



РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ПОДСТАНЦИИ С ВЫСШИМ НАПРЯЖЕНИЕМ 35 кВ И БОЛЕЕ

Проектирование электрической части распределительных устройств подстанций в основном осуществляется без учета экономических составляющих, и проекты в данном случае должны соответствовать только нормативным документам. Исключение из рассмотрения экономических факторов при проектировании распределительных устройств подстанций также обусловлено отсутствием времени у инженера-проектировщика, занятого разработкой объемной проектной документации, а проведение дополнительных расчетов в условиях подходящих к концу сроков исполнения проекта полностью исключает возможность комплексного учета всех факторов при выборе схемы распределительного устройства. В работе предлагается подход, позволяющий определять некоторые экономические составляющие затрат на проектирование, сооружение, монтаж, наладку и эксплуатацию распределительных устройств подстанций напряжением 35 кВ и выше. Разработанный алгоритм адаптирован к условиям системы автоматизированного проектирования «ОРУ САД», позволяющей осуществлять разработку и формирование документации при проектировании распределительных устройств подстанций с возможностью учета экономических показателей. В данной статье приводятся алгоритмы расчета только экономических показателей (капитальных вложений, эксплуатационных издержек на ремонт и обслуживание) распределительных устройств подстанций. В дальнейшем планируется к разработке алгоритм определения экономического ущерба от перерыва электроснабжения внешних источников нагрузки, питающейся от проектируемой подстанции, и его внедрения в условия указанного САПР. Разрабатываемый алгоритм определения экономически целесообразного варианта схемы распределительного устройства подстанции отвечает требованиям норм и правил проектирования указанных объектов электроэнергетики. Результаты работы применимы в качестве автоматизированного рабочего места инженера-проектировщика электротехнического отдела проектной организации.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, технико-экономический расчет, издержки, капитальные вложения, ущерб от перерыва электроснабжения, инфляция, целевая функция, оптимизация, приведенные затраты.

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы экономики энергетики остро стоят перед учеными всего мира [1-2]. Одной из них является спрос на электроэнергию на рынках [3] и анализ тарифов на нее. Важным остается и распределение мощности в энергосистеме [4]. Кроме того, данные задачи решаются при проектировании электроэнергетического объекта и выборе наиболее целесообразного его варианта. Данное сравнение осуществляется на основе технических и экономических показателей, к первым относят удобство эксплуатации, надежность, долговечность сооружения, объем капитальных и текущих ремонтов, ко вторым – капитальные (первоначальные) вложения и текущие (ежегодные) расходы.

Сопоставление и анализ всех технико-экономических показателей позволяет произвести выбор наилучшего решения. Экономичность варианта должна оцениваться с учетом, как первоначальных вложений, так и текущих затрат. Поэтому при экономических расчетах рекомендуется в качестве оценки экономичности метод срока окупаемости, соизмеряющего капитальные вложения с будущими издержками производства.

Авторами в работе [5] приведена оценка эффективности капитальных вложений, для выявления которой используются показатели общей и сравнительной эффективности. Экономическим критерием, по которому определяют наивыгоднейший вариант, является минимум приведенных затрат.

В [6] приведены технико-экономические расчеты в электроснабжении. Наиболее экономичным решением электроснабжения является вариант, отвечающий техническим требованиям и имеющий наименьшие приведенные затраты, которые являются мерой стоимости.

В работах [7-11] приведена сравнительная эффективность вариантов развития электрической сети. Обоснование решений при проектировании электрических сетей осуществляется на основе технико-экономического сопоставления вариантов схем и параметров сети путем оценки их сравнительной эффективности.

Геркусовым А.А. в [9] разработана экономико-математическая модель, связывающая технические параметры, стоимостные характеристики и режимы работы ЛЭП любого класса напряжения и назначения.

В работе [10] проведено технико-экономическое сравнение вариантов трансформаторных подстанций традиционного и современного использования по показателю дисконтированных затрат на сооружение и эксплуатацию в течение срока службы.

В [11] приведены основные положения расчета приведенных затрат при проектировании или реновации объектов электроэнергетики. В статьях [12-13] представлены теоретические и практические положения по проведению технико-экономических расчетов распределительных электрических сетей.

Гулидовым С.С. в работе [14] рассмотрены технико-экономические характеристики сельских электрических сетей 10 и 0,4 кВ. При оценке были изучены линии электропередачи 10 кВ и 0,4 кВ, также трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ. При технико-экономической

оценке электросетевого хозяйства 0,4–10 кВ района выявлен износ сетей, их остаточная стоимость, степень надежности работы сетей.

В [15] рассмотрена технико-экономическая оценка трансформаторных подстанций напряжением 6-10/0,4 кВ. Разработана схема данных, которая может быть использована при составлении алгоритма компьютерной программы выбора типа ТП, имеющей распределительное устройство (РУ) первичного напряжения. Представлены результаты технико-экономического сравнения вариантов двухтрансформаторной подстанции с РУ высокого напряжения на базе камер типа КСО и КРУЭ.

В статье [16] приведены зависимости капитальных и приведенных затрат от генерируемой реактивной мощности. В работе [17] представлена многокритериальная оценка технико-экономического состояния распределительных электрических сетей. В качестве частных критериев оценки выбраны показатели качества электроэнергии, надежности электроснабжения, экономической эффективности и физического износа распределительных сетей.

В работе [18] сформулированы критерии технико-экономической оценки вариантов развития электрической сети, расчет которых осуществляется по блокам: капитальные вложения, годовые потери электроэнергии, ежегодные издержки, приведенные затраты, площадь отчуждаемой земли, расход алюминия на провода. В [19] выполнено технико-экономическое сравнение вариантов строительства линий электропередачи по укрупненным показателям.

Работа [20] содержит теоретические основы технико-экономического обоснования структурных схем и схем распределительных устройств электростанций. В статье [21] рассмотрены проблемы обоснования удельных показателей стоимости энергетического оборудования для ЛЭП и подстанций, возникающие при технико-экономическом сравнении вариантов.

Таким образом, существующие подходы технико-экономических расчетов в области электроэнергетики разработаны более 30 лет назад, и ими до сих пор вынуждены пользоваться специалисты-проектировщики.

В связи с этим актуальным является разработка экономико-математической модели, связывающей технические параметры реконструируемых или вновь сооружаемых электроэнергетических систем и режимы их работы с экономическими показателями; использование современных экономических критериев выбора оптимальных проектных решений.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПОДСТАНЦИИ

Алгоритм автоматизированного расчета капитальных вложений в строительство подстанции адаптирован к условиям разработанной системы автоматизированного проектирования [22] и базе данных электрооборудования [23]. Блок-схема указанного алгоритма приведена на **рис. 1**. Алгоритм расчета построен на основании методики, приведенной в [5-6].

Капитальные вложения (К), как и все экономические показатели сравниваемых вариантов, должны определяться в прогнозных ценах одного уровня и по источникам равной достоверности.

Расчеты капитальных вложений при отсутствии сметных данных могут приниматься по аналогам или укрупненным показателям стоимости (УСП) электрооборудования ПС [6] с использованием индексов пересчета на дату разработки проектных материалов.

Исходные данные для расчета (блок 1, **рис. 1**) предполагают:

- ручной ввод типа и количества силовых трансформаторов (n) и ячеек выключателей ВН (m) и НН (k) в САПР [22];
- ручной ввод местоположения подстанции (региональная принадлежность), главной схемы РУ и номинального напряжения в САПР [22];
- ручной ввод индекса цен по капитальным вложениям объекта электроэнергетики на год проектирования ПС по отношению к уровню цен 2000 г. в САПР [22].

Определение стоимости силовых трансформаторов и ячеек выключателей ВН и НН (блок 2, 3 и 4, **рис. 1**) осуществляется по формулам (1)-(3), исходя из количества и типа оборудования. Источником стоимостных показателей является база данных электрооборудования [23]:

$$K_{\text{тр}} = \sum_{i=1}^n K_i, \quad (1)$$

где $K_{\text{тр}}$ – капитальные вложения в силовые трансформаторы; K_i – стоимость i -го силового трансформатора; n – количество силовых трансформаторов,

$$K_{\text{я.ВН}} = \sum_{j=1}^m K_j, \quad (2)$$

где $K_{\text{я.ВН}}$ – капитальные вложения в ячейки выключателей стороны ВН; K_j – стоимость j -й ячейки выключателя стороны ВН; m – количество ячеек выключателей стороны ВН,

$$K_{\text{я.НН}} = \sum_{p=1}^k K_p, \quad (3)$$

где $K_{\text{я.НН}}$ – капитальные вложения в ячейки выключателей стороны НН; K_p – стоимость p -й ячейки выключателя стороны НН; k – количество ячеек выключателей стороны НН.

Определение стоимости оборудования подстанции (блок 5, **рис. 1**) осуществляется сложением результатов блока 2, 3 и 4 по выражению

$$K_{\text{обор}} = K_{\text{тр}} + K_{\text{я.ВН}} + K_{\text{я.НН}}, \quad (4)$$

Для определения стоимости строительства подстанции напряжением 220 кВ и выше должны быть учтены затраты на организацию противоаварийной автоматики (блок 6, **рис. 1**). Источником стоимости противоаварийной автоматики является база данных УСП.

Стоимость постоянной части затрат по ПС (блок 7, **рис. 1**) учитывает подготовку и благоустройство территории, ОПУ, устройство собственных нужд ПС, систему оперативного постоянного тока, компрессорную, внутриплощадочное водоснабжение, канализацию и подъездные дороги, средства связи и телемеханики, наружное освещение и ограду. Постоянная часть затрат принимается с учетом схемы электрических соединений и высшего напряжения ПС. Источником стоимости постоянной части затрат является база данных УСП.

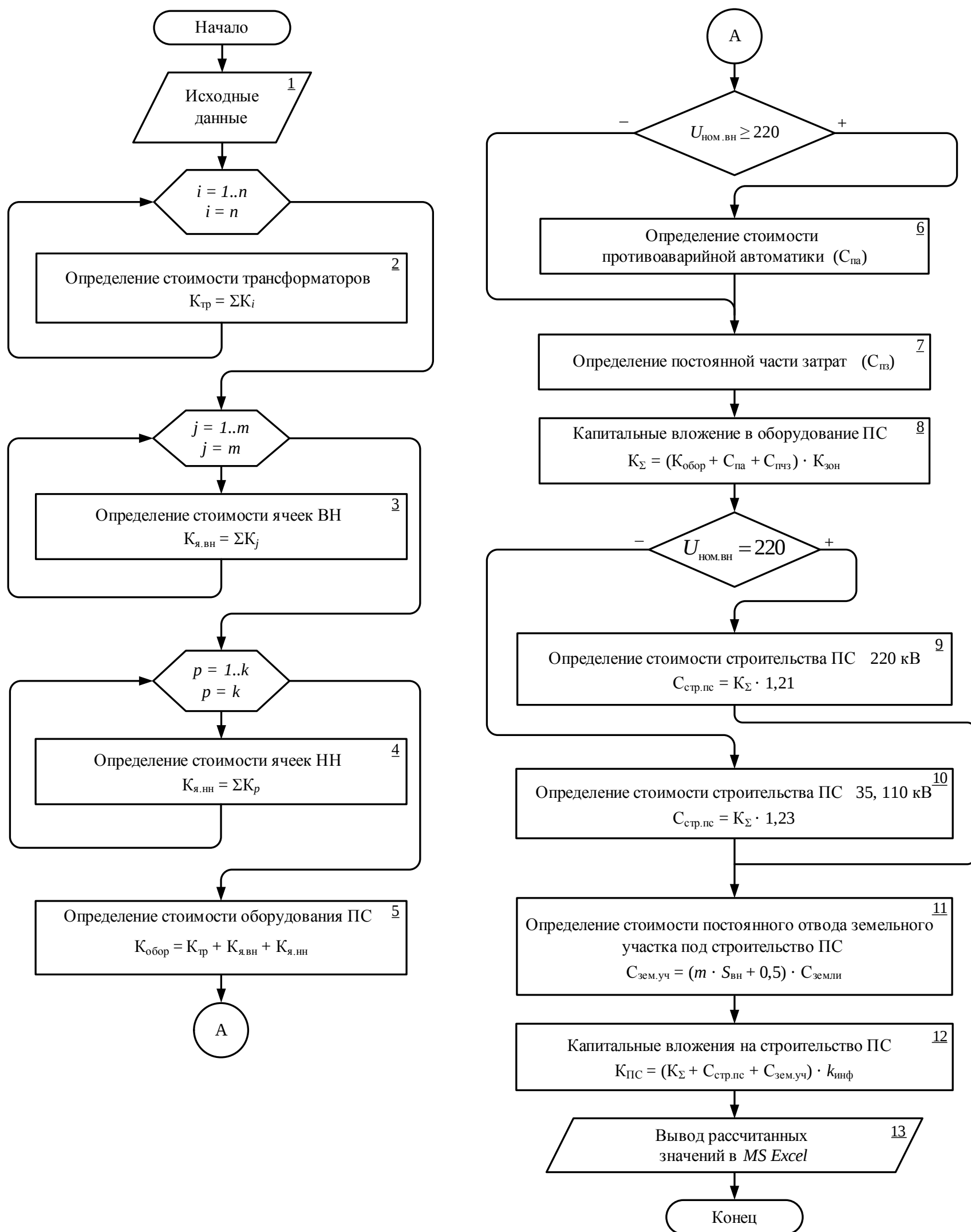


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета капитальных вложений в строительство подстанции напряжением 35 кВ и выше

Определение капитальных вложений в электрооборудование ПС (блок 8, **рис. 1**) осуществляется по (5) с учетом повышающего зонального коэффициента к базисной стоимости электросетевых объектов. Значение повышающего зонального коэффициента зависит от региональной принадлежности подстанции:

$$K_{\Sigma} = (K_{\text{обор}} + C_{\text{па}} + C_{\text{пчз}}) \cdot K_{\text{зон}}, \quad (5)$$

где K_{Σ} – капитальные вложения в оборудование подстанции; $K_{\text{обор}}$ – стоимость оборудования подстанции; $C_{\text{па}}$ – стоимость противоаварийной автоматики; $C_{\text{пчз}}$ – стоимость постоянной части затрат; $K_{\text{зон}}$ – повышающий зональный коэффициент.

Стоимость строительства подстанции (блок 9 и 10, **рис. 1**) зависит от уровня напряжения, на которое сооружается подстанция, и определяется по выражениям (6) и (7).

Для строительства подстанций на напряжение

220 кВ

$$C_{\text{стр.пс}} = K_{\Sigma} \cdot 1,21. \quad (6)$$

Для строительства подстанций на напряжение 35, 110 кВ

$$C_{\text{стр.пс}} = K_{\Sigma} \cdot 1,23. \quad (7)$$

Стоимость постоянного отвода земельного участка (блок 11, **рис. 1**) для ПС принимается с учетом расчетных значений площади земельного участка под ПС, определяется по формуле (8). Площадь постоянного отвода земельного участка зависит от схемы электрических соединений и напряжения сооружаемой подстанции. Стоимость отчуждаемых земельных участков принимается на основе «Нормативов стоимости освоения новых земель взамен изымаемых сельскохозяйственных угодий для несельскохозяйственных нужд», утвержденных постановлением Правительства РФ от 28.01.1993 г. №77 (с изменениями от 07.05.2003 г.). Источником является нормативная цена земли в субъектах РФ и примерная площадь постоянного отвода земли под подстанции, которая внесена в базу данных УСП:

$$C_{\text{зем.уч}} = (m \cdot S_{\text{вн}} + 0,5) \cdot C_{\text{земли}}, \quad (8)$$

где $C_{\text{зем.уч}}$ – стоимость постоянного отвода земельного участка; $S_{\text{вн}}$ – площадь постоянного отвода земельного участка; $C_{\text{земли}}$ – стоимость отчуждаемых земельных участков.

Суммируя капитальные вложения в электрооборудование, стоимость строительства подстанции и стоимость постоянного отвода земельного участка под строительство, получаем необходимый объем капитальных вложений на строительство подстанции (блок 12, **рис. 1**). После чего производим пересчет стоимости затрат на строительство ПС в индексах цен текущего года по выражению

$$K_{\text{ПС}} = (K_{\Sigma} + C_{\text{стр.пс}} + C_{\text{зем.уч}}) \cdot k_{\text{инф}}, \quad (9)$$

где K_{Σ} – капитальные вложения в оборудование подстанции; $C_{\text{стр.пс}}$ – стоимость строительства подстанции; $k_{\text{инф}}$ – коэффициент инфляции относительно 2000 г.

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ИЗДЕРЖЕК

Ежегодные эксплуатационные издержки производства представляют собой сумму всех отчислений и расходов, связанных с эксплуатацией данной электроустановки.

Алгоритм расчета эксплуатационных издержек подстанции приведен на **рис. 2**.

Методика расчета основана на данных, приведенных в [5-6]. Исходные данные для расчета (блок 1, **рис. 2**) предполагают:

- ручной ввод типа и количества силовых трансформаторов (n);
- ручной ввод мощности нагрузки трансформатора;
- ручной ввод числа часов использования наибольшей нагрузки и стоимости потерь электроэнергии.

Определение общих годовых эксплуатационных расходов по ПС в зависимости от уровня напряжения (блоки 2 и 3, **рис. 2**) осуществляется по следующим формулам.

Для подстанций с высшим напряжением 220 кВ

$$I_{\text{эксп}} = K_{\text{обор}} \cdot (4,9 + 6,7) / 100, \quad (10)$$

где $K_{\text{обор}}$ – капитальные вложения в оборудование ПС; 4,9 – отчисления на обслуживание и ремонт в процентах от первоначальных капитальных вложений в оборудование подстанции с высшим напряжением 220 кВ; 6,7 – отчисления на амортизацию в процентах от первоначальных капитальных вложений в оборудование подстанции.

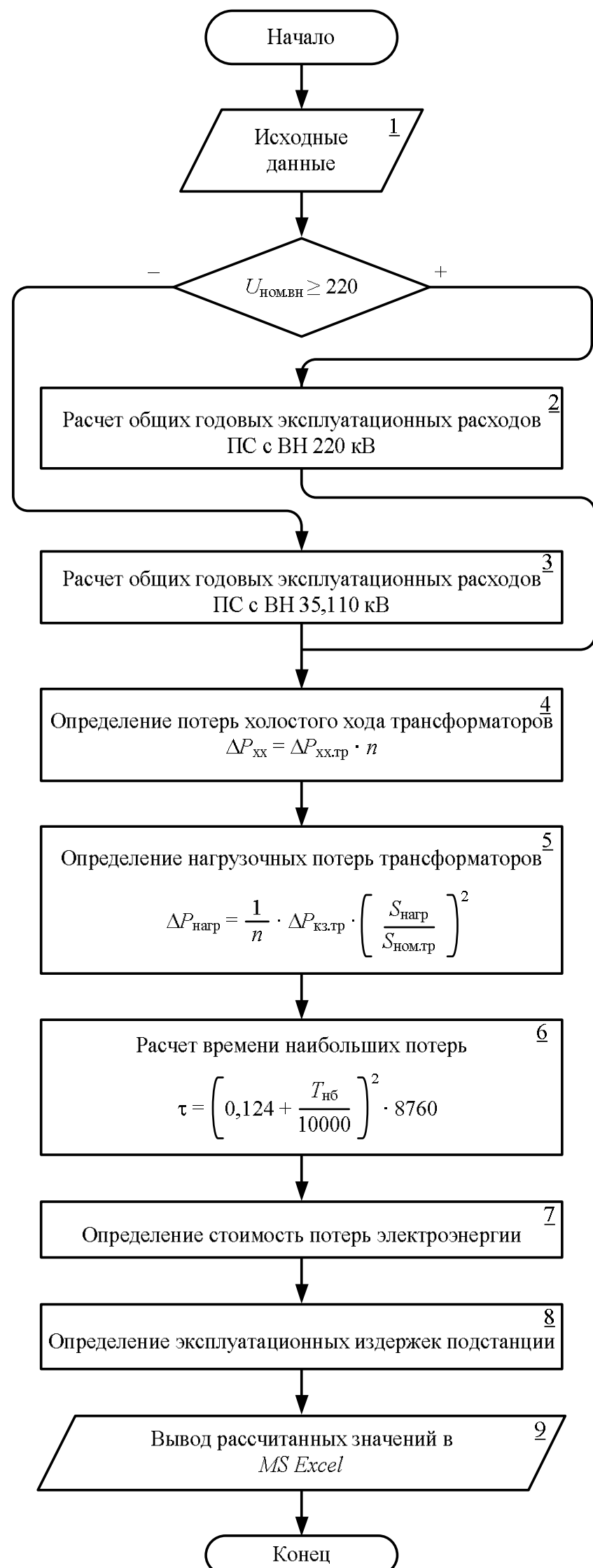


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета эксплуатационных издержек подстанции напряжением 35 кВ и выше

Для подстанций с высшим напряжением 35 и 110 кВ

$$I_{\text{экс}} = K_{\text{обор}} \cdot (5,9 + 6,7) / 100, \quad (11)$$

где 5,9 – отчисления на обслуживание и ремонт в процентах от первоначальных капитальных вложений в оборудование подстанции с высшим напряжением 35 и 110 кВ.

Определение стоимости годовых потерь электроэнергии (блок 7, **рис. 2**) осуществляется по формуле

$$\Delta I_9 = b \cdot (\Delta P_{\text{хх}} \cdot 8700 + \Delta P_{\text{нагр}} \cdot \tau), \quad (12)$$

где b – стоимость потерянной электроэнергии; $\Delta P_{\text{хх}}$ – суммарные потери холостого хода трансформаторов; $\Delta P_{\text{нагр}}$ – суммарные нагрузочные потери трансформаторов; τ – время наибольших нагрузок.

Суммируя общие годовые эксплуатационные расходы по ПС и стоимость годовых потерь электроэнергии, получим эксплуатационные издержки (блок 8, **рис. 2**), которые определяются по выражению

$$I = I_{\text{экс}} + \Delta I_9. \quad (13)$$

РАСЧЕТ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДСТАНЦИИ С ВН 220 кВ

Осуществим расчет стоимости строительства подстанции по заданным исходным данным приведенным в **табл. 1**.

С использованием разработанным алгоритмов и системы автоматизированного проектирования [22] получим следующие результаты расчета (**табл. 2**).

Вывод результатов расчета осуществляется в среде MS Excel, что позволяет упростить дальнейшую обработку результатов расчетов при необходимости оценки всех возможных вариантов схем распределительного устройства (при условии если схема ВН не задана).

Таблица 1

Исходные данные для расчета

Заданное условие	Значение согласно техническому заданию
Месторасположение ПС	Поволжье
Мощность трансформаторов	63 МВА
Тип и количество трансформаторов	2×ТРДЦН-63000/220
Главные схемы электрических соединений	Две рабочие с.ш.
Количество присоединений на стороне ВН	8
ЗРУ-10 кВ - 4-х секционное, рассчитанное на установку 38 ячеек вакуумных выключателей	
ПА принята при количестве присоединений 220 кВ более двух	
Индекс цен по капитальным вложениям на текущий год	5,2995
Стоимость потерь электроэнергии,	2,82

руб./кВт·ч	
Мощность нагрузки, МВА	86
Время наибольших потерь, ч	4600

Таблица 2

Расчет затрат на строительство подстанции 220 кВ

Составляющие затрат	Номер блока	Расчет затрат	Величина затрат, тыс. руб.
Стоимость силовых трансформаторов	2, рис.1	2·9800	19600
Стоимость ячеек 110 кВ	3, рис.1	8·12500	100000
Стоимость ячеек 10 кВ	4, рис.1	38·85	3230
Стоимость оборудования ПС	5, рис.1		122830
Противоаварийная автоматика	6, рис.1		1200
Постоянная часть затрат	7, рис.1		52000
Капитальные вложения в оборудование ПС	8, рис. 1		176030
Стоимость строительства ПС с учетом сопутствующих затрат	9, рис. 1	1,21·176030	212996,3
Стоимость постоянного отвода земельного участка (ОРУ и ЗРУ)	11, рис. 1	(1,6·8+0,5)40	532
Капитальные вложения на строительство ПС	12, рис. 1		389558,3
С учетом коэффициента инфляции на 2019 г.		212996,3·5,29	2064464
Издержки на обслуживание и ремонт	2, рис. 2	(4,9+6,7) 2064464	239477,8
Издержки на потерю электроэнергии	7, рис. 2	2,82 (2 70 8760+4600 0,5 266(86/63) ²)	6673,39
Эксплуатационные издержки	8, рис. 2	239477,8+ 6673,99	6912876,29

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные алгоритмы определения капитальных вложений в строительство и издержек на эксплуатацию подстанций напряжением 35 кВ и выше адаптированы к САПР «ОРУ САД» и к указанной базе данных электрооборудования и позволяют осуществлять автоматизированный расчет экономических показателей, необходимых при оценке инвестиций.

В перспективе разработанный подход позволит осуществлять технико-экономические сопоставление возможных, с точки зрения норм и правил проектирования объектов, вариантов схем распределительных устройств исследуемых электроустановок.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-37-00115.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Belyaev L.S., Marchenko O.V., Filippov S.P., Solomin S.V., Stepanova T.B., Kokorin A.L. World energy and transition to sustainable development. Boston/Dordrecht/London, Kluwer Academic Publ., 2002. 276 p.
2. Häfele W., Program Leader. Energy in a finite world: a

- global systems analysis. Cambridge, Massachusetts: Ballinger Publ. Comp., 1981.
3. Stepanov V.S., Suslov K.V., Chebotnyagin L.M., Moskalenko N.S., Styczynski Z.A. The market approach of demand management in the power system. IEEE Pes Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, 2012, DOI: 10.1109/ISGTEurope.2012.6465747.
4. Eroshenko S.A., Samoylenko V.O., Pazderin A.V., Bannykh P.Y. Power system zoning for distributed generation implementation forecasting. 2016 57th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, RTUCON 2016, 2016, DOI: 10.1109/RTUCON.2016.7763100.
5. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: учеб. для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 592 с.
6. Справочник по проектированию электрических сетей / Карапетян И.Г., Файбисович Д.Л., Шапиро И.М. М.: ЭНАС, 2012. 376 с.
7. Электрические сети и энергосистемы: учебник для вузов ж.-д. транспорта / Караев Р.И., Волобринский С.Д., Ковалев Н.Н. М.: Транспорт, 1988. 326 с.
8. Герасименко, А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии. М.: Феникс, 2008. 715 с.
9. Геркусов А.А., Макаров В.М. Техно-экономическое обоснование выбора параметров и режимов работы проектируемых линий электропередачи // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2016. № 2. С. 66-73.
10. Бурлов Ю.А. Техно-экономическое обоснование применения комплектных трансформаторных подстанций 6–220 кВ // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. 2017. № 3 (448). С. 341.
11. Варганова А.В. Техно-экономические расчеты в электроэнергетике: учеб. пособие. М.: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. 57 с.
12. Техно-экономические расчеты распределительных электрических сетей: учеб. пособие / Хорольский В.Я., Таранов М.А., Петров Д.В. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2010. 108 с.
13. Техно-экономическая эффективность модернизации распределительных электрических сетей: учеб. пособие / Хорольский В.Я., Таранов М.А., Петров Д.В. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2010. 132 с.
14. Гулидов С.С. Техно-экономическая характеристика сельских электрических сетей // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина». 2009. №8-1 (39). С. 100-101.
15. Сталович В.В., Радкевич В.Н. Техно-экономическая оценка трансформаторных подстанций напряжением 6-10/0,4 кВ с различными типами высоковольтных распределительных устройств // Энергетика. 2011. №3. С. 26-40.
16. Khrumshin T.R., Abdulvelev I.R., Kornilov G.P., Krubcov D.S. Electromagnetic compatibility of high power statcom in asymmetrical conditions. 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON – Proceedings, 2015, DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7146966.
17. Лещинская Т.Б., Князев В.В. Многокритериальная оценка техно-экономического состояния распределительных электрических // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина». 2010. № 2 (41). С. 14-19.
18. Лачков Г.Г. О критериях оценки вариантов развития системообразующей электрической сети // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. № 2 (133). С. 123-130.
19. Близнюк Д.И., Плясунов А.О., Халысмаа А.И. Экономическое сравнение электропередач для связи Урал – Сибирь // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2014. № 4. С. 27-30.
20. Трубицын В.Н., Неклепаев Б.Н. Техно-экономическое обоснование выбора структурных схем и схем распределительных устройств электростанций: монография. М.: МЭИ (ТУ), 2004. С. 46.
21. Малинина Т.В. Проблема выбора удельных показателей стоимости энергетического оборудования в условиях инфляции // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2013. №1-2 (163). С. 61-64.
22. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2018660517 Российская Федерация, ОРУ CAD / Варганова А.В., Панова Е.А., Хатюшина Т.В., Кононенко В.С., Багаева Х.М.; заявитель ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». № 2018618175; заявл. 30.07.2018; опубл. 23.08.2018.
23. Разработка базы данных электрооборудования 35-220 кВ для САПР "ОРУ CAD" / Варганова А.В., Панова Е.А., Хатюшина Т.В., Кононенко В.С., Багаева Х.М. // Электротехнические системы и комплексы. 2018. № 2 (39). С. 28-33.

Поступила в редакцию 09 января 2019 г.

INFORMATION IN ENGLISH

CALCULATION OF ECONOMIC COMPONENTS OF TARGET FUNCTION OF THE ALGORITHM FOR DETERMINING THE OPTIMAL OPTION OF SCHEME OF SUBSTATIONS DISTRIBUTION DEVICE WITH THE HIGH VOLTAGE OF 35 kV AND ABOVE

Evgeniya A. Panova

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Electric Power Supply of Industrial Enterprises Department, Power Engineering and Automated Systems Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: ea.panova@magtu.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9392-3346>.

Aleksandr S. Irikhov

Student, Electric Power Supply of Industrial Enterprises Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: irihovalexandr@gmail.com.

Irina A. Dubina

Assistant Professor, Electric Power Supply of Industrial Enterprises Department, Power Engineering and Automated Systems Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Nikolay T. Patshin

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Electric Power Supply of Industrial Enterprises Department, Power Engineering and Automated Systems Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

The design of the electrical part of the switchgear of substations is mainly carried out without taking into account the economic components and the projects in this case must comply only with regulatory documents. The exclusion of economic factors from consideration when designing switchgears for substations is also due to the lack of time for a design engineer involved in the development of large-scale project documentation and additional calculations under the conditions suitable for the end of the project execution period completely exclude the possibility of integrated accounting of all factors when choosing a switchgear circuit. The paper proposes an approach to determine some of the economic components of the costs for the design, construction, installation, commissioning and operation of switchgears for substations of 35 kV and above. The developed algorithm is adapted to the conditions of computer-aided design "ORU CAD", which allows for the development and documentation of the design of switchgear substations with the possibility of taking into account economic indicators. This article provides algorithms for calculating only economic indicators (capital investment, repair and maintenance costs) of substation switchgears. In the future, it is planned to develop an algorithm for determining the economic damage from the interruption of the power supply to external sources of load, which is powered by the designed substation, and its implementation in the specified CAD system. The developed algorithm for determining the economically viable options for the substation switchgear scheme meets the requirements of the norms and rules for the design of these power industry facilities. The results of the work are applicable as an automated workstation of the electrical engineer of a design organization.

Keywords: computer-aided design, techno-economic justification, accounts, capital investment, supply interruption costs, escalation, objective function, optimization, discounted costs.

REFERENCES

1. Belyaev L.S., Marchenko O.V., Filippov S.P., Solomin S.V., Stepanova T.B., Kokorin A.L. World energy and transition to sustainable development. Boston/Dordrecht/London, Kluwer Academic Publ., 2002. 276 p.
2. Häfele W., Program Leader. Energy in a finite world: a global systems analysis. Cambridge, Massachusetts: Ballinger Publ. Comp., 1981.
3. Stepanov V.S., Suslov K.V., Chebotnyagin L.M., Moskalenko N.S., Styczynski Z.A. The market approach of demand management in the power system. IEEE Pes Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, 2012. DOI: 10.1109/ISGTEurope.2012.6465747
4. Eroshenko S.A., Samoylenko V.O., Pazderin A.V., Bannykh P.Y. Power system zoning for distributed generation implementation forecasting. 2016 57th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, RTUCON 2016, 2016, DOI: 10.1109/RTUCON.2016.7763100.
5. Idelchik V.I. *Elektricheskie sistemy i seti: ucheb.dlya vuzov* [Electrical systems and networks: textbooks for universities]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1989. 592 p. (In Russian)
6. Karapetyan I.G., Fajbisovich D.L., Shapiro I.M. *Spravochnik po proektirovaniyu elektricheskikh setej* [Handbook of electrical network design]. Moscow, ENAS Publ., 2012, 376 p. (In Russian)
7. Karaev R. I., Volobrinskij S. D., Kovalev N.N. *Elektricheskie seti i energosistemy: uchebnik dlya vuzov zh.-d. transporta* [Electrical networks and power systems: a textbook for universities of railway transport]. Moscow, Transport Publ., 1988, 326 p. (In Russian)
8. Gerasimenko, A.A., Fedin V.T. *Peredacha i raspredelenie elektricheskoy energii* [Transmission and distribution of electrical energy]. Moscow, Feniks Publ., 2008. 715 p. (In Russian)
9. Gerkusov A.A., Makarov V.M. Feasibility study of the choice of parameters and operating modes of the designed power lines. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*. [Bulletin of the Ivanovo State energy University], 2016, no. 2, pp. 66-73. (In Russian)
10. Burlov YU.A. Feasibility study on the use of 6–220 kV package transformer substations. *Radioelektronika, elektrotehnika i energetika* [Radio electronics, electrical engineering and power engineering], 2017, no. 3 (448), p. 341. (In Russian)
11. Varganova A.V. *Tekhniko-ekonomicheskie raschety v elektroenergetike: ucheb.posobie* [Technical and economic calculations in the electric power industry: textbook]. Magnitogorsk, Nosov Magnitogorsk State Technical University Publ., 2016, 57 p.
12. Horolsky V.YA., Taranov M.A., Petrov D.V. *Tekhniko-ekonomicheskie raschety raspredelitelnykh elektricheskikh setej: ucheb.posobie* [Technical and economic calculations of distribution electrical networks: study guide.]. Stavropol, Stavropol State Agrarian University Publ., 2010, 108 p. (In Russian)
13. Horolsky V.YA., Taranov M.A., Petrov D.V. *Tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost modernizatsii raspredelitelnykh elektricheskikh setej: ucheb.posobie* [Technical and economic efficiency upgrade of electricity distribution networks]. Stavropol, Stavropol State Agrarian University Publ., 2010, 132 p. (In Russian)
14. Gulidov S.S. Technological characteristics of agricultural electric networks. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta im. V.P. Goryachkina* [Bulletin of the Moscow State Agro-engineering University named after V.P. Goryachkin], 2009, no. 8-1 (39), pp. 100-101. (In Russian)
15. Stalovich V.V., Radkevich V.N. Technical and Economic Assessment of 6-10/0.4 kV Transformer Sub-Stations with Various Types of High-Voltage Switchgear. *Energetika* [Power industry], 2011, no. 3, pp. 26-40. (In Russian)
16. Khrumshin T.R., Abdulvelev I.R., Kornilov G.P., Krubcov D.S. Electromagnetic compatibility of high power statcom in asymmetrical conditions. 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON – Proceedings, 2015. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7146966.
17. Leshchinskaya T.B., Knyazev V.V. Multicriteria estimation of a technical and economic status of distributive electrical networks. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta im. V.P. Goryachkina* [Bulletin of the Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin], 2010, no. 2 (41), pp. 14-19. (In Russian)
18. Lachkov G.G. On evaluation criteria for backbone electrical network development variants. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2018, no. 2 (133), pp. 123-130.

- (In Russian)
19. Bliznyuk D.I., Plyasunov A.O., Khalyasmaa A.I. Economical comparison of power transmissions for Ural - Siberia connection. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the South Ural State University], 2014, no. 4, pp. 27-30. (In Russian)
 20. Trubicyn V.N., Neklepaev B.N. *Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie vybora strukturnyh skhem i skhem raspredelit'nyh ustroystv elektrostancij* [Feasibility study of the choice of structural diagrams and distribution devices of power plants]. Moscow, MEI (TU) Publ., 2004. 46 p. (In Russian)
 21. Malinina T.V. The problem of choice of the unit cost indicators of energy equipment in terms of inflation. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta* [St. Petersburg State Polytechnic University Journal of Engineering Science and Technology], 2013, no. 1-2 (163), pp. 61-64. (In Russian)
 22. Varganova A.V., Panova E.A., Hatyushina T.V., Kononenko V.S., Bagaeva H.M.; ORU CAD [ORU CAD]. Software registration RF, no. 2018618175, 2018.
 23. Varganova A.V., Panova E.A., Hatyushina T.V., Kononenko V.S., Bagaeva H.M. Development of Electrical Equipment Database of 35-220 kV for "ORU CAD". *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2018, no. 2 (39), pp. 28-33.

Панова Е.А., Ирихов А.С., Дубина И.А., Патшин Н.Т. Расчет экономических составляющих целевой функции алгоритма определения оптимального варианта схемы распределительного устройства подстанции с высшим напряжением 35 кВ и более // *Электротехнические системы и комплексы*. 2019. № 1(42). С. 4-11. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1\(42\)-4-11](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1(42)-4-11)

Panova E.A., Irikhov A.S., Dubina I.A., Patshin N.T. Calculation of Economic Components of Target Function of the Algorithm for Determining the Optimal Option of Scheme of Substations Distribution Device with the High Voltage of 35 kV and Above. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2019, no. 1(42), pp. 4-11. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1\(42\)-4-11](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-1(42)-4-11)