



УДК 621.316

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА, ДЛЯ ВЫБОРА СЕЧЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ НОМИНАЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ 20 КВ



## STUDY OF THE ECONOMIC CURRENT DENSITY FOR SELECTING CROSS-SECTIONS OF CONDUCTORS WITH A NOMINAL VOLTAGE OF 20 KV

**Биличенко Аркадий Петрович**

магистр, старший преподаватель  
кафедры энергетические системы,  
Карагандинский государственный  
технический университет

**Нешина Елена Геннадьевна**

магистр, старший преподаватель  
кафедры энергетические системы,  
Карагандинский государственный  
технический университет  
Arkan80@list.ru

**Bilichenko Arkadiy Petrovich**

Master's degree, Senior lecturer  
of the Department of energy systems,  
Karaganda state technical university

**Neshina Yelena Gennadievna**

Master's degree, Senior lecturer  
of the Department of energy systems,  
Karaganda state technical university  
Arkan80@list.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрен вопрос методики выбора сечений проводников и определения технико-экономической целесообразности применения напряжения 20 кВ в современных условиях.

Предложены новые значения экономической плотности тока, соответствующие современным экономическим условиям. Установлено, что при выборе сечений проводов и жил кабелей по экономической плотности тока необходимо учитывать номинальное напряжение сети, и шкалу значений экономической плотности тока необходимо дифференцировать по сравнению с применяемой в настоящее время.

**Ключевые слова:** номинальное напряжение, экономическая плотность тока, сечение проводников, плотность тока, 20 кВ.

**Annotation.** The article deals with the issue of methods for selecting conductor cross-sections and determining the technical and economic feasibility of using 20 kV voltages in modern conditions.

New values of economic current density corresponding to modern economic conditions are proposed. It is established that when choosing the cross sections of wires and cable cores according to the economic current density, it is necessary to take into account the nominal voltage of the network, and the scale of values of the economic current density must be differentiated more than currently used.

**Keywords:** rated voltage, economic current density, conductor cross-section, current density, 20 kV.

Сегодня в Казахстане, как и во всем развивающемся мире строится много новых городских районов, поселков, линий электропередачи в сельской местности, производится реконструкция существующих сетей, т.к. существующие в большинстве городов кабельные и воздушные линии электропередач напряжением 6, 10 кВ не справляются с возросшей нагрузкой и во многих случаях физически изношены. Современные мировые тенденции в развитии электрических сетей свидетельствуют о стремлении многих развитых стран к внедрению более высоких классов напряжения, например, 20 кВ, что позволит уменьшить объем использования цветного металла, уменьшить потери электрической энергии и увеличить дальность ее передачи [1].

Возникает вопрос, на каком напряжении рационально передавать электрическую энергию для характерных групп потребителей? Рассмотрение вопросов, связанных с данной тематикой, имеет как теоретическое, так и практическое значение.

Одной из существующих проблем является отсутствие современных значений экономической плотности тока для выбора проводов и кабелей напряжением 20 кВ. Приведенные в ПУЭ значения не учитывают факта появления проводов СИП, кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и существенного изменения стоимости электрической энергии. Этим обоснуется необходимость исследования экономической плотности тока –  $J_{\text{эк}}$  для сетей 20 кВ в зависимости от изменившейся стоимости электрической энергии, номенклатуры кабельно-проводниковой продукции, роста электрической нагрузки во времени.

Традиционный метод экономически обоснованного выбора сечения проводов и кабелей основан на показателях экономической плотности тока. Предложения по совершенствованию методики технико-экономического обоснования выбора сечений проводников на основе современных стоимостных показателей публиковались неоднократно. Использование устаревших экономических показателей ухудшают технико-экономические показатели сети. Исходные условия для экономически обоснованного сечения проводов и кабелей очевидны: с увеличением сечения возрастает стоимость ЛЭП, но



снижаются потери электрической энергии и соответственно затраты на потерянную электроэнергию. Таким образом, сечение выбирается по критерию минимума дисконтированных затрат на сооружение линии и потери в течение определенного периода ее эксплуатации.

В действующей методике выбора сечений проводов и жил кабелей по экономической плотности тока отсутствуют рекомендации по определению той расчетной нагрузки, по которой следует определять расчетное сечение, кроме общего указания о необходимости учета перспективы развития на срок не менее 5 лет. Кроме того, необходимо учитывать ежегодный рост стоимости электроэнергии [2].

Выбор сечения проводников необходимо осуществлять по некоторому расчетному значению тока, учитывающему изменение нагрузки по годам расчетного периода.

Расчетный ток, А:

$$I_{расч} = I_0 \cdot (1 + q \cdot t), \tag{1}$$

где  $I_0$  – расчетный ток, соответствующий начальному расчетному периоду, А;  $q$  – коэффициент, учитывающий динамику роста нагрузки, о.е.;  $t$  – расчетный период, год.

Исходя из методики определения дисконтированных затрат получается [3],

$$Z = K + \sum_{t=t_0}^{T_p} \frac{I_{o.p.} + I_{пот}}{(1+E)^t} \Rightarrow \min, \tag{2}$$

где  $K$  – капитальные затраты на сооружение линии электропередачи, тыс. тенге;  $T_p$  – расчетный период, год;  $I_{o.p.}$  – издержки на обслуживание и ремонт объекта на шаге  $t$ , тенге;  $I_{пот}$  – издержки на возмещение потерь энергии на шаге  $t$ , тенге;  $E$  – норма дисконта, о.е.

При составлении технико-экономической модели экономической плотности тока принимаются следующие допущения:

1. Линейная зависимость стоимости сооружения 1 км линии ( $K_0$ ) от сечения.
2. Отличием погонного активного сопротивления от омического можно пренебречь.

Экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>, определяется:

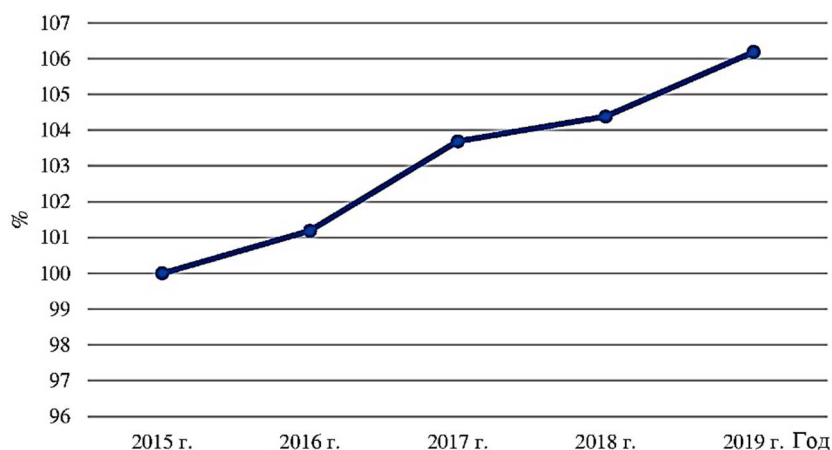
$$J_{ЭК} = \frac{I_{расч}}{F_{ЭКОН}}, \tag{3}$$

где  $I_{расч}$  – расчетный ток, соответствующий начальному расчетному периоду, принимается, что  $I_{расч} = I_0$ , А.

Путем выполнения численных исследований были получены коэффициенты динамики роста нагрузки и стоимости электрической энергии на примере города Нур-Султан, таблица 1, рисунок 1.

**Таблица 1** – Анализ динамики роста электропотребления в г. Нур-Султан

Год	Электропотребление, W, %
2015	100
2016	101,19
2017	103,69
2018	104,38
2019	106,19



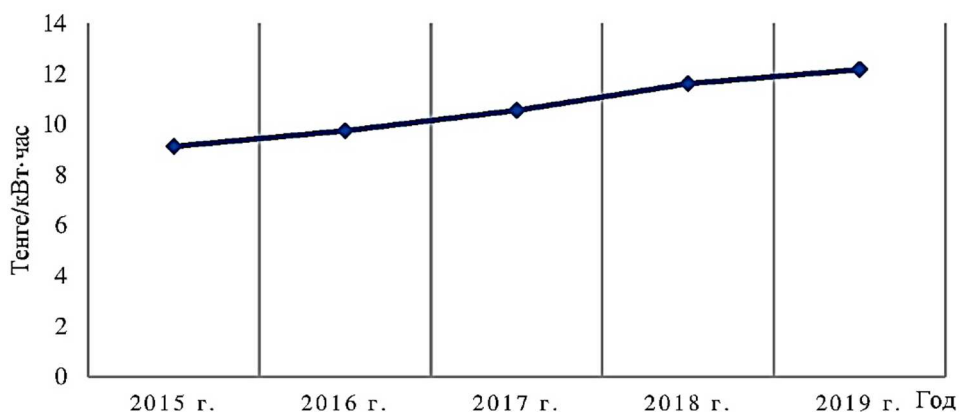
**Рисунок 1** – Анализ динамики роста электропотребления в г. Нур-Султан



В таблице 2 и рисунке 2 приведена динамика роста стоимости электроэнергии с 2015 по 2019 год.

**Таблица 2** – Динамика роста стоимости электроэнергии

Год	СН, тенге/кВт·ч (без учета НДС)
2015	9,12
2016	9,74
2017	10,55
2018	11,60
2019	12,17



**Рисунок 2** – Анализ динамики роста стоимости электроэнергии

В таблице 2 приведены коэффициенты динамики роста нагрузки и стоимости электроэнергии, полученные с помощью аппроксимации приведенных зависимостей.

**Таблица 3** – Коэффициенты динамики роста нагрузки (q) и стоимости электрической энергии (z)

q, о.е	0,0141
z, о.е	0,074

Для сравнения с нормативными показателями экономической плотности тока, приведенными в ПУЭ, производится расчет значений экономической плотности тока при современных стоимостях линий электропередачи и цене электрической энергии. Расчеты выполнены при следующих значениях параметров формулы 2:  $T_p = 5$  лет;  $t_0 = 1$ , т.е. строительство завершается за первый год;  $\alpha_{обсл} = 2,3$  %, стоимость электроэнергии  $C_0 = 12,17$  тенге/(кВт·час), норма дисконта  $E = 0,12$ . Кроме того выполнены расчеты с учетом динамики роста нагрузки и стоимости электроэнергии. Результаты расчетов экономической плотности тока представлены в таблице 4.

**Таблица 4** – Значения экономической плотности тока

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм <sup>2</sup> , при числе часов использования максимума нагрузки в год			
	Более 1000 до 3000	Более 3000 до 5000	Более 5000	
Неизолированные провода и шины напряжением 20 кВ				
алюминиевые	ПУЭ	1,3	1,1	1,0
	Расчет без учета динамики	0,746	0,447	0,301
	Расчет с учетом динамики	0,816	0,495	0,425
Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена 20 кВ				
алюминиевые	Расчет	1,754	1,039	0,667



Анализируя полученные значения экономической плотности тока, можно сделать вывод, что в условиях конкретного проектирования величина экономической плотности существенно отличается от нормированной величины. Так, например, значение экономической плотности тока, приведенное в ПУЭ, [4] для неизолированных алюминиевых проводов и шин при  $T_m = 1000...3000$  часов составляет  $j_{эк} = 1,3$ . Значение экономической плотности тока, рассчитанное на основе реальной стоимости проводов и электроэнергии, составляет  $j_{эк} = 0,746$ . Значение экономической плотности тока, рассчитанное с учетом динамики роста нагрузки и стоимости электрической энергии, составляет  $j_{эк} = 0,816$ . Полученные новые значения экономической плотности тока ближе к значениям, которые приняты в странах с развитой рыночной экономикой [5].

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы: для использования традиционных методик выбора, экономически обоснованного сечения проводов и кабелей на основе экономической плотности тока должны быть пересчитаны таблицы показателей экономической плотности тока для различных вариантов исходных данных. Однако неопределенность большинства технических и экономических показателей, влияющих на экономически обоснованное значение сечения проводов, постоянное изменение стоимости кабельно-проводниковой продукции и строительства ЛЭП, цены на электроэнергию не позволяют рассчитать экономическую плотность так, чтобы они были актуальны в течение длительного периода. Произведенные расчеты показали, что за пять лет значения экономической плотности тока изменяются на 21 %. Поэтому эти таблицы периодически должны обновляться в соответствии с изменением исходных данных.

Существующая тенденция к увеличению цены на электроэнергию, а также стоимости кабельных и воздушных ЛЭП, еще больше снижает значение экономической плотности тока, оправдывая применение больших сечений для эффективного использования электроэнергии. Учет реального значения экономической плотности тока при проектировании кабельных и воздушных линий электропередачи повышает обоснованность принятых решений.

Значения экономической плотности тока должны быть более дифференцированы по времени максимальных нагрузок и приведены на каждую тысячу часов.

Капитальные затраты на линии 10, 20 и 35 кВ имеют разные значения, следовательно, значения экономической плотности тока для различных напряжений не могут быть одинаковыми.

Стоимость электрической энергии влияет на значения экономической плотности тока, а т.к. цены на электроэнергию во всех регионах Республики Казахстан разные, следовательно, значения экономической плотности тока должны быть дифференцированы по конкретным регионам.

Выводы: Получены новые значения экономической плотности тока, соответствующие современным экономическим условиям. Эти значения существенно отличаются от приведенных в ПУЭ, и их рекомендуется применять для выбора сечений проводов линий номинальным напряжением 20 кВ. Установлено, что при выборе сечений проводов и жил кабелей по экономической плотности тока необходимо учитывать номинальное напряжение сети, и шкалу значений Экон необходимо более дифференцировать по сравнению с применяемой в настоящее время.

## Литература

1. Ибрагимова С.В. Электрические сети и системы. – Костанай, 2016. – 137 с.
2. Методические указания по проектированию городских и поселковых электрических сетей : РДС РК 4.04-191-2002.
3. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – М. : ЭНАС, 2009. – 3-е изд., перераб. и доп. – 392 с.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) РК. – Астана, 2017.
5. Oeding D., Oswald B.R. Elektrische Kraftwerke und Netze, 6. Auflage, Springer 2012, 452 p.

## References

1. Ibragimova S.V. Electrical networks and systems. – Kostanai, 2016. – 137 p.
2. Methodical instructions for designing of the city and settlement electric networks : RDS RK 4.04-191-2002.
3. Reference book on designing of the electrical networks / Under edition of D.L. Faibisovich. – M. : ENAS, 2009. – 3rd ed., pererabot. i dop. – 392 p.
4. Rules of electrical installations (PUE) RK. – Astana, 2017.
5. Oeding D., Oswald B.R. Elektrische Kraftwerke und Netze, 6. Auflage, Springer 2012, 452 p.