

¹ ООО «ЮГРАЭНЕРГО»² Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПЛОТНОСТЕЙ ТОКА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО РЫНКА НА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

В работе рассмотрен вопрос определения величин экономической плотности тока для проводников марки АС напряжением 35 и 110 кВ и самонесущих изолированных проводников 6–10 кВ. Проанализировано влияние цен на данную продукцию в зависимости от территориальной принадлежности завода-изготовителя и от сечения проводников с использованием известных законов математической статистики. Приведена методика расчета величин экономической плотности тока по значению приведенных затрат на сооружение и обслуживание электрических сетей с учетом фактора надежности электроснабжения. Полученные величины экономической плотности тока предназначены для выбора целесообразных сечений проводников при проектировании новых и реконструкции существующих электрических сетей.

Ключевые слова: экономическая плотность тока, электрическая сеть, сечение проводника, самонесущий изолированный проводник, ущерб от перерыва электроснабжения, приведенные затраты, издержки.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно [1] экономической плотностью тока называется такая плотность, при которой суммарные годовые расходы для данного участка электрической сети будут минимальными. Она прямо пропорциональна капитальным затратам на сооружение и обслуживание и обратно пропорциональна стоимости потерь электрической энергии на данном участке сети.

Экономически обоснованный выбор сечения проводов и кабелей в основном производится по экономической плотности тока. Нормированные значения экономической плотности тока $J_{\text{э}}$ приводятся в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ) [2]. Данные значения получены в середине прошлого столетия и не учитывают изменение стоимости оборудования в условиях рыночной экономики. Также в ПУЭ не приводятся значения экономической плотности тока для самонесущих изолированных проводов (СИП).

Проверке по экономической плотности тока не подлежат: сети промышленных предприятий до 1 кВ при числе часов использования максимума нагрузки предприятий до 4000–5000, ответвления к электроприемникам напряжением до 1 кВ, осветительные сети промышленных предприятий, жилых и общественных зданий, сборные шины электроустановок и ошиновка в пределах открытых и закрытых распределительных устройств всех напряжений, проводники, идущие к резисторам, пусковым реостатам, сети временных сооружений, а также устройства со сроком службы 3–5 лет [2].

Методы расчета экономической плотности тока приводятся в работах Идельчика В.И. [3], Веникова В.А. [4], Герасименко А.А. [5], Блока В.М. [6]. В данных источниках величина экономической плотности тока рассчитывается по величине приведенных затрат, однако в [7] предлагается подход по расчету затрат в течение всего «срока жизни» объекта.

Степень влияния динамики изменения электрической нагрузки и стоимости электрической энергии на величину экономической плотности тока рассмотрена в работах Суворовой И.А. [8, 9].

Новые значения экономической плотности тока для воздушных линий электропередачи (ВЛ) 110 кВ, сооружаемой в III районе по гололеду на стальных одноцепных опорах, были отражены в работе Зуева Э.Н. [10].

В своих трудах Фрайштетер В.П. и Мартынов А.С. указывали на устаревшие значения экономической плотности тока и приводили современные значения для проводов и кабелей нефтепромысловых линий электропередачи (ЛЭП) [11].

Волотковская Н.С. [12] в своей работе отмечает, что расчеты сечения проводов или кабеля по нормированной ПУЭ экономической плотности тока в наше время не дают желаемого минимума суммарных затрат.

В период электрификации СССР вопросами применимости метода экономической плотности тока и методов выбора сечений жил кабелей занимались А.А. Глазунова [13], С.А. Кукель-Краевского [14] и другие.

Универсальные номограммы для выбора сечений проводов по методу экономических токовых интервалов приводятся в статье Ефентьева С.Н. и Зуева Э.Н. [15].

В статье Калимуллиной Р.М. рассматривается существующий метод экономической плотности тока и его недостатки, а именно отсутствие учета максимальной прибыли, срока окупаемости, нормы рентабельности при нынешних экономических условиях [16].

Как известно из [2], значение экономической плотности тока необходимо для проверки проводников. Однако данная величина в основном используется для выбора сечения проводников.

Вопросы по оптимизации эксплуатационных режимов электрических сетей в части выбора экономически целесообразных сечений проводников рассмотрены в работах Пановой Е.А. и Кочкиной А.В. [17–19]. В статье приводится метод по координатного спуска с использованием уточненных моделей воздушных линий электропередачи.

Эффективный и достаточно точный метод экономического выбора медных кабелей рассмотрен в работах зарубежных авторов MinghuiChen, XiangzhenHe, FushuanWen, S.N. Singh [20].

АНАЛИЗ ЦЕНОВОЙ ПОЛИТИКИ СОВРЕМЕННОГО
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО РЫНКА РОССИИ

В настоящее время активно развивают свою деятельность заводы-изготовители, выпускающие кабельно-проводниковую продукцию в разных регионах России. Цены на эти проводники значительно отличаются в зависимости от региона расположения завода, от расположения поставщика и заказчика.

Анализ ценовой политики на проводники марки АС (напряжением до 110 кВ включительно) и СИП (6–10 кВ) проводился при учете вышеперечисленных условий. Для рассмотрения принята продукция следующих заводов и поставщиков: ООО «ЭлМикс», ООО

«ЭТС ЭЛСИС», ООО «Кабельный центр», ООО «Элетех», «ЭТМ», ООО «Сибэлектростиль+», ООО «Энергоцентр-ЕК», ООО «Альфа Кабель», ООО «РТК «Новые Технологии», ООО «ЭлектроКомплект-Сервис», ЗАО «Людиновикабель», АО «Электрокабель» Кольчугинский завод», ООО «ВолгаТехКонтакт» и др.

Сравнительный анализ влияния цен проводился относительно различных сечений проводников и в зависимости от региона. В результате статического анализа найденных по каталожным данным цен получены результаты, приведенные в **табл. 1** для проводников марки АС и в **табл. 2** для СИП (относительно сечений проводников).

Таблица 1

Результаты статистического анализа стоимостных показателей проводников АС

Регион	Среднее значение стоимости 1 м, руб./м, проводника марки АС по регионам России сечением, мм ²						Дисперсия, (руб./м) ²	Математическое ожидание, руб./м	Стандартное отклонение, руб./м	Критерий Кохрена G	G ≤ G _{1-q}	При k=6, f=5, q=0,05, G _{1-q}	S ² напл.
	70	95	120	150	185	240							
Западная Сибирь	63,03	86,91	119,13	155,52	200,50	235	4407,4	143,3	66,4	0,27	<	0,44	143,3
Восточная Сибирь	99,85	106,56	129,84	144,96	158,50	206,80	1531,2	141,1	39,1	0,24	<	0,44	141,1
Центр	79,40	103,81	132,71	187,88	244,66	282,37	6496	171,8	80,6	0,27	<	0,44	171,8
Поволжье	121,9	129,10	122,9	151,05	152,70	184,01	576,2	143,6	24,0	0,21	<	0,44	143,6
Дальний Восток	96,01	81,03	91,9	110,88	131,46	118,95	351,3	105,0	18,7	0,21	<	0,44	105,0
Северо-Запад	55,46	77,13	97,21	128,92	154,91	192,46	2607,9	117,7	51,1	0,27	<	0,44	117,7
Северный Кавказ	39,55	77,86	56,1	91,63	134,27	139,89	1658,7	89,9	40,7	0,26	<	0,44	89,9
Урал	61,67	72,18	90,6	119,93	118,44	150,96	1127	102,3	33,6	0,25	<	0,44	102,3
Крым	41,68	58,82	76,23	89,14	114,86	152,47	1602	88,9	40,0	0,29	<	0,44	88,9

Таблица 2

Результаты статистического анализа стоимостных показателей СИП

Регион	Среднее значение стоимости 1 м, руб./м, проводника марки АС по регионам России сечением, мм ²				Дисперсия, (руб./м) ²	Математическое ожидание, руб./м	Стандартное отклонение, руб./м	Критерий Кохрена G	G ≤ G _{1-q}	При k=4, f=3, q=0,05, G _{1-q}	S ² напл.
	50	70	95	120							
Западная Сибирь	51,5	68,23	98,79	134	1318,7	88,1	36,3	0,38	<	0,68	88,13
Восточная Сибирь	50,7	67,86	90,42	116,01	801,7	81,2	28,3	0,36	<	0,68	81,25
Центр	49,85	63,31	84,28	108,55	657,3	76,5	25,6	0,35	<	0,68	76,50
Поволжье	44,11	59,71	76,04	102,61	625,0	70,6	25,0	0,36	<	0,68	70,62
Дальний Восток	46,91	65,12	76,69	98,38	464,8	71,8	21,6	0,34	<	0,68	71,78
Северо-Запад	46,33	62,07	84,92	106,79	699,4	75,0	26,4	0,36	<	0,68	75,03
Северный Кавказ	49	74	96,50	124	1022,4	85,9	32,0	0,36	<	0,68	85,88
Урал	42,08	54,63	76,07	95,36	553,5	67,0	23,5	0,36	<	0,68	67,04
Крым	38,51	50	66,4	78,06	305,5	58,2	17,5	0,34	<	0,68	58,24

По результатам анализа стоимостей проводников АС и СИП по критерию Кохрена относительно сечений видно, что все дисперсии однородны. Таким образом, при расчете величины экономической плотности тока достаточно учитывать среднее значение стоимости проводников независимо от их сечения.

Как уже было отмечено, проведен анализ влияния цен проводников при условии их изготовления и продажи в разных регионах Российской Федерации. Данный фактор был учтен ввиду значительной территориальной протяженности нашей страны и обязательным исследованием влияния удаленности покупателей от поставщиков. Зависимости средних величин стоимостей для различных регионов РФ (на примере проводника АС-120 и СИП сечением 70 мм²) приведены на рис. 1–2.

Согласно полученным результатам для всех регионов Российской Федерации дисперсии по критерию Кохрена однородны. Критерии Стьюдента для проводов сечением (50–120) мм² находятся в доверительных интервалах, соответственно дисперсии однородны.

Таким образом, при расчете величин экономической плотности тока для проводов марки АС и СИП зависимость стоимости от регионов можно пренебречь, но ввиду значительных изменений стоимостей с размахом в 40% для некоторых сечений для различных регионов, принято решение об учете региональных коэффициентов, определенных в [21]. В работе [22] приведены дополнительные расчеты по рассмотренному вопросу.

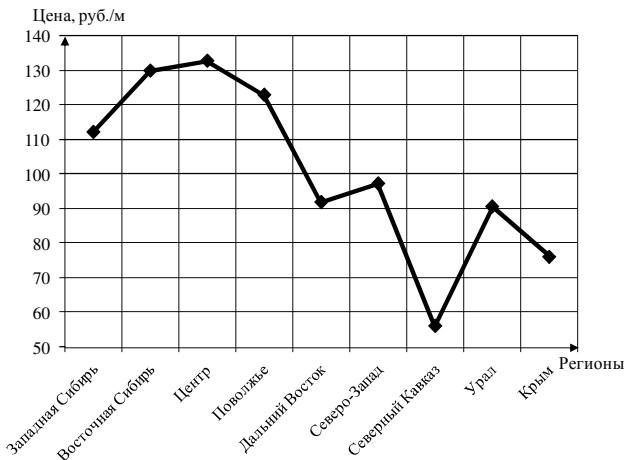


Рис. 1. Зависимость стоимости 1 м проводника марки АС-120 от региона

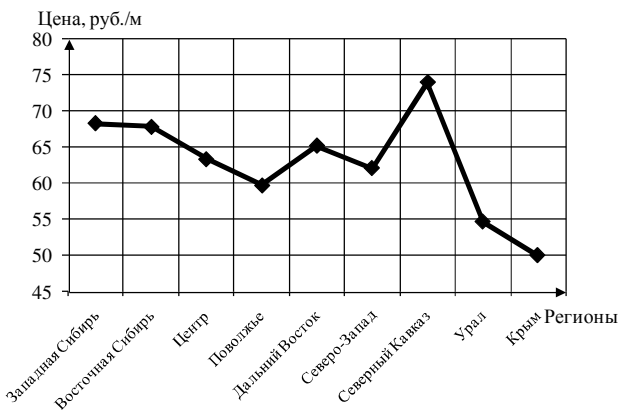


Рис. 2. Зависимость стоимости 1 м проводника марки СИП-3 1x70 от региона

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА

В работе [3] рассматривается подход по определению величин экономической плотности тока по значению приведенных затрат. Однако в этом случае пренебрегают важным фактором – величиной ущерба от перерывов электроснабжения. В условиях рыночной экономики, значительных цен на электроэнергию и весомого влияния электроснабжения на производительность предприятия и, как следствие, на его прибыль становится важным учет ущерба от перерывов электроснабжения. Таким образом, необходимо пользоваться выражением.

$$Z = p_n \cdot K + I + Y, \tag{1}$$

где Z – приведенные затраты, руб./г; $p_n=0,12$ – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений, 1/г; K – единовременные капитальные вложения, необходимые для сооружения сети, руб.; I – ежегодные эксплуатационные расходы, руб./г; Y – ущерб от перерыва в электроснабжении, руб./г.

Стоимость линии зависит от ее длины и определяется по выражению (2).

$$K = K_0 \cdot l, \tag{2}$$

где l – длина линии, км; K_0 – удельные капитальные вложения, руб./км.

$$K_0 = a + bF, \tag{3}$$

где a – капитальные вложения в 1 км линии, не зависящие от сечения, т.е. это затраты на подготовку просеки, на дороги, осушение болот и т.д., руб./км; b – часть удельных капитальных вложений, пропорциональная сечению провода, руб./(км·мм²) (стоимость металла, опор, арматуры); F – сечение проводника, мм².

Ежегодные эксплуатационные расходы находим как сумму издержек на обслуживание, амортизацию и ремонт.

$$I = I_{\Delta P} + I_a + I_p, \tag{4}$$

где $I_{\Delta P}$ – стоимость потерь электроэнергии, руб./г; I_a , I_p – издержки на амортизацию и обслуживание электрической сети, руб./г.

Издержки на обслуживание электрических сетей от сечения проводов линии практически не зависят. Стоимость потерь электроэнергии зависит от сечения и определяется.

$$I_{\Delta P} = \Delta W \cdot \beta = \Delta P_{нб} \cdot \tau \cdot \beta = 3I_{нб}^2 \cdot r_l \cdot \tau \cdot \beta;$$

$$I_{\Delta P} = 3I_{нб}^2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{F} \tau \cdot \beta, \tag{5}$$

где $I_{нб}$ – наибольший рабочий ток линии, А; $\rho = 0,0315$ Ом·мм²/м – удельное сопротивление материала провода (для алюминиевого); $\beta = 2,82$ руб./кВт·ч – стоимость потерь электроэнергии; τ – время наибольших потерь, ч, т.е. время, за которое при работе с наибольшей нагрузкой потери электроэнергии за год те же, что и при работе по реальному графику нагрузок.

Эксплуатационные расходы на амортизацию и текущий ремонт зависят от сечения.

$$I_a + I_p = a_a \cdot K = a_a \cdot (a + bF) \cdot l, \tag{6}$$

где a_a – ежегодные отчисления на амортизацию и текущий ремонт линии в относительных единицах, $1/\Gamma$ [21].

Подставляя (5) и (6) в выражение (4), получим

$$И = 3I_{нб}^2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{F} \cdot \tau \cdot \beta + a_a \cdot (a + bF) \cdot l. \quad (7)$$

Ущерб от перерыва в электроснабжении находится по формуле

$$Y = y_0 \cdot W_y, \quad (8)$$

где y_0 – удельный ущерб от перерыва электроснабжения, $y_0 = 18,3$ руб./кВт·ч [21]; W_y – количество недоотпущенной энергии за время перерыва электроснабжения, кВт·ч.

Количество недоотпущенной энергии определяется

$$W_y = P_y \cdot T_B, \quad (9)$$

где P_y – суммарная наибольшая нагрузка нормального режима, кВт; T_B – среднее время восстановления, ч.

Суммарная нагрузка вычисляется по формуле

$$P_y = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{нб} \cdot \cos \varphi = 3I_{нб}^2 \cdot r \cdot \cos \varphi;$$

$$P_y = 3I_{нб}^2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{F} \cdot \cos \varphi, \quad (10)$$

где $\cos \varphi = 0,9$.

Подставляя (9) и (10) в формулу (8), получим ущерб от перерыва электроснабжения:

$$Y = y_0 \cdot T_B \cdot 3I_{нб}^2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{F} \cdot \cos \varphi. \quad (11)$$

Выражения (7) и (11) подставим в (1), получим:

$$3(F) = (a + bF) \cdot (a_a + p_n) \cdot l +$$

$$+ 3I_{нб}^2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{F} \cdot (\tau \cdot \beta + y_0 \cdot T_B \cdot \cos \varphi). \quad (12)$$

Найдем минимум функцию затрат, приравняв производную к нулю. Для этого продифференцируем $3(F)$ по сечению

$$\frac{d3}{dF} = (a_a + p_n) \cdot b \cdot l +$$

$$+ \frac{3I_{нб}^2 \cdot (\tau \cdot \beta + y_0 \cdot T_B \cdot \cos \varphi) \cdot \rho \cdot l}{F^2} = 0. \quad (13)$$

Из этого выражения выводим сечение проводника

$$F_{эк} = I_{нб} \sqrt{\frac{3(\tau \cdot \beta + y_0 \cdot T_B \cdot \cos \varphi) \cdot \rho}{b \cdot (a_a + p_n)}}. \quad (14)$$

Новая формула экономической плотности тока находится как отношение наибольшего протекающего в линии тока к экономическому сечению

$$J_{эк} = \frac{I_{нб}}{F_{эк}} = \sqrt{\frac{b \cdot (a_a + p_n)}{3(\tau \cdot \beta + y_0 \cdot T_B \cdot \cos \varphi) \cdot \rho}}. \quad (15)$$

ЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА ДЛЯ РАССМАТРИВАЕМЫХ ПРОВОДНИКОВ

На основании разработанной методики расчета, в зависимости от: конструктивных особенностей опор и величины времени наибольших нагрузок для различных регионов Российской Федерации, определены величины экономических плотностей тока.

В качестве примера результаты расчетов приведены в табл. 3 для Центрального региона РФ и в табл. 4 для Урала.

Таблица 3

Значение экономической плотности тока для проводников типа АС для Центра РФ

Тип проводника	Число часов использования максимума нагрузки, ч		
	1000–3000	3000–5000	5000–8760
6–10 кВ (СИП)			
– на металлических опорах	2,0	2,0	2,0
– на железобетонных опорах	2,0	2,0	2,0
35–110 кВ (АС)			
– на металлических опорах одноцепные	1,061	1,060	1,057
– на металлических опорах двухцепные (одна отключена)	1,410	1,407	1,402
– на металлических опорах двухцепные (две отключены)	1,016	1,015	1,013
– на железобетонных опорах одноцепные	1,026	1,025	1,023
– на железобетонных опорах двухцепные (одна отключена)	1,099	1,098	1,096
– на железобетонных опорах двухцепные (две отключены)	0,966	0,965	0,963
– на деревянных опорах одноцепные	1,123	1,122	1,120

Таблица 4

Значение экономической плотности тока для проводников типа АС для Урала

Тип проводника	Число часов использования максимума нагрузки, ч		
	1000–3000	3000–5000	5000–8760
6–10 кВ (СИП)			
– на металлических опорах	1,698	1,693	1,682
– на железобетонных опорах	1,565	1,561	1,551
35–110 кВ (АС)			
– на металлических опорах одноцепные	0,819	0,818	0,816
– на металлических опорах двухцепные (одна отключена)	1,088	1,086	1,082
– на металлических опорах двухцепные (две отключены)	0,784	0,783	0,782
– на железобетонных опорах одноцепные	0,792	0,791	0,789
– на железобетонных опорах двухцепные (одна отключена)	0,848	0,847	0,845
– на железобетонных опорах двухцепные (две отключены)	0,745	0,745	0,743
– на деревянных опорах одноцепные	0,867	0,866	0,864

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был разработан метод расчета величин экономической плотности тока для проводников АС и СИП с учетом фактора надежности электроснабжения. Нормированные значения, приведенные в [1], сильно устарели. В настоящее время прокладка проводов осуществляется по металлическим, железобетонным, деревянным опорам на разных уровнях напряжения, от чего зависят амортизационные отчисления. Так же будут изменяться и расходы на капитальные вложения в строительство и обслуживание линий в зависимости от региона расположения линейного объекта. Исходя из всех этих факторов была разработана новая методика расчета величин экономической плотности тока и получены новые значения $J_{\text{эк}}$ для проводов АС и СИП. На основании полученных значений целесообразно $J_{\text{эк}}$ определять экономически выгодные сечения проводников для вновь вводимых в эксплуатацию сетей и для реконструируемых отдельных их участков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдгоф Б.Г., Соколов Б.А., Соколов Д.В. Электрооборудование промышленных предприятий и установок. Ч. 1. М.: Стройиздат, 1965. 323 с.
2. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. 9-й вып. Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2010. 464 с.
3. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. М.: Энергоатомиздат, 1989. 592 с.
4. Веников В.А., Глазунов А.А., Жуков Л.А. Электрические системы. М.: Высш. шк., 1998. 511 с.
5. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии. Ростов н/Д: Феникс, 2008. 715 с.
6. Блок В.М. Электрические сети и системы. М.: Высш. шк., 1986. 430 с.
7. Dhillon B. S. Life Cycle Costing for Engineers. London – New York, CRC Press, 2010.
8. Суворова И.А., Черепанов В.В. Определение экономической плотности тока в современных условиях для линий 6–35 кВ // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 6. URL: <http://research-journal.org/?p=4404>.
9. Suvorova I., Cherepanov V., Basmanov V. Peculiarity of Determination of Economic Current Density Values for 6 – 35 kv Power Lines Under Modern Conditions // Applied Mechanics and Materials. 2015. N792, pp. 300–304.
10. Зуев Э.Н. Выбор основных параметров линий электропередачи районных электрических сетей в современных условиях. М.: Информэлектро, 2003. 64 с.
11. Фрайштетер В.П., Мартыянов А.С. Выбор экономически обоснованного сечения проводов и жил кабелей линий электропередачи при проектировании // Нефтяное хозяйство. 2011. №4. С. 117 – 121.
12. Волотковская Н.С. Выбор сечения ЛЭП по минимуму затрат // Вестник ЯГУ. 2006. Т. 3, №3. С. 52–55.
13. Глазунов А.А. Электрические системы и сети. М.: Госэнергоиздат, 1960. 368 с.
14. Кукель-Краевский С.А. Электроэнергетическая система. Ч. 1. Теоретические основы технико-экономического проектирования. М: ГОНТИ, 1938. 441 с.
15. Ефентьев С.Н., Зуев Э.Н. Экономические токовые интервалы сечений проводов воздушных линий – вчера, сегодня, завтра // Электро. 2005. №3. С. 43–48.
16. Калимуллина Р.М. Выбор сечения проводников по экономической плотности тока // Инновационная наука. 2016. №1. С. 55–56.
17. Kornilov G.P., Panova E.A., Varganova A.V. The Algorithm of Economically Advantageous Overhead Wires Cross Section Selection Using Corrected Transmission Lines Mathematical Models // Procedia Engineering. 2015. N 129, pp. 951–955.
18. Панова Е.А., Кочкина А.В. Постановка задачи выбора оптимальных сечений проводников электрических сетей с использованием уточненной схемы замещения воздушных линий электропередачи // Электротехника. Электротехнология. Энергетика: сб. науч. трудов VII Международной научной конференции молодых ученых / Новосибирский государственный технический университет; Межвузовский центр содействия научной и инновационной деятельности студентов и молодых ученых Новосибирской области. Новосибирск, 2015. С. 225–228.
19. Методика выбора оптимальных сечений проводников электрических сетей 35–220 кВ / Христофоров Д.А., Хужина З.Б., Варганова А.В., Дубина И.А. // Энергетические и электротехнические системы. 2015. №3 (24). С. 49–52.
20. Vaskovskaya T.A. Possibility of Controlling Nonregulated Prices in the Electricity Market by Means of Varying the Parameters of a Power System // Thermal Engineering. 2014. N13, pp. 977–980.
21. Карапетян И.Г., Файбисович Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2012. 376 с.

Поступила в редакцию 05 июля 2017 г.

INFORMATION IN ENGLISH

CALCULATION OF ECONOMIC CURRENT DENSITY IN THE MODERN ELECTRICAL ENGINEERING MARKET

Zaliya B. Khuzhina

Project engineer, LLC “YUGRAENERGO”

Aleksandra V. Varganova

Associate Professor of Industrial Power Supply Systems Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

The article considers questions of economic current density design value of a 35-110 kV aluminium-steel conductor and a 6-10 kV self-supporting insulated conductor. The conductor price influence is under consideration taking into account the region and the conductor section. A method of economic current density estimation is designed taking into account supply interruption costs and discounted costs.

Keywords: Economic current density, power system, conduit section, self-supporting insulated conductor, supply interruption costs, discounted costs, costs.

REFERENCES

1. Goldgof B.G., Sokolov B.A., Sokolov D.V. Launcher Electrical Equipment of Industrial Enterprise. Part 1. Moscow: Stroyizdat, 1965. 323 p. (In Russian)

2. Operational Code for Electrical Installations. PUE-7. Novosibirsk: Sib.univer. izd-vo, 2010. 464 p.
3. Idelchik V.I. Electric Power Systems and Grids. Moscow: Energoatomizdat, 1989. 592 p. (In Russian)
4. Venicov V.A., Glazunov A.A., Zhukov L.A. Electric Power Systems. Moscow: Vyssh. shk., 1998. 511 p. (In Russian)
5. Gerasimenko A.A., Fedin V.T. Electrical Power Distribution and Transmission. Rostov-on-Don: Feniks, 2008. 715 p. (In Russian)
6. Blok V.M. Electric Power Systems and Grids. Moscow: Vyssh. shk., 1986. 430 p. (In Russian)
7. Dhillon B. S. Life Cycle Costing for Engineers. London - New York, CRC Press, 2010.
8. Suvorova I., Cherepanov V. Determination of Economic Current Density Values for 6–35 kv Power Lines Under Modern Conditions. *Research journal*. 2013, no. 6. URL: <http://research-journal.org/?p=4404>.
9. Suvorova I., Cherepanov V., Basmanov V. Peculiarity of Determination of Economic Current Density Values for 6–35 kv Power Lines Under Modern Conditions. *Applied Mechanics and Materials*. 2015, no. 792, pp. 300–304. DOI:10.4028/www.scientific.net/AAM.792.300.
10. Zuev E.N. Electricity Transmission Line Sizing of Modern Single-Area Power Grids. Moscow: Informelektro, 2003. 64 p. (In Russian)
11. Frayshteter V.P., Martinov A.S. The Choice of Economically Sound Section of Wires and Cable Conductors of Power Lines During the Design. *Oil Industry*. 2011, no. 4, pp. 117–121. (In Russian)
12. Volotkovskaya N.S. Wire Section Choice Using Minimized Costs. *Vestnik YaGU*. 2006, no. 3, pp. 52–55. (In Russian)
13. Glazunov A.A. Electric Power Systems and Grids. Moscow: Gosenergoizdat, 1960. 368 p. (In Russian)
14. Kukel-Krayevskiy S.A. Electric Power Systems. Part 1. Theory of Maintenance Engineering-and-Economical Designing. Moscow: GONTI, 1938. 441 p. (In Russian)
15. Efentev S.N., Zuev E.N. Economical Current Steps of Section of Wires of Power Lines - Yesterday, Today, Tomorrow. *Electro*. 2005, no. 3, pp. 43–48. (In Russian)
16. Kalimullina R.M. Cross Section Choice Using Economic Current Density. *Innovatsionnaya nauka*. 2016, no. 1, pp. 55–56. (In Russian)
17. Kornilov G.P., Panova E.A., Varganova A.V. The Algorithm Of Economically Advantageous Overhead Wires Cross Section Selection Using Corrected Transmission Lines Mathematical Models. *Procedia Engineering*. 2015, no. 129, pp. 951–955.
18. Panova E.A., Kochkina A.V. Tasking of Economically Advantageous Overhead Wires Cross Section Selection Using Corrected Transmission Lines Mathematical Models. *Elektrotehnika. Elektrotehnologiya. Energetika*. Novosibirsk: NGTU, 2015, pp. 225–228. (In Russian)
19. Khristoforov D.A., Khugina Z.B., Varganova A.V., Dubina I.A. Effective Line Conductor Cross-Section Procedure Under Conditions Electric Networks 35–220 kV. *Energeticheskiye I Elektrotekhnicheskiye Sistemy*. 2015, no. 3(24), pp. 49–52. (In Russian)
20. Vaskovskaya T.A. Possibility of Controlling Nonregulated Prices in the Electricity Market by Means of Varying the Parameters of a Power System. *Thermal Engineering*. 2014, no. 13, pp. 977–980.
21. Karapetian I.G., Faibisovich D.L. Reference-Book on Design of Electric Power Systems. Moscow, ENAS, 2012. 376 p. (In Russian)

Хужина З.Б., Варганова А.В. Определение величин экономических плотностей тока в условиях современного рынка на электротехническое оборудование // Электротехнические системы и комплексы. 2017. № 3(36). С. 23–28. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2017-3\(36\)-23-28](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2017-3(36)-23-28)

Khuzhina Z.B., Varganova A.V. Calculation Of Economic Current Density In The Modern Electrical Engineering Market. *Elektrotekhnicheskiye sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2017, no. 3(36), pp. 23–28. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2017-3\(36\)-23-28](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2017-3(36)-23-28)