

# **АВТОМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

**Никитин Вадим Игоревич**

студент

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

nikitin@mail.ru

**Нефедов Александр Николаевич**

кандидат технических наук, доцент

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** Была разработана программа на языке visual basic for applications в среде Excel, которая рассчитывает основные характеристики ВЛ от заданного участка.

Программа автоматически рассчитывает каждый участок ВЛ, находит: полную, реактивную и активную мощности, коэффициент мощности, ток, потери напряжения как на участке, так и от начала линии. Так же предлагает рекомендуемое сечение провода по потери напряжения.

**Ключевые слова:** VBA, Excel, ВЛ, потери напряжения, сечение провода, программа.

## Введение

Для того, чтобы выбрать сечения проводов и кабелей для линий, необходимо правильно рассчитать все показатели потребителей на каждом участке и от трансформаторной подстанции до заданного участка. Такими показателями считаются: полная мощность, реактивная мощность, активная мощность, коэффициент мощности, ток и потеря напряжения [1, 2].

Если количество потребителей мало, то описанные выше характеристики можно рассчитать вручную. Но когда участков и потребителей большое количество, то расчет вручную затрудняется, из-за постоянной работы с коэффициентами одновременности и обращения к таблице суммирования [3].

Для решения данной проблемы было принято решение о разработке программы на языке программирования visual basic for applications в среде Excel.

Для расчёта участков линий, используем «Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38–110 кВ сельскохозяйственного назначения» [1].

Расчетные электрические нагрузки однородных потребителей суммируются с коэффициентами одновременности. (таблица 4.1 [1, 4], таблица 4.2 [1, 4], таблица 4.3 [1, 4]).

$$P_{\text{расч}} = (\sum_{i=1}^n P_i) \cdot k \quad (1)$$

где  $P_i$  – мощность потребителя;

$n$  – количество однородных потребителей;

$k$  – коэффициент одновременности.

Если нагрузки неоднородны или однородны, но отличаются по величине более чем в 4 раза, суммирование их рекомендуется производить с помощью добавок к большей слагаемой нагрузки. (таблица 4.7 [1], таблица 4.8 [1])

$$P_{\text{расч}} = P_{1 \text{ max}} + \sum_{i=1}^n \Delta P_i \quad (2)$$

Расчетный коэффициент мощности:

$$\cos\varphi_{\text{расч}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (3)$$

Расчетные полная и реактивная мощность:

$$S_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{расч}}}{\cos\varphi_{\text{расч}}} \quad (4)$$

$$Q_{\text{расч}} = \sqrt{S_{\text{расч}}^2 - P_{\text{расч}}^2} \quad (5)$$

Рабочий ток определяется:

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (6)$$

Сечения проводов по допустимому потере напряжения в проводах определяется с помощью «Электроснабжение сельского хозяйства (сетевая часть): учебное пособие» [2]. Допустимые потери напряжения в реактивных составляющих изолированного провода:

$$\Delta U_p \% = \frac{x_0 \cdot \sum (L_i \cdot Q_{i \text{ расч}})}{U_{\text{ном}}^2} \cdot 100 \% \quad (7)$$

где  $x_0$  – допустимое реактивное сопротивление провода [Ом/км];

$L_i$  – длина участка [м];

$Q_{i \text{ расч}}$  – расчетная реактивная мощность участка [кВАр];

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение сети [В];

$i$  – номер участка.

Допустимые потери напряжения в активных составляющих:

$$\Delta U_{\text{а, доп}} \% = \Delta U_{\text{доп}} \% - \Delta U_p \% \quad (8)$$

$$\Delta U_{\text{а, доп}} (i) \% = \Delta U_{\text{а, доп}} \% \frac{M_i}{\sum M_i} \quad (9)$$

$$M_i = L_i \sqrt{\sum P_{i \text{ расч}}} \quad (10)$$

Расчет сечения провода по допустимой потере напряжения:

$$F_i = \frac{100}{\Delta U_{\text{а, доп}} (i) \%} \cdot \frac{L_i \cdot \sum P_{i \text{ расч}}}{\gamma \cdot U_{\text{ном}}^2} \quad (11)$$

где  $P_{i \text{ расч}}$  – активная мощность [кВт].

$\gamma$  – удельная проводимость провода (для алюминия  $\gamma = 0,032$  [км / Ом · мм<sup>2</sup>]).

После выбора сечения, выполняется проверка на фактическую потерю

напряжения и нагрев [5]:

$$\Delta U_{\text{факт}} \% = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0) \cdot L}{U_{\text{ном}}^2} \cdot 100 \quad (12)$$

$$\Delta U_{\text{факт}} \% \leq \Delta U_{\text{доп}} \% \quad (13)$$

Если условия выполняются, производится проверка на нагрев [5, 6]:

$$I_{\text{раб}} \leq I_{\text{доп}} \quad (14)$$

В Excel с программой на отдельных листах находятся коэффициенты одновременности (Рисунок 1) и добавки для суммирования мощностей (Рисунок 2).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Наименование потребителей	Количество потребителей													
2		2	3	4	5	7	10	15	20	25	50	100	200	500	100000
3	1) Жилые дома с удельной нагрузкой на вводе до 2 кВт/дом	0,76	0,66	0,605	0,55	0,49	0,44	0,4	0,37	0,358	0,3	0,26	0,24	0,22	0,22
4	2) Жилые дома с удельной нагрузкой на вводе свыше 2 кВт/дом	0,75	0,64	0,585	0,53	0,47	0,42	0,37	0,34	0,328	0,27	0,24	0,2	0,18	0,18
5	3) Жилые дома с электроплитами и водонагревателями	0,73	0,62	0,56	0,5	0,43	0,38	0,32	0,29	0,278	0,22	0,17	0,15	0,12	0,12
6	4) Производственные потребители	0,85	0,8	0,775	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,537	0,47	0,4	0,35	0,3	0,3
7	5) Трансформаторные подстанции Сеть 6-20 кВ	0,9	0,85	0,825	0,8	0,78	0,75	0,725	0,7	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
8	6) Трансформаторные подстанции Сеть 35-110 кВ	0,97	0,95	0,925	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Рисунок 1. Лист в Excel «Кэф. Одновременности».

	A	B	C	D
1	U = 380 В		U = 6 - 35 кВ	
2	0	0	1	0,6
3	0,2	0,2	2	1,2
4	0,3	0,2	3	1,8
5	0,4	0,3	4	2,5
6	0,5	0,3	5	3,1
7	0,6	0,4	6	3,7
8	0,8	0,5	7	4,3
9	1	0,6	8	5
10	1,5	0,9	9	5,6
11	2	1,2	10	6,3
12	2,5	1,5	11	7
13	3	1,8	12	7,7
14	3,5	2,1	13	8,4
15	4	2,4	14	9
16	4,5	2,7	15	9,7
17	5	3	16	10,4
18	5,5	3,3	17	11
19	6	3,6	18	11,6
20	6,5	3,9	19	12,3
21	7	4,2	20	13
22	7,5	4,5	21	13,7
23	8	4,8	22	14,4
24	8,5	5,1	23	15,1

Рисунок 2. Лист в Excel «Добавки».

Разберём работу программы на примере (Рисунок 3).

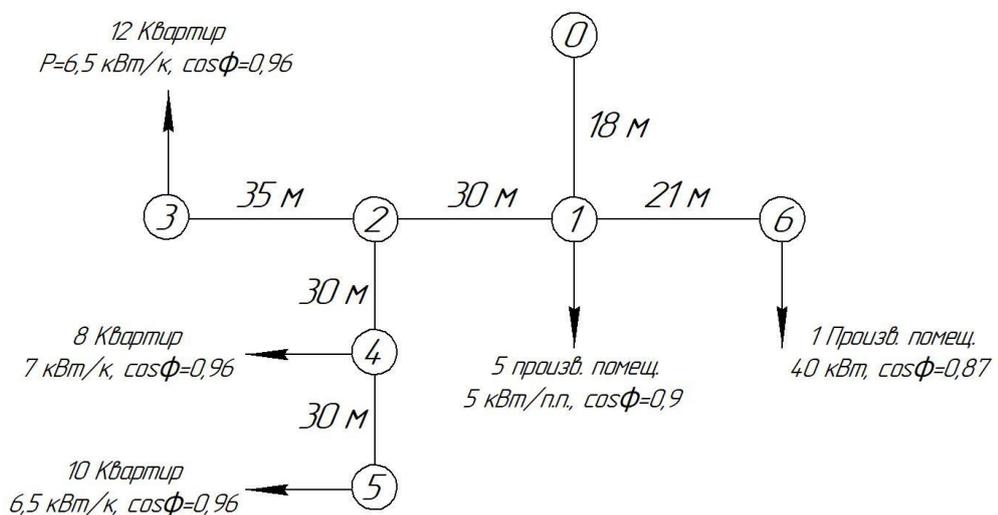


Рисунок 3. Расположение и характеристики потребителей.

Сведём все данные в Excel (Рисунок 4).

Ячейки А6-В... содержат информацию о номере участка. Например, значения в ячейках А7 и В7, это участок 5–4, где 5 – первое число, 4 – второе число. В строке 7 содержится вся информация об этом участке.

В ячейку А3 записывается напряжение сети. В ячейку В3 – норма отклонения напряжения в процентах.

Характер потребителя записывается в соответствии с рисунком 1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Напряжение сети	Норма отклонения напряжения	Примерное реактивное сопротивление провода	удельное сопротивление материала						
2	U, В	$\Delta U_{ном}, \%$	$X_0, Ом/м$	$\gamma, км/Ом-мм^2$						
3	380	5	0,1	0,032						
4	n участок		На n участке			1 потребитель				
5	вх	вых	L, м	Характер потребителя	Кол-во N	$\cos \varphi$	P, кВт	Q, кВАР	S кВА	
6	6	1	21	4	1	0,87	40,000	22,669	45,977	
7	5	4	30	3	10	0,96	6,500	1,896	6,771	
8	4	2	30	3	8	0,96	7,000	2,042	7,292	
9	3	2	35	3	12	0,96	6,500	1,896	6,771	
10	2	1	30							
11	1	0	18	4	5	0,90	5,000	2,422	5,556	

Рисунок 4. Лист Excel «Расчеты». Первая часть.

Проанализировав таблицу, можно заметить, что первое число участка не повторяется в первых числах других участков (6, 5, 4, 3, 2, 1), уменьшается на единицу и заканчивается на 1, в то время как второе число может повторяться на других участках (1, 4, 2, 2, 1, 0) и заканчивается на 0. Первое число всегда больше второго.

Программа начинается с цикла от самого максимального первого числа (от 6), до минимального первого числа (до 1), и рассчитывается построчно сначала для одного потребителя, а потом для N потребителей.

Для одного потребителя: исходя из известных двух величин (для нашего случая –  $\cos\varphi$ , P) находятся остальные две неизвестные (для нашего случая – Q и S) по следующим формулам:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} \quad (15)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (16)$$

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} \quad (17)$$

$$S = \frac{Q}{\sin\varphi} \quad (18)$$

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} \quad (19)$$

Для N потребителей вычисления на участках будут разными.

#### Расчет участка 6–1 для N потребителей.

Программа запоминает активную и полную мощности, кол-во потребителей и характер потребителя рассчитываемого и всех идущих после него участков.

Для того, чтобы понять, есть ли участки дальше, чем участок 6–1, программа ищет число 6 во втором числе всех участков. Так как его не находит, то мы можем утверждать, что за участком 6–1, не следует никаких других участков.

Так как на участке 6–1 находится всего 1 потребитель и за этим участком не следует других, то данные о мощности и коэффициенте переписываются без изменений и дополнительно рассчитывается по формуле (6).

#### Расчет участка 5–4 для N потребителей.

За участком 5–4 не следует других участков, а количество потребителей больше одного.

Программа исходя из таблицы одновременности высчитывает активную мощность по формуле (1), где коэффициент одновременности рассчитывается по линейной интерполяции:

$$k = k_{i-1} + (N - N_{i-1}) \cdot \frac{k_{i+1} - k_{i-1}}{N_{i+1} - N_{i-1}} \quad (20)$$

где  $k_{i-1}$  – ближайший коэффициент одновременности по таблице меньший, чем  $k$ ;

$k_{i+1}$  – ближайший коэффициент одновременности по таблице больший, чем  $k$ ;

$N$  – количество потребителей;

$N_{i-1}$  – ближайшее число потребителей по таблице меньшее, чем  $N$ ;

$N_{i+1}$  – ближайшее число потребителей по таблице большее, чем  $N$ .

Дальнейший расчет производится по формулам (3 – 6).

Расчет участка 4–2 для  $N$  потребителей.

За участком 4–2 следует участок 5–4 (программа находит одно совпадение первого числа (4–2) рассчитываемого участка в участке 5–4). Программа запоминает активную и полную мощности, кол-во потребителей и характер потребителя рассчитываемого и всех идущих за ним участков.

Сравнивает между собой характеры потребителей. Если они отличаются друг от друга или мощности потребителей отличаются более чем в 4 раза, то дальнейшие расчеты будут производиться с помощью таблицы суммирования.

Так как характеры потребителей одинаковы, то вычисления производятся по формулам (20), (1), (3 – 6).

Расчет участка 3–2 для  $N$  потребителей.

Расчет такой же, как и для участка 5–4.

Расчет участка 2–1 для  $N$  потребителей.

Так как для данного участка нет данных, кроме расстояния, то никакие данные не запоминаются. За участком следует разветвление – 3–2 и 4–2. Так же за участком 4–2 следует участок 4–5.

Все участки, после 2–1 суммируются с коэффициентом одновременности, так как характеры потребителей одинаковы. Расчет производится по формулам (20), (1) и (3 – 6).

Расчет участка 1–0 для  $N$  потребителей.

За участком находятся 6–1 и 2–1. Так же у самого участка имеются потребители, которые рассчитываются по формулам (20) и (1). Характеры потребителей различаются. Для вычисления расчётной активной мощности с помощью таблицы суммирования, необходимо найти  $P_{i-1}$ ,  $P_{i+1}$  и произвести расчёт с помощью линейной интерполяции:

$$\Delta P = \Delta P_{i-1} + (P - P_{i-1}) \cdot \frac{\Delta P_{i+1} - \Delta P_{i-1}}{P_{i+1} - P_{i-1}} \quad (21)$$

где  $P$  – активная мощность, для поиска добавки;

$P_{i-1}$  – ближайшая мощность по таблице меньше, чем  $P$ ;

$P_{i+1}$  – ближайшая мощность по таблице больше, чем  $P$ ;

$\Delta P_{i-1}$  – добавка, соответствующая  $P_{i-1}$ ;

$\Delta P_{i+1}$  – добавка, соответствующая  $P_{i+1}$ ;

Дальнейшие вычисления производятся по формулам (21) и (2–6), а результаты записываются в соответствующие ячейки.

### Расчет потери напряжения на участках.

Данные для расчёта рекомендуемого сечения по потере напряжения вычисляются как в главном цикле программы, так и после по формулам (7–11) и записываются на лист «Промежуточные расчеты» (Рисунок 5) [7, 8]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<b>вх</b>	<b>вых</b>		<b>Q-L</b>	<b>Σ(Q-L)</b>	<b>ΔUp,%</b>	<b>ΔUa.доп,%</b>	<b>Mi = P·L</b>	<b>ΣMi</b>	<b>ΔUa.доп (i),%</b>
2	6	1		476,050	2281,821	0,158	4,842	4200,000	32465,038	0,626
3	5	4		216,125				4714,870		0,703
4	4	2		319,743				5734,789		0,855
5	3	2		283,465				5832,307		0,870
6	2	1		463,869				6907,405		1,030
7	1	0		522,569				5075,668		0,757

Рисунок 5. Лист Excel «Промежуточные расчеты»

Для того, чтобы программа произвела расчет потери напряжения на участках и от начала участка, необходимо, чтобы пользователь проанализировал полученные результаты (силу тока и рекомендуемое сечение по потере напряжения), выбрал марки проводов для каждого участка и вписал в соответствующие ячейки активное и реактивное сопротивление выбранного провода. После этого производим запуск программы второй раз. Результаты вычислений показаны на Рисунке 6.

L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
Рассчитать										
<b>N потребителей на участке (расчетное)</b>						<b>Сопrotивление провода</b>		<b>Потери напряжения</b>		
<i>cos φ</i>	P, кВт	Q, кВАР	S кВА	I, А	F, мм <sup>2</sup>	г <sub>о</sub> , Ом/м	х <sub>о</sub> , Ом/м	ΔU <sub>н</sub> , %	ΔU, % От начала	
0,87	40,000	22,669	45,977	69,855	29,021	1,111	0,0802	0,673	1,516	
0,96	24,700	7,204	25,729	39,091	22,805	1,111	0,0802	0,582	3,536	
0,96	36,542	10,658	38,065	57,833	27,738	1,111	0,0802	0,861	2,954	
0,96	27,768	8,099	28,925	43,947	24,180	1,111	0,0802	0,763	2,856	
0,96	53,014	15,462	55,223	83,902	33,409	1,111	0,0802	1,249	2,093	
0,94	79,514	29,032	84,648	128,609	40,916	0,822	0,0794	0,843	0,843	

Рисунок 6. Лист Excel «Расчеты». Вторая часть.

Разработанная программа может служить хорошим помощником при расчётах высоковольтных линий и подборе сечений проводов по потере напряжения. Программа выдаёт большую точность, за счет расчета коэффициентов одновременности и добавок методом линейной интерполяции.



Ссылка на скачивание программы:

[https://yadi.sk/d/k\\_6ICgKBOa5uWg](https://yadi.sk/d/k_6ICgKBOa5uWg)

Пароль от архива: sorve

### Список литературы

1. РД 34.20.178. Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38–110 кВ сельскохозяйственного назначения. Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. Дата актуализации 01.02.2020. – М.: Сельэнергопроект, 2020.

2. Ильин Ю.П., Шерязов С.К., Банников Ю.И. Электроснабжение сельского хозяйства (сетевая часть): учебное пособие; Челябинский гос. агроинж. ун-т. – Челябинск: ЧГАУ, 2006.

3. Горшенин В.И. Особенности профессиональной социализации будущего специалиста среднего звена / В.И. Горшенин // Современные проблемы науки и образования. - 2016. - № 6. - С. 446

4. Нефедов А.Н. Моделирование энергопотребления холодильной установки при хранении сельскохозяйственной продукции / А.Н. Нефедов, А.В. Швылев // Наука и Образование. – 2019. – № 4. – С. 296.

5. Бутенко В.В. Энергоаудит как способ повышения эффективности энергетических ресурсов / В.В. Бутенко, А.Н. Нефедов // В сборнике: Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.А. Солопова. – 2018. – С. 170-173.

6. Кузнецов Е.В. Организационные мероприятия по повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в ООО «Центральное» Никифоровского района Тамбовской области / Е.В. Кузнецов, А.Н. Нефедов // Наука и Образование. – 2020. – № 1. – С. 6.

7. Кузнецов Е.В. Повышение эффективности системы энергосбережения в ООО «Центральное» Никифоровского района Тамбовской области / Е.В. Кузнецов, А.Н. Нефедов // Наука и Образование. – 2020. – № 1. – С. 7.

8. Бутенко В.В. Экономия электрической энергии на трансформаторной подстанции промышленного предприятия / В.В. Бутенко, А.Н. Нефедов // Наука и Образование. – 2019. – № 2. – С. 203.

# AUTOMATIC CALCULATION OF POWER LINES

**Nikitin Vadim Igorevich**

student

Michurinsk State Agrarian University,

Michurinsk, Russia

[nikitin@mail.ru](mailto:nikitin@mail.ru)

**Nefedov Alexander Nikolaevich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Michurinsk State Agrarian University,

Michurinsk, Russia

**Annotation.** A program was developed in visual basic for applications in Excel, which calculates the main characteristics of the overhead line from a given section.

The program automatically calculates each section of the overhead line, finds: full, reactive and active power, power factor, current, voltage losses both on the section and from the beginning of the line. It also offers the recommended cross-section of the wire for voltage loss.

**Key words:** VBA, Excel, overhead line, voltage loss, wire section, program.