

9-10-2019

## ASSESSMENT OF THE ENERGY EFFICIENCY OF THE FREQUENCY-REGULATED ELECTRIC DRIVE OF THE BOTTOM PUMPING INSTALLATIONS

O H. Ishnazarov

«Scientific and Technical Center» LLC «Uzbekenergo» JSC

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi>

---

### Recommended Citation

Ishnazarov, O H. (2019) "ASSESSMENT OF THE ENERGY EFFICIENCY OF THE FREQUENCY-REGULATED ELECTRIC DRIVE OF THE BOTTOM PUMPING INSTALLATIONS," *Scientific-technical journal*: Vol. 22 : Iss. 3 , Article 19.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol22/iss3/19>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific-technical journal by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

УДК 621.34

**ASSESSMENT OF THE ENERGY EFFICIENCY OF THE FREQUENCY-REGULATED ELECTRIC DRIVE OF THE BOTTOM PUMPING INSTALLATIONS**

**O.H. Ishnazarov, S.M. Khishiev**

«Scientific and Technical Center» LLC «Uzbekenergo» JSC

**ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СКВАЖИННЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК**

**О.Х. Ишназаров, С.М. Хушиев**

Научно-технический центр АО «Узбекэнерго»

**ЧАСТОТА ЎЗГАРТИРГИЧЛИ ЭЛЕКТРИУРИТМАЛИ ҚУДУҚ НАСОСЛАРИНИНГ ЭНЕРГИЯ САМАРАДОРЛИГИНИ БАҲОЛАШ**

**О.Х. Ишназаров, С.М. Хушиев**

«Ўзбекэнерго» АЖ «Илмий-техника маркази» МЧЖ

*The article presents the possibility of reducing the operating costs of downhole pumping units. The results of the energy survey and instrumental measurements of the ETsV (ЭЦВ) 10-255-30 borehole pump are presented. On the basis of Matlab / Simulink, a model of an often-controlled electric drive of a well pumping unit was created. According to the results of simulation, the system has the best energy performance in the case of frequency control of the well pump performance.*

**Keywords:** borehole pump, energy efficiency, variable frequency drive.

*В статье представлена возможность снижения эксплуатационных затрат скважинных насосных установок. Представлены результаты энергетического обследования и инструментальные замеры скважинного насоса ЭЦВ 10-255-30. На базе программного обеспечения Matlab/Simulink создана модель часто-регулируемый электропривод скважинной насосной установки. По результатам имитационного моделирования, наиболее лучшей энергетической характеристикой обладает система при частотном регулировании производительности скважинного насоса.*

**Ключевые слова:** скважинный насос, энергетическая эффективность, частотно-регулируемый электропривод.

*Ушбу мақолада қудуқ насос қурулмалари учун эксплуатация харажатларини камайтириши имкониятлари ўрганиб чиқилган. Энергетик текширувлар ва инструментал ўлчовлар асосида ЭЦВ 10-255-30 русумли қудуқ насосининг энергия кўрсаткичлари тадқиқ қилинган. Matlab/Simulink дастури асосида қудуқ насос усқунасининг модели ишлаб чиқилди. Моделлаштириши асосида, қудуқ насосининг энг яхши кўрсаткичлари частотали ростланадиган электр юритма орқали таъминланади.*

**Таянч сўзлар:** қудуқ насоси, энергия самарадорлиги, частотали ростланадиган электр юритма.

В Узбекистане значительную долю агрегатов, снабженных электроприводом, составляют центробежные машины – насосы и вентиляторы, которые ежегодно расходуют около 9,5 млрд кВт·ч электроэнергии, т.е. примерно 17% всей электроэнергии, вырабатываемой энергосистемой страны [1]. Из них на электропривод скважинных насосов расходуется около 380 млн. кВт·ч электроэнергии. В большинстве случаев высокие расходы объясняются

**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES**

низким эксплуатационным КПД и недостаточно эффективным регулированием технологического процесса.

В соответствие с этим, были проведено обследование и инструментальные замеры скважинного насоса ЭЦВ 10-255-30. Итоговые данные инструментальных замеров приведены в таблице 1.

По результатам обследования, выявлено, что регулирование производительности насосных установок осуществляется регулированием угла открытия- закрытия затвора (клапан, задвижка). При этом, используется затвор, регулирующий гидродинамическое сопротивление системы на выходе насоса.

**Таблица 1**

№	Время	Фактические данные					
		Ток, А $I_{\text{сред}}$	$\text{Cos}\varphi$	Активная мощность $P_{\text{ф}}$ , кВт.	Реактивная мощность, $Q_{\text{р}}$ , кВар	Полная мощность $S$ , кВА.	Произво- дительность $Q$ , м <sup>3</sup> ·ч
1	7:00	64,6	0,66	27,9	31,2	41,9	209,8
2	8:00	64,6	0,67	27,8	30	40,9	211,7
3	9:00	64,6	0,67	27,9	30,6	41,4	212,1
4	10:00	64,6	0,67	28,5	31,2	42,3	212
5	11:00	64,6	0,67	27,9	30,6	41,4	209,8
6	12:00	64,6	0,67	27,9	30,6	41,4	211,7
7	13:00	64,6	0,67	28,5	31,2	42,3	212,1
8	14:00	64,6	0,66	27,9	31,2	41,9	212
9	15:00	64,6	0,67	27,8	30	40,9	212
10	16:00	64,6	0,67	28,5	31,2	42,3	209,8
11	17:00	65,6	0,68	29,33	29,9	41,9	211,6
12	18:00	65,7	0,69	29,96	27,8	40,9	215,2
13	19:00	65,8	0,67	29,06	29,5	41,4	210,4
14	20:00	65,4	0,66	28,23	31,4	42,3	209,3
15	21:00	66	0,65	28,20	30,3	41,4	200,6
16	22:00	66,1	0,64	28,03	30,5	41,4	180,9
17	23:00	65,5	0,6	26,24	33,1	42,3	175,8
18	24:00	64,9	0,55	23,96	34,3	41,9	160,2
19	1:00	63,1	0,52	22,14	34,4	40,9	130,4
20	2:00	63	0,53	22,47	35,8	42,3	120,6
21	3:00	62	0,51	21,22	36,4	42,1	100,32
22	4:00	61,8	0,58	23,87	35,9	43,1	110,1
23	5:00	60	0,59	23,82	33,4	41	128,7
24	6:00	62,3	0,65	26,97	31,4	41,4	180,6

Насосную установку, как объект управления, можно упрощенно представить в виде двух взаимосвязанных элементов - насосного агрегата и эквивалентного трубопровода (рис. 1), при этом минимальное число параметров, описывающих состояние объекта управления, включает в себя при регулировании производительности насосного агрегата дросселированием: характеристики трубопровода (3, 4) и характеристика агрегата (1); при регулировании производительности насосных агрегатов регулируемым электроприводом

**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES**

изменением скорости вращения агрегатов: характеристика трубопровода (3) и характеристики агрегата (1, 2) [2, 3].

Как известно, прикрывая или открывая затвор, изменяют крутизну характеристики  $Q-H$  трубопровода (рис. 2), которая зависит от его гидравлического сопротивления. Прикрывая затвор, увеличивают крутизну характеристики трубопровода, при этом рабочая точка насоса  $A_1$  перемещается в положение  $A_2$ . В этом случае подача уменьшается до значения  $Q_2$  напор, развиваемый насосом, возрастает до значения  $H_2$ , а напор на трубопроводе за затвором снижается до значения  $H'_2$ . Снижение напора за затвором происходит за счет потерь напора  $\Delta H$  в затворе. Увеличивая степень открытия затвора, уменьшают крутизну характеристики трубопровода. Как и следовало ожидать, подача увеличивается, напор, развиваемый насосом, уменьшается, а напор в трубопроводе за затвором возрастает. Этот способ регулирования, называемый дросселированием, считается малоэффективным, так как на преодоление дополнительного гидравлического сопротивления в затворе требуются дополнительные затраты энергии [3].

Это приводит к излишнему потреблению электроэнергии, т.к. в этом случае насос создают проток, который потом искусственно уменьшается клапаном. К тому же, у каждого насоса есть оптимальный режим работы, и увеличение сопротивления выходному потоку может привести к снижению КПД насоса (увеличению потребления энергии) и снижению его надежности.

Мировой опыт последних 20-25 лет показывает, что наряду с множеством путей энергосбережения в насосных установках, одним из эффективных решений является сокращение потерь мощности за счет исключения дросселирования, которое не только экономит электроэнергию, но и обеспечивает многие важные технологические возможности. Более экономичным способом регулирования является изменение частоты вращения насосов [4-7].

Согласно рисунку 1, при изменении частоты вращения насоса изменяется положение характеристики  $Q-H$  насоса. Уменьшая частоту вращения, перемещают характеристику  $Q-H$  вниз, параллельно самой себе. При этом рабочая точка, перемещаясь по характеристике трубопровода занимает положение  $A'_2$ , следовательно, подача уменьшается так же, как и напор в сети и напор, развиваемый насосом.

Увеличение частоты вращения увеличивает подачу и напор насоса, а также напор в сети. Этот способ регулирования более экономичен, но требует применения специального регулируемого электропривода.

На сегодняшний день, не вызывает сомнений, что более лучшие энергетические показатели дает внедрение частотно-регулируемого электропривода [4,7].

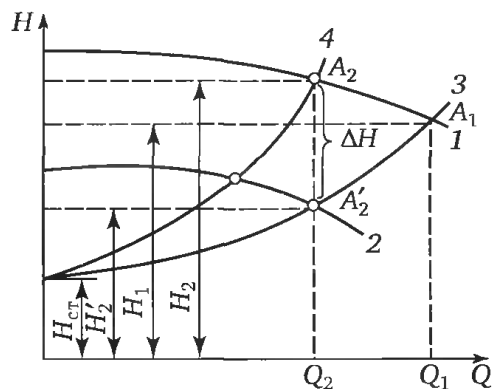


Рис. 1. Регулирование режима работы центробежного насоса: 1 – характеристика  $Q-H$  насоса при номинальной частоте вращения; 2 – то же при уменьшенной частоте вращения; 3 – характеристика трубопровода при полном открытии затвора; 4 – то же при уменьшении степени открытия затвора;  $H_1$  – напор, соответствующий подаче  $Q_1$ ;  $H_{ст}$  – статическая составляющая напора.

**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES**

Частотное регулирование создает возможность управления скоростью

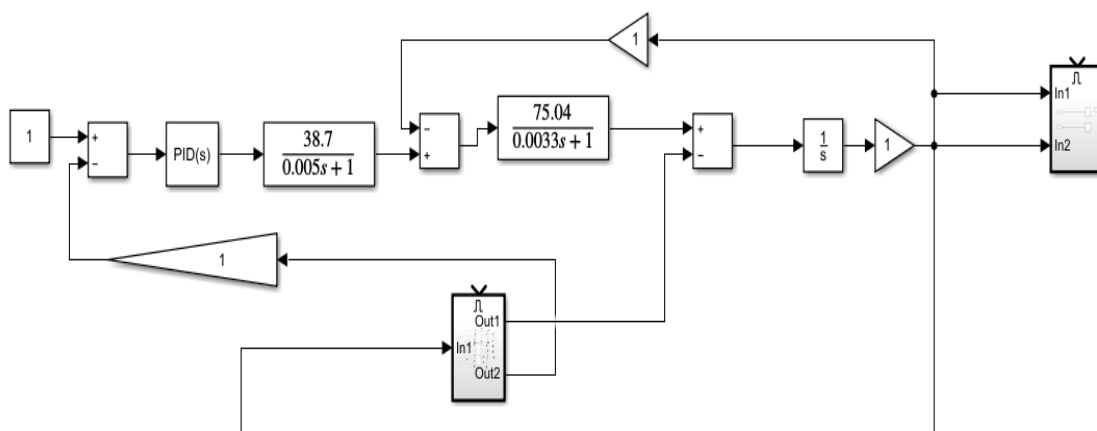


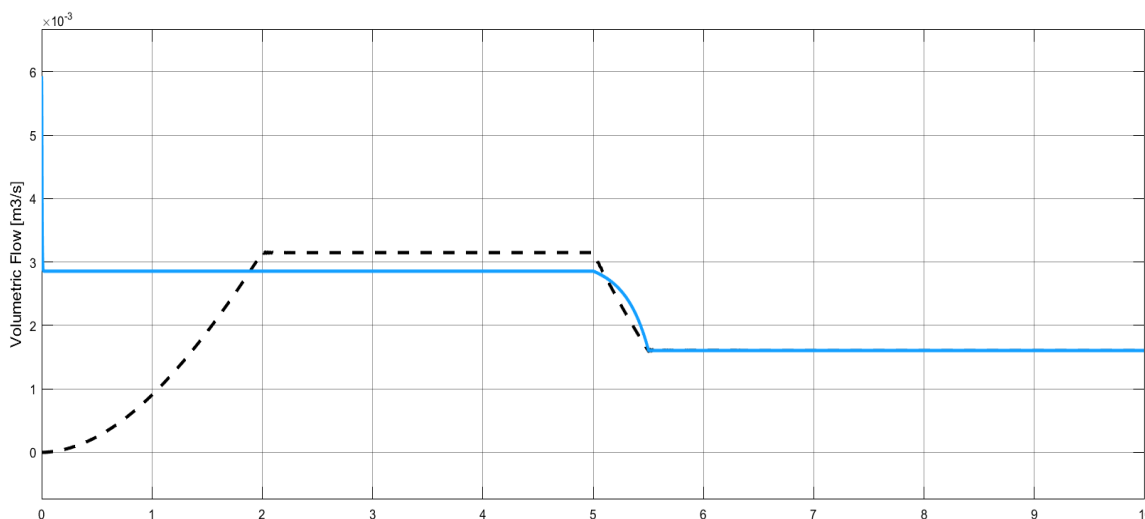
Рис. 2. Структурная схема частотно-регулируемого электропривода насосной установки.

электродвигателя в соответствии с характером нагрузки. Это в свою очередь позволяет избегать сложных переходных процессов в электрических сетях, обеспечивая работу оборудования в наиболее экономичном режиме.

На рисунке 2 приведена структурная схема частотно-регулируемого электропривода насосной установки.

На рисунке 3 приведены результаты моделирования режимов работы насосной установки с частотно-регулируемым электроприводом, а также без регулирования.

Как видно из рисунков, при регулирование скорости вращения скважинной насосной установки, обеспечиваются лучшие как энергетические так и технологические показатели.



а)

**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES**

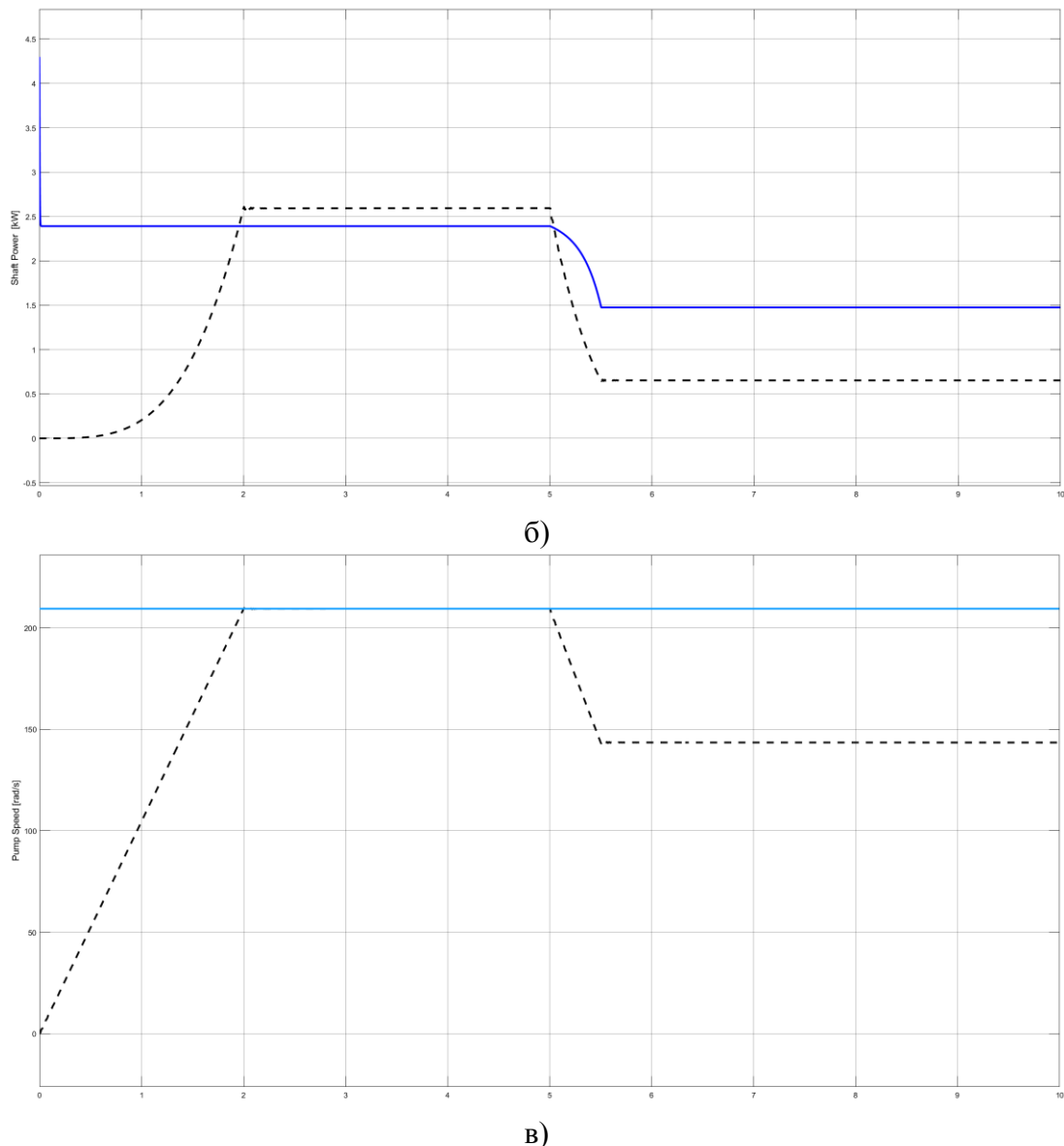


Рис. 3. Режим работы скважинной насосной установки при частотном регулировании скорости вращения (-----) и без регулирования скорости вращения ( \_\_\_\_\_ ): а) зависимость производительности от времени; б) зависимость мощности от времени; в) зависимость скорости вращения от времени.

При регулировании производительности насоса при неизменном давлении в подающем трубопроводе (при выдерживании гидравлики) необходимо использовать следующую формулу [3,8]:

$$Q/Q_{ном} = n/n_{ном}, \text{ откуда } n = Q/Q_{ном} \cdot n_{ном},$$

где  $Q$  – фактическая (необходимая) производительность насоса, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_{ном}$  – номинальная производительность насоса при заданном давлении, м<sup>3</sup>/ч;

$n_{ном}$  – номинальная скорость вращения электродвигателя, об/мин.

$n$  – необходимая скорость вращения электродвигателя, об/мин.

Определение мощности на валу насоса при работе с фактической (необходимой) производительностью:

$$N/N_{ном} = n^3/n_{ном}^3, \quad N = N_{ном} \cdot n^3/n_{ном}^3,$$

где  $N_{ном}$  – номинальная мощность на валу насоса, кВт.

**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES**

---

По общеизвестной методике оценим экономическую эффективность внедрения частотно-регулируемого электропривода для скважинных насосных установок.

Годовой расход электроэнергии (кВт·ч) при работе насоса с номинальной скоростью определяется согласно

$$W_n = N_{ном} \cdot T \cdot k_u,$$

где  $T$  – количество часов работы, ч;  $k_u$  – коэффициент использования.

Годовой расход электроэнергии (кВт·ч) при работе насоса с регулируемым электроприводом определим по формуле

$$W = N \cdot T \cdot k_u,$$

где  $T$  – количество часов работы, ч;  $k_u$  – коэффициент использования.

Годовая экономия электроэнергии при работе насоса с регулируемым электроприводом, по сравнению с насосом с обычным электроприводом:

$$\Delta W = W_n - W.$$

Определение укрупненных капиталовложений в регулируемый электропривод:

Стоимость выбранного регулируемого электропривода  $C_{рэл}$  согласно договорной цены фирмы;

Стоимость электротехнических устройств и КИП составляет ориентировочно 3-5 % от стоимости РЭП.

Стоимость строительно-монтажных работ – 5-10% от стоимости оборудования;

Стоимость пуско-наладочных работ – 3-5% от стоимости оборудования.

Стоимость оборудования (тыс. сум)

$$C_{об} = C_{рэл} + (0,03 \div 0,05) \cdot C_{рэл}.$$

Капиталовложения в мероприятие (тыс. сум)

$$K_{рэл} = C_{об} + (0,05 \div 0,1) \cdot C_{об} + (0,03 \div 0,05) \cdot C_{об}.$$

Определение срока окупаемости мероприятия (лет)

$$C_{р_{ок}} = K_{рэл} / (\Delta W \cdot C_{ээ}).$$

где  $K_{рэл}$  – капиталовложения в мероприятие, сум;

$\Delta W$  – экономия электроэнергии от внедрения регулируемого электропривода;

$C_{ээ}$  – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии (сум).

В таблице 2 приведен расчет экономической эффективности от внедрения частотно-регулируемого электропривода для скважинных насосных установок ЭЦВ-10-255-30

Таким образом, внедрение частотно-регулируемого электропривода скважинной насосной установки позволит снизить удельный расход электрической энергии на откачку 1 м<sup>3</sup> воды на 0,08 кВт·ч, а также способствует повышению энергетических показателей (коэффициент мощности и КПД) скважинной насосной установки.

**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES**

ица 2

<b>ЭЦВ-10-120-55</b>	<b>Расчетные данные</b>
Номинальная производительность, м <sup>3</sup> /ч	255
Фактическая производительность, м <sup>3</sup> /ч	185
Скорость вращения номинальное, об/мин	3000
Скорость вращения необходимое, об/мин	2177
Мощность на валу номинальное, кВт	32
Мощность на валу необходимое, кВт	12,2
Коэффициент использования	0,83
Количество часов работы в год, ч	8760
Годовой расход ЭЭ при работе с номинальной скоростью, кВт·ч	235099,2
Годовой расход ЭЭ при работе с необходимой скоростью, кВт·ч	89778,5
Годовая экономия электроэнергии, кВт·ч	145320,7
Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии	250
Стоимость сэкономленной электроэнергии, сум	36330180,9
Стоимость регулируемого ЭП (ПЧ)	25400000
Стоимость строительно-монтажных работ (7%), сум	1778000
Стоимость пуско-наладочных работ (5%), сумм	1270000
Капиталовложения в мероприятия, сумм	28 448 000
Срок окупаемости, месяцев	9
Существующая удельная норма расхода электрической энергии на откачку 1 м <sup>3</sup> воды, кВт · ч/м <sup>3</sup>	0,14
Удельная норма расхода электрической энергии на откачку 1 м <sup>3</sup> воды при внедрении частотно-регулируемого электропривода, кВт · ч/м <sup>3</sup>	0,06

**References:**

- [1]. Kamalov T.S. Reguliruemiy elektroprivod orositelnix istantsiy. Izdatelstvo «FAN» Akademii nauk Respublika Uzbekistan Tashkent 1987 g.
- [2]. Kamalov.T.S., «СНастотно-регулируемiy elektroprivod nasosnix stantsiy sistem mashinnogo orosheniya». Izdatelstvo «FAN» Akademii nauk Respublika Uzbekistan Tashkent 2014 g..
- [3]. Leznov B.S. Energoberejenie i reguliruemiy privod v nasosnix i iustanovkax. — M.: Energoato- mizdat, 2006.
- [4]. Xushiev S.M. «Obzor metodov povsheniya energoeffektivnosti elektricheskix privodov» Nauchno — texnicheskij jurnal «Energoberejenie i Vodopodgotovka» 2018 g. №6.
- [5]. Khushiev S., Ishnazarov O. A Brief Review on Different Applications of Variable Speed Drive (VSD) in Electrical Motor Energy Savings and Energy Use // International Journal of Engineering Innovation & Research Volume 4, Issue 2, ISSN: 2277 – 5668. India 2015.
- [6]. Xushiev S.M. «Suv ta'minoti tizimida nasos stantsiyalarining energiya tejankor ish rejimlari». FarPI ilmiy texnika jurnali Tom 21. №4 2017 yil.
- [7]. Khushiev S., Ishnazarov O. Comprehensive Energy Saving Strategies inIndustrial: Technical Potentials For Developing Countries. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology ISSN: 2350-0328 Vol. 3, Issue 5, May 2016.
- [8]. Fashilenko V.N. «Reguliruemiy elektroprivod nasosnix i ventilyatornix ustanovok gornix predpriyatij». Izdatelstvo «Gornaya kniga», 2011 g.



**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES**

---

**Список литературы**

- [1]. Камалов Т.С. Регулируемый электропривод оросительных насосных станций. Издательство «ФАН» Академии наук Республика Узбекистан Ташкент 1987 г.
- [2]. Камалов.Т.С., «Частотно-регулируемый электропривод насосных станций систем машинного орошения». Издательство «ФАН» Академии наук Республика Узбекистан Ташкент 2014 г..
- [3]. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. — М.: Энергоатомиздат, 2006.
- [4]. Хушиев С.М. «Обзор методов повышения энергоэффективности электрических приводов» Научно — технический журнал «Энергосбережение и Водоподготовка» 2018 г. №6.
- [5]. Khushiev S., Ishnazarov O. A Brief Review on Different Applications of Variable Speed Drive (VSD) in Electrical Motor Energy Savings and Energy Use // International Journal of Engineering Innovation & Research Volume 4, Issue 2, ISSN: 2277 – 5668. India 2015.
- [6]. Хушиев С.М. «Сув таъминоти тизимида насос станцияларининг энергия тежамкор иш режимлари». ФарПИ илмий техника журнаги Том 21. №4 2017 йил.
- [7]. Khushiev S., Ishnazarov O. Comprehensive Energy Saving Strategies inIndustrial: Technical Potentials For Developing Countries. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology ISSN: 2350-0328 Vol. 3, Issue 5, May 2016.
- [8]. Фашиленко В.Н. «Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий». Издательство «Горная книга», 2011 г.