

УДК 620.9

DOI 10.52167/1609-1817-2022-126-3-406-414

Б.Ж. Кожажелди¹, М.А. Ташимбетов², Ж.Т. Омаров¹,
А.О. Жанпейсова¹, З.Т. Мынбаева¹

¹Дулати Университет, Тараз, Казахстан

²АО «Казахстанский институт нефти и газа», Алматы, Казахстан

E-mail: bolat.kozhageldi@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В КАЗАХСТАНЕ

Аннотация. На сегодняшний день вопросы энергосбережения и повышение энергоэффективности электрооборудовании становятся все более актуальным для промышленных предприятий Казахстана. Такая тенденция связана с ежегодным ростом ВВП и переходом Казахстана на «зеленую» экономику. Согласно прогнозам, к 2030 году рост ВВП составит 2,5%, что приведет к еще большему энергопотреблению со стороны промышленных предприятий. Учитывая зависимость Казахстана от угольных и газовых электростанции, задача повышения энергоэффективности и энергосбережения от производства до потребления электроэнергии является важной мерой снижения ВВП и загрязнения окружающей среды. В связи с чем, в данной статье был проведен энергоаудит промышленного предприятия. При помощи исходных данных была смоделирована электрическая сеть промышленного предприятия на ПК Power Factory Dig Silent. В процессе исследования режима работы сети, на подстанциях были выявлены недогруженные трансформаторы, которые в холостую потребляли электроэнергию и приводили к нерациональным затратам. В результате проведенного анализа предложены мероприятия по повышению энергоэффективности электрооборудовании.

Ключевые слова. Энергоэффективность, энергоаудит, загрузка трансформатора, потери электроэнергии, электрооборудования предприятия.

Введение.

В последнее десятилетие во всем мире остро обсуждается вопрос изменения климата и загрязнение окружающей среды. Ученые утверждают, что антропогенные выбросы в атмосферу в большей степени приходятся на сектор электроснабжения. Это связано с ежегодным ростом энергопотребления, развития технологии и промышленности.

По данным экспертов ООН по изменению климата, увеличение антропогенных выбросов в атмосферу спровоцировало повышение глобальной климатической температуры на 1,1°C, и по прогнозам, в ближайшем будущем, возможно увеличение этого уровня еще на 1,5°C. Такая тенденция развития событий приведет к колоссальным изменениям в окружающей среде: от засухи в одних регионах до наводнения в других регионах, от повышения уровня моря из-за таяния Антарктики до разрушения экосистемы в океанах. В связи с чем, почти всеми странами мира было принято и подписано Парижское соглашение, обязывающее стран-участников содействовать удержанию роста средней температуры во всем мире до 1,5°C.

Для достижения поставленной цели, правительства во всем мире инициировали внедрение и повсеместное развертывание возобновляемых источников энергии (ВИЭ), и использование энергосберегающих и энергоэффективных технологии. Учитывая, что многие страны сильно зависят от ископаемого топлива, вопросы энергосбережения и

повышение энергоэффективности технологических процессов и электрооборудовании на крупных объектах энергопотребления являются одним из важнейших задач на сегодняшний день.

Казахстан, являясь страной богатой природными ресурсами как уголь, нефть и газ, в настоящее время входит в число самых энергоемких стран по всему миру. Более 80% выбросов CO₂ приходится на производство электроэнергии и тепла. Причина тому, устаревшие угольные электростанции, потребляющие большие объемы дешевого угля, и неэффективные линий электропередач, приводящие к большим потерям электроэнергии [1]. В этой связи, в рамках Киотского соглашения, а затем и Парижского соглашения, Казахстан взял на себя обязательства по сокращению антропогенных выбросов до 15% к 2030 году. Для реализации поставленной задачи, 13 января 2012 года, Главой государства был принят Закон «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» [2]. Согласно Закону, все крупные промышленные предприятия должны пройти энергетическое обследование, направленное на повышение энергоэффективности оборудования и технологических процессов производства, снижение нерациональных затрат и потерь электроэнергии.

Самыми энергоемкими объектами во всех развитых странах считаются промышленные предприятия. Однако, и самую львиную долю экономики любой страны занимает промышленность. Следовательно, то, как потребляет электроэнергию предприятие, влияет на конечную стоимость продукции и отражается на ВВП страны. Согласно оценке экономического и социального совета ООН (ЭКОСОС), Казахстан занимает шестое место по доли промышленности в ВВП страны (32%). Соответственно, повышение энергоэффективности и энергосбережение на отечественных промышленных предприятиях является важным мероприятием, влияющим на экономику и углеродоемкость производственного сектора.

Повышение энергоэффективности объектов на промышленных предприятиях достигается путем проведения энергетического обследования, иными словами, энергоаудита. Задача энергоаудита – это оценка энергоэффективности топливно-энергетических ресурсов с целью оптимизаций режимов работы электрооборудований и проведения мероприятия по снижению затрат на топливо и энергию. Снижение затрат достигается путем выявления нерационально работающих оборудования, внедрением наиболее целесообразных схем или процессов электроснабжения, а также использованием современных энергосберегающих оборудования [3]. В целом процесс проведения энергоаудита можно разделить на следующие этапы [4]:

а) начальный этап – это обоснование проведения энергоаудита, которое представляет собой детальное изучение динамики затрат по энергопотреблению за определенный период времени, оценка уровня эксплуатации электрооборудовании предприятия;

б) следующий этап – это оценка потенциала предприятия в целом, получение данных и их анализ на возможность проведения мероприятия по повышению энергоэффективности и энергосбережению;

в) детальное обследование технологических схем с целью оптимизаций процессов для рационального использования энергоресурсов;

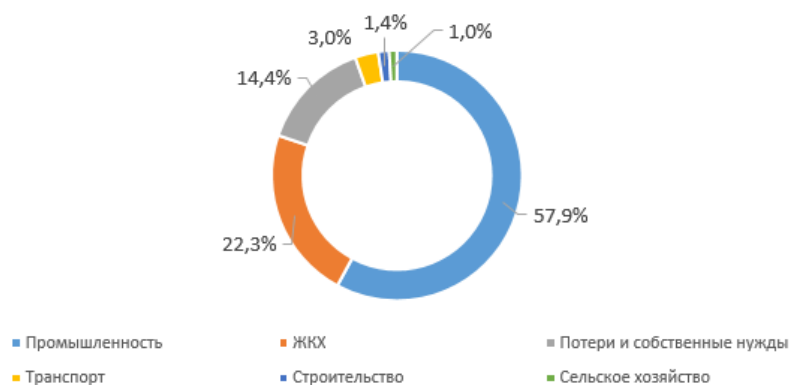
г) проведение инструментального обследования предприятия с целью получения реальных данных, для уверенности в точности полученных от предприятия данных;

д) последний этап базируется на проведении расчетов и критического анализа полученной информации, для выявления реального объема энергии, задействованного при максимальном использовании ресурсов, которые можно сэкономить. На основе результатов энергоаудита, приводятся рекомендаций по снижению затрат на ресурсы, по

повышению качества и уровня безопасности использования электрооборудования и по контролю за проведением мер по энергосбережению.

Материалы и методы.

Казахстан – страна с огромным запасом полезных ископаемых и сырьевых ресурсов, от чего почти треть часть экономики страны составляет промышленная отрасль. По оценкам экспертов, в Казахстане большая часть нерационального использования топливно-энергетических ресурсов происходит именно на промышленных предприятиях [5]. Согласно отчету КЕГОК, 57,9% от всей общей доли потребления электроэнергии приходится на эти промышленные предприятия (рисунок 1) [6]. Это связано с тем, что на предприятиях непрерывно работают большое количество электрооборудования, таких как: электродвигатели, трансформаторы и источники света, которые, в свою очередь, недогружены или перегружены от номинальной мощности оборудования. Работа в таких режимах приводит к увеличению доли потерь в трансформаторах, электродвигателях, к снижению коэффициента мощности в системе электроснабжения, снижению срока эксплуатации, повышению аварийности и т.д. [7]. Ярким примером таких предприятия являются нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие предприятия. Зачастую эксплуатация электрооборудования и распределительных сетей на таких предприятиях происходит не должным образом, приводя не только к большим потерям электроэнергии, но и огромному количеству выбросов вредных веществ в атмосферу. В таких случаях наилучшим энергосберегающим мероприятием является оптимизация режимов работы оборудования и снижение потерь на этапе трансформирования, распределения и преобразования [8]. В этой связи, в данной работе проведено энергетическое обследование нефтеперерабатывающего предприятия, находящегося на западе страны, целью которого является оптимизация режимов работы оборудования.



Источник: КЕГОК

Рисунок 1 – Структура потребления электроэнергии по отраслям

Исследуемое промышленное предприятие, в рамках данного анализа, относится к категории крупного предприятия, которое характеризуется высокой долей конечного использования энергии и обладают значительным неиспользованным потенциалом энергоэффективности. Предприятие имеет собственную газотурбинную электростанцию мощностью 160 МВт, 4 основных подстанций (далее ПС) и более 100 комплектных трансформаторных подстанций (далее КТП). Схемы электроснабжения являются радиальным с напряжением 110/6/0,4 кВ, по которым электроэнергия передается от ПС к КТП без ответвлений на пути. Топология электрических сетей показана на рисунке 2.

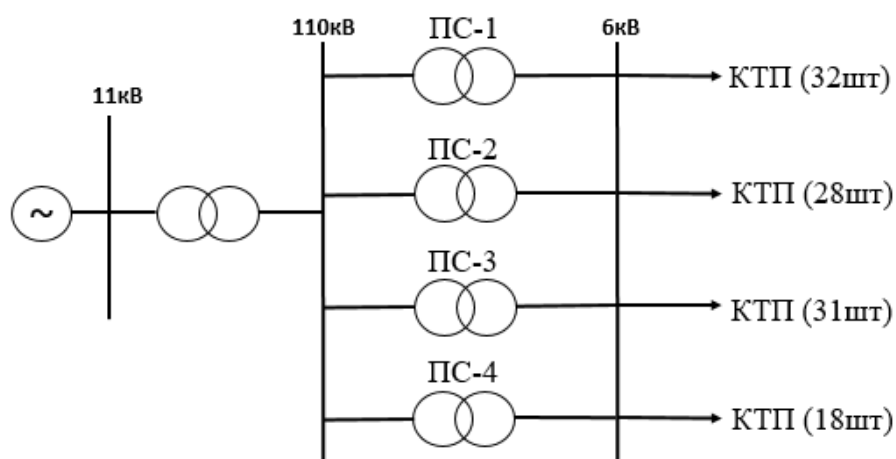


Рисунок 2 – Топология электроснабжения ПП

Методология исследования основывается на количественном анализе основных параметров и режимов работы оборудования ПС путем снятия измерений на секциях шин КТП. При помощи полученных данных как суточный график энергопотребления и характеристики завода-изготовителя по электрооборудованиям, строится модель электрической сети на ПК Power Factory Dig Silent. Преимуществом данного ПК от других программ является возможность моделирование генерирующих, передающих, распределительных и промышленных сетей, а также анализ взаимодействия этих сетей. На базе данного ПК методом Ньютона-Рафсона производится расчет потокораспределения в электрической сети, которое основывается на решениях задач системных нелинейных уравнений. Применение данного метода с использованием компьютерного моделирования обусловлено необходимостью обработать большое количество данных как: активные и реактивные мощности электростанций, нагрузки потребителей, нагрузки и токи линий электропередачи, напряжения в узлах эквивалентной схемы электрической сети, коэффициенты трансформации трансформаторов, заводские характеристики трансформаторов и кабелей и т.д. В результате моделирования электрической сети с расчетом потокораспределения выявляются незагруженные/перегруженные электрооборудования, для которых, в дальнейшем, выполняются мероприятия по повышению энергоэффективности.

Результаты.

Учитывая, что основным оборудованием промышленных предприятий являются трансформаторы и электродвигатели, которые недогружаются или перегружаются во время эксплуатации, данная работа основывается на анализе загруженности трансформаторов на подстанциях. Ведь использование оборудования при предельных нагрузках существенно влияет на эффективность эксплуатируемого оборудования и на капитальные затраты. Для проведения исследования измерения были сняты в точках контроля КТП. Длительность измерений составила более одних полных суток, что является достаточным для формирования графика нагрузок потребителей. Согласно полученным данным по графику нагрузок и источнику питания, а также паспортных данных трансформаторов и кабелей, смоделирована электрическая сеть на ПК Power Factory Dig Silent. В связи с большим количеством КТП на объекте, на рисунке 3 представлена модель ПС-1 как аналог моделирования. Результаты моделирования по принципу потокораспределения Ньютона-Рафсона выявили 29 недогруженных силовых трансформаторов среди 109 КТП (см.табл.1).

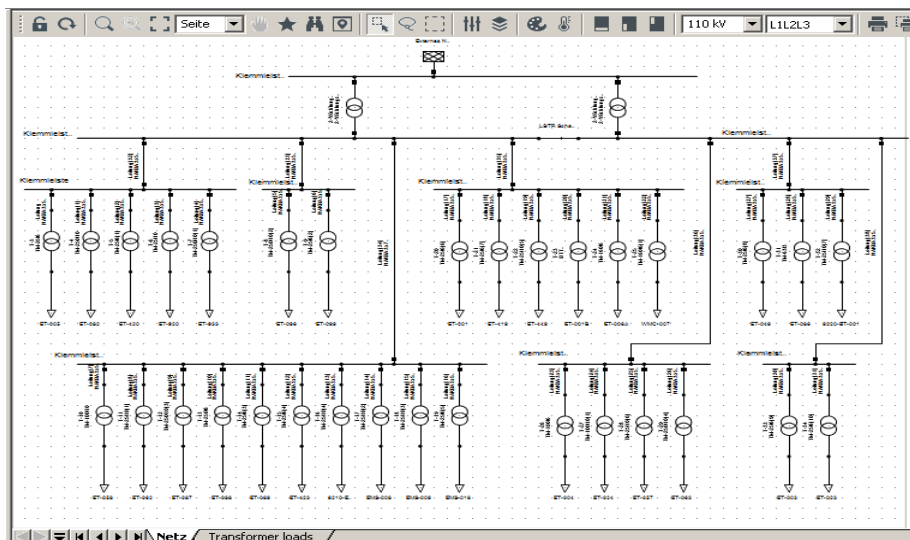


Рисунок 3 – Модель ПС-1

Таблица 1 – Недогруженные трансформаторы на ПП

ПС	Фидер	Марка тр-ра	$P_{уст.},$ кВт	$P_{потр.},$ кВт	$K_{згр.},\%$
ПС-1	1	ТМ-630	500	91,35	14,5
	1	ТМ-160	130	73,18	45,74
	1	ТМ-160	75	38,40	24
	2	ТМ-100	101,9	11,40	11,4
	3	ТМ-25	21,4	5,97	23,87
	6	ТМ-63	12,5	9,60	15,24
ПС-2	3	ТМ-100	62,7	16,55	16,55
	4	ТМ-25	5	2,08	8,3
	5	ТМ-100	72	5,13	5,13
	11	ТМ-25	6	4,65	18,6
	11	ТМ-25	5	1,28	5,1
ПС-3	2	ТМ-100	36,1	15,86	15,86
	2	ТМ-25	6	2,34	9,35
	3	ТМ-100	86,7	37,92	37,92
	3	ТМ-25	21,4	6,33	25,3
	3	ТМ-25	14,7	3,41	13,62
	3	ТМ-25	6	4,18	16,72
	8	ТМ-25	6	2,42	9,67
	16	ТМ-100	79,7	7,82	7,82
	18	ТМ-100	78,7	24,60	24,6
ПС-4	18	ТМ-25	5	4,63	18,5
	20	ТМ-100	120	25,30	25,3
	20	ТМ-100	16,8	8,46	8,46
	20	ТМ-25	7,4	1,51	6,05
	21	ТМ-25	35,2	11,08	44,3
	21	ТМ-25	14,7	4,96	19,84
	21	ТМ-25	15,9	7,18	28,7
	21	ТМ-10	7,4	0,45	4,5
21	ТМ-25	6	2,39	9,56	

Согласно ПУЭ РК, с точки зрения энергоэффективности, нагрузка трансформаторов должна составлять 50–90%. В случае недогрузки трансформаторов

необходимо произвести мероприятия по улучшению энергоэффективности оборудования, а именно: заменить на менее мощный трансформатор, либо загрузить один путем вывода другого в резерв.

В связи с чем, в рамках данного исследования, для повышения энергоэффективности работы оборудования было принято решение заменить силовые трансформаторы на менее мощные, а именно: ПС-1 фидер-6 ТМ-63/6/0,4 на ТМ-25/6/0,4 и ПС-4 фидер-20 ТМ-100/6/0,4 на ТМ-25/6/0,4 (см.рис.4 и 5).

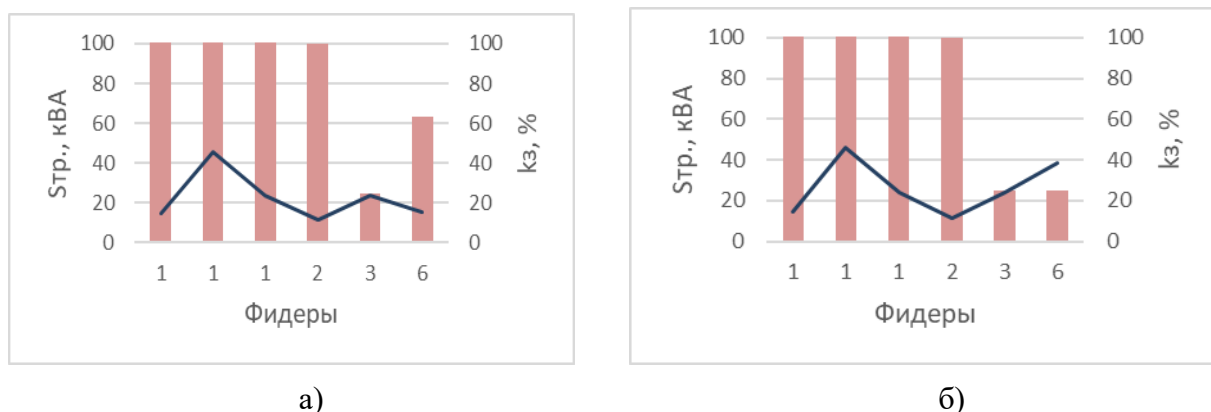


Рисунок 4 – Замена силового трансформатора фидера – 6 ПС-1 на менее мощный трансформатор: а) до замены; б) после замены

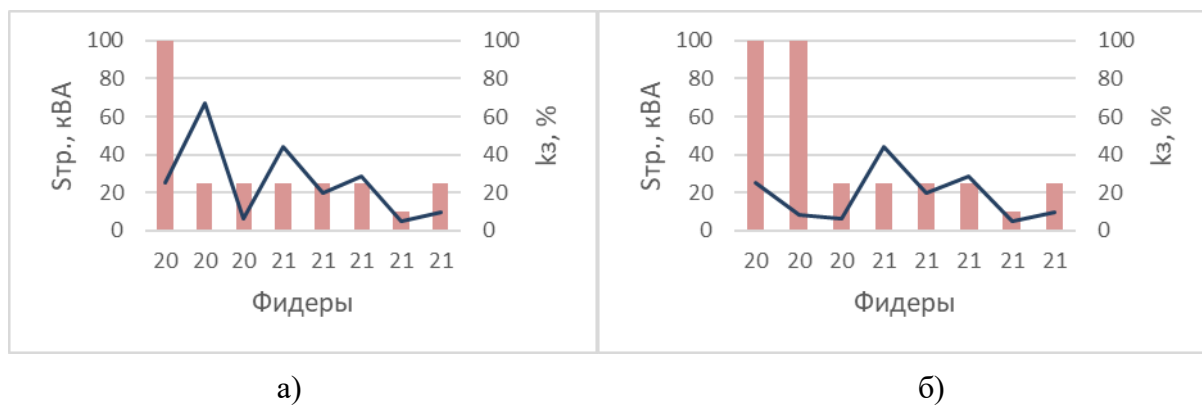


Рисунок 5 – Замена силового трансформатора фидера – 20 ПС-4 на менее мощный трансформатор: а) до замены; б) после замены

А также вывести одного из трансформаторов в резерв на ПС-3 фидера-3 (см.рис.6).

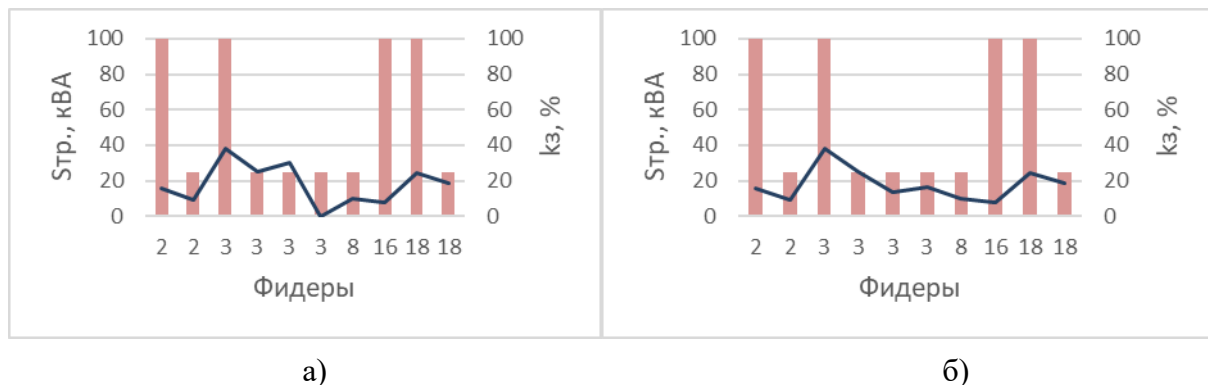


Рисунок 6 – Вывод одного трансформатора в резерв на ПС-3 фидера-3: а) до; б) после

Обсуждение.

Принято считать, что недогруз электрооборудования положительно сказывается на сроке службе и, соответственно, на капитальных затратах на обслуживание. Однако, относительно трансформаторов, недогруженность приводит к увеличению потерям в сердечнике, которое отрицательно влияет на эффективность системы в целом. В связи с чем, выше предложенные мероприятия считаются эффективными с точки зрения энергоэффективности, но затратным с точки зрения экономики. К примеру, замена трансформатора является весьма дорогим мероприятием, поэтому данное решение должно быть принято если загруженность трансформатора менее 30% и трансформатор морально изношенный. По сравнению с заменой трансформатора, вывод трансформатора в резерв является менее затратным, подразумевающее только установку секционного выключателя и шину. Однако, здесь важно учесть протяженность КТП друг от друга, которое в конечном итоге может существенно повлиять на удорожание мероприятия.

Несмотря на вышеупомянутые затраты, мероприятия по повышению энергоэффективности оборудовании на промышленных предприятиях считаются одним из важнейших механизмов направленные на снижение углеродоемкости страны. Этот шаг очень важен для выполнения взятых обязательств в рамках Парижского протокола и Концепции по переходу к зеленой экономике. К тому же, важно учитывать и тот факт, что повышение энергоэффективности производственных оборудовании напрямую влияют на уровень ВВП страны. Чем экономичнее будет потребление энергоресурсов во время производства, тем ниже будет себестоимость продукции, что позволит повысить конкурентоспособность на мировом и отечественном рынках. Следовательно, мероприятия по повышению энергоэффективности оборудовании на этапах производства, распределения и транспортировки являются необходимым условием для снижения углеродоемкости и энергоемкости производства.

Заключение.

1. Выполнен энергоаудит трансформаторной подстанции промышленного предприятия с целью выявления недогруженных трансформаторов.
2. Применены мероприятия по повышению энергоэффективности трансформаторов на ПС промышленного предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ВИЭ в Казахстане. Переход к зеленой экономике//Доклад ЕБРР. 2019. – 7с.
- [2] Закон Республики Казахстан «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» от 13 января 2012 г. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1200000541>
- [3] Стоянов, Н. И., Смирнов, С. С., Смирнова А.В. Особенности энергоаудита промышленных предприятий // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2018. – №5 (68). – С. 25 – 30.
- [4] Что такое энергоаудит, его основные направления и задачи//Электронный ресурс // <http://enargys.ru/energoaudit-osnovnyie-napravleniya-i-zadachi/>
- [5] Пути развития ОЭСР. Комплексный страновой обзор Казахстана//Часть 1. Предварительная оценка. 2016. – 204с.
- [6] Национальный энергетический доклад//Kazenergy. – 2021. – 240с. https://www.kazenergy.com/upload/document/energy-report/NationalReport21_ru_2.pdf
- [7] ГОСТ 32144-2013 – Электрическая энергия. Электромагнитная совместимость технических средств. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 19 с.

[8] Мваку, У. М., Корнилов, В. Ю. Оптимизация режимов работы электротехнического комплекса основного оборудования нефтеперерабатывающего предприятия в процессе подготовки нефти // Проблемы энергетики. 2013. – № 1-2. – С. 115-123.

REFERENCES*

- [1] RES in Kazakhstan. Transition to a green economy//EBRD Report. 2019. – 7с.
[2] The Law of the Republic of Kazakhstan "On Energy Saving and energy Efficiency improvement" dated January 13, 2012. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1200000541>
[3] Stoyanov, N. I., Smirnov, S. S., Smirnova A.V. Features of energy audit of industrial enterprises // Bulletin of the North Caucasus Federal University. – 2018. – №5 (68). – Pp. 25-30.
[4] What is an energy audit, its main directions and tasks//Electronic resource // <http://energys.ru/energoaudit-osnovnyie-napravleniya-i-zadachi/>
[5] Ways of development of the OECD. Comprehensive country review of Kazakhstan//Part 1. Preliminary assessment. 2016. – 204s.
[6] National Energy Report//Kazenergy. – 2021. – 240с. https://www.kazenergy.com/upload/document/energy-report/NationalReport21_ru_2.pdf
[7] GOST 32144-2013 – Electrical energy. Electromagnetic compatibility of technical means. Standards for the quality of electrical energy in general-purpose power supply systems. – Moscow: Standartinform, 2014. – 19 p.
[8] Mvaku, U. M., Kornilov, V. Yu. Optimization of operating modes of the electrotechnical complex of the main equipment of an oil refinery in the process of oil preparation // Problems of energy. 2013. – No. 1-2. – pp. 115-123.

Болат Қожагелді, т.ғ.к., профессор, Dulaty University, Тараз, Қазақстан, bolat.kozhageldi@mail.ru

Мұрат Тәшімбетов, «Қазақ мұнай және газ институты» АҚ Энергетикалық жобалау орталығының директоры, Алматы, Қазақстан, tmurat80@mail.ru

Жақсылық Омаров, магистр, аға оқытушысы, Dulaty University, Тараз, Қазақстан, jaks_29@mail.ru

Айжан Жанпейісова, магистр, аға оқытушы, Dulaty University, Тараз, Қазақстан, ayzhan.zhanpeisova@mail.ru

Зәуреш Мынбаева, магистр, аға оқытушы, Dulaty University, Тараз, Қазақстан, zauresh_min@mail.ru

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ӨНЕРКӘСІПТІК КӘСІПОРЫННЫҢ ЭЛЕКТР ЖАБДЫҚТАРЫНЫҢ САПАСЫН ЖӘНЕ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУДЫ ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Бүгінгі таңда Қазақстанның өнеркәсіптік кәсіпорындары үшін энергияны үнемдеу және электр жабдықтарының энергия тиімділігін арттыру мәселелері өзекті бола түсуде. Бұл үрдіс жалпы ішкі өнімнің жыл сайынғы өсуімен және Қазақстанның «жасыл» экономикаға көшуімен байланысты. Болжамдарға сәйкес, 2030 жылға қарай ЖІӨ өсімі 2,5% құрайды, бұл өнеркәсіптік кәсіпорындардың энергияны одан да көп тұтынуына әкеледі. Қазақстанның көмірмен және газбен жұмыс істейтін электр станцияларына тәуелділігін ескере отырып, электр энергиясын өндіруден тұтынуға дейін энергия тиімділігін арттыру және энергияны үнемдеу мәселесі ЖІӨ мен қоршаған ортаның ластануын азайтудың маңызды шарасы болып табылады. Осыған байланысты осы мақалада өнеркәсіптік кәсіпорынға энергетикалық аудит жүргізілді. Бастапқы

мәліметтерді пайдалана отырып, қосалқы станцияның электр желісі Power Factory DigSilent бағдарламалық құралының көмегімен модельденді. Желінің жұмыс режимін зерделеу барысында қосалқы станцияларда электр қуатын тиімсіз тұтынатын және қисынсыз шығындарға әкелген аз жүктелген трансформаторлар анықталды. Талдау нәтижесінде электр жабдықтарының энергия тиімділігін арттыру бойынша шаралар ұсынылды.

Түйінді сөздер. Энергия тиімділігі, энергия аудиті, трансформатордың жүктелуі, қуаттың жоғалуы, кәсіпорынның электр жабдықтары.

Bolat Khozhageldi, candidate of technical sciences, professor, Dulaty University, Taraz, Kazakhstan, bolat.kozhageldi@mail.ru

Murat Tashimbetov, director of the energy design center at JSC «Kazakhstan Institute of Oil and Gas», Almaty, Kazakhstan tmurat80@mail.ru

Zhaksylyk Omarov, master, senior lecturer, Dulaty University, Taraz, Kazakhstan, jaks_29@mail.ru

Aizhan Zhanpeissova, master, senior lecturer, Dulaty University, Taraz, Kazakhstan, ayzhan.zhanpeissova@mail.ru

Zauresh Mynbayeva, master, senior lecturer, Dulaty University, Taraz, Kazakhstan, zauresh_min@mail.ru

STUDY OF THE QUALITY AND IMPROVEMENT OF THE EFFICIENCY OF ELECTRICAL EQUIPMENT AT INDUSTRIAL ENTERPRISE IN KAZAKHSTAN

Annotation. To date, the issues of energy saving and energy efficiency of electrical equipment is becoming increasingly relevant for industrial enterprises in Kazakhstan. This trend is associated with a decline in GDP and the transition of Kazakhstan to a "green" economy. According to forecasts, by 2030 GDP growth will be 2.5%, which will lead to even more energy consumption by industrial enterprises. Given Kazakhstan's dependence on coal-fired and gas-fired power plants, the challenge of increasing energy efficiency and energy conservation from generation to consumption of electricity is an important measure to reduce GDP and environmental pollution. In this connection, in this article, an energy audit of the transformer substations of an industrial enterprise was carried out. Using the initial data, the electrical network of the substation was modeled using the Power Factory Dig Silent software. In the process of studying the operation mode, underloaded transformers were identified at substations, which consumed electricity in idle and led to irrational costs. As a result of the analysis, measures were proposed to improve the energy efficiency of electrical equipment.

Keywords. Energy efficiency, energy audit, transformer loading, power losses, electrical equipment of the enterprise.
