

УДК 621.3.051

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ДИСКОНТИРОВАННЫХ ИЗДЕРЖЕК ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ, СЕЛЬСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ

Суворова И. А.

*ФГБОУ ВПО «Вятский государственный университет», Киров, Россия (610000, Киров, ул. Московская, 36), e-mail: iasuvorova@list.ru*

---

Разработана программа расчета для выбора рационального напряжения питания при проектировании городских, сельских и промышленных сетей. Предложенная методика оценки дисконтированных издержек на сооружение систем электроснабжения на различных напряжениях существенно сокращает затраты на проектирование и уменьшает время выполнения. На основании выполненных исследований дисконтированные издержки на элементы системы электроснабжения предлагается представить в виде непрерывной функции в зависимости от передаваемой мощности. Для правильного выбора величины напряжения требуются расчеты сразу по трем напряжениям, что ведет к удорожанию конечной стоимости проекта. При использовании программы проектировщику доступны только пользовательские таблицы Microsoft Excel, в которых есть возможность быстро корректировать стоимость электроэнергии на разных уровнях напряжения, число часов наибольших нагрузок, норму дисконта, состав оборудования, используемого на каждом отдельном значении напряжения.

---

Ключевые слова: дисконтированные издержки, выбор экономически целесообразного напряжения, городские, сельские и промышленные сети.

## DEVELOPMENT OF THE PROGRAM OF CALCULATION OF DISCOUNTED EXPENSES FOR CITY, RURAL AND INDUSTRIAL NETWORKS DESIGN

Suvorova I. A.

*Vyatka State University, Kirov, Russia (610000, Kirov, street Moskvskaya, 36), e-mail: iasuvorova@list.ru*

---

A calculation program for choosing the rational power supply voltage for designing city, rural and industrial networks has been developed. The offered technique of assessment of discounted costs of construction of power supply systems for various voltages substantially reduces the designing expenses and decreases the execution time. On the basis of the investigations carried out by elements of the discounted cost of power supply system is proposed in the form of a continuous function, depending on the transmission power. For right choice of the voltage required calculations on three strains, which increases the cost of the final cost of the project. During the use of the program, only Microsoft Excel user tables are available for the designer, which enable fast correction of electric power costs at various voltage levels, the number of hours of greatest loads, discount norm, types of equipment used for each separate voltage value.

---

Key words: the discounted expenses, a choice of economically expedient tension, city, rural and industrial networks

### Введение

Сегодня в РФ наблюдаются тенденции постоянного роста потребления электрической энергии. Актуальность проблемы обоснуется, с одной стороны, резким ростом плотности электрических нагрузок, как в городских, так и в сельских электрических сетях, существенным ростом стоимости земли, отчуждаемой под строительство подстанций, распределительных устройств и линий 6-35 кВ, а также необходимостью, в соответствии с законом 261-ФЗ от 23.11.2009 г., снижения потерь электроэнергии при ее транспортировке.

Потери при передаче электроэнергии напрямую связаны с применяемым напряжением сети. Поэтому при проектировании сетей стремятся применить экономически целесообразное напряжение с учетом нагрузки и организации сети.

В настоящее время оценка целесообразности применения того или иного уровня напряжения выполняется на основе метода расчета дисконтированных издержек (ДИ). Выполнение полноразмерных расчетов является трудоемким и дорогостоящим процессом. Как правило, затраты на расчет проекта составляют 10 % от общей стоимости проекта, а также требуют большого количества времени на выполнение. Для правильного выбора величины напряжения требуются расчеты сразу по трем напряжениям, что ведет к удорожанию конечной стоимости проекта [3].

Для реализации возможности быстрого расчета стоимости дисконтированных издержек в среде Visual Basic for Applications с использованием пользовательских таблиц Microsoft Excel, в качестве интерфейса, была написана программа, позволяющая в удобной для пользователя форме получить результат для проектируемой сети в трех возможных значениях напряжения.

Исходными данными для расчета являются: генплан местности с указанием мест установки ТП и трасс линий электропередачи, сведения об электрических нагрузках и источниках питания. На основании этих данных составляется граф схемы электроснабжения, который описывается с помощью первой матрицы инцидентий. К сравнению принимаются варианты, обеспечивающие заданный уровень надежности электроснабжения и качество электроэнергии по показателю установившиеся отклонения напряжения. На основании выполненных исследований дисконтированные издержки на элементы системы электроснабжения предлагается представить в виде непрерывной функции в зависимости от передаваемой мощности.

Далее рассчитывается нагрузка элементов СЭС  $S_B$ :

$$[S_B] = [P_B] + j[Q_B] = [C_0][S_y] + [\Delta S'] \quad (1)$$

где:  $[C_0]$  – матрица коэффициентов токораспределения для разомкнутой схемы;  $[S_y]$  – нагрузка трансформаторов;  $[\Delta S']$  – потери мощности в линиях и трансформаторах.

ДИ на систему электроснабжения для каждого напряжения определяются по формуле:

$$ДИ = \sum_{i=1}^n \left( \frac{a_1 \cdot S_i' + b_1}{(1+E)^1} + \frac{a_2 \cdot S_i' + b_2}{(1+E)^2} + \dots + \frac{a_n \cdot S_i' + b_n}{(1+E)^1} \right) + \sum_{j=1}^m K_{зj} + \sum_{k=1}^l K_{зk} \quad (2)$$

После проведения дисконтирования формула приведена к следующему виду:

$$ДИ = \sum_{i=1}^n (a_i \cdot S_i' + b_i) + \sum_{j=1}^m K_{zj} + \sum_{k=1}^l K_{zk} \quad (3)$$

где:  $n$  – число ветвей схемы замещения сети;  $m$  – число трансформаторных подстанций;  $l$  – число источников питания;  $K_{zj}$  – стоимость земли, отведенной под подстанции потребителей;  $K_{zk}$  – стоимость земли, отведенной под источники питания (подстанции 110/10, 20, 35 кВ).

Эти расчеты выполняются для трех номинальных напряжений, и для дальнейшего проектирования выбирается вариант с наименьшими дисконтированными издержками [4].

На рис.1 показаны поля для ввода данных в интерфейсе программы. После подтверждения ввода данных для тех значений напряжения, исходные данные для которых введены, появятся два поля для ввода данных. Первое поле есть матрица инцидентий, в этой матрице на пересечении строки  $j$  и столбца  $i$  ставится величина нагрузки подключенной к трансформаторной подстанции (кВА), если мощность к данной подстанции  $j$  передается по линии  $i$ . При несовпадении ячейку оставляют пустой. Второе поле представляет собой строковую матрицу, в которую вводится длина линий, соответствующая столбцам  $i$ .

	10 кВ	20 кВ	35 кВ
Количество трансформаторных подстанций (ТП)	<input type="text" value="1"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Количество распределительных пунктов (РП)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Количество отпаечных узлов	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Количество главных понизительных подстанций (ГПП)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Площадь ГПП, м2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Стоимость земли под застройку  тыс.руб./м2

Рис.1. Поле для ввода исходных данных о количестве элементов электроснабжения в проектируемой сети

Алгоритм расчета показан на примере расчета дисконтированных издержек для сети, изображенной на рис.2.

На рисунке трансформаторные подстанции обозначены буквами ТП, подключенная к ним нагрузка обозначена в скобках, главная понизительная подстанция, от которой питается проектируемый сетевой район, обозначена буквами ГПП.

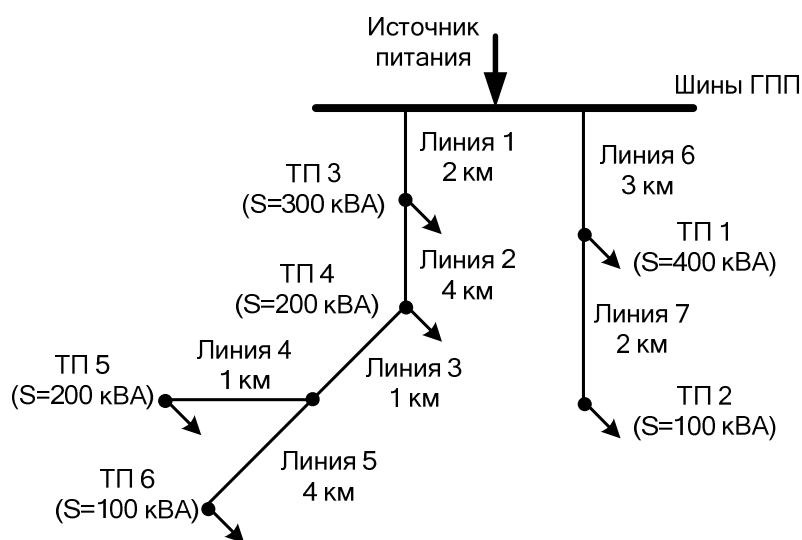


Рис.2. Конфигурация сети

	Линия 1	Линия 2	Линия 3	Линия 4	Линия 5	Линия 6	Линия 7
<i>S, кВА</i> ТП 1						400	
<i>S, кВА</i> ТП 2						100	100
<i>S, кВА</i> ТП 3	300						
<i>S, кВА</i> ТП 4	200	200					
<i>S, кВА</i> ТП 5	200	200	200	200			
<i>S, кВА</i> ТП 6	100	100	100		100		
Узел 7							

	Линия 1	Линия 2	Линия 3	Линия 4	Линия 5	Линия 6	Линия 7
<i>Длина линии, км</i>	2	4	1	1	4	3	2

Рис.3. Пример заполнения первого и второго полей в интерфейсе программы

На рис.3 показан пример ввода исходных данных сети в интерфейсе программы. Для расчета стоимости проекта пользователю необходимо в специально предназначенные ячейки скопировать коэффициенты математических моделей дисконтированных издержек на элементы СЭС, рассчитанных в отдельной программе.

В качестве результата на экране появится таблица, отражающая стоимость каждого рассматриваемого варианта (рис. 4).

1	2	3
<i>U, кВ</i>	<i>ДИ сети с ВЛ, тыс.руб.</i>	<i>ДИ сети с КЛ, тыс.руб.</i>
10	5229,711504	13278,79321
20	5319,348652	14823,44171
35	6111,489714	19927,9718

Рис.4. Вывод результата расчета в интерфейсе программы

На основании полученных данных можно принимать решение о наиболее целесообразном уровне напряжения для проектируемой сети.

Линеаризация затрат приводит к возникновению погрешности при расчете дисконтированных издержек [1]. Для оценки погрешности расчетов по предлагаемой методике было выполнено сравнение результатов расчетов по предлагаемой методике с результатами эталонных расчетов. Эталонным методом называется такой метод, с помощью которого при использовании эталонной математической модели, точных исходных данных и при отсутствии ошибок округления получается точное значение [2]. Сравнение было сделано для фрагмента электрической сети Кировской области [5].

Фрагмент сельской сети включает в себя 30 участков, в узлах подключены трансформаторы мощностью от 40 до 250 кВА, длина участка линий от 0,05 до 4,4 км, количество опор на участках от 1 до 78 шт.

Сравнение результатов расчета представлено в таблице 1.

Таблица 1

Оценка погрешности расчетов по предложенной методике

Способ расчета	<i>ДИ<sup>10кВ</sup>, тыс.руб</i>	Погрешность $\Delta^{10кВ}, \%$	<i>ДИ<sup>20кВ</sup>, тыс.руб</i>	Погрешность $\Delta^{20кВ}, \%$
Эталонный расчет	12592,6	0	13645,09	0
Упрощенный расчет	12013,7	4,51	12316,1	9,7

Таким образом, результаты расчета программы позволяют судить о правильности предлагаемого алгоритма и возможности ее применения при оценке стоимости проекта.

## **Выводы**

1. С помощью описываемой программы реализована упрощенная методика расчета дисконтированных издержек, в которой дисконтированные издержки описываются линейными функциями передаваемой мощности.

2. Погрешность расчетов дисконтированных издержек по предлагаемой методике не превышает 10 %, что вполне приемлемо при проведении оценочных расчетов затрат на варианты систем электроснабжения.

3. Предлагаемая методика и программа позволяют с минимальными затратами труда и времени проектировщиков выбрать рациональное напряжение предлагаемой системы электроснабжения.

## **Список литературы**

1. Идельчик В. И. Расчеты и оптимизация режимов электрических систем и сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Костенко В. А. Выбор конфигурации сети системы внутризаводского электроснабжения с применением метода линеаризации затрат: дис... канд. техн. наук. – М., 1973. – С. 26–39.
3. Лукьянов М. М. Проектирование электроустановок: учеб. пособие / М. М. Лукьянов, А. В. Коношенко; [под ред. М. М. Лукьянова]. – Челябинск: Книга, 2008. – 448 с.: ил. – (Серия «Электроэнергетика, электрика, подготовка персонала»).
4. Суворова И. А. Использование критерия минимума дисконтированных издержек для выбора напряжения питания элемента системы // Электрика. – 2012. – № 9. – С. 26–28.
5. Черепанов В. В., Суворова И. А. Исследование технико-экономической целесообразности применения напряжения 20 кВ в сельских электрических сетях // Электрика. – 2011. – № 11. – С. 17–22.

## **Рецензенты:**

Красных А. А., д. т. н., заведующий кафедрой электротехники и электроники, ФГБОУ ВПО «ВятГУ», г. Киров.

Хорошавин В. С., д. т. н., профессор кафедры электропривода, ФГБОУ ВПО «ВятГУ», г. Киров.