

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ТОКОВЫХ ИНТЕРВАЛОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Н.В. Савина, Д.А. Цысь

Амурский государственный университет, г. Благовещенск

Рассматривается целесообразность совершенствования методов экономической плотности тока и развития экономических токовых интервалов на основе применения эффективного тока. Показано, что в современных условиях использование экономической плотности тока и экономических токовых интервалов при выборе сечений проводов воздушных линий приводит к смещению результатов в неоптимальную область и завышению сечений. Это связано с использованием устаревших данных по стоимости воздушных линий, стоимости потерь электроэнергии. Определено, что существенное влияние на точность выбора сечений воздушных линий оказывает достоверность следующих исходных данных: ставки на оплату потерь электроэнергии, графиков токовых нагрузок линии. Выявлены недостатки рассматриваемых методов выбора сечений проводов воздушных линий. Сделан вывод о необходимости разработки нового метода определения сечений воздушных линий, основанного на иных методологических подходах, исключающих недостатки существующих методов экономической плотности тока и экономических токовых интервалов.

Ключевые слова: экономическая плотность тока, график электрических нагрузок, потери электроэнергии, экономические токовые интервалы, эквивалентные годовые расходы, воздушные линии электропередачи.

Введение

Линии электропередачи (ЛЭП) являются одним из основных элементов электроэнергетических систем. Они обеспечивают транспорт электроэнергии от источника к потребителю. С каждым годом требования к ЛЭП возрастают в части надежности, увеличения пропускной способности, а также снижения потерь электроэнергии. Важнейшим параметром линии электропередачи является сечение проводов. С их увеличением возрастают затраты на сооружение линии, но снижаются эксплуатационные расходы, уменьшаются потери электроэнергии. Выбор экономически обоснованных сечений проводов линий электропередачи позволяет снизить издержки на транспорт электроэнергии.

В практике проектирования продолжают использовать методы экономической плотности тока [1] и экономических токовых интервалов [2] для выбора сечений воздушных линий (ВЛ). С момента появления данных методов произошли значительные изменения в определении приведенных народно-хозяйственных затрат на сооружение воздушных линий, основные из которых следующие:

- удельные капиталовложения в сооружение ВЛ;
- нормы амортизационных отчислений на реновацию;
- нормы отчислений на ремонт и обслуживание;
- стоимость потерь электроэнергии, C_0 (в настоящее время ставка на оплату потерь электроэнергии, руб./МВт·ч).

В связи с этим возникла необходимость произвести анализ актуальности использования данных методов в проектной практике.

Целью исследования является определение целесообразности применения и дальнейшего развития методов экономической плотности тока и экономических токовых интервалов в современных условиях.

В соответствии с поставленной целью потребовалось решение следующих задач:

- оценка целесообразности совершенствования метода экономической плотности тока;
- развитие метода экономических токовых интервалов;
- сравнительный анализ выбора сечений проводов ВЛ при различных методических подходах к определению экономических токовых интервалов.

Совершенствование метода экономической плотности тока

Для совершенствования метода экономической плотности тока целесообразно воспользоваться методом условного экстремума. Данный метод основывается на сведении к минимуму эквивалентных годовых расходов, являющихся частным случаем чистого дисконтированного дохода [3], которые можно выразить функцией от сечения проводов:

$$Z(F) = EK(F) + I(F), \quad (1)$$

где $E = 0,1$ – норматив дисконтирования; K – капиталовложения на строительство ВЛ, руб.; F – сече-

ние провода, мм²; И – эксплуатационные издержки на сооружение ВЛ, руб.

Зависимость капиталовложений в строительство ВЛ от сечения выражается только капиталовложениями в провода. Капиталовложения в другие элементы линии, такие как опоры, изоляторы и линейная арматура, можно не учитывать. Это обусловлено применением унифицированных опор, предназначенных для подвески проводов разного сечения.

Эксплуатационные издержки на сооружение ВЛ включают в себя: амортизационные издержки на реновацию, издержки на ремонт и обслуживание, издержки на передачу электроэнергии.

По данным [4] путем аппроксимации была определена линейная зависимость капиталовложений в сталеалюминовые провода марки АС от сечения:

$$K(F) = aF + b, \quad (2)$$

где $a = 713,55$ руб./км, $b = -1251,9$ руб./км – коэффициенты аппроксимации.

Данная зависимость представлена на рис. 1.

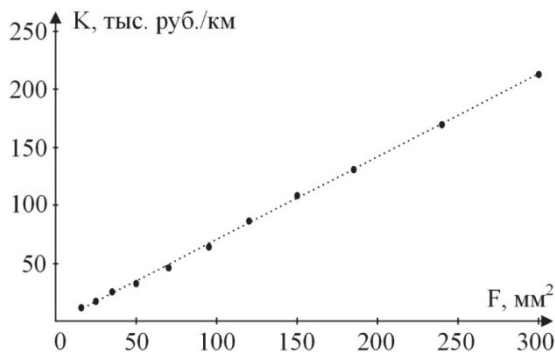


Рис. 1. Зависимость капиталовложений от сечения провода марки АС

Зависимость капиталовложений от сечения провода приведена в качестве примера для проводов марки АС. Такую зависимость можно получить и для проводов других марок, в том числе и последнего поколения.

Целесообразно рассмотреть удельные эквивалентные годовые расходы на км длины ВЛ, тогда в дальнейших рассуждениях длина линий не учитывается.

Функция эквивалентных годовых расходов от сечения примет вид

$$Z(F) = (aF + b)(E + a_{\text{рен}} + a_{\text{ро}}) + 3I_{\text{эф}}^2 \frac{\rho}{F} T_r C_0, \quad (3)$$

где $a_{\text{рен}} = 6,7\%$ – амортизационные отчисления на реновацию для ВЛ на металлических опорах [5]; $a_{\text{ро}} = 0,8\%$ – отчисления на ремонт и обслуживание оборудования для ВЛ 35 кВ и выше на стальных и железобетонных опорах [5]; $I_{\text{эф}}$ – эффективный или среднеквадратичный ток, А; $\rho = 31,5$ Ом·мм²/км – удельное сопротивление сталеалюминовых проводов; $T_r = 8760$ ч – число часов в году.

В отличие от традиционных подходов в данном методе потери электроэнергии определяются через эффективный ток в соответствии с [6, 7].

Эффективный ток определяется по выражению

$$I_{\text{эф}} = k_{\text{ф}} \cdot k_3 \cdot I_{\text{max}}, \quad (4)$$

где $k_{\text{ф}}$ – коэффициент формы графика электрических нагрузок (ГЭН); k_3 – коэффициент заполнения ГЭН; I_{max} – максимальный ток, А.

При известном ГЭН коэффициент формы и коэффициент заполнения определяются по общеизвестным формулам:

$$k_{\text{ф}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^m I_i^2 t_i}{I_{\text{cp}}^2 T}, \quad (5)$$

где I_i – значение тока в i -й час суток t_i , А; $I_{\text{cp}} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^m I_i t_i$ – средний ток, А; T – период расчета потерь электроэнергии, ч.

$$k_3 = \frac{I_{\text{cp}}}{I_{\text{max}}}. \quad (6)$$

Однако при проектировании электрических сетей в большинстве случаев из исходных данных имеется только заявленная мощность потребителя согласно техническим условиям на присоединение. В этом случае можно воспользоваться ГЭН потребителя-аналога, выбираемого по технологическому процессу.

Здесь технологический процесс понимается весьма широко, то есть не только для промышленных предприятий, но и для коммунально-бытовых и других потребителей. Можно перевести его ГЭН в относительные единицы, тем самым повторить форму графика, а далее, воспользовавшись полученным ГЭН и заявленной мощностью, построить график активной мощности нужного потребителя. Аналогичным образом поступают с графиком реактивной мощности. И далее по общеизвестным формулам определяется эффективный ток.

Если при неизвестном графике нагрузки невозможно подобрать потребителя-аналога, то можно воспользоваться [7]. Согласно данному приказу при неизвестном ГЭН коэффициент заполнения графика допускается принимать равным 0,5. Тогда коэффициент формы ГЭН определяется по выражению

$$k_{\text{ф}}^2 = \frac{1+2k_3}{3}, \quad (7)$$

а формула для определения эффективного тока примет вид

$$I_{\text{эф}}^2 = \frac{1+2k_3}{3} k_3 I_{\text{max}}^2. \quad (8)$$

Метод условного экстремума рассматривается для случая, когда ГЭН неизвестен. Суть данного метода заключается в дифференцировании функции $Z(F)$ по F , т. е. используется тот же подход, что и при определении экономической плотности тока. Однако в выражение (3) подставляется значение эффективного тока, определяемого по формуле (8):

$$\frac{dZ(F)}{dF} = a(E + a_{\text{рен}} + a_{\text{ро}}) - (1 + 2k_3)k_3 I_{\text{max}}^2 \frac{\rho}{F} T_r C_0. \quad (9)$$

Далее полученное выражение приравнивается к нулю и из него выражается искомое экономически целесообразное сечение:

$$F = I_{\text{max}} \sqrt{\frac{C_0 \rho T_r (1 + 2k_3) k_3}{a(E + a_{\text{рен}} + a_{\text{ро}})}}. \quad (10)$$

С помощью выше приведенной формулы можно найти экономическую плотность тока, которая будет определяться по выражению:

$$j_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{max}}}{F} = \sqrt{\frac{a(E + a_{\text{рен}} + a_{\text{ро}})}{C_0 \rho T_r (1 + 2k_3) k_3}}. \quad (11)$$

При определении сечения с помощью метода экономической плотности тока [1] и по формуле (11) возникают ситуации, когда расчетное значение сечения попадает между двумя значениями ряда номинальных сечений проводов.

Для уточнения расчета необходимо в формулу эквивалентных годовых расходов подставить два ближайших значения из ряда номинальных сечений, и проверить, какое из них является более выгодным.

Основные отличия описанного выше метода от метода экономической плотности тока заключаются в следующем:

- применение современных тарифных ставок на оплату потерь электроэнергии;
- использование в расчетах T_r вместо времени максимальных потерь электроэнергии (τ). Недостатки метода экономической плотности тока подробно описаны в [8]. Здесь нужно отметить наиболее значимые из них. Экономическая плотность тока не привязана к τ , но так как время максимальных потерь электроэнергии используется в ее расчетах, требуется при определении экономической плотности тока производить деление числа часов использования максимальной нагрузки ($T_{\text{нб}}$) на несколько диапазонов. Также для уточнения выбора сечения экономическую плотность тока необходимо находить для различных групп энергосистем. Все эти уточнения усложняют расчет, являются неудобными и трудоемкими, кроме того, они не учтены в [1]. Погрешности, возникающие при расчете потерь электроэнергии с использованием τ , а также тупиковый путь применения данной величины показаны в [9];
- применение в расчетах современных значений амортизационных отчислений на реновацию, ремонт и обслуживание вместо устаревших.

Сравнение результатов выбора сечения проводов с помощью метода экономической плотности тока и по усовершенствованному методу

В качестве примера были взяты провода марки АС, так как именно для них метод экономической плотности тока изложен в [1].

Сравнение проводится для номинального напряжения 110 кВ при принятом диапазоне числа часов использования максимума нагрузки от 3000 до 5000 ч, тогда плотность тока согласно [1] будет равна 1,1. Чтобы произвести расчет экономической плотности тока по формуле (11), ставка на оплату потерь электроэнергии в электрических сетях принята равной 60,53 руб./МВт·ч [10].

Результаты расчета сведены в табл. 1.

Из выше приведенных результатов сравнения можно сделать вывод о том, что предлагаемая в [1] плотность тока почти в 2,5 раза меньше, чем рассчитанная по формуле (11). Если даже при использовании проводов марки АС возникает такое несоответствие, то что говорить о композитных, аэродинамических и других современных проводах. Использование устаревших значений плотности тока приводит к завышению выбираемого сечения проводов, следовательно, и увеличению стоимости ВЛ. Тем самым при проектировании принимается вариант с экономически невыгодным сечением провода. В качестве примера приведена стоимость 1 км провода марки АС для сечений 70 и 150 мм² [4]:

- 70 мм² – стоимость равна 46 140 руб./км;
- 150 мм² – стоимость равна 107 770 руб./км.

Оценка чувствительности целевой функции $Z(F)$ к точности задания исходной информации

Так как в соответствии с [7] при неизвестном ГЭН $k_3 = 0,5$, необходимо проверить, как влияет величина коэффициента заполнения ГЭН на точность выбора экономически целесообразного значения. Для этого определим чувствительность целевой функции к значению коэффициента заполнения при номинальном напряжении 110 кВ, токе 200 А, ставке на оплату потерь электроэнергии взятой согласно [10]. Влияние коэффициента заполнения на точность определения сечения показано на рис. 2.

По приведенной зависимости можно сделать вывод о том, что коэффициент заполнения значительно влияет на результаты выбора искомого се-

Таблица 1

Выбор сечения с помощью экономической плотности тока

Ток, А	ПУЭ, 7-е изд.		Усовершенствованный метод	
	$j_{\text{эк}}, \text{А/мм}^2$	$F_{\text{эк}}, \text{мм}^2$	$j_{\text{эк.р}}, \text{А/мм}^2$	$F_{\text{эк.р}}, \text{мм}^2$
200	1,1	150	2,7	70
250	1,1	185	2,7	95
300	1,1	240	2,7	120

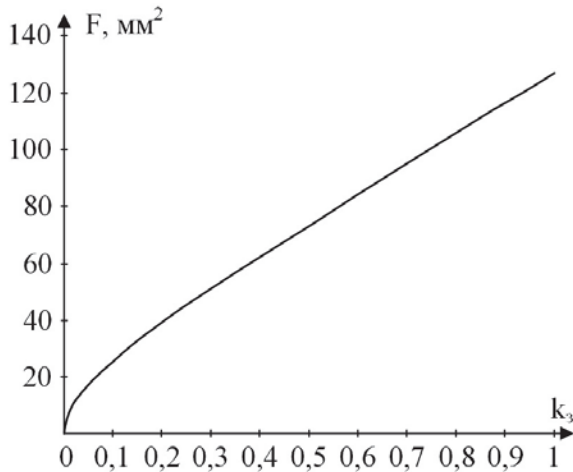


Рис. 2. Зависимость сечения провода от коэффициента заполнения ГЭН

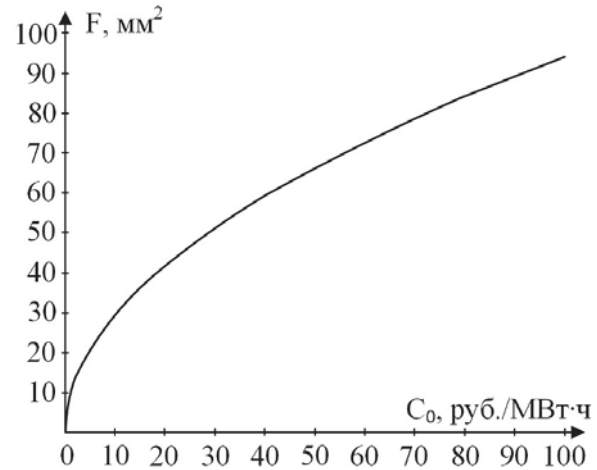


Рис. 3. Зависимость сечения от ставки на оплату потерь электроэнергии

чения и при его неточном задании приводит к неоптимальному решению.

Так как ставка на оплату потерь электроэнергии в электрических сетях разная для каждого субъекта Российской Федерации и меняется в зависимости от номинального напряжения сети, необходимо рассмотреть влияние этой величины на целевую функцию $Z(F)$. Зависимость сечения от ставки на оплату потерь электроэнергии показана на рис. 3.

По результатам расчета можно сделать вывод о том, что данная величина также в значительной мере влияет на результаты выбора искомого сечения, и при неточном её задании появляется существенная погрешность в выборе экономически целесообразного сечения. Отсюда также следует, что экономически выгодное сечение проводов будет разным для различных субъектов РФ.

Следовательно, можно сделать вывод, что метод экономической плотности тока и данные, приведенные в [1], не удовлетворяют современным условиям. Совершенствовать этот метод не имеет смысла, так как целевая функция $Z(F)$ чувствительна к точности задания исходной информации, а значит велика вероятность выбора неоптимального сечения ВЛ. Метод неудобен для проектирования, так как, чтобы получить точный результат, необходимо иметь большое количество достоверной информации. Тем самым теряется основное достоинство метода экономической плотности тока – его простота.

Развитие метода экономических токовых интервалов

Принципиальная разница метода экономических токовых интервалов и метода экономической плотности тока заключается в том, что капитальные вложения в сооружение ВЛ не аппроксимируются в виде зависимости от сечения, также ак-

тивное сопротивление не представляется зависимостью от сечения. В методе экономических токовых интервалов, также как и в методе экономической плотности тока, при определении потерь электроэнергии используется максимальный ток и время максимальных потерь электроэнергии. Это приводит к завышению потерь электроэнергии, поэтому их необходимо определять по эффективному или среднеквадратичному току и времени года.

Исходя из вышесказанного, в соответствии с (9), формула эквивалентных годовых расходов примет вид:

$$Z = K(E + a_{\text{рен}} + a_{\text{ро}}) + (1 + 2k_3)k_3 I_{\text{max}}^2 R_T C_0, \quad (12)$$

где K – удельные капиталовложения в опоры и провода ВЛ, руб./км [4, 11]; R – удельное активное сопротивление провода марки АС, Ом/км [12]. Здесь под I_{max} понимается расчётный ток, определяемый в соответствии с [2].

Далее были построены зависимости эквивалентных годовых расходов от максимального тока для различных сечений и найдены экономические токовые интервалы. Результаты приведены на рис. 4. Токвые интервалы определялись на примере Приморского края для одноцепных металлических опор и проводов марки АС на напряжение 110 кВ. Для некоторых сечений верхняя граница экономического токового интервала превышала длительно допустимый ток провода, поэтому для таких сечений за верхнюю границу интервала принимался длительно допустимый ток провода.

Из графика (см. рис. 4) можно сделать вывод о том, что сечение 120 мм² для провода марки АС является экономически нецелесообразным. Также было выявлено, что капиталовложения в опоры ВЛ не влияют на изменение токовых интервалов, из-за одинаковой стоимости опор для всех рассматриваемых сечений.

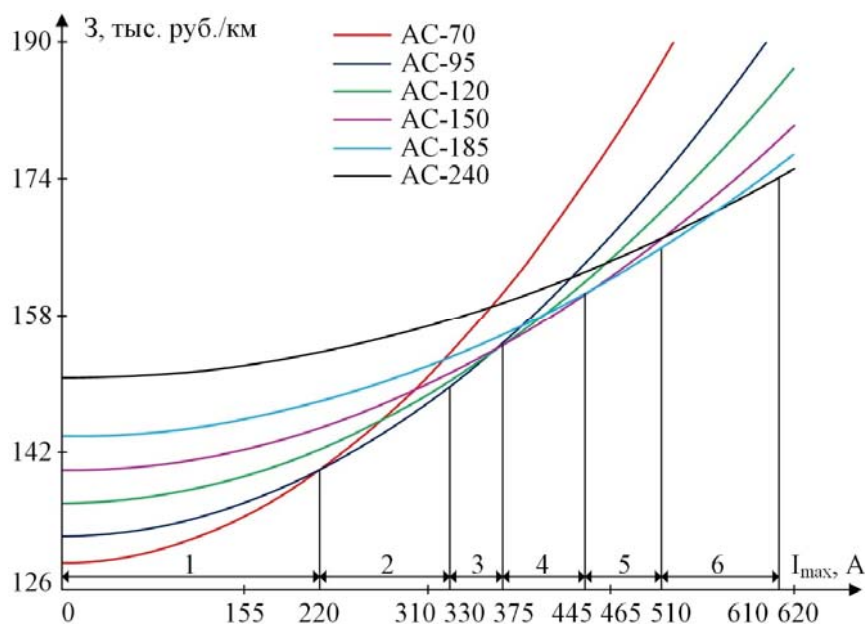


Рис. 4. Экономические токовые интервалы, определяемые по эффективному току: 1 – AC-70; 2 – AC-95; 3 – AC-120; 4 – AC-150; 5 – AC-185; 6 – AC-240

Сравнительный анализ выбора сечений проводов методом экономических токовых интервалов при различных подходах

Рассмотрим метод экономических токовых интервалов, определяемых по расчетному току и времени максимальных потерь в соответствии с [2, 8] с учетом современных условий на примере Дальнего Востока.

Эквивалентные годовые расходы определяются по выражению

$$Z = K(E + a_{\text{рен}} + a_{\text{по}}) + 3I_p^2 R \tau C_0, \quad (13)$$

где I_p – расчетный ток, А. Время максимальных потерь находится по эмпирической формуле [9]

$$\tau = (0,124 + T_{\text{нб}} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760, \quad (14)$$

где $T_{\text{нб}}$ – число часов использования максимальной нагрузки, для Дальнего Востока принято 5000 ч/год [2].

Зависимости среднегодовых эквивалентных расходов от расчетного тока для различных сечений и экономические токовые интервалы показаны на рис. 5.

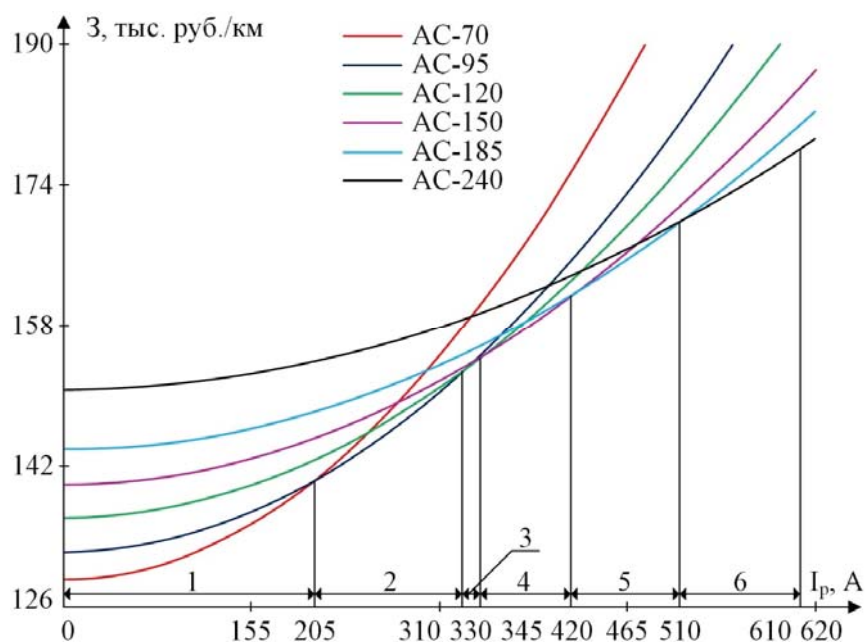


Рис. 5. Экономические токовые интервалы, определяемые по расчётному току и времени максимальных потерь: 1 – AC-70; 2 – AC-95; 3 – AC-120; 4 – AC-150; 5 – AC-185; 6 – AC-240

Таблица 2

Значения экономических токовых интервалов

Варианты расчета	Сечение провода, мм ²					
	70	95	120	150	185	240
По $I_{эф}$ и T_r	0–220	220–330*	330–375	375–445*	445–510*	510–610*
По I_p и τ	0–205	205–330*	330–345	345–420	420–510*	510–610*
Из [2]	–	< 60	–	61–130	–	131–285

* – за верхнюю границу токового интервала принят длительно допустимый ток.

Результаты расчета экономических токовых интервалов, определяемых при развитии метода по эффективному току, в соответствии с классическим подходом, т. е. по максимальному току и τ , но при современных исходных данных, а также их значения из [2] для европейской части страны и Дальнего Востока сведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, применение современных значений капиталовложений, амортизационных отчислений на реновацию, отчислений на ремонт и обслуживание, ставки на оплату потерь электроэнергии приводит к тому, что результаты токовых интервалов, полученные с помощью формулы (13), и данные, приведённые в [2], в значительной степени отличаются друг от друга. Это наглядно видно на примере сечения провода 240 мм². Сравнительный анализ показал, например, что для тока 100 А по данным из [2] сечение провода должно быть 150 мм², при этом же подходе, но с использованием современных исходных данных сечение принимает значение 70 мм², при развитии метода получаем то же значение сечения провода ВЛ, т. е. 70 мм². Использование устаревших данных приводит к завышению искомого сечения почти в 2 раза. Это говорит о том, что значения экономических токовых интервалов, представленных в [2], не соответствуют современным экономическим условиям.

Выводы

1. Применение в расчетах устаревших данных по капиталовложениям, амортизационным отчислениям на реновацию, ремонт и обслуживание, а также по ставке на оплату потерь электроэнергии приводит к завышению искомого сечения проводов ВЛ.

2. Значения экономической плотности тока, приведенные в [1], и значения экономических токовых интервалов, представленные в [2], не удовлетворяют современным экономическим условиям.

3. Совершенствование метода экономической плотности тока и развитие метода экономических токовых интервалов с помощью применения эффективного тока не привело к значительным улучшениям по попаданию сечения провода в оптимальную область, так как точность расчета зависит от достоверности большого числа переменных. В большей степени на точность расчёта влияют коэффициент заполнения графика электрических

нагрузок и ставка на оплату потерь электроэнергии в электрических сетях.

Всё это приводит к тому, что возникает необходимость в создании нового метода выбора сечения проводов ВЛ, в котором бы отсутствовали недостатки рассмотренных методов.

Литература

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е изд. – СПб.: ДЕАН, 2008. – 704 с.
2. Электротехнический справочник: в 4 т. / под общ. ред. В.Г. Герасимова, А.Ф. Дьякова, Н.Ф. Ильинского и др. – 9-е изд., стер. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – Т. 3. – 964 с.
3. Кожевников, Н.Н. Экономика промышленности: учеб. пособие для вузов: в 3 т. / Н.Н. Кожевников, Т.Ф. Басова, Н.С. Чинакаева [и др.]; под ред. А.И. Баранского, Н.Н. Кожевникова, Н.В. Пирадовой. – М.: Изд-во МЭИ, 1998. – Т. 2., кн. 2. – 368 с.
4. ЭлектроКомплект-Сервис. Кабель-Провод. Провод неизолированный. АС. – <https://e-kc.ru/price/provod-as> (дата обращения: 20.12.16).
5. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.
6. Савина, Н.В. Системный анализ потерь электроэнергии в электрических распределительных сетях / Н.В. Савина. – Новосибирск: Наука, 2008. – 228 с.
7. Приказ Минэнерго РФ от 30.12.2008 № 326 (ред. от 01.02.2010) – <http://docs.cntd.ru/document/902143004> (дата обращения 23.12.16).
8. Веников, В.А. Электрические системы. Электрические сети: учеб. для электроэнергет. специальностей вузов / В.А. Веников, А.А. Глазунов, Л.А. Жуков [и др.]; под. ред. В.А. Веникова, В.А. Строева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1998. – 511 с.
9. Железко, Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 176 с.
10. Постановление департамента по тарифам Приморского края № 2/4 от 15 января 2016 года. – <http://docs.cntd.ru/document/432869478> (дата обращения: 23.12.16).
11. Северо-западный завод металлоконст-

рукций. Продукция. Металлические опоры ВЛ и ЛЭП. Промежуточные опоры для ЛЭП 110 кВ типа П110, ПС110. – [http://www.szzmk.ru/produkts/metallicheskie-opory-vl-lep/stoimost-promezhutochnykh-](http://www.szzmk.ru/produkts/metallicheskie-opory-vl-lep/stoimost-promezhutochnykh-opor-dlya-lep-110-kv-phr)

[opor-dlya-lep-110-kv-phr](http://www.szzmk.ru/produkts/metallicheskie-opory-vl-lep-stoimost-promezhutochnykh-opor-dlya-lep-110-kv-phr) (дата обращения: 20.12.16).
12. Идельчик, В.И. Электрические системы и сети: учеб. для вузов / В.И. Идельчик. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.

Савина Наталья Викторовна, д-р техн. наук, профессор, проректор по учебной работе, Амурский государственный университет, г. Благовещенск; nataly-savina@mail.ru.

Цысь Дмитрий Алексеевич, магистрант, кафедра «Энергетика», Амурский государственный университет, г. Благовещенск; dmitriy-tsys@mail.ru.

Поступила в редакцию 12 января 2017 г.

DOI: 10.14529/power170105

EXPEDIENCY ASSESSMENT OF THE APPLICATION OF METHODS ECONOMIC CURRENT DENSITY AND ECONOMIC CURRENT INTERVALS IN MODERN CONDITIONS

N.V. Savina, nataly-savina@mail.ru,

D.A. Tsys, dmitriy-tsys@mail.ru

Amur State University, Blagoveshchensk, Russian Federation

The expediency of improvement of the economic current density and the development of economic current intervals methods based on the application of the effective current is considered. It is shown that in modern conditions, the use of economic current density and economic current intervals when selecting the wire sections for the overhead lines leads to the results shifting suboptimally, thus excessive cross sections. This is due to the use of outdated information on the cost of overhead lines, the cost of electric energy losses. It is determined that the accuracy of overhead lines section selection is largely impacted by the reliability of the following initial data: the cost of the electric energy losses, the scheduled current loads of the line. The disadvantages of these overhead lines wires selection methods are revealed. The conclusion about the necessity to develop a new method for the determining of overhead lines sections based on other methodical approaches, free of the shortcomings of the existing economic current density and economic current intervals methods is drawn.

Keywords: economic current density, schedule of electrical loads, losses of electric energy, economic current intervals, equivalent annual costs, overhead power lines.

References

1. *Pravila ustroystva elektroustanovok (PUE)* [Rules for Electrical Installation (PUE)]. 7th ed. St. Petersburg, DEAN Publ., 2008. 704 p.
2. Gerasimov V.G., D'yakov A.F., Il'inskiy N.F., Labuntsov V.A., Morozkin V.P., Orlov I.N., Popov A.I., Stroev V.A. (Ed.) *Elektrotekhnicheskiy spravochnik. V 4 t. T. 3.* [Electrotechnical Reference Book. 4 volumes, Vol. 3]. 9th ed., stereotyped. Moscow, MEI Publ., 2004. 964 p.
3. Kozhevnikov N.N., Basova T.F., Chinakaeva N.S. et al. *Ekonomika promyshlennosti: uchebnoe posobie dlya vuzov. V 3 t. T. 2.Kn. 2.* [Economics of Industry: University Textbook. 3 volumes, Vol. 2, Bk. 2]. Moscow, MEI Publ., 1998. 368 p.
4. *ElektroKomplekt-Servis. Kabel'-Provod. Provod neizolirovannyy. AS* [ElektroKomplekt-Service. Wire-Cable. Bare Wire. AS]. Available at: <https://e-ec.ru/price/provod-as> (accessed 20.12.16).
5. Faybisovich D.L. (Ed.) *Spravochnik po proektirovaniyu elektricheskikh setey* [Electrical Grids Project Reference Book]. 4th ed., updated and revised. Moscow, ENAS Publ., 2012. 376 p.
6. Savina N.V. *Sistemnyy analiz poter' elektroenergii v elektricheskikh raspredelitel'nykh setyakh* [System Analysis of Electric Energy Losses in Electric Distribution Grids]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2008. 228 p.

7. *Prikaz Minenergo RF ot 30.12.2008 № 326 (red. ot 01.02.2010)* [Order of the Energy Ministry of the Russian Federation d.d. 30.12.2008 No. 326 (ed. of 01.02.2010)]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902143004> (accessed 23.12.16).

8. Venikov V.A., Glazunov A.A., Zhukov L.A. et al. *Elektricheskie sistemy. Elektricheskie seti: uchebnyk dlya elektroenergeticheskikh spetsial'nostey vuzov* [Electrical Systems. Electrical Grids: University Textbook for Electric Power Courses]. 2nd ed., updated and revised. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1998. 511 p.

9. Zhelezko Yu.S. *Vybor meropriyatiy po snizheniyu poter' elektroenergii v elektricheskikh setyakh: rukovodstvo dlya prakticheskikh raschetov* [Selection of Measures to Reduce Electric Energy Losses in Electric Grids: Manual for Practical Calculations]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1989. 176 p.

10. *Postanovlenie departamenta po tarifam Primorskogo kraya № 2/4 ot 15 yanvarya 2016 goda* [Decree of Tariff Department of Primorsky district number 2/4 of January 15, 2016]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/432869478> (accessed 23.12.16).

11. *Severo-Zapadnyy Zavod Metallokonstruktsiy. Produktsiya. Metallicheskie opory VL i LEP. Promezhutochnye opory dlya LEP 110 kV tipa P110, PS110* [Northwestern Metal Constructions Plant. Products. Metal Pillars Overhead Lines and Power Lines. Intermediate Pillars for 110 kV Power Lines Type P110, PS110]. Available at: <http://www.szzmk.ru/produkts/metallicheskie-opory-vl-lep/stoimost-promezhutochnykh-opor-dlya-lep-110-kv-.php> (accessed 20.12.16).

12. Idel'chik V.I. *Elektricheskie sistemy i seti: uchebnyk dlya vuzov* [Electrical Systems and Grids: University Textbook]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1989. 592 p.

Received 12 January 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Савина, Н.В. Оценка целесообразности применения методов экономической плотности тока и экономических токовых интервалов в современных условиях / Н.В. Савина, Д.А. Цысь // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2017. – Т. 17, № 1. – С. 34–41. DOI: 10.14529/power170105

FOR CITATION

Savina N.V., Tsys D.A. Expediency Assessment of the Application of Methods Economic Current Density and Economic Current Intervals in Modern Conditions. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 34–41. (in Russ.) DOI: 10.14529/power170105
