

УДК 621.315.3-93

Зорин Владлен Владимирович, д-р техн. наук, проф.

Национальный технический университет Украины (КПИ), г. Киев.

Буйный Роман Александрович, канд. техн. наук

Национальный Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов.

Перепеченый Виталий Александрович, канд. техн. наук

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. М. Бекетова,

г. Харьков.

ВЫБОР И РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА МНОГОЭТАЖНОЙ ЗАСТРОЙКИ

Статья посвящается выбору экономически обоснованных параметров кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена методом экономических интервалов.

УДК 621.315.3-93

Зорін Владлен Володимирович, д-р техн. наук, проф.

Національний технічний університет України (КПІ), м. Київ

Буйний Роман Олександрович, канд. техн. наук

Національний Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів

Перепечений Віталій Олександрович, канд. техн. наук

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, м. Харків

Статья посвящается выбору экономично обгрунтованных параметров кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена методом экономических интервалов.

UDK 621.315.3-93

Zorin Vladlen Vladimirovich, Doctor of Engineering**Buyniy Roman Alexandrovich**, Candidate of Engineering**Perepecheniy Vitaliy Alexandrovich**, Candidate of Engineering

SELECTION AND CALCULATION OF POWER SUPPLY SYSTEM OF THE CITY MULTISTORY BUILDINGS

The article is dedicated to research into some aspects improvement of efficiency of distributive networks in city. This article deals with implementation of the method of economic intervals, which facilitates the solution of problems of resource and energy conservation.

Введение

В Украине значительная часть линий электропередач израсходовала свой жизненный ресурс и требует технического переоснащения, реконструкции и замены. Такое состояние электрических сетей, особенно распределительных, является причиной возрастания потерь электрической энергии, ухудшения ее качества, снижения уровня надежности.

В связи с этим следует ожидать в ближайшие годы всевозрастающего объема работ по замене, реконструкции линий электропередач всех напряжений. Важное место при этом занимает решение задач технико-экономического сравнения схем электроснабжения, обоснованного выбора сечений проводов и жил кабелей. Как показывает опыт, эти задачи являются наиболее массовыми и недостаточная их обоснованность может приводить к существенным неоправданным затратам.

При этом следует иметь в виду существующую мировую тенденцию в промышленно развитых странах Европы и Америки, где практически 100 % рынка силовых кабелей занимают новые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена. Такая же тенденция наблюдается в мире при использовании воздушных линий электропередач новых конструкций и новых материалов с композитным сердечником [1, 2].

Объект исследования – технико-экономический выбор систем электроснабжения многоэтажной застройки больших городов.

Цель статьи – показать современные подходы выбора параметров кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена с использованием метода экономических интервалов, а также выбор альтернативных вариантов системы электроснабжения.

Основное содержание

В общем случае, в основу формирования технико-экономической модели электросетевого объекта положим показатель экономической эффективности, такой как приведенные дисконтированные затраты [3].

$$Z = \sum_{t=1}^{T_p} (K_t + I_{\sum t} - K_{ликв})(1 + E)^{-t}, \quad (1)$$

где T_p – расчетный период;

K_t – капиталовложение за год;

$I_{\sum t}$ – суммарные эксплуатационные издержки за год;

E – норматив дисконтирования;

$K_{ликв}$ – ликвидационная стоимость.

Выбор сечений проводов из жил кабелей в соответствии с нормами [6] следует выполнять по экономическим соображениям в сетях выше 1000 В. Самым простым считается метод выбора сечений по экономической плотности тока

$$F = \frac{I_p}{j_{эк}}, \quad (2)$$

где F – экономическое сечение провода, жили кабеля, $мм^2$;

I_p – расчетное значение тока, А;

$j_{эк}$ – нормированная экономическая плотность тока.

Такой подход обладает предельной простотой, однако имеет ряд серьезных недостатков:

- приведенные нормированные значения экономических плотностей тока [7] были установлены еще в 50-х годах прошлого столетия. К настоящему времени стоимостные соотношения (электрооборудования, стоимость электроэнергии) существенно изменились;
- шкала стандартных сечений носит дискретный характер. При определении сечений по $j_{эк}$ найденные экономические сечения проводов и жил кабелей следует округлять до стандартных величин, т. е. метод не дает однозначных решений;
- предложенные значения экономических плотностей тока в зависимости от числа часов использования максимума нагрузки были одинаковыми для всех районов страны, утверждая принцип всеобщей уравниловки. Современная экономическая политика Украины, в основу которой заложены рыночные отношения и требования ресурсо- и энергосбережения, вынуждает при проектировании и строительстве линий электропередач учитывать индивидуальные условия в каждом конкретном случае.

Учитывая это, выбор сечений по нормированным экономическим плотностям тока $j_{эк}$ не может быть рекомендованным для применения при проектировании. Для сечений в сетях выше 1000 В следует пользоваться методом экономических интервалов, который практически свободен от всех перечисленных недостатков метода нормированных плотностей тока [3].

Сущность метода экономических интервалов состоит в определении граничного тока $I_{zp(i-i+1)}$ двух смежных сечений линий и основывается на следующих допущениях:

• линия электропередач сооружается на протяжении первого года строительства при единоразовых капиталовложениях. В этом случае дисконтирование (приведение затрат к одному году) не требуется;

• ежегодное отчисление на обслуживание, стоимость потерь $C_0 = const$ и форма графика нагрузки $T_M = const$ остаются постоянными;

В этих случаях формула затрат становится проще и будет иметь вид [3]

$$Z = (E_n + P_a)K + 3I^2 r_0 C_0 \tau \cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

где K – капиталовложение в строительство;

E_n – нормативный коэффициент эффективности;

C_0 – стоимость потерь электроэнергии, грн/кВт·ч;

P_a – отчисления на амортизацию кабеля;

r_0 – удельное сопротивление жилы кабеля, Ом/км;

τ – время максимальных потерь, ч.

Приравняв затраты смежных сечений кабеля $Z_i = Z_{i+1}$ и решив уравнение относительно тока I , получим значение граничного тока $I_{ep(i,i+1)}$ для сечения F_{i+1} [3]:

$$I_{ep(i,i+1)} = \sqrt{\frac{E_n + P_a}{3C_0 \tau \cdot 10^{-6}}} \cdot \sqrt{\frac{k_{i+1} - k_i}{r_{0i} - r_{0i+1}}} = D \sqrt{\frac{\delta k_{i,i+1}}{\delta r_{0i,i+1}}}. \quad (4)$$

В Украине, в следствие произошедших в стране социально-экономических преобразований, перехода к рыночным отношениям, среди некоторых специалистов сложилось мнение о неправомерности использования приведенных затрат в качестве критерия технико-экономической эффективности выбираемого варианта для электроустановок. При этом во главу угла, при принятии решений, был поставлен критерий не минимизации затрат, а максимизации чистой прибыли. Однако, в результате проведенных дискуссий было установлено, что подходы, информационные технологии, нормативные документы, которые основывались на методе приведенных затрат и использовались в условиях административно-плановой экономики, в современных условиях рыночных отношений не утратила научной и практической ценности и их необходимо применять [5, 7].

При технико-экономическом сравнении вариантов могут не иметь принципиального значения абсолютные характеристики затрат. Важно только, чтобы в расчетах принимались стоимостные показатели в одной экономической системе координат. И еще, одинаковые виды затрат в сравниваемых вариантах могут быть исключены.

Выбор варианта электроустановки по минимуму приведенных затрат дает при последующей эксплуатации максимизацию прибыли, независимо от формы собственности в отрасли. Область применения приведенных затрат должна ограничиваться, как и ранее, лишь технико-экономическим сравнением вариантов электроустановок и не заменять собой показатели экономической деятельности.

Последние годы наблюдается интенсивный рост электропотребления, особенно в больших городах, благодаря высотной застройке новых микрорайонов и широким внедрением мощных электроприборов. Это привело к тому, что наряду с проектированием трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ мощностью трансформаторов 2×630 кВ·А, все чаще применяются современные подстанции с трансформаторной мощностью 2×1000 кВ·А. Так, еще в 2003 году в МКС из 370 вновь введенных трансформаторных подстанций 270 имели трансформаторы 2×1000 кВ·А [8].

К сожалению, ни в действующих нормативных документах, ни в технических журналах не удалось найти обоснование области применения трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ мощностью 2×630 кВ·А и 2×1000 кВ·А. Тем более, что в настоящее время существенно возросли стоимостные показатели электрооборудования, стоимость электроэнергии, широкое использование нового современного электрооборудования (самонесущие

изолированные провода, кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, современная электроаппаратура и др.).

В связи с этим, созрела идея провести полное и тщательное технико-экономическое обоснование двух вариантов системы электроснабжения микрорайона размером 250×200 м, где расположены жилые и общественные здания (рис. 1).

1. Два дома с электроплитами, 24 этажа, 4 секции (А).
2. Два дома с электроплитами, 24 этажа, 2 секции (Б).
3. Четыре дома с электроплитами, 24 этажа, 1 секция (В).
4. Дом с электроплитами, 24 этажа, 2 секции (М).
5. Кинотеатр (К).
6. Школа (Е) и другие помещения (рис. 1) [10].

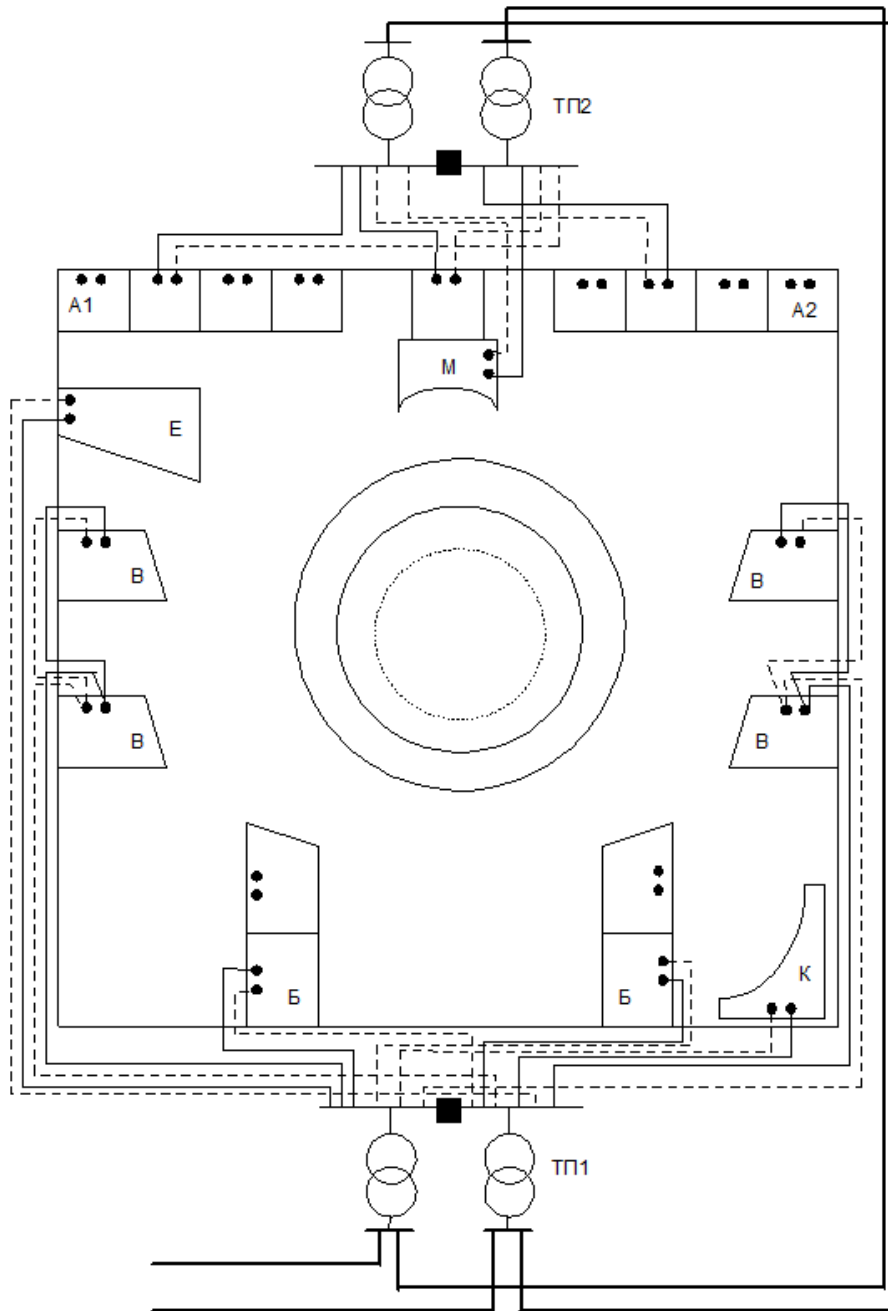


Рис. 1. План и схема электроснабжения микрорайона

Электроснабжение потребителей микрорайона осуществляется от подстанции 110/10кВ, находящаяся на расстоянии 1,5 км. В статье рассмотрено 2 варианта схемы

электроснабжения микрорайона с трансформатором 2×630 кВ·А и 2×1000 кВ·А с АВР на стороне 0,4 кВ.

Определение расчетных электрических нагрузок жилых зданий и общественных помещений осуществлялось с использованием директивного документа "Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення ДБН В.2.5-23-2003, Київ, 2004 р." [9].

Расчетные электрические нагрузки в различных узлах электрической сети определялись в соответствии с рекомендациями ДБН [9].

Для распределительной сети 10 кВ принята двухлучевая схема с трансформаторами 2×1000 кВ·А и АВР на стороне 0,4 кВ. Учитывая, что графики электрических нагрузок в жилых районах существенно неравномерные, то для трансформаторов допускается в послеаварийном режиме перегрузка до (1,6–1,8) $S_{н\ тр}$ и соответственно загрузка в нормальном режиме (0,8–0,9) [10].

В сети 10 кВ применен силовой кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвП. Такие современные кабели обладают несомненными преимуществами перед силовыми кабелями с бумажной пропитанной изоляцией [1]:

- повышенная рабочая допустимая нагрузка, что позволяет увеличить пропускную способность кабеля;
- повышенная стойкость при работе в условиях перегрузок и коротких замыканий;
- возможность прокладки на трассах с неограниченной разностью уровней;
- не содержит масла, битума, свинца, что упрощает монтаж и эксплуатацию кабеля;
- более надежны в эксплуатации и требуют меньших расходов на реконструкцию и содержание кабельных линий;
- меньший вес и допустимый радиус изгиба;
- большая строительная длина кабеля;
- заводы выпускают кабели из сшитого полиэтилена на напряжения от 6 до 500 кВ.

ПУЭ [6] предусматривают проводить выбор сечений проводов и жил кабелей в сетях (6-750 кВ) по экономическим соображениям. В табл. 1 приведены некоторые параметры КЛ-10 кВ трехжильного кабеля марки АПвП и экономические интервалы для конкретного объекта проектирования.

Таблица 1

Параметры КЛ-10 кВ АПвП и экономические интервалы

F_i , мм	50	70	95	120	150	185	240	
K_0 , тыс.грн	81	99	1212	144	171	200	248	Одескабель
r_0 , Ом/км	0,62	0,44	0,326	0,258	0,206	0,167	0,129	Удельные сопротивления
$I_{ep(i,i+1)}$, А	0-84	84-118	118-154	154-193	193-227	227-302	302...	Экономические интервалы

$$T_m = 3000 \text{ ч}, \quad C_0 = 0,51 \text{ грн/кВт} \cdot \text{ч}.$$

В табл. 2 указаны экономические плотности тока средние для каждого интервала тока.

Таблица 2

Средние экономические плотности тока А/мм²

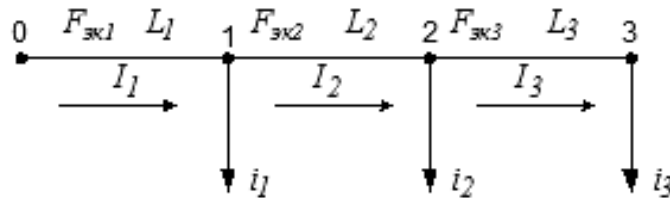
F_i , мм	50	70	95	120	150	185
$i_{эж}$, А/мм ²	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
$I_{ep(i,i+1)}$, А	0-84	84-118	118-154	154-193	193-227	227-302

На рис. 1 изображены план и схема электроснабжения проектируемого микрорайона города для варианта с трансформаторами 2×1000 кВ·А.

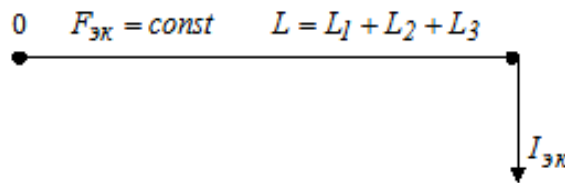
Для обеспечения постоянства экономического сечения по всей длине линии 10 кВ

(рис. 2) необходимо рассчитать эквивалентный ток $I_{эк}$ – это такой условный ток суммарной нагрузки, который будучи приложенным в конце реальной линии длиной L с сечением $F = const$, вызывает в ней такие же потери мощности как и в реальной линии с переменными экономическими сечениями F_i на отдельных её участках [12].

$$I_{эк} = \frac{\sum_1^n I_i L_i}{\sum_1^n L_i} = 81 A. \tag{5}$$



а)



б)

Рис. 2. Расчетная магистральная линия:
а) реальная расчетная линия; б) эквивалентная линия

Найденные значения эквивалентного тока $I_{эк} = 81 A$ соответствует экономическому сечению $F = 50$ (табл. 1), которое практически примыкает к границе следующего интервала сечения $F = 70$. Поэтому с целью снижения потерь мощности в линии принимаем сечение $F = 70$. Найденное экономическое сечение должно быть проверено по техническим ограничениям – по нагреву токами нормального и послеаварийного режимов, а также термической стойкости ТКЗ. Ограничения оказались неактивными, поэтому окончательно принимаем кабель *АПвП* 3×70 [13].

Кабели марки *ААБл* четырехжильные для линий 0,38 кВ выбирались по допустимой потере напряжения на постоянство сечения, с последующей проверкой по нагреву токами в нормальном и послеаварийном режимах.

Аналогичные расчеты были проведены и для варианта схемы электроснабжения с трансформаторами 2×630 кВ·А.

На основании проведенного анализа и выполненных расчетов имеется возможность провести технико-экономический выбор альтернативной схемы системы электроснабжения микрорайона города с использованием трансформаторов 10/0,4 кВ мощностью 1000 кВ·А или 630 кВ·А.

Суммарные приведенные затраты, которые связаны с реализацией схемы электроснабжения микрорайона Z_{Σ} состоят из трех составляющих: $Z_{ТП}$ – затраты на ТП, $Z_{кЛ10}$ – затраты на КЛ 10 кВ, $Z_{кЛ0,38}$ – затраты на КЛ 0,38 кВ.

$$Z_{\Sigma} = Z_{ТП} + Z_{кЛ10} + Z_{кЛ0,38}. \tag{6}$$

$$Z_{ТП} = n_{ТП} [(E_n + P_a) K_{ТП} + \Delta P_T^{K3} \cdot \beta^2 C_0 \tau + \Delta P_T^{XX} C_0 8760]. \quad (7)$$

$$Z_{кл10} = \left[(E_n + P_a) \sum_1^n K_{oi}^{10} l_i + \Delta P_{кл\Sigma}^{10} \cdot C_0 \tau \right]. \quad (8)$$

$$Z_{кл10} = \left[(E_n + P_a) \sum_1^n K_{oi}^{0,38} l_i + \Delta P_{кл\Sigma}^{0,38} \cdot C_0 \tau \right]. \quad (9)$$

В сводной табл. 3 приведены результаты расчетов для двух вариантов схемы электроснабжения микрорайона с трансформаторами 1000 кВ·А и 630 кВ·А.

Таблица 3

Результаты расчета двух вариантов сети

Вариант расчета	Кол-во ТП, шт.	$Z_{ТП}$ тыс. грн	$l_{кл10}$ км	$Z_{\Sigma кл}^{10}$ тыс. грн	$l_{кл0,38}$ км	$Z_{\Sigma кл}^{0,38}$ тыс. грн	Z_{Σ} тыс. грн
ТП-1000	2	436	4	98	1,3	105	639
ТП-630	4	532	4,3	97	0,9	98	727

Как показали результаты расчетов суммарные приведенные затраты варианта сети с трансформаторами 10/0,4 кВ мощностью 1000 кВ·А оказались меньшими варианта с трансформаторами мощностью 630 кВ·А, т.е. схема сети с трансформаторами 1000 кВ·А следует считать более предпочтительной.

Выводы

1. Методическая база технико-экономических расчетов при сравнении вариантов электроустановок показывает, что в качестве критерия оптимальности принимаемых расчетов может быть применен метод минимума приведенных затрат.

2. Методы, нормативные документы, которые основывались на критерии приведенных затрат и использовались в условиях административно-плановой экономики, в современных условиях рыночных отношений, не утратили научной и практической ценности и их можно использовать.

3. Линии электропередач и подстанции в системах электроснабжения обычно сооружаются в течение первого года при единовременных капиталовложениях, то приведенные затраты могут не дисконтироваться.

4. Выбор экономических сечений проводов и жил кабелей следует проводить используя метод экономических интервалов. Это позволяет учитывать дискретность шкалы стандартных сечений и получать однозначные и более обоснованные решения и тем самым способствовать решению проблемы ресурсо- и энергосбережения.

5. Выбор сечения в магистральных кабельных линиях 10 кВ с отбором мощности по длине линии следует рассчитывать используя понятие эквивалентного тока $I_{эк}$. Что позволяет получать экономически обоснованное постоянное сечение жил кабеля по всей длине магистрали.

6. Выбор системы электроснабжения города с высотной застройкой следует проводить в каждом конкретном случае, сравнивая варианты схемы с трансформаторами ТМ-1000 кВ·А и 630 кВ·А.

Список литературы

1. Руководящий материал по сооружению и эксплуатации кабельных линий с использованием кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжении 6–35 кВ.–Харьков. – 2007. – 65 с.
2. Жан-Франко Гофинет Существующие линии не могут обеспечить увеличение пропускной способности.//Transmission, Distribution World. – 2012. – № 4. – С. 18–22.
3. В. В. Зорин К вопросу о выборе параметров линий электропередач//Энергетика: экономика, технология, экология. – 2008. – № 2. – С. 61–67.
4. В. М. Блок Электрические сети и системы. – М: изд. Высшая школа. – 1986. – 341с.
5. М. Ш. Мисреханов и др. О технико-экономическом сравнении вариантов при проектировании// Электрические станции. - 2007. – № 2. – С. 2–8.
6. Правила устройств электроустановок. – М: изд. Энергосервис. – 2002. – 606 с.

7. В. В. Зорин и др. Экономическое обоснование технических решений в системах электроснабжения общего назначения в рыночных условиях//Международный научно-практический семинар.-Минск БНТУ. – 2011. – С. 181–192.
8. Л. Ф. Плетнев внедрение современного электрооборудования на трансформаторных подстанциях Московской кабельной сети // Энергетик. – 2004. – № 4. – С. 18–20.
9. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення ДБН.2,5-23-2003.-2004.-129 с.
10. Інструкція з проектування електромереж 110–0,38 кВ. – Київ. – 2004. – 44 с.
11. Визначення економічної ефективності капітальних вкладів в енергетику ТКБ 340.000.002-97. –Київ.– 1997. – 21.– 21 с.
12. В. В. Зорин, А. А. Квицинский Выбор унифицированных сечений линий электропередач // Розподільні електромережі. Інформаційний збірник. – Київ. – 2009. – № 1. – С. 17– 34.
13. В. В. Зорін, С. А. Штогрін, В. О. Буйний. Електричні мережі та системи // Навчальний посібник для студентів. – Ніжин. – 2011. – 247 с.

Referense

1. *Guidelines for construction and operation of cable lines using cross-linked polyethylene cables with voltage of 6-35 kV [Rukovodyashchiy material po sooruzheniyu liniy s ispolzovaniem sshitogo polietilena na napryazhnii 6-35 kV]* (2007), Kharkiv, 65 p.
2. Jean-Franco Gofinet (2012), "Existing lines can not ensure bandwidth increase", *Transmission, Distribution World*, No. 4, P. 18-22/
3. Zorin V. V. (2008), "Regarding the problem of choice of parameters of power transmission lines" ["K voprosy o vybere parametrov liniy elektropredach"], *Energetika: ekonomika, tekhnologiyi, ekologiya*, No. 2, P. 61–67.
4. Blok, V.M. (1986), *Electrical networks and systems [Elektricheskie seti i sistemy]*, Vysshaya Shkola, Moscow, 341 p.
5. Misrekanov, M.Sh. et al (2007), "On comparison of feasibility of variants in design" ["O tekhniko-ekonomicheskom sravnenii variantov pri proektirovanii"], *Elektricheskie Stantsii*, No. 2, P. 2–8.
6. *Guidelines for devices electric installations [Pravila ustroystva elektroustanovok]* (2002), Energoservis, Kharkiv, 606 p.
7. Zorin, V.V. et al (2011), "Financial justification of engineering solutions in general purpose electricity supply systems in market conditions" ["Ekonomicheskoe obosnovanie tekhnicheskikh resheniy v sistemakh elektrosnabzheniya obshego naznacheniya v rynochnykh usloviyakh"], *International Science-to-Practice Workshop*, BNTU, Minsk, P. 181–192.
8. Pletnev, L.F. (2004), "Introduction of modern electrical equipment in transformer substations" ["Vnedrenie sovremennogo elektrooborudovaniya na transformatornykh podstantsiyakh"], *Energetik*, No. 4, P. 18–20
9. Design of electric equipment of civil facilities DBN.2,5-23-2003 [Proektuvannya elektroobladnannya ob'ektiv tsyvilnogo pryznachennia DBN.2,5-23-2003] (2004), 129 p.
10. Instruction for design of electrical networks 110-0.38 kV [Instruktsiya z proektuvannya elektromerezh 110-0.38 kV], (2004), Kyiv, 44 p.
11. Evaluation of economic effectiveness of capital investment in power industry ТКБ 340.000.002-97 [Vyznachennia ekenomichnoi efektyvnosti vkladiv v energetyku ТКБ 340.000.002-97] (1997), Kyiv, 21 p.
12. Zorin, V.V., Kvitsinskiy, A.A. (2009), "Choice of unified cross-sections of power transmission lines", *Distribution networks. Information collection* ["Vybor unifitsirovanykh secheniy liniy elektropredach", *Rozpodilchi Eleckromerezhny. Informatsiinyi Zbirnyk*], No. 1, Kyiv, P. 17–34.
13. Zorin, V.V., Shtogrin E.A., Byinyi, V.O. (2011), *Electric networks and systems. Textbook for students [Elektrychni merezhi ta systemy. Navchalny posibnyk dlia studentiv]*, Nizhyn, 247 p.

Поступила в редакцию 02.06 2014 г.