водоснабжения позволяет применение синхронного привода.



Проведенные исследования [5], [6], [7] синхронных приводов на основе сухих электродвигателей на постоянных магнитах показывают, что КПД их примерно на 2% больше, чем асинхронных электродвигателей-аналогов (IE3) при условии, что статор имеет одинаковую конструкцию, а для управления используется один и тот же частотный преобразователь.

В связи с этим, а также учитывая наличие отечественного производителя насосов (ОАО «Завод Промбурвод»), весьма актуальным является вопрос применения энергоэффективных систем с приводом от погружных синхронных электродвигателей с ротором на постоянных магнитах в технологии подъема из артезианских скважин и подачи воды потребителю на водозаборах Республики Беларусь.

#### Основная часть

Цель исследования – определение эффективности применения водоподъемного оборудования с синхронным приводом на постоянных магнитах в технологии подъема из артезианских скважин и подачи воды потребителю на существующих водозаборах.

Исследования проведены в отделе жилищного хозяйства Института жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси и в ОАО «Завод Промбурвод» в течение 2019 года.

Объект исследования – высокоэффективные системы с приводом погружных синхронных электродвигателей с ротором на постоянных магнитах и скважинные электронасосные агрегаты с приводом асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором для осуществления технологического процесса подъема и подачи воды из артезианских скважин.

Методы исследований – стандартные методы исследований показателей назначения и определения экономической эффективности новых технологий и новой техники. Расчет проводился с применением стандартных методик оценки экономической эффективности новой техники [8–10] и программного обеспечения Microsoft «Excel».

Результаты и их обсуждение. Для определения эффективности применения водоподъемного оборудования с синхронным приводом на постоянных магнитах в технологии подъема и подачи воды из артезианских скважин потребителю проведены аналитические исследования, сравнитель-

ные заводские испытания по оценке энергопотребления высокоэффективных систем подачи воды с синхронным приводом и погружных электронасосных агрегатов с асинхронным приводом в пределах типоразмерного ряда двигателей 6" габарита, произведен расчет показателей экономической эффективности применения систем электронасосных с синхронным приводом и срока окупаемости, показана эффективность применения водоподъемного оборудования с синхронным приводом по результатам производственной проверки в технологиях подъема и подачи воды из артезианских скважин на водозаборах «Фелицианово» УП «Минскводоканал» и «Геленево» КУП «Молодечноеводоканал».

Синхронный двигатель с постоянными магнитами не имеет потерь на возбуждение и обладает высокой стабильностью скорости ротора. Постоянные магниты предназначены для создания магнитного поля возбуждения. Их использование позволяет получить требуемые регулировочные характеристики по напряжению и частоте вращения при значительно уменьшенной мощности возбуждения [8].

К преимуществам систем с синхронным двигателем [7], [11], [12] следует отнести:

- стабильность скорости вращения вне зависимости от нагрузки на вал ротора;
- низкую чувствительность к перепадам напряжения в питающей электросети (благодаря преобразователю);
- способность компенсировать реактивную мощность сети, возможность сделать cosφ близким к единице (до 0,95 для 6") во всех диапазонах работы и тем самым поднять КПД и снизить потери в электросети;
- повышенный КПД в сравнении с асинхронным двигателем.

Недостаток, присущий синхронным электродвигателям, – запуск, осуществляемый с применением частотного преобразователя, что ведет к удорожанию системы.

Принципиальной особенностью работы синхронного электродвигателя является

равенство скорости вращения ротора и скорости вращения магнитного потока. В связи с этим синхронный электродвигатель на постоянных магнитах невозможно запустить при подключении его напрямую к сети трехфазного тока [13]. Для запуска и работы синхронного электродвигателя с постоянными магнитами обязательно требуется система управления с частотным преобразователем.

Оснащение насосного оборудования погружным синхронным электродвигателем и специализированным устройством управления дало ОАО «Завод Промбурвод» возможность создания высокоэффективной (с точки зрения затрат энергии) системы [14].

Система подачи воды высокоэффективная СВ-6 (рис. 1) состоит из:

- синхронного погружного электродвигателя 6";
- погружного насоса;
- шкафа управления (частотный преобразователь, выходной фильтр).

Следует отметить, что кроме конструктивных особенностей синхронного привода, требования к обязательному использованию частотного преобразователя, непрерывность выполнения им технологического процесса, достаточно высокие показатели экономической эффективности применения водоподъемного оборудования с синхронным приводом и его окупаемости обусловлены технологическими аспектами, т.е. соответствием конструкции водоподъемного оборудования с синхронным приводом технологиям систем водоснабжения.

Практика применения водоподъемного оборудования с приводом от синхронных систем в производственных условиях показывает, что именно комплексный подход к осуществлению технологического процесса подъема воды из артезианских скважин и подачи потребителю, взаимно учитывающий конструкционные особенности синхронного привода и технологические особенности систем водоснабжения, позволяет получить экономический эффект.

С целью определения эффективности применения синхронного привода на базе испытательной лаборатории ОАО «Завод Промбурвод» были проведены серии заводских испытаний погружных скважинных насосов серии СПАВ-80-нр в составе электронасосных агрегатов с синхронными приводами СВ-6 из типоразмерного ряда двигателей производства ОАО «Завод Промбурвод» и асинхронными аналогами «Franklin Electric».

Анализ результатов сравнительных испытаний электронасосных агрегатов различной мощности с синхронным приводом в пределах типоразмерного ряда двигателей 6" габарита, производимых ОАО «Завод Промбурвод», показывает, что КПД насосных

Принципиальной особенностью работы синхронного электродвигателя является равенство скорости вращения ротора и скорости вращения магнитного потока. В связи с этим синхронный электродвигатель на постоянных магнитах невозможно запустить при подключении его напрямую к сети трехфазного тока [13].



Рис. 1. Система подачи воды высокоэффективная СВ-6

Таблица 1. Энергетические характеристики агрегатов с синхронными и асинхронными приводами

Характеристика электронасосного агрегата		Показатели работы электронасосного агрегата						
Тип агрегата	Тип электропривода	Поддача Q, м <sup>3</sup> /ч	Напор Н, м	КПД агрегата, %	Установленная мощность N <sub>дв</sub> , кВт	Потребляемая мощность P, кВт	Удельная потребляемая мощность на подъем 1 м <sup>3</sup> воды на 1 м P, Вт·м / м <sup>3</sup>	Экономия, %
СПА 8-80-20нр	Асинхронный дв. «Franklin Electric» напрямую от сети	80	20	50,5	7,5	8,8	5,50	
СПА 8-80-20нр	Синхронный дв. ОАО «Завод Промбурвод» + частотный преобразователь	80	20	57,7	7,5	7,7	4,81	12,55
СПА 8-80-60нр	Асинхронный дв. «Franklin Electric» напрямую от сети	80	53	53	18,5	22,0	5,19	
СПА 8-80-60нр	Синхронный дв. ОАО «Завод Промбурвод» + частотный преобразователь	80	60	62	18,5	21,5	4,48	13,68
СПА 8-80-90нр	Асинхронный дв. «Franklin Electric» напрямую от сети	80	82	54,9	26,0	32,4	4,94	
СПА 8-80-90нр	Синхронный дв. ОАО «Завод Промбурвод» + частотный преобразователь	80	82	61,5	26,0	29,3	4,47	9,51

агрегатов с синхронным приводом габарита 6" ОАО «Завод Промбурвод» и «Franklin Electric» практически сопоставимы [15], т.е. привод, производимый ОАО «Завод Промбурвод», соответствует уровню мировых аналогов.

Это подтверждает расчет удельной потребляемой мощности на подъем 1 м<sup>3</sup>/ч воды на 1 м и относительный показатель снижения (экономии) удельной потребляемой мощности. Показатель экономии рассчитывался исходя из удельного потребления электроэнергии (табл. 1).

Результаты проведенных испытаний показали, что потребляемая мощность у электронасосных агрегатов с синхронными электродвигателями ниже, чем у агрегатов с асинхронными двигателями на величины от 9,51% до 13,68%. Это подтверждает энергоэффективность электронасосных агрегатов с синхронными электродвигателями.

Принимая во внимание тот факт, что повышение эффективности и надежности оборудования связано с определенными материальными затратами, произведен расчет показателей экономической эффективности применения систем электронасосных с синхронным приводом (табл. 2, 3) при условии максимально интенсивной эксплуатации. Исходные технико-экономические показатели, принятые для выполнения расчета, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Исходные технико-экономические показатели

Наименование показателя	Агрегат электронасосный	Система подачи воды высокоэффективная СВ-6
Производитель привода	«Franklin Electric»	ОАО «Завод Промбурвод»
Марка насоса	СПА 8-80-90нр	СПА 8-80-90нр
Состав	Асинхронный двигатель «Franklin Electric» (26 кВт)	Синхронный двигатель (26 кВт), частотный преобразователь
Стоимость электронасосного агрегата, руб. без НДС	6 380	11770
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	80	80
Напор, Мпа	0,80	0,80
Потребляемая мощность, кВт	32,4	29,3
Удельная потребляемая мощность, Вт/м <sup>3</sup> на м	4,94	4,47
Количество обслуживающего персонала, чел.	1	1
Коэффициент отчислений на ТО, ТР, КР и хранение	0,05	0,05

Расчет проводился для образца системы высокоэффективной СВ-6 (26 кВт), имеющего наименьший показатель снижения удельной потребляемой мощно-

сти на подъем 1 м<sup>3</sup> воды на 1 м (9,51%) в сравнении с асинхронным электродвигателем (26 кВт) «Franklin Electric» имеющим стоимость 6 380 бел. руб. ▶



**Таблица 3. Показатели экономической эффективности применения высокоэффективной системы подачи воды в сравнении с базовым агрегатом электронасосным**

Наименование показателя	Значение	
Производитель привода	«Franklin Electric»	ОАО «Завод Промбурвод»
Марка насоса	СПА 8-80-90нр	СПА 8-80-90нр
Состав	Асинхронный двигатель 26 кВт	Синхронный двигатель, частотный преобразователь
Потребляемая мощность, кВт	32,4	29,3
Цена электронасосного агрегата (без НДС), руб.	6 380	11 770
Годовая экономия затрат труда, чел. ч.	–	–
Степень снижения затрат труда, %	–	–
Годовая экономия электроэнергии, кВт·ч	–	27 156
Годовая экономия себестоимости механизированных работ, руб.	–	7 414
Степень снижения расхода электроэнергии, %	–	9,51
Степень снижения себестоимости механизированных работ, %	–	12,24
Простой срок окупаемости абсолютных капитальных вложений, лет	–	1,63
Динамический срок окупаемости абсолютных капитальных вложений, лет	–	1,88

а система синхронная СВ-6 (26 кВт) ОАО «Завод Промбурвод» – 11 770 бел. руб. (в ценах на 01.10.2019 г.).

Результаты расчета экономической эффективности применения системы высокоэффективной в сравнении с базовым асинхронным агрегатом «Franklin Electric» представлены в табл. 3.

Как видно из таблицы 3, при снижении удельной потребляемой мощности на 9,51% предполагается годовая экономия электроэнергии до 27 156 кВт·ч.

Расчетный экономический эффект от внедрения системы подачи воды СВ-6 составляет порядка 7 414 бел. рублей (около 3,5 тыс. долл. США в ценах на 01.09.2019 г.) при стоимости оборудования 11 770 бел. руб. без НДС.

На рис. 2 представлен расчетный график окупаемости абсолютных капитальных вложений применения СВ-6 в комплекте с насосом СПА 8-80-90нр с синхронным приводом на постоянных магнитах мощностью 26 кВт производства ОАО «Завод Промбурвод» и частотным преобразователем в сравнении с базовым агрегатом СПА 8-80-90нр с асинхронным двигателем 26 кВт производства «Franklin Electric».

В настоящее время ведется широкая проверка эффективности применения водоподъемного оборудования с синхронным

приводом в технологиях подъема и подачи воды из артезианских скважин на водозаборах в составе группы параллельно работающих агрегатов водоканалов городов Минска, Молодечно, Борисова, Жлобина, Смолевичей и Минского района.

**Рис. 2. График окупаемости абсолютных капитальных вложений применения СВ-6 в комплекте с насосом СПА 8-80-90нр, синхронным приводом на постоянных магнитах мощностью 26 кВт производства ОАО «Завод Промбурвод» и частотным преобразователем в сравнении с базовым агрегатом СПА 8-80-90нр с асинхронным двигателем 26 кВт производства «Franklin Electric».**



Как показывает опыт эксплуатации, эффективность применения синхронного привода в системах подачи воды из скважин, полученная по результатам заводских испытаний, как правило, подтверждается.

Так, водозабор «Фелицианово» УП «Минскводоканал» с декабря 2017 года работает на системах подачи воды типа 6<sup>т</sup> HES с приводом 26 кВт «Franklin Electric» и погружными скважинными насосами из литой нержавеющей стали размером 8<sup>т</sup> трех типов: СПА 8-100-70, СПА 8-90-70, СПА 8-85-70 в количестве девяти комплектов.

При этом средний расчетный срок окупаемости по мероприятию замены электронасосных агрегатов с асинхронным приводом на аналоги систем подачи воды с синхронным приводом составил около 1,6 года при гарантийном сроке эксплуатации систем порядка 5 лет.

24 июня 2019 года в УП «Молодечноводоканал» на станции первого подъема водозабора «Геленево» в скважине №111 была введена в эксплуатацию высокоэффективная система подачи воды производства ОАО «Завод Промбурвод».

Высокоэффективная система состоит из погружного синхронного электродвигателя на постоянных магнитах собственного производства мощностного ряда 11-18,5 кВт, погружного скважинного насоса СПА 6-60-55нр и частотного преобразователя для управления двигателем мощностью 13 кВт, шкафа управления с функцией удаленной передачи данных о наработке, потреблении электроэнергии и подаче воды. За 6 месяцев эксплуатации наработка составила 4270 часов безотказной работы, в течение которых было потреблено всего 64 904 кВт·ч электроэнергии. Отключе-

ний системы за этот период эксплуатации по каким признакам не происходило. Отказов и сервисных работ системы не было. На протяжении полугода система выдавала стабильные показатели: потребляемая мощность составляла 15,2 кВт, что на 10% ниже чем у аналогичного агрегата с асинхронным приводом; потребляемые токи были равны 22,5 А, что на 30% ниже асинхронного аналога; удельный показатель составил 0,2465 кВт/м<sup>3</sup>, что на 10% ниже. Срок окупаемости данной системы рассчитан на полтора года [15].

Опыт производственной проверки подтверждает высокую эффективность применения систем подачи воды с синхронным приводом в условиях водозаборов Республики Беларусь, предполагает экономию 9% и более электрической энергии на выполнение технологического процесса подъема и подачи воды из артезианских скважин в сравнении с применяемыми в настоящее время агрегатами с асинхронным приводом, что дает возможность достижения одного из целевых индикаторов, предусматривающего снижение удельных норм расхода электрической энергии на подъем и подачу воды к 2025 году на 9% к уровню 2015 года [1].

## Выводы

1. Существует тенденция снижения энергоёмкости технологического процесса подъема и подачи воды из артезианских скважин в условиях водозаборов за счет использования высокоэффективных систем на основе синхронных электродвигателей с ротором на постоянных магнитах, обладающих рядом преимуществ в сравнении с асинхронными двигателями.

2. Применение систем с синхронным приводом в технологии подъема и подачи воды из артезианских скважин на водозаборе в составе группы параллельно работающих агрегатов обусловлено снижением удельной потребляемой мощности на выполнение технологического процесса подъема и подачи воды из артезианских скважин по сравнению с аналогичной системой (насос-двигатель), имеющей асинхронный привод.

Основным энергосберегающим эффектом применения синхронного привода является то, что потребляемая мощность у систем подачи воды с синхронными двигателями на 9,51–13,68% ниже, чем у агрегатов с асинхронными двигателями (лучшими мировыми аналогами «Franklin Electric»).

3. Экономия 9% и более электрической энергии при замене агрегатов электронасосных с асинхронным приводом системами подачи воды с синхронным приводом в технологии подъема и подачи воды из артезианских скважин на водозаборе позволяет получить экономический эффект.

Исследованиями установлено, что при снижении удельной потребляемой мощности на 9,51% расчетный экономический эффект от применения высокоэффективной системы СВ-6 в комплекте с насосом СПА 8-80-90нро, синхронным приводом на постоянных магнитах мощностью 26 кВт производства ОАО «Завод Промбурвод» и частотным преобразователем в сравнении с базовым агрегатом СПА 8-80-90нро с асинхронным двигателем 26 кВт производства «Franklin Electric» составил порядка 7 414 бел. рублей (около 3,5 тыс. долл. США в ценах на 01.09.2019 г.). Простой срок окупаемости абсолютных капитальных вложений составил 1,63 года, а динамический – 1,88 года. При этом следует отметить, что стоимость агрегата СПА 8-80-90нро с синхронным приводом в 1,85 раза выше стоимости агрегата СПА 8-80-90нро с асинхронным приводом.

4. Производственная проверка в условиях водозаборов Республики Беларусь подтверждает возможность окупаемости вложенных в прогрессивные технологии инвестиций менее чем за два года, несмотря на достаточно высокую стоимость систем синхронного привода (стоимость высокоэффективных синхронных систем примерно в 1,7–2,6 раза выше, чем асинхронных).

Значимость полученных результатов состоит в том, что они показывают энергетическую и экономическую эффективность применения систем подачи воды с синхронным приводом и позволяют рекомендовать их к использованию в условиях водозаборов Республики Беларусь.

## Литература

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 29 декабря 2017 г. № 1037 «О Концепции совершенствования и развития жилищно-коммунального хозяйства до 2025 года» [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://kodeksy-by.com/norm\\_akt/source-29.12.2017.htm](https://kodeksy-by.com/norm_akt/source-29.12.2017.htm) – Дата доступа: 14.09.2019.
2. Башко Ю.А., Лосик С.В., Козорез А.С. Перспективы использования высокоэффективных систем с синхронным приводом на постоянных магнитах на водозаборных скважинах / Материалы 1 Международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве». Часть 1 // Минск, 2019. – С. 54–58.
3. Андерсен Х.П. Европейские соглашения по энергетическим стандартам насосов. – «Danish Board of District Heating», 2005.
4. Поружные электродвигатели Franklin Electric [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.pea.ru/docs/> – Дата доступа: 14.06.2019.

5. Markus Lindegger. Economic viability, applications and limits of efficient permanent magnet motors / Markus Lindegger // Swiss Federal Office of Energy. – Switzerland, 2009.

6. Franklin Electric Application/Installation Data. – Europa GmbH D-54516 Wittlich/ Germany №3/2013.

7. Хотите экономить электроэнергию на водозаборных скважинах? [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://promburvod.com>. – Дата доступа: 31.07.2019.

8. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей ТКП 151-2008 (02150). Технический кодекс установившейся практики: ОСТ 10.2.18- 2001. – Минск: Минсельхозпрод, 2001. – 14 с.

9. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки: стандарт отрасли: ОСТ 10.2.18-2001. – Минск, 2001. – 32 с.

10. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники / М-во сельского хозяйства и продовольствия Рос. Федерации; Всерос. науч.-исслед. ин-т экономики сельского хозяйства. – М., 1998. – 219 с.

11. Синхронный и асинхронный двигатель: отличия и принцип работы [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://domelectrik.ru/oborudovanie/dvigatel/otlichiya-sinhronnyh-i-asinhronnyh-mashin> – Дата доступа: 14.06.2019.

12. Разница между синхронным и асинхронным двигателем [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://thedifference.ru/chem-otlichaetsya-sinhronnyj-dvigatel-ot-asinhronnogo/> – Дата доступа: 14.06.2019.

13. Филиповец П.М., Козорез А.С. Разработка и производство скважинных электронасосных агрегатов с поружными синхронными электродвигателями на постоянных магнитах / Материалы 1 Международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве». Часть 1 // Минск, 2019. – С. 66–69.

14. Козорез А.С., Филиповец П.М., Башко Ю.А. Эффективность применения синхронного привода для водоподъемного оборудования в условиях Республики Беларусь / Материалы Международной научно-технической конференции «Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК». БГАТУ // Минск, 2019. – С. 161–164.

15. Итоги подконтрольной эксплуатации водоподъемного оборудования с синхронным приводом на постоянных магнитах. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://promburvod.com/>. – Дата доступа: 29.12.2019. ■

Статья поступила в редакцию 8.07.2020