

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7535505>
УДК 621.316.9:334.02

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА НА ЧАУНСКОЙ ТЭЦ

А.К. Решельян,
студент, напр. «Электроэнергетика и электротехника»,
Чукотский филиал СВФУ,
г. Анадырь

Аннотация: В данной статье приведены результаты анализа работы сетевой насосной установки Чаунской теплоэлектроцентрали, с учетом перспективы развития города Певек Чукотского АО, обоснована необходимость замены насосного оборудования, определена производительность насосных агрегатов, удовлетворяющих требованиям работы в режиме технологического минимума. Произведен расчет экономической эффективности от внедрения регулируемых электроприводов на насосной установке Чаунской ТЭЦ, описываются необходимые меры по охране труда при установке и эксплуатации данных электроприводов.

Ключевые слова: Чукотка, северный город, теплоэлектростанция, частотно-регулируемый электропривод, насосная установка, экономика предприятия

EVALUATION OF TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF THE INTRODUCTION OF A VARIABLE- FREQUENCY DRIVE AT THE CHAUN HEAT AND ELECTRICITY DISTRIBUTION ENTERPRISE

A.K. Reshelyan,
4th year student, direction "Electric power and electrical engineering",
Chukotka branch of NEFU,
Anadyr

Annotation: This article presents the results of the analysis of the operation of the network pumping unit of the Chaun enterprise for the distribution of heat and electricity, taking into account the prospects for the development of the city of Pevek of the Chukotka Autonomous District, the need to replace pumping equipment is substantiated, the performance of pumping units that meet the requirements of operation in the technological minimum mode is determined. The calculation of economic efficiency from the introduction of adjustable electric drives at the pumping unit of the Chaun enterprise for the distribution of heat and electricity is made, the necessary measures for labor protection during the installation and operation of these electric drives are described.

Keywords: Chukotka, northern city, thermal power plant, frequency-controlled electric drive, pumping unit, enterprise economics

Существующая насосная установка Чаунской ТЭЦ была реконструирована в 1993 году в рамках которой были установлены два типа сетевых насосов, (2 насоса производительностью 2000 м³/час и насос производительностью 1600 м³/час). Насосные агрегаты оснащены асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором типа А4-450У-6УЗ, мощностью 800 кВт. Выбор оборудования был выполнен с учетом требований по обеспечению тепловой энергией потребителей города Певек на момент реконструкции.

Система отопления потребителей г. Певек в настоящее время функционирует по графику качественно-количественного регулирования температуры, что объясняется особенностью открытой системы горячего водоснабжения (потребление воды на горячее водоснабжение осуществляется из системы отопления) [1]. Температурный график системы отопления 85/63 °С при расчетной температуре наружного воздуха -38 °С.

Схема теплофикационной установки Чаунской ТЭЦ представлена на рисунке 1.

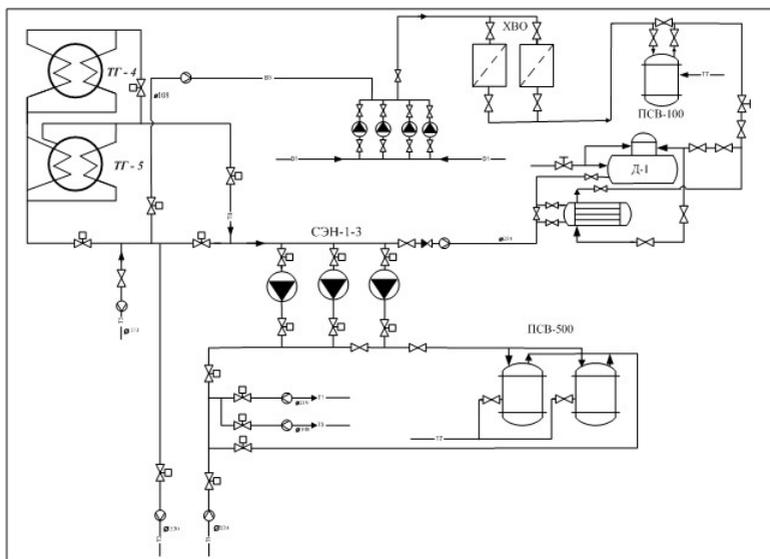


Рисунок 1 – Схема теплофикационной установки Чаунской ТЭЦ

Характеристики сетевой насосной установки Чаунской ТЭЦ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика сетевой насосной установки Чаунской ТЭЦ

Параметр	Показатель			
Расчетная тепловая нагрузка, Гкал/час	99			
Расчетный температурный график, °С	85/63			
Сетевые насосы	Тип	Д2000-100	Д2000-100	1Д1600-90
	Мощность, кВт	665	665	520
	Подача насоса, м ³ /ч	2000	2000	1600
	Подача насоса, л/с	555,6	555,6	444,4
	Напор, м	100	100	90
	Частота вращения	1000	1000	1450

Параметр		Показатель		
	рабочего колеса, об/мин			
	КПД, %	82	82	78
Электродвигатели	Тип	A4-450У-6У3	A4-450У-6У3	A4-450У-6У3
	Мощность, кВт	800	800	800
	Напряжение, В	6000	6000	6000
	Ток, А	133	133	133
	Частота вращения, об/мин	1000	1000	1000
	КПД, %	95	95	95
Фактическое количество одновременно работающих насосов		1		
Метод регулирования производительности насосов		Перепуск и дросселирование		

Концерн «Росэнергоатом» в 2021 году планирует начать обеспечение теплоснабжения города Певека на базе плавучего энергоблока с реакторными установками КЛТ-40С по постоянной схеме.

Согласно базовому варианту развития системы теплоснабжения, плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС) с реакторными установками КЛТ-40С, после ввода в эксплуатацию обеспечивает теплоснабжение г. Певека совместно с Чаунской ТЭЦ. В дальнейшем выполняется перераспределение тепловых нагрузок г. Певека от Чаунской ТЭЦ к ПАТЭС и со второго полугодия 2021 г. Чаунская ТЭЦ находится в резерве (отпуск тепловой энергии в объеме затрат на циркуляцию теплоносителя от Чаунской ТЭЦ до центрального теплового пункта). Схема горячего водоснабжения г. Певека переводится с открытой на закрытую.

После ввода в эксплуатацию ПАТЭС и перевода схемы ГВС г. Певек на закрытую схему предполагается, что со второго полугодия 2021 г. Чаунская ТЭЦ будет работать в режиме технологического минимума электростанции и покрывать тепловые нагрузки г. Певека в вынужденных и аварийных режимах работы ПАТЭС.

В связи с ожидаемым сокращением потребления тепловой энергии и теплоносителя от Чаунской ТЭЦ возникает потребность в усовершенствовании существующих технологических процессов путем проведения реконструкции сетевой насосной установки с подбором оборудования, удовлетворяющем новым режимам работы Чаунской ТЭЦ.

Для существующей системы теплоснабжения насосы можно выбрать на основании фактического гидравлического режима [2, 3]. Для этого проанализируем гидравлический режим тепловых сетей по данным теплосчетчиков.

Расходы по теплофикационной установке Чаунской ТЭЦ представлены на рисунке 2.

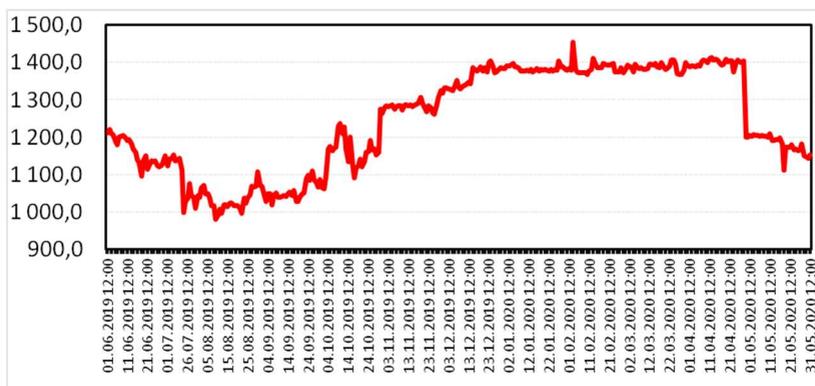


Рисунок 2 – Расход теплоносителя по теплофикационной установке за период с июня 2019 по май 2020 года

Таблица 2 – Фактические показатели работы сетевых насосных установок Чаунской ТЭЦ за июнь-декабрь 2019 года и январь-май 2020 года.

Расход сетевой воды через сетевые насосные установки				Время работ ы	Потребление е ЭЭ	Удельный расход электроэнергии
всего , М ³	средний , М ³ /час	мин, М ³ /ча с	макс, М ³ /ча с			
				ч	тыс. кВт. ч	кВт. ч/М ³

Расход сетевой воды через сетевые насосные установки				Время работы	Потребление ЭЭ	Удельный расход электроэнергии
10 493 872	1 244	707	1 460	8 436,20	3 422,30	0,326

Фактический напор сетевых насосов определен экспериментом [4], схема измерения напоров представлена на рисунке 3, результаты в таблице 3.

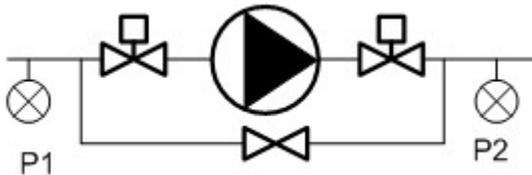


Рисунок 3 – Схема замеров фактических напоров

Таблица 3 – Фактические напоры сетевых насосов

P_1 , кгс/см ²	P_2 , кгс/см ²	Напор, м	Ток, А
0,7	6,2	55,5	68

Учитывая перспективы развития и в связи с этим планируемое сокращения теплотребления, начиная с июля 2020 года, а также неравномерность объема перекачиваемой сетевой воды насосной установкой, ожидаемый максимальный расход ориентировочно составит 60 % от существующего. Сравнительный график сокращения подачи теплоносителя сетевыми насосными установками приведен на рисунке 4.

Планируемые показатели работы сетевой насосной установки представлены в таблице 4.

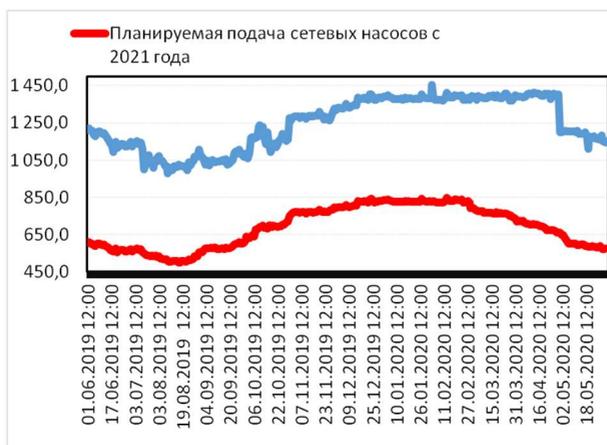


Рисунок 4 – Сравнительный график сокращения подачи теплоносителя сетевыми насосными установками (план с 2021 года, факт июнь 2019-май 2020 года)

Таблица 4 – Расход сетевой воды через сетевые насосные установки

Расход сетевой воды через сетевые насосные установки			
м ³	м ³ /час	мин, м ³ /час	макс, м ³ /час
5 833 049	700	350	850

Находим возможные варианты, которые представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Планируемые показатели работы сетевой насосной установки.

Насос	НК 250-500/525	1Д 1250-63
Подача насоса, м /ч	1270	1250
Подача насоса, л/с	352,8	347,2
Напор, м	61,9	63
Частота вращения рабочего колеса, об/мин	1450	1450
КПД, %	78,2	86
Номинальная мощность насоса,	315	270

Насос	NK 250-500/525	1Д 1250-63
кВт		
Режим №1: подача 850 куб. м/ч, напор 60 м вод. ст. – максимальный расходы		
Мощность, кВт	253,0	220,3
КПД насоса	73,3	81,9
Режим №2: подача 700 куб. м/ч, напор 55 м вод. ст. – среднегодовые показатели		
Мощность, кВт	243	212
КПД насоса	65	72
Режим №3: подача 350 куб. м/ч, напор 50 м вод.ст. – минимальные расходы		
Мощность, кВт	147,6	128,5
КПД насоса	58,2	65,0

Из таблицы видно, что с учетом всех возможных режимов работы, а также наиболее подходящим для удовлетворения требуемых условий является насосный агрегат 1 Д1250-63 [5, 6].

Технические характеристики выбранного насоса:

- номинальная мощность электродвигателя: 270 кВт;
- номинальное напряжение: 3 х380 В;
- частота вращения: 1450 об/м;
- диаметр рабочего колеса: 455 мм;
- материал корпуса и рабочего колеса насоса: чугун;
- нетто вес: 1290 кг;
- полный вес: 1350 кг.

Решение вопроса о замене нерегулируемого электропривода регулируемым и выбор его системы в значительной мере лежит в области технико-экономического анализа, учитывающего целесообразность капиталовложений на регулируемый электропривод не только в зависимости от экономии электроэнергии, но и от дополнительных факторов, основные из которых:

- возможность подобрать оптимальную частоту вращения (оптимальную производительность механизма), обеспечивающую наилучшее протекание технологического процесса;
- уменьшение износа механизмов;

– исключение тяжелого режима пуска и самозапуска двигателей, что существенно снижает затраты на частые ремонты электрооборудования;

- надежность работы и долговечность;
- возможность полной автоматизации [7, 8].

На основании опыта внедрения частотно – регулируемых электроприводов для электродвигателей приводных механизмов различных технологических систем, а также по результатам натурных испытаний и замеров длительного наблюдения сообщаются усредненные интегральные величины экономии электроэнергии и энергоресурсов, которые следует принимать как расчетные при выполнении технико-экономических расчетов по определению экономической эффективности внедрения частотно – регулируемого электропривода [8].

Для систем водоснабжения среднегодовая экономия электроэнергии принимается около 35 % от расчетной величины мощности, потребляемой электроприводом без частотного регулирования [7].

За счет повышения при частотном регулировании ресурса электродвигателей и приводных механизмов, увеличения межремонтного периода, а также сокращения затрат на обслуживание и ремонт оборудования расчетную величину экономической эффективности следует увеличивать еще на 10-15 %.

Оценка экономической эффективности от выполнения мероприятий по замене оборудования с установкой преобразователя частоты для электродвигателей насосной установки Чаунской ТЭЦ

Количество сэкономленной электроэнергии, определяется по формуле:

$$W = W_1 - W_2$$

где W_1 – количество электроэнергии, потребляемой агрегатом за время t , при работе до проведения мероприятий определяется по формуле:

$$W_{1,2} = P * t,$$

где t – время работы оборудования = 8424 ч;

P – удельное потребление электрической энергии (до мероприятий) = 277,0, квт/час

Расход электроэнергии за год:

$$W1 = 8\,424 * 277,0 = 2\,333,0 \text{ тыс. кВт.ч}$$

Количество электроэнергии, потребляемой агрегатом за время t , при работе после проведения мероприятий составит:

P – удельный потребление электрической энергии (после проведения мероприятий) = 221,0, квт/час

Тогда расход электроэнергии за год:

$$W2 = 8\,424 * 221,0 = 1\,862,0 \text{ тыс. кВт.ч}$$

Дополнительная экономия электроэнергии (от внедрения частотного регулирования) составляет:

$$W2_{\text{чр}} = W2 * 0,3$$

$$W2_{\text{чр}} = 1\,862,0 * 0,3 = 559,0 \text{ тыс.кВт.ч}$$

Экономия электроэнергии от выполнения всех мероприятий составит:

$$W_{\text{общ}} = W1 - (W2 - W2_{\text{чр}})$$

$$W_{\text{общ}} = 2\,333,0 - (1\,862,0 - 559) = 1\,030,0 \text{ тыс.кВтч}$$

Стоимость сэкономленной электроэнергии составит:

$$\text{Э}_{\text{м+чп}} = W_{\text{общ}} * \text{Ц}_{\text{ээ}}, \text{ где}$$

$\text{Ц}_{\text{ээ}}$ – цена 1 кВт электрической энергии, отсюда:

$$\text{Э}_{\text{м+чп}} = 1\,030,0 * 4,75 = 4\,892,5 \text{ тыс. руб.}$$

За счет экономии электрической энергии сокращается расход топлива на ее производство, который определим по формуле:

$$\text{Э}_{\text{т}} = W_{\text{общ}} * \Delta \text{ бээ},$$

где $\Delta \text{ бээ}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, г/кВт.ч (по данным за 2019 год) = 702,0

$$\text{Э}_{\text{т(т.у.т.)}} = 1\,030,0 * 702,0 = 723,1 \text{ т.у.т.}$$

Для удобства расчетов переведем условное топливо в натуральное.

$$\text{Э}_{\text{т(т.)}} = \text{Э}_{\text{т(т.у.т.)}} * 7000 / 5690,$$

где 5690 – калорийность топлива, ккал/кг;

$$\text{Э}_{\text{т(т.)}} = 890,0 \text{ т}$$

$$\text{Э}_{\text{топ}} = \text{Э}_{\text{т(т.)}} * \text{Ц}_{\text{т}},$$

где $\text{Ц}_{\text{т}}$ – цена поставки 1 тонны топлива = 8 790,0 руб. без учета НДС

$$\text{Э}_{\text{топ}} = 890,0 * 8\,790,0 = 7\,102,2 \text{ тыс. руб.}$$

Итого экономия:

$$\text{Э}_{\text{рес}} = 4\,892,5 + 7\,102,2 = 11\,994,7 \text{ тыс. руб.}$$

За счет повышения ресурса электродвигателя и приводного механизма, увеличения межремонтного цикла, и сокращения затрат на

обслуживание и ремонт оборудования, расчетную величину экономической эффективности увеличиваем на 10 %:

$$\text{Эрем} = \text{Эрес} * 0,1$$

$$\text{Эрем} = 11\,994,7 * 0,1 = 1\,199,5 \text{ тыс. руб.}$$

Итого экономия:

$$\text{Э} = \text{Эрем} + \text{Эрес}$$

$$\text{Э} = 1\,199,5 + 11\,994,7 = 13\,194,2 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитаем срок окупаемости от выполнения мероприятий по реконструкции сетевой насосной установки Чаунской ТЭЦ.

Затраты на выполнение реконструкции складываются из:

Стоимость насосного оборудования – 546,3 тыс. руб.;

Стоимость электродвигателей – 888,4 тыс. руб.;

Стоимости тиристорного преобразователя частоты с оборудованием – 2 678,8 тыс. руб.;

Затраты на транспортировку, монтаж и наладку преобразователя – 2 933,7 руб.

Итого затраты составляют $Z = 7\,047,3$ руб.

Срок окупаемости выполненных мероприятий определяется из отношения затрат на внедрение привода к годовой экономии средств от его использования, то есть

$$\text{Ток} = Z / \text{Э}$$

$$\text{Ток} = 7\,047,3 / 13\,194,2 = 0,53 \text{ года.}$$

Срок окупаемости от внедрения мероприятий по реконструкции сетевой насосной установки Чаунской ТЭЦ достаточно высок, следовательно, приобретение и внедрение насосного оборудования с регулируемого электропривода на основе тиристорного преобразователя частоты экономически выгоден [9, 10].

В результате реконструкции автоматизированного электропривода насосной установки, снизится потребление электроэнергии, будут использованы оптимальные технические характеристики насосов и снизятся затраты на обслуживание насосной установки.

При реконструкции сетевой насосной установки с применением частотно-регулируемого привода неблагоприятные воздействия на окружающую среду минимальны. Использование насосных агрегатов с частотно-регулируемым приводом позволит снизить потребление электрической энергии на приводы, что в свою

очередь позволит снизить расход топлива, и сократит негативное воздействие на окружающую среду. Таким образом, в плане экологического воздействия проведение реконструкции на сетевой насосной установке Чаунской ТЭЦ можно считать оптимальной.

При расчете экономической эффективности по результатам выполнения мероприятий по реконструкции автоматизированного электропривода насосной установки получены следующие выводы и результаты:

- снизятся затраты по потреблению электроэнергии, из-за использования оптимальных технических характеристик насосов;
- снизятся затраты на содержание оборудования сетевой насосной установки, а также сопутствующей аппаратуры;
- годовой экономический эффект от внедрения мероприятий на оборудовании насосной установки Чаунской ТЭЦ составляет – 7 047,3 тыс. руб, а срок окупаемости составляет 0,53 года.

Соответственно, выполнение реконструкции насосной установки Чаунской ТЭЦ с установкой частотно-регулируемого привода, можно считать оптимальной и экономически целесообразной.

Список литературы

[1] Гинзбург Я.Н. Автоматизация и управление системами водоснабжения и водоотведения. / Я.Н. Гинзбург, Б.С. Лезнов, В.Б. Чебанов – М.: Тр. ВНИИ ВОДГЕО, 1986. 361 с.

[2] Быстрицкий Г.Ф. Энергосиловое оборудование промышленных предприятий. / Г.Ф. Быстрицкий – Москва: ИЦ «Академия», 2003. 304 с.

[3] Иванов А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие / А.А. Иванов. – Москва: Форум, 2012. 224 с.

[4] Гревулис Я.П. Тиристорный асинхронный электропривод для центробежных насосов. / Я.П. Гревулис, Л.С. Рыбицкий – Рига: Знание, 1983. 228 с.

[5] Соколов М.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов. Учебник для студентов, обучающихся по специальности «Электропривод и автоматизация

промышленных установок» / М.М. Соколов – М.: «Энергия», 1976. 488с., ил.

[6] Бошарин А.В. Управление электроприводами. Учебное пособие для вузов. / А.В. Бошарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский – Ленинград: Энергоиздат, 1982. 392 с.

[7] Сибикин Ю.Д. Технология энергосбережения: Учебник. / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин – Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. 352 с.

[8] Кузнецов Ю.В. Энергосберегающие технологии и мероприятия в системах энергоснабжения. Учебное пособие. / Ю.В. Кузнецов, С.В. Федорова – Екатеринбург: УРО РАН, 2008. 356 с.

[9] Гревулис Я.П. Тиристорный асинхронный электропривод для центробежных насосов. / Я.П. Гревулис, Л.С. Рыбицкий – Рига: Знание, 1983. 228 с.

[10] Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов. / В.В. Москаленко – М.: Энергоатомиздат: 1986. 416 с.

Bibliography (Transliterated)

[1] Ginzburg Ya.N. Automation and control of water supply and sanitation systems. / Ya.N. Ginzburg, B.S. Leznov, V.B. Chebanov – М.: Tr. VNI VODGEO, 1986. 361 p.

[2] Bystritsky G.F. Power equipment of industrial enterprises. / G.F. Bystritsky – Moscow: Information Center "Academy", 2003. 304 p.

[3] Ivanov A.A. Automation of technological processes and production: Textbook / A.A. Ivanov. – Moscow: Forum, 2012. 224 p.

[4] Grevulis Ya.P. Thyristor asynchronous electric drive for centrifugal pumps. / Ya.P. Grevulis, L.S. Rybitsky – Riga: Knowledge, 1983. 228 p.

[5] Sokolov M.M. Automated electric drive of general industrial mechanisms. Textbook for students studying in the specialty "Electric drive and automation of industrial installations" / M.M. Sokolov – М.: "Energy", 1976. 488s., III.

[6] Bosharin A.V. Electric drive control. Textbook for universities. / A.V. Bosharin, V.A. Novikov, G.G. Sokolovsky – Leningrad: Energoizdat, 1982. 392 p.

[7] Sibikin Yu.D. Energy Saving Technology: Textbook. / Yu.D. Sibikin, M.Yu. Sibikin – Moscow: FORUM: INFRA-M, 2006. 352 p.

[8] Kuznetsov Yu.V. Energy-saving technologies and measures in energy supply systems. Tutorial. / Yu.V. Kuznetsov, S.V. Fedorova – Yekaterinburg: URO RAN, 2008. 356 p.

[9] Grevulis Ya.P. Thyristor asynchronous electric drive for centrifugal pumps. / Ya.P. Grevulis, L.S. Rybitsky – Riga: Knowledge, 1983. 228 p.

[10] Moskalenko V.V. Automated electric drive: Textbook for universities. / V.V. Moskalenko – M.: Energoatomizdat: 1986. 416 p.

© А.К. Решельян, 2022

Поступила в редакцию 20.12.2022

Принята к публикации 29.12.2022

Для цитирования:

Решельян А.К. Оценка технологической и экономической эффективности внедрения частотно-регулируемого привода на Чаунской ТЭЦ // Инновационные научные исследования. 2022. № 12-5(24). С. 49-62. URL: <https://ip-journal.ru/>