

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

**Аннотация.** Исследованы принципиальные вопросы, которые возникают при проектировании тяговой подстанции (ТП) с применением распределительных устройств (РУ), состоящих из отдельных элементов. Приведено современное решение поставленных вопросов путем применения вместо обычных РУ комплектных распределительных устройств с элегазовой изоляцией (КРУЭ). Описана конструкция и особенности основных модулей: трансформаторов тока, трансформаторов напряжения, выключателей, разъединителей, ограничителей перенапряжений, заземлителей, разъединителей и способы соединения этих модулей друг с другом. Дано обоснование применения КРУЭ вместо РУ, состоящих из отдельных элементов.

Произведено сравнение КРУЭ зарубежных и отечественных производителей, отмечены типы и краткие характеристики отдельного КРУЭ для каждого производителя. Приведены преимущества и недостатки отдельно взятых КРУЭ разных производителей как зарубежных, так и отечественных. На основании технических, конструкторских характеристик, а также опыта и качества сборки КРУЭ, выполнен выбор КРУЭ компании Siemens.

Приведены преимущества КРУЭ по сравнению с РУ, состоящими из отдельных элементов. Произведено проектирование отпаечной ТП для питания системы тяги 1×27,5 кВ. Разработана однолинейная схема отпаечной тяговой подстанции для питания системы тяги 1×27,5 кВ. Представлены разрезы КРУЭ 110, 27,5 и 10 кВ. С целью оценки эффективности применения выбранных КРУЭ, для спроектированной ТП произведен расчет технико-экономических показателей. Выполнено сравнение технико-экономических показателей ТП с применением обычных РУ и ТП на основе КРУЭ. По результатам сравнения сделаны соответствующие выводы.

**Ключевые слова:** тяговая подстанция, комплектные распределительные устройства, распределительные устройства, технико-экономические показатели, сравнение, оценка эффективности.

## EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF COMPLETE SWITCHGEARS FOR TRACTION SUBSTATIONS

**Abstract.** The fundamental issues that arise in the design of a traction substation (TS) with the use of switchgears (RU), consisting of separate elements, have been investigated. A modern solution to the questions posed is given by using gas-insulated switchgear (GIS) instead of conventional switchgear. The design and features of the main modules are described: current transformers, voltage transformers, circuit breakers, disconnectors, surge arresters, earthing switches, disconnectors and ways of connecting these modules to each other. The substantiation of the use of switchgear instead of switchgear, consisting of separate elements, is given.

A comparison of GIS of foreign and domestic manufacturers is made, the types and brief characteristics of a separate GIS for each manufacturer are noted. The advantages and disadvantages of separate GIS from different manufacturers, both foreign and domestic, are given in the form of a table. Based on the technical, design characteristics, as well as the experience and quality of the GIS assembly, the Siemens GIS was selected.

The advantages of GIS in comparison with switchgear, consisting of separate elements, are given. The design of a tap-off transformer substation for power supply of the traction system 1×27.5 kV. A single-line diagram of a tap-off traction substation for power supply of the traction traction system 1×27.5 kV has been developed. The sections of GIS 110, 27.5 and 10 kV are presented. In order to assess the effectiveness of the use of the selected switchgear, technical and economic indicators were calculated for the designed transformer substation. Comparison of technical and economic indicators of TP with the use of conventional switchgear and TP based on gas insulated switchgear is carried out. Based on the comparison results, appropriate conclusions were drawn.

**Keywords:** traction substation, complete switchgear, switchgear, technical and economic indicators, comparison, efficiency assessment.

## Введение

До недавнего времени электрические подстанции создавались и эксплуатировались в основном с применением распределительных устройств распределенного и блочного типа, имеющим в своем составе маслонаполненные аппараты, которые относительно часто подвергаются повреждениям и требуют значительных эксплуатационных расходов [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], а также снижают надежность работы РУ [9, 10, 11, 12].

Новым этапом в области передачи, приема и распределении электрической энергии стали комплектные распределительные устройства. Благодаря созданию оборудования с высокими изоляционными характеристиками при небольших размерах, стало возможным производить комплектные распределительные устройства на высокие напряжения. Уменьшение размеров оборудования достигнуто в связи с применением инновационных технологий гашения дуги, а так же благодаря изучению изолирующих свойств различных газов под давлением. Наиболее обширное использование в высоковольтном оборудовании имеет электротехнический газ (элегаз), который отличается высокой диэлектрической прочностью в сравнении с воздухом, не имеет запаха, способен быстро восстанавливаться после диссоциации под воздействием температуры дуги, не подвергается старению в течение всего срока службы электротехнического аппарата [13, 14, 15, 16, 17, 18].

Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией (КРУЭ) имеют модульное строение (рис. 1).

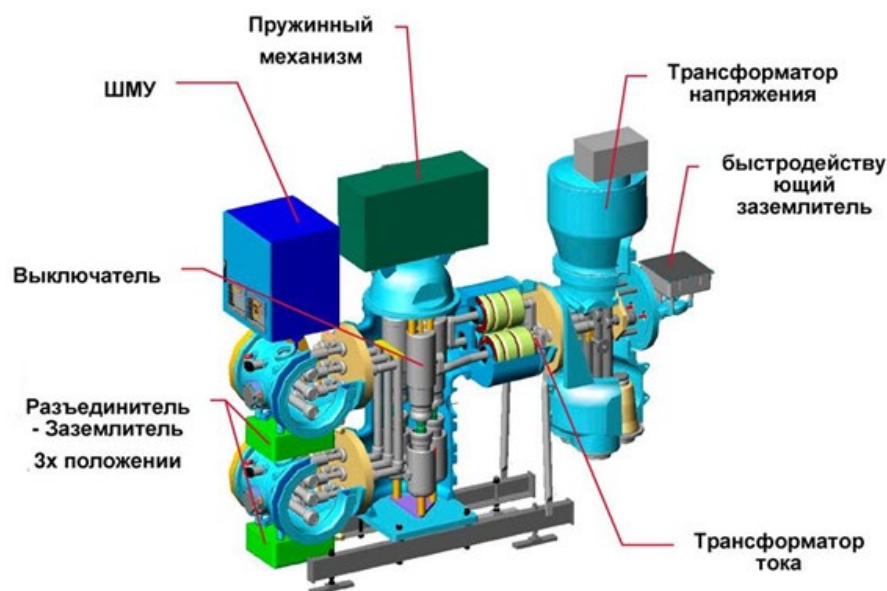


Рис. 1. КРУЭ 110 кВ типа F35 производства компании General Electric (США): ШМУ – шкаф местного управления

Каждый модуль является отдельной единицей оборудования и комплектуется при помощи фланцевого соединения с другими модулями. Все оборудование располагается в алюминиевом корпусе, где постоянно поддерживается избыточное давление. Благодаря избыточному давлению условия горения электрической дуги ухудшаются, а также из-за повышенного давления воздух из окружающей среды не может проникнуть внутрь герметичного пространства. Элегаз в КРУЭ выполняет роль изолирующей и охлаждающей среды для всех модулей. Благодаря внедрению КРУЭ площадь и объем, занимаемые РУ, существенно уменьшаются.

## Описание проблемной ситуации и постановка задачи

В настоящее время тяговые подстанции (ТП) формируются с применением распределительных устройств распределенного, блочного и модульного типа. И практически нет на электрифицированных железных дорогах (ЭЖД) Российской Федерации (РФ) ТП с применением КРУЭ. При проектировании тяговой подстанции единичные элементы,

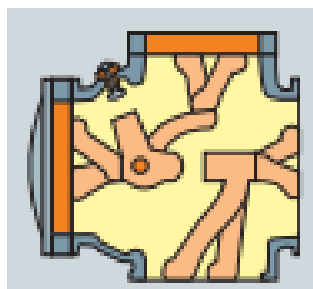
входящие в состав РУ, такие как, выключатели, разъединители, трансформаторы напряжения (ТН), трансформаторы тока (ТТ), ограничители перенапряжений (ОПН) и другие, требуют существенных затрат для подготовки фундамента, размещения аппаратов и их монтажа, а также высоких эксплуатационных затрат, что не отвечает принципам энергосбережения [19, 20, 21]. К тому же ПУЭ предусматривают определенное расстояние между аппаратами и токоведущими элементами, что приводит к нецелесообразному использованию земельных участков, отводимых под ТП. Кроме того, существующая ситуация в любой отрасли экономики нашей страны требует максимального снижения эксплуатационных расходов при производстве продукции. Всем перечисленным требованиям в достаточной мере отвечают комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией.

### **Предложения практического решения поставленной задачи**

Проанализировав практические решения и предложения разных заводов-изготовителей распределительных устройств для тяговых подстанций, сделан вывод, состоящий в целесообразности применения комплектных распределительных устройств с элегазовой изоляцией. Следует отметить, что элегазовая техника имеет меньшую массу в сравнении с маслонаполненными аппаратами, соответственно установка элегазового оборудования упрощается, а сами аппараты оказывают меньшие нагрузки на фундамент.

КРУЭ включают в себя обычные элементы: выключатели, разъединители, ТТ и ТН, сборные и соединительные шины. Каждый элемент размещают в герметичной металлической заземленной оболочке, изготовленной из немагнитного металла (сплава алюминия, конструкционной стали) для того, чтобы предотвратить нагрев оболочки переменным магнитным потоком. Внутренние объемы оболочек нескольких элементов соединяют в секции. Для каждой секции предусмотрена своя контрольно-измерительная газовая аппаратура.

В отдельных блоках устанавливают шинные и линейные разъединители. В блоке находится контактный стержень, который соединен изолирующей штангой с рычажным механизмом привода, и розеточный ламельный контакт, в который входит контактный стержень при включении разъединителя. Также имеется поперечный контактный стержень, который необходим для стыковки элемента с другим элементом ячейки (рис.2).



**Рис. 2. Модуль разъединителя типа 8DN8**

Заземлитель находится в герметичной оболочке и состоит из подвижного стержня, который соединен через скользящий контакт с землей и входит в розеточный контакт заземляемого элемента (рис.3). Для разъединителей и заземлителя предусмотрена электромагнитная блокировка.



**Рис. 3. Модуль заземлителя типа 8DN8**

ТТ также располагается в герметичной оболочке. Токопроводящий стержень, выполняющий роль первичной обмотки, проходит внутри магнитопровода, на который намотана вторичная обмотка (рис.3). ТТ заливают эпоксидной смолой. В отдельных модулях, либо в модулях секционных или шиносоединительных выключателей размещают ТН (рис.4). Электромагнитные ТН с эпоксидной изоляцией применяются при номинальном напряжении не больше 220 кВ.



**Рис. 4. Модуль трансформатора тока типа 8DN8**



**Рис. 5. Модуль трансформатора напряжения типа 8DN8**

По указателю положения, механически связанном с подвижными частями аппаратов, проверяются при переключениях положения коммутационных аппаратов и заземлителей.

С применением КРУЭ становится возможным размещение подстанции вблизи предприятий, дающих выбросы пыли, сажи в окружающее пространство. При использовании традиционного оборудования частицы пыли, сажи накапливаются на поверхностях оборудования, образуя токопроводящие дорожки и тем самым вызывая электрические пробой изоляции.

Благодаря компактному исполнению КРУЭ и возможности использования высоковольтных кабельных вводов подстанции с высоким номинальным напряжением до 550 кВ стало возможно устанавливать прямо в городах или промышленных районах.

Для выбора конкретного типа КРУЭ проанализирована продукция как зарубежных, так и отечественных производителей (таблица 1).

Таблица 1 – Типы и технические параметры зарубежных и отечественных КРУЭ

Производитель	Тип КРУЭ	Номинальное напряжение, кВ	Ток сборной шины, А	Ток остальных модулей, А	Ширина, мм	Глубина, мм	Высота, мм
ООО «ЗЭТО-ГТ» (Россия)	ЯТЭ-110 У2	110	3150	2500	1600	1600	4525
АО ВО «Электроаппарат» (Россия)	ЯГТ-110	110	4000	3150	1200	2500	3050
ЗАО ГК «Электроцит» (Россия)	КРУЭ-СЭЩ-110	110	3150	2500	900	3700	4300
ООО «Эльмаш (УЭТМ)» (Россия)	КРУЭ-УЭТМ-110	110	3150	2500	1100	2600	3350
Siemens (Германия)	8DN8	110	3150	2500	800	1000	1200
ABB АВ (Швейцария)	ELK-04	110	4000	2250	1000	2700	3600
General Electric (США)	F35	110	3150	2500	800	3800	2800
TGOOD (КНР)	TGP-145	110	3150	2500	800	3500	2700

В таблице 2 отражены классы напряжения выпускаемых КРУЭ, как отечественных, так и зарубежных производителей.

Таблица 2 – Производители и класс напряжения КРУЭ

Производитель	Классы напряжения КРУЭ			
	110 кВ	35 кВ	27,5 кВ	10 кВ
ООО «ЗЭТО-ГТ» (Россия)	+	-	-	+
АО ВО «Электроаппарат» (Россия)	+	-	-	+
ЗАО ГК «Электроцит» (Россия)	+	-	-	+
ООО «Эльмаш (УЭТМ)» (Россия)	+	-	-	+
Siemens (Германия)	+	+	+	+
ABB АВ (Швейцария)	+	+	-	+
General Electric (США)	+	+	-	+
TGOOD (КНР)	+	+	-	+

В процессе выбора наиболее оптимального производителя КРУЭ с целью проектирования тяговых подстанций возникла трудность в поиске КРУЭ на 27,5 кВ. Как оказалось, среди отечественных и зарубежных производителей КРУЭ РУ на 27,5 кВ выпускает только компания Siemens (таблица 2). Поэтому в процессе проектирования тяговых подстанций переменного тока в целях их унификации предложено остановить выбор на элегазовых РУ компании Siemens. К тому же данная компания является одним из мировых лидеров по производству оборудования и аппаратуры в энергетической отрасли. Качество и надежность продукции компании Siemens проверена годами и известна всему миру.

Производство КРУЭ компании Siemens подтверждает свое качество с 1968 года – по всему миру установлено более 29 000 ячеек. Компания Siemens изготавливает КРУЭ с номинальным напряжением от 10 до 800 кВ. В основную линейку продукции входят КРУЭ с номинальным напряжением до 550 кВ.

История Siemens насчитывает больше 45 лет опыта работы с элегазовыми распределительными устройствами. Благодаря приведению всех процессов в соответствие с системой управления качеством, которая была внедрена и сертифицирована по EN 29001 / DIN EN ISO 9001, компания Siemens смогла достичь качества и надежности КРУЭ. КРУЭ,

производимые компанией Siemens, соответствуют всем требованиям эксплуатации, качества и надежности, в том числе:

- Компактность. Меньшие размеры здания и нагрузки на пол, больше возможностей по использованию пространства и малая площадь, занимаемая КРУЭ;
- Безопасность. Высокий уровень безопасности, опирающийся на новые методы изготовления и оптимизации корпуса КРУЭ;
- Экологичность. Благодаря малой занимаемой площади отсутствуют ограничения по выбору площадки; крайне низкий уровень шума и электромагнитных помех, а так же эффективная система герметизации;
- Экономичность. Более простая и дешевая транспортировка благодаря меньшему размеру отдельных модулей и малому количеству перевозимых устройств;
- Низкие эксплуатационные расходы. КРУЭ являются малообслуживаемыми – контакты выключателей и разъединителей имеют высокую износостойкость, привод выключателя не требует смазки на всем сроке службы, корпус КРУЭ не подвержен коррозии. Благодаря этому необходимость первой проверки наступает только через 25 лет после ввода в эксплуатацию;
- Высокая надежность. Многолетний опыт компании Siemens в проектировании, изготовлении и вводе КРУЭ в эксплуатацию. Более 330 000 часов наработки у более, чем 29 000 ячеек КРУЭ по всему миру является доказательством того, что продукция компании Siemens имеют высокую надежность. Система управления качеством, поддерживаемая высококвалифицированными сотрудниками, гарантирует высокое качество на всем процессе производства. На всех этапах – с самого начала, во время эксплуатации КРУЭ и до его переработки службы Siemens оказывают всестороннюю поддержку;
- Простая установка и ввод в эксплуатацию. Полностью собранные и испытанные на заводе, а также заполненные элегазом при пониженном давлении, транспортные единицы готовы к быстрой установке. Нумерация кабельных присоединений на заводе позволяет свести время установки к минимуму и уменьшить риск неправильных подключений.

При проведении испытаний все результаты автоматически документируются и сохраняются в электронной информационной системе, что позволяет быстро найти полученные данные измерений, выполненных в любое время.

Капитальные затраты уменьшаются при применении небольших или уже существующих зданий, например при замене РУ среднего напряжения на КРУЭ 145 кВ. В основе ячейки КРУЭ, установленной на несущей раме, лежит выключатель. Специальный многофункциональный соединительный модуль совмещает функции разъединителя и заземлителя в трехпозиционном коммутационном аппарате.

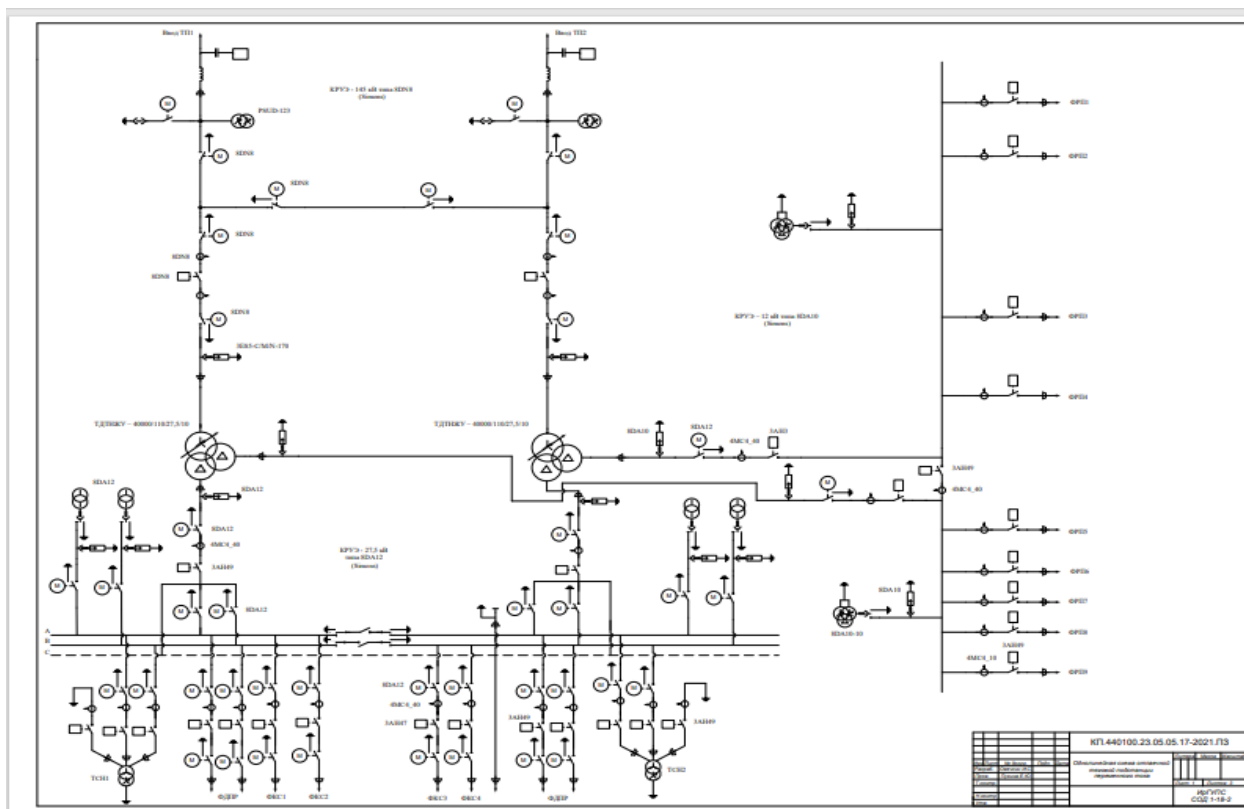
Модули кабельного присоединения могут оснащаться традиционными заделками или появившимися позднее кабельными муфтами. Гибкие однополюсные модули применяют для соединения трансформаторов и ВЛ с модулем разделителя, благодаря которому соединяется трехполюсное КРУЭ с однофазным модулем присоединения. Из-за своего компактного исполнения, ячейка, полностью собранная и испытанная, может быть доставлена как одна транспортная единица. Быстрая установка и ввод в эксплуатацию обеспечивают высочайшее качество.

### **Проектирование отпаечной ТП для питания системы тяги 1×27,5 кВ**

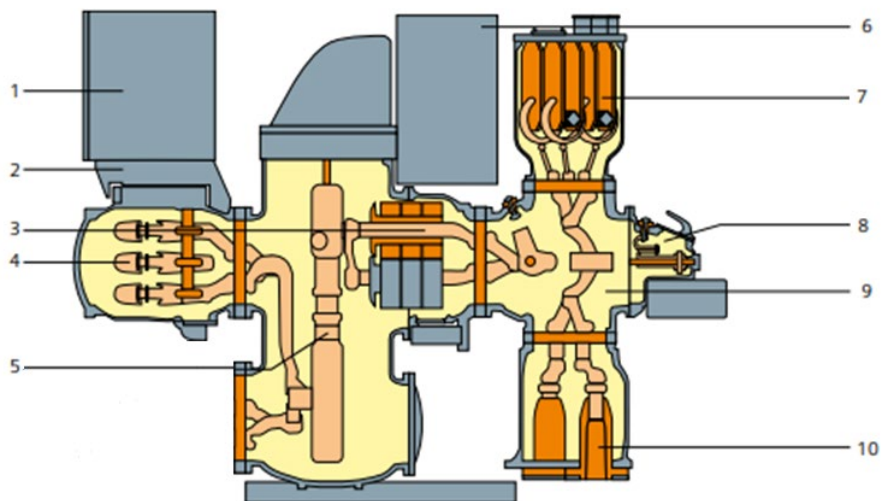
В результате произведенных исследований принято решение спроектировать отпаечную ТП для питания системы тяги 1×27,5 кВ [22] с применением КРУЭ. Однолинейная схема отпаечной тяговой подстанции для питания системы тяги 1×27,5 кВ представлена на рисунке 6, разрез ячейки КРУЭ 110 кВ представлен на рисунке 7, а на рисунках 8 и 9 изображен внешний вид ячеек КРУЭ 27,5 и 10 кВ соответственно.

В процессе курсового проектирования произведен выбор оборудования, входящего в состав КРУЭ, и его проверка, рассчитаны токи короткого замыкания на шинах 110, 27,5 и 10 кВ, выполнен расчет заземляющего устройства, выбран трансформатор собственных нужд

(ТСН). Также определена площадь, занимаемая тяговой подстанцией. Выполнен технико-экономический расчет.

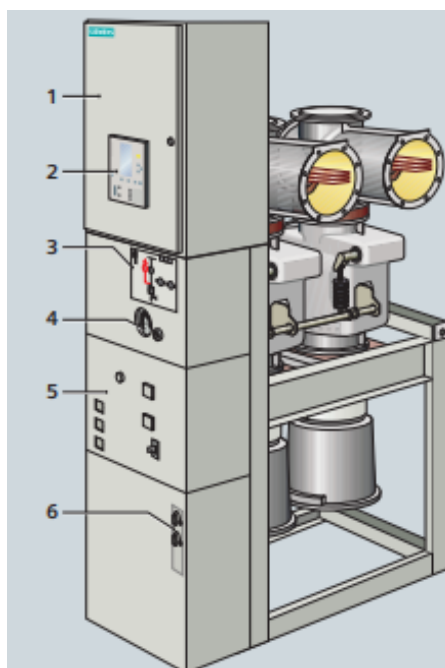


**Рис.6. Однолинейная схема отпаечной тяговой подстанции для питания системы тяги 1x27,5 кВ**



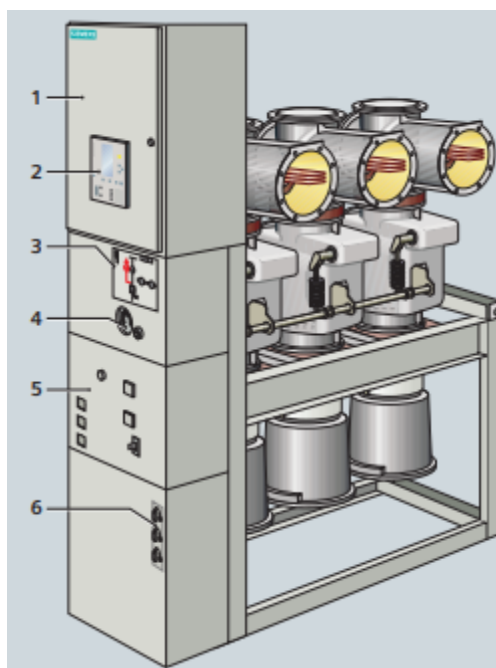
**Рис.7.Разрез КРУЭ 110 кВ типа 8DN8:**

1 – встроенный шкаф местного управления; 2 – консоль для шкафа управления; 3 – трансформатор тока; 4 – сборная шина с разъединителем и заземлителем; 5 – дугогасительная камера силового выключателя; 6 – пружинный привод с системой управления; 7 – трансформатор напряжения; 8 - быстрдействующий заземлитель; 9 - модуль линейного ввода с разъединителем и заземлителем; 10 – модуль кабельного ввода



**Рис.8. Внешний вид ячейки КРУЭ 27,5 кВ типа 8DA12:**

**1 – низковольтный отсек; 2 – электронная панель управления напряжением, многофункциональное реле защиты; 3– привод и блокировка трехпозиционного разъединителя-заземлителя, а также механический индикатор положения трехпозиционного разъединителя-заземлителя и силового выключателя; 4 – манометр контроля состояния газа в газовых отсеках фидеров; 5 – привод силового выключателя; 6 – система обнаружения напряжения**



**Рис.9. Внешний вид ячейки КРУЭ 10 кВ типа 8DA10:**

**1 – низковольтный отсек; 2 – электронная панель управления напряжением, многофункциональное реле защиты; 3– привод и блокировка трехпозиционного разъединителя-заземлителя, а также механический индикатор положения трехпозиционного разъединителя-заземлителя и силового выключателя; 4 – манометр контроля состояния газа в газовых отсеках фидеров; 5 – привод силового выключателя; 6 – система обнаружения напряжения.**



## Оценка эффективности применения КРУЭ по сравнению с обычными РУ

С целью оценки эффективности применения выбранных КРУЭ, для спроектированной ТП произведен расчет технико-экономических показателей, которые сравнивались с показателями ТП, РУ которой состоят из отдельных элементов (таблица 3).

Таблица 3

Сравнение технико-экономических показателей ТП с разными типами РУ

Показатель	ТП	
	традиционное РУ	КРУЭ
Стоимость строительных работ, тыс. рублей (%)	51885 (100)	37484 (73)
Стоимость монтажных работ, тыс. рублей (%)	28040 (100)	21826 (78)
Стоимость оборудования, тыс. рублей (%)	180340 (100)	586757,92 (325)
Стоимость ТП, тыс. рублей (%)	260265 (100)	646069 (248)
Площадь, м <sup>2</sup> (%)	14794,92 (100)	2779,45 (19)
Обслуживающий штат, чел. (%)	6 (100)	2 (33)

Таким образом, получена значительная разница эксплуатационных расходов для ТП с обычными РУ и ТП с КРУЭ, которая составила:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{экспл}} = 49854,96 - 27984,3 = 21870,66 \text{ тыс. руб/год.}$$

### Заключение

В целом видно, что стоимость строительных и монтажных работ для ТП с применением КРУЭ меньше чем для ТП, РУ которой состоят из отдельных элементов. Так же хорошо видно, что площадь ТП, состоящей из КРУЭ, в пять раз меньше площади ТП с традиционными РУ. К тому же ТП на основе КРУЭ не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала. Снижение эксплуатационных расходов составляет 21,87 млн. руб. в год. Поэтому можно считать, что в перспективе внедрение КРУЭ на ТП целесообразно.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пузина Е.Ю., Алексеенко В.А. Регрессионный анализ повреждаемости измерительных трансформаторов // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Иркутск, 2010. С.421-423.
2. Пузина Е.Ю., Алексеенко В.А. Анализ времени наработки до отказа измерительных трансформаторов // Транспорт-2010. Ч.2. 2010. С.307-309.
3. Алексеенко В.А., Пузина Е.Ю. Анализ повреждений измерительных трансформаторов на тяговых подстанциях ВСЖД // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Иркутск. 2009.Т.2. С. 4-9.
4. Keyvan Firuzi, Mehdi Vakilian, B. Toan Phung, Trevor R. Blackburn, "Partial Discharges Pattern Recognition of Transformer Defect Model by LBP & HOG Features," Power Delivery IEEE Transactions on, vol. 34, no. 2, pp. 542–550, 2019.
5. Y. Dang and W. Chen, "Design of Oil-Immersed Apparatus Oil Velocity Measure System Based on the Ultrasonic Wave Doppler Effect," 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Palermo, pp. 1–4, 2018.
6. Xiaozhou Zhu, Minwu Chen, Shaofeng Xie and Jie Luo, "Research on new traction power system using power flow controller and Vx connection transformer," 2016 IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT), Birmingham, pp. 111–115, 2016.
7. H. Kalathiripi and S. Karmakar, "Fault analysis of oil-filled power transformers using spectroscopy techniques," 2017 IEEE 19th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL), Manchester, pp. 1–5, 2017.

8. Дунаев М.П., Дунаев А.М., Каргапольцев С.К., Гозбенко В.Е. Метод структурирования базы знаний экспертной системы для диагностирования электрического оборудования. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 1 (53). С. 86-89.
9. Лундалин А.А., Пузина Е.Ю., Худоногов И.А., Кашковский В.В. Анализ надежности электроснабжения транспортных систем в зависимости от состояния устройств релейной защиты и автоматики. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 3 (63). С. 127-135.
10. Туйгунова, А.Г. О переводе питания СЦБ с 27,5 кВ на нетяговую обмотку на тяговой подстанции переменного тока / А.Г. Туйгунова, И.А. Худоногов, Е.Ю. Пузина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2018. - № 4 (60). - С. 93-98.
11. Пузина Е.Ю. Оценка остаточного ресурса тяговых трансформаторов Северного хода ВСЖД. Транспорт-2013: труды международной научно-практической конференции.–Ростов-на-Дону: Изд-во РГУПС, 2013.–С. 173-175.
12. Дроздов С.П., Подъячих С.В., Потапов В.В., Чеботнягин Л.М. Расчет остаточного ресурса изоляции обмоток масляного трансформатора. Вестник ИрГСХА. 2017. № 80. С. 155-163.
13. Солодов П.И, Савков С.Е. КРУЭ. Путь к совершенству длиной в 35 лет // Электроэнергия. Передача и распределение. 2013. № 6 (21). С. 102-104.
14. Стоцкий К.С., Фазылов И.З., Стоцкая Д.Р. Комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией (КРУЭ) // Наука через призму времени. 2020. № 1 (34). С. 46-47.
15. Саванин А.Ю., Мухаметшин Р.В. Высоковольтные распределительные устройства современных КРУЭ // В сборнике: ЭНЕРГИЯ 2008. Материалы конференции. Федеральное агентство по образованию, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». 2008. С. 37-38.
16. Сороченко П.А., Куксин А.В. КРУЭ. Особенности современных установок и их применение // В сборнике: Инновационные технологии и технические средства для АПК. Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. 2020. С. 208-211.
17. Зацаринная Ю.Н., Нурмеев Т.А. Преимущества эксплуатации комплектных распределительных устройств с элегазовой изоляцией // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 22. С. 129-130.
18. Черепанов А.В., Куцый А.П. Использование управляемых источников реактивной мощности в системах тягового электроснабжения. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. Т. 20. № 9 (116). С. 103-110.
19. Горбунова В.С., Пузина Е.Ю. Эффективность внедрения системы энергетического менеджмента в промышленных компаниях России. Транспортные системы и технологии. 2018. Т. 4. №1. С. 119-137.
20. Боброва Ю.М., Пузина Е.Ю. Необходимость активизации энергосбережения в России // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири / Материалы Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием. - Иркутск: ИРНТУ, 2016. -Т.2. - С. 142-147.
21. Пузина Е.Ю. Оценка потенциала повышения энергоэффективности системы тягового электроснабжения Абаканской дистанции электроснабжения / Транспорт: наука, образование, производство: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУПС, 2017. – С. 154-157.
22. Grigoriev N.P., Klykov M.S., Tikhomirov V.A., Trofimovich P.N. Reduction of electrical eergy losses of power transformer of 25 kV traction substations. IOP Conferens Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 760. С. 012060.

## REFERENCES

1. Puzina E.Yu., Alekseenko V.A. Regression analysis of instrument transformer damage // Increasing the efficiency of energy production and use in Siberia. Irkutsk, 2010. Pp. 421-423.
2. Puzina E.Yu., Alekseenko V.A. Analysis of the operating time to failure of measuring transformers // Transport-2010. Part 2. 2010. Pp. 307-309.
3. Alekseenko V.A., Puzina E.Yu. Analysis of damage to measuring transformers at traction substations of the ESR // Transport infrastructure of the Siberian region. Ir-Kutsk. 2009. Vol.2. Pp. 4-9.
4. Keyvan Firuzi, Mehdi Vakilian, B. Toan Phung, Trevor R. Blackburn, "Partial Discharges Pattern Recognition of Transformer Defect Model by LBP & HOG Features," Power Delivery IEEE Transactions on, vol. 34, no. 2, pp. 542–550, 2019.
5. Y. Dang and W. Chen, "Design of Oil-Immersed Apparatus Oil Velocity Measure System Based on the Ultrasonic Wave Doppler Effect," 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Palermo, pp. 1–4, 2018.
6. Xiaozhou Zhu, Minwu Chen, Shaofeng Xie and Jie Luo, "Research on new traction power system using power flow controller and Vx connection transformer," 2016 IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT), Birmingham, pp. 111–115, 2016.
7. H. Kalathiripi and S. Karmakar, "Fault analysis of oil-filled power transformers using spectroscopy techniques," 2017 IEEE 19th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL), Manchester, pp. 1–5, 2017.
8. Dunaev M.P., Dunaev A.M., Kargapol'tsev S.K., Gozbenko V.E. A method for structuring the knowledge base of an expert system for diagnosing electrical equipment. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2017. No. 1 (53). S. 86-89.
9. Lundalin A.A., Puzina E.Yu., Khudonogov I.A., Kashkovsky V.V. Analysis of the reliability of power supply of transport systems depending on the state of relay protection and automation devices. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2019. No. 3 (63). Pp 127-135.
10. Tuigunova A. G., Khudonogov I. A., Puzina E. Yu. On the transfer of the power supply of the SCB from 27.5 kV to a non-traction winding at an AC traction substation// Modern technology. System analysis. Modeling. 2018. no. 4 (60). Pp. 93-98.
11. Puzina E. Yu. Evaluation of the residual service life of the Northern route traction transformers East Siberian Railroad. Transport-2013: proceedings of the international scientific and practical conference. Rostov-on-don: RSUPSPublishing house, 2013, Pp. 176-178.
12. Drozdov S.P., Podyachikh S.V., Potapov V.V., Chebotnyagin L.M. Calculation of the residual life of the insulation of the windings of the oil transformer. Bulletin of IrGSKhA. 2017. No. 80. S. 155-163.
13. Solodov P.I., Savkov S.E. GIS. The 35-year path to excellence // Electricity. Transmission and distribution. 2013. No. 6 (21). S. 102-104.
14. Stotsky K.S., Fazylov I.Z., Stotskaya D.R. Gas-insulated switchgear (GIS) // Science through the prism of time. 2020. No. 1 (34). S. 46-47.
15. Savanin A.Yu., Mukhametshin R.V. High-voltage switchgears of modern GIS // In the collection: ENERGY 2008. Proceedings of the conference. Federal Agency for Education, State Educational Institution of Higher Professional Education "Ivanovo State Power Engineering University named after V.I. Lenin ". 2008.S. 37-38.
16. Sorochenko P.A., Kuksin A.V. GIS. Features of modern installations and their application // In the collection: Innovative technologies and technical means for the agro-industrial complex. Materials of the international scientific-practical conference of young scientists and specialists. 2020.S. 208-211.
17. Zatsarinnaya Yu.N., Nurmeev T.A. Advantages of operating complete switchgears with SF6 insulation // Bulletin of Kazan Technological University. 2014. T. 17.No. 22. S. 129-130.
18. Cherepanov A.V., Kutsyi A.P. Use of controlled sources of reactive power in traction power supply systems. Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2016.Vol. 20.No. 9 (116). S. 103-110.

19. Gorbunova V. S., Puzina E. Yu. Efficiency of introduction of the energy management system implementation in Russian industrial companies // Transport systems and technologies. 2018. Vol. 4. No. 1. Pp. 119-137.
20. Bobrova Yu.M., Puzina E.Yu. The need to activate energy saving in Russia // Increasing the efficiency of production and use of energy in Siberia / Materials of the All-Russian. scientific-practical conf. with int. participation. -Irkutsk: IRNITU, 2016. -Т.2. - Pp. 142-147.
21. Puzina E. Yu. Assessment of the potential for improving energy efficiency of the traction power supply system of the Abakan power supply distance / Transport: science, education, production: collection of scientific papers of the International scientific and practical conference. Rostov-on-don: RSUPS Publishing house, 2017, Pp. 154-157.
22. Grigoriev N.P., Klykov M.S., Tikhomirov V.A., Trofimovich P.N. Reduction of electrical eergy losses of power transformer of 25 kV traction substations. IOP Conferens Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 760. С. 012060.

### **Информация об авторах**

*Овечкин Илья Сергеевич* - студент 3 курса специальности «Электроснабжение железных дорог», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [iliaov2015@mail.ru](mailto:iliaov2015@mail.ru)

### **Authors**

*Ilya Sergeevich Ovechkin* –student of the specialty "Power supply of railways", Irkutsk State TransportUniversity, Irkutsk,e-mail: [iliaov2015@mail.ru](mailto:iliaov2015@mail.ru)

### **Дляцитирования**

Овечкин И.С. Оценка эффективности применения комплектных распределительных устройств для тяговых подстанций[Электронныйресурс] / И. С. Овечкин// Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. –2021. –№1. – Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/212-2021>, свободный. — Загл. сэкрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: \_\_\_\_\_)

### **Forcitation**

Ovechkin I.S. *Evaluation of the effectiveness of the use of complete distribution devices for traction substations* [Electronic resource] / I. S. Ovechkin / / *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal*-2021. - No. 1. - Access mode: <http://mnv.irgups.ru/toma/212-2021>, free. - Title from the screen. - Yaz. rus., eng. (accessed: \_\_\_\_\_)