

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЗУКУРУПНЕНИЮ СЕЛЬСКИХ ВОЗДУШНЫХ ЭЛЕКТРОЛИНИЙ 6-10 КВ

*Кадыркулов Суеркул Сеитович, к.т.н., профессор, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66, e-mail: [suerkul@mail.ru](mailto:suerkul@mail.ru), orcid.org/0000-0001-5478-0004*

*Рахматулов Ашурали Зокирович, аспирант кафедры “электроэнергетика”, КГРУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66, e-mail: [918191467@mail.ru](mailto:918191467@mail.ru), orcid.org/0000-0002-3050-933X*

*Жусубалиева Бубуканипа Керимовна, к.т.н., доцент, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66, e-mail: [jusubalievak@mail.ru](mailto:jusubalievak@mail.ru), orcid.org/0000-0003-0389-8656*

**Аннотация.** Путем анализа результатов замера суточных режимных показателей работы линий 10 кВ и ТП 10/0,4 кВ показана недопустимо низкий уровень напряжения всуществующих сельских воздушных сетях 0,38-10 кВ и обоснована актуальность реконструкции линий с высокими потерями напряжения путем их разукрупнения. Предлагается методика выбора точек разделения линий на части с образованием новых фидеров, обеспечивающих нормативные уровни напряжения в сети и потребителей.

**Ключевые слова:** линии 10 кВ, подстанции 10/0,4 кВ, потери напряжения, режимные показатели, разукрупнение фидера, точки разделения

## METHODICAL APPROACH TO DECONTAMINATION RURAL AIR ELECTROLINES 6-10 kV

*Kadyrkulov Suerkul Seitovich, Ph.D., Professor, KSTU. I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, pr. Ch. Aitmatov 66, e-mail: [suerkul@mail.ru](mailto:suerkul@mail.ru), orcid.org/0000-0001-5478-0004*

*Rakhmatuloev Ashurali Zokirovich, graduate student of the department "electric power industry", KGRU them. I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Ch. Aitmatov Ave. 66, e-mail: [918191467@mail.ru](mailto:918191467@mail.ru), orcid.org/0000-0002-3050-933X*

*Jusubalieva Bubukanipa Kerimovna, Ph.D., Associate Professor, KSTU. I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, pr. Ch. Aitmatov 66, e-mail: [jusubalievak@mail.ru](mailto:jusubalievak@mail.ru), orcid.org/0000-0003-0389-8656*

**Annotation.** By analyzing the results of measuring daily operating parameters of 10 kV lines and 10 / 0.4 kV TPs, the unacceptably low voltage level of the existing 0.38-10 kV rural air networks is shown and the relevance of the reconstruction of lines with high voltage losses by disaggregating

them is justified. The technique of selecting the points of dividing lines into parts with the formation of new feeders, providing the normative levels of voltage in the network and users, is proposed.

**Keywords:** 10 kV lines, 10 / 0.4 kV substations, voltage loss, operating parameters, feeder downscaling, separation points

Изучение эксплуатационного состояния сельских электросетей

6-10 кВ Кыргызстана и Таджикистана /1,2/, исследование путем замеров показателей их нагрузочных режимов, особенно уровня напряжения показали, что на высокой стороне абсолютного большинства питающ-ихся от них ТП 6-10 /0,4 кВ снижение напряжения значительно ниже /3/, чем допустимый предел - 7,5% /4/ от номинального, из-за чего на низкой их стороне напряжение существенно ниже чем, номинальное 400 В/табл.1/.

Как видно из табл.1, у абонентов ТП фидера 10 кВ независимо от места подключения питающей их ТП к фидеру, даже в середине дня уровень напряжения у абонентов снижается на 18-24 % , а его снижение в вечерние часы доходит до 25-33% . Замеры показывают, что снижение напряжения на шинах вторичной стороны ТП по мере удаления от начала фидера 6-10 кВ становится все значительнее.

Такое положение убедительно доказывает необходимость разработ-отки методических вопросов реконструкции сельских распределительных электросетей. Реконструкция (модернизация) электросетей должна решать комп-лекс задачи по кардинальному улучшению функционирования

Таблица 1 - Замеры суточных режимных показателей ТП 10/0,4 кВ, подключенных к разным точкам по длине фидера 10 кВ (осенне-зимний период 2016-2017гг.)

Мощность ТП, кВА, место установки на фидере 10 кВ	Часы замеров	Фазные токи $I$ (А) и линейное напряжение $U$ (В) на шинах 0,4кВ ТП 10/0,4 кВ						Ток на нулевом проводе $I_0$ (А)	Фазное $U_{\phi}$ , (В) у удаленного абонента	Снижение напряжен. у абонента, $\Delta U_{\phi}$ , в %
		Фаза АВ		Фаза ВС		Фаза АС				
		$I_{a,A}$	$U_{AB}$	$I_{b,A}$	$U_{BC}$	$I_c$	$U_{AC}$			
250 в начале	8-00	365	390	360	390	365	390	30	176,40	-19,82
	13-00	290	390	280	390	300	390	30	180,2	-18,1
	20-00	380	390	400	390	390	390	45	165,2	-25,1
400 в середи-не	8-00	550	370	550	370	550	370	25	160,7	-27,0
	13-00	405	380	405	380	405	380	25	173,4	-21,2
	20-00	560	370	560	370	560	370	20	156,3	-29,0
250 в конце	8-00	360	340	370	340	345	340	45	151,7	-31,0
	13-00	325	350	355	350	320	340	65	166,5	-24,2
	20-00	365	340	405	340	390	340	25	147,6	-32,9

системы электроснабжения, включающим такие технико-экономических показателей, как повышение надежности работы, нормализация режима напряжения на всех участках распределительных электросетей и у потре -бителей, минимизация потерь энергии в элементах сетей и снижение их аварийности. Решение этих задач достигается применением различных средств повышения эффективности работы (СПЭР) электросетей.

Отличительной особенностью задачи реконструкции действующих сельских электросетей 0,38-10 кВ является то, что при практической реализации проектов их

реконструкции не допустимо применение СПЭР **требующих отключения ВЛ 10 кВ и их потребителей на длительное время.** К таким из известных СПЭР в первую очередь относятся замена проводов. Для замены проводов даже короткого фидера длиной 1,5–2 км при рекордном темпе строительного-монтажных работ требуется срок в несколько месяцев.

Поэтому только **разурупнение (деление)** отдельного фидера 6–10 кВ на части с образованием новых фидеров и обеспечение их отдельным питанием является единственно приемлемым СПЭР, позволяющим нормализовать режим напряжения в действующих сетях и на вводах питающихся от них ТП 6–10/0,4 кВ, следовательно и у потребителей сети 0,38 кВ. В зависимости от длины и суммарной нагрузки фидера, ее распределения по его длине он может разделен на 2–3 новых фидера.

Разурупнение конкретных фидеров, отходящих от конкретной распределительной трансформаторной подстанции (РТП) 35-110/6-10 кВ, необходима **разработка методического подхода** для определения точек его разделения и выбора вполне определенного сочетания СПЭР, достаточного для обеспечения вновь образованному фидеру требуемого уровня надежности и эффективности работы.

Для определения необходимости разурупнения конкретных существующих фидеров 6-10 кВ по методике [2] следует расчетным путем оценить распределение потерь напряжения по их длине и установить наличие существенного отклонения ее от допустимых нормативов значений -7,5% [3] для сельских воздушных распределительных электросетей.

Предлагаемую методику **определения точек разделения (разурупнения)** линии покажем на примере фидера на рис.1.

Основные параметры фидера: общая длина  $L_{\Sigma}=24,46$  км, длина магистральной части  $L_{мчф}=17,58$  км, суммарная установленная мощность трансформаторов ТП 10/0,4 кВ  $S_{\Sigma}=8120$  кВА, общее количество ТП  $n=23$ .

Первым шагом методики является определение для конкретного фидера часть длины его МЧФ с конкретным сечением провода и определенной нагрузкой, в пределах которой потери напряжения не превышают нормативную величину -7,5%. Для расчетного определения точки разделения фидера, где снижение напряжения на длине участка МЧФ  $I_{лм}$  от начала фидера с подключенной на нем расчетной нагрузкой  $S_{расч}$  не превышают 7,5%, предложено следующее выражение

$$I_{лм} \cdot S_{расч} = 7,5 / \Delta U_{уд\%} \cdot 10^{-3} , \tag{1}$$

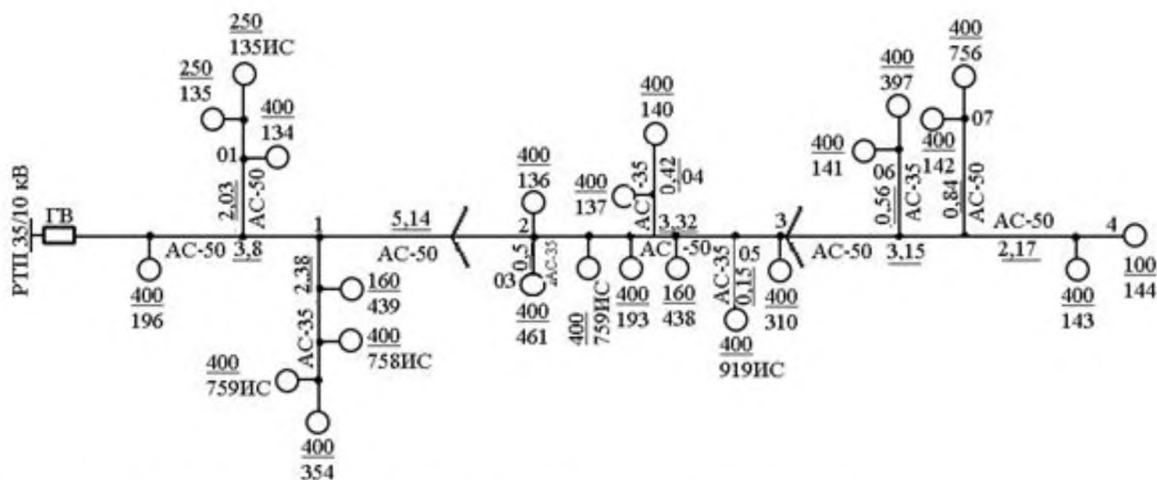


Рис. 1.Схема неразурупненного фидера 10 кВ. Обозначения:

ГВ–головной выключатель фидера

ТП 10/04 кВ ○  $\frac{250}{135}$ –мощность  
135–номер

АС–50–провод сталеалюминевый и его сечение;  
3,8 – длина участка фидера, км; 01 ... 07– отпайки

где  $\Delta U_{уд\%}$  - удельные потери напряжения в процентах на один км отрезка линии (фидера) длиной  $l_m$ , выполненной проводом конкретной марки и сечения;

Обозначим произведение  $l_m \cdot S_{расч} = B_{нвп}$ , назовём его **нормативным весовым параметром** конкретного фидера, величина которого определяет часть длины его МЧФ  $l_m$  начиная от головного выключателя фидера, выполненный конкретным проводом с определенной нагрузкой т.е. **значение** произведения  $l_m \cdot S_{расч}$  позволяет определить на МЧФ точку разделения фидера (разукрупнения) с образованием нового фидера. Как видно из рис.1, у фидера его МЧФ выполнен проводом АС-50, для которого согласно /2/ удельные потери напряжения  $\Delta U_{уд\%} = 0,68 \cdot 10^{-3} \% \text{ кВАкм}$ . По выражению (1) для фидера на рис. 1 находим значение нормативного весового параметра  $B_{нвп}$

$$B_{нвп} = l_m \cdot S_{расч} = 7,5\% / 0,68 \cdot 10^{-3} \% = 11029,4 \text{ кВА} \cdot \text{км}.$$

Для нахождения места разделения фидера на головном участке его МЧФ подбираем точку, которая соответствует произведению  $l_m \cdot S_{расч} = 11029,4 \text{ кВАкм}$ . Проверка расчетом показывает, что точка разделения фидера на рис. 1 находится за суммарной установленной мощностью 8 ТП, где эта сумма равна 2660 кВА, т.е.

$$l_{норм1} = B_{нвп} / K_{рост} \cdot S_{расч} = 11029,4 / 0,77 \cdot 0,65 \cdot 1,07 \cdot 2660 = 6,85 \text{ км}$$

т.е. разделение (разукрупнение) фидера выполняется на МЧФ на расстоянии 6,85 км от головного выключателя (ГВ) фидера. При этом потери напряжения в конце вновь образованного фидера (ВОФ1) составит

$$\Delta U_1 \% = \Delta U_{уд\%} \cdot S_{расч1} \cdot l_{мчф1} = 0,68 \cdot 10^{-3} \cdot 0,77 \cdot 0,65 \cdot 2660 \cdot 6,85 = 6,2\%$$

Проверим оставшуюся (отделенную) вторую часть фидера на рис.1 на требование нормативного уровня потерь напряжения. Оставшаяся часть МЧФ фидера также имеет провод сечением АС-50, а длина МЧФ  $l_{ум} = 17,58 - 6,85 = 10,73 \text{ км}$ , количество ТП на ней  $n = 15$  с суммарной установленной мощностью  $\sum S_{ТП} = 8120 - 2660 = 5460 \text{ кВА}$ . При таких параметрах процент потерь напряжения в конце линии составит

$$\Delta U_i \% = \Delta U_{уд\%} \cdot S_{ур} \cdot l_{ум} = 0,68 \cdot 10^{-3} \cdot 0,725 \cdot 0,65 \cdot 5460 \cdot 10,73 = 20,09\%,$$

Так, как  $20,09\% > 7,5\%$ , т.е. потери напряжения существенно превышают нормативный уровень, поэтому необходимо дальнейшее разукрупнения остальной части фидера.

Как видно из схемы рис.1, сечение провода МЧФ отделенной части фидера также АС-50, поэтому и для него  $\Delta U_{уд\%} = 0,68 \cdot 10^{-3} \% \text{ кВА км}$  и величина нормативного весового параметра  $B_{нвп}$  остается неизменной. Установленная мощность ТП на втором участке МЧФ (рис.1) 3360 кВА. Тогда длина второго участка МЧФ по выражению

$$l_{норм1} = B_{нвп} / K_{рост} \cdot S_{расч} = 11029,4 / 1,07 \cdot 0,77 \cdot 0,65 \cdot 3360 = 5,41 \text{ км}.$$

Процент потерь напряжения в конце второго ВОФ2

$$\Delta U_i \% = \Delta U_{уд\%} \cdot S_{ур} \cdot l_{ум} = 0,68 \cdot 10^{-3} \cdot 0,77 \cdot 0,65 \cdot 3360 \cdot 5,41 = 6,18 \% < 7,5\%$$

Таким образом вторая точка разделения фидера рис.1 выполняется в точке 3 на МЧФ.

Остальная часть фидера, начиная с точки 3 образует третью ВОФ3 с параметрами: длиной МЧФ 5,32 км, суммарной установленной мощностью 1960 кВА. Потери в конце третьего ВОФА2 составляет

$$\Delta U_i \% = \Delta U_{уд\%} \cdot S_{ур} \cdot l_{ум} = 0,68 \cdot 10^{-3} \cdot 0,79 \cdot 0,65 \cdot 1960 \cdot 5,32 = 3,9\% < 7,5\%$$

Таким образом, фидер по рис.1 разделен на 3 новых ВОФ.

На неразукрупненной (основной) схеме фидеров точка их разделения (разрыва) на ее МЧФ показано знаком ( $\angle$ ).

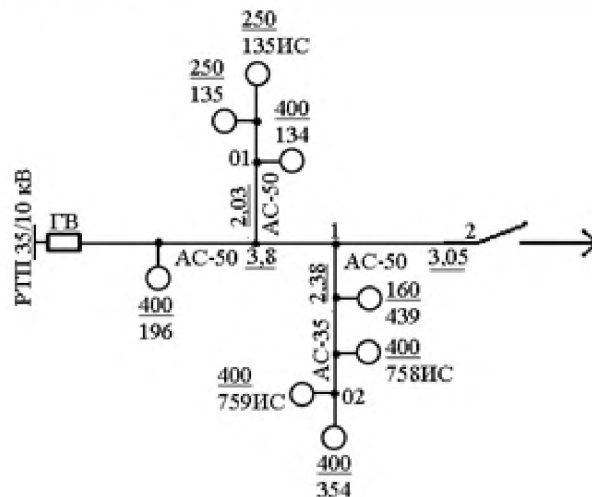


Рис.2. Фидер 10 кВ ВОФ1 Основные параметры общая длина  $L_{\Sigma}=11,26$  км; длина МЧФ  $l_{мчф} = 6,85$  км, суммарная установленная мощность ТП  $S_{\Sigma}= 2660$  кВА, количество ТП  $n=8$ .

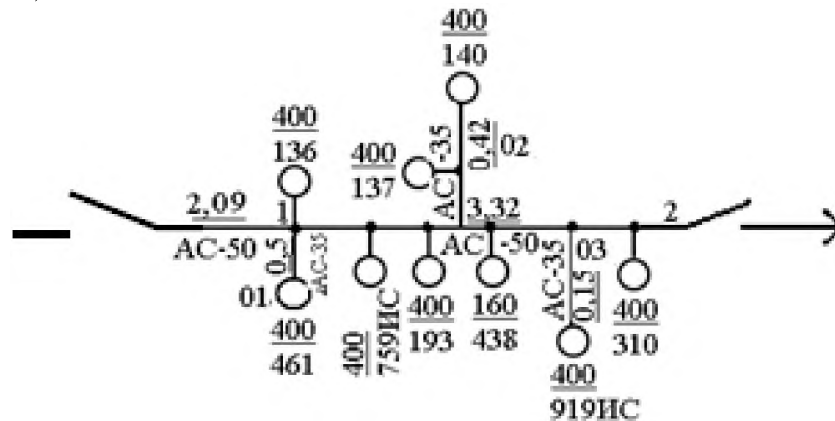


Рис.3. Фидер 10 кВ ВОФ2 Основные параметры общая длина  $L_{\Sigma}=6,48$  км, длина МЧФ  $l_{мчф} = 5,41$  км, суммарная установленная мощность ТП  $S_{\Sigma}= 3360$  кВА, количество ТП  $n=9$ .

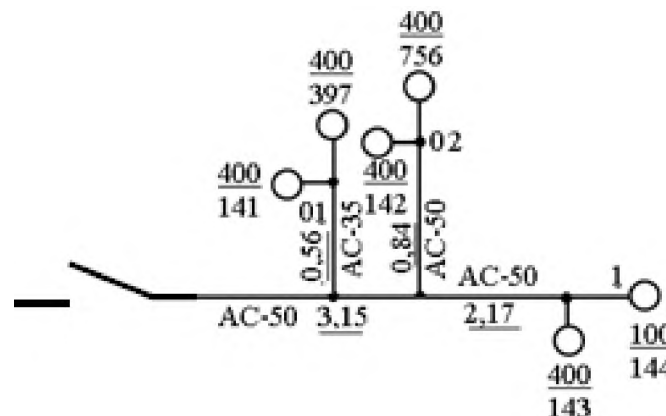


Рис.4. Фидер 10 кВ ВОФ3.  $L_{\Sigma}=6,72$  км,  $l_{мчф}=5,32$  км,  $S_{\Sigma}=2100$  кВА  $n = 6$

### Литература

1.Кадыркулов С.С. Показатели аварийности сельских электросетей 10 кВ долинных районов Кыргызстана и задачи повышения их надежности [Текст] / С.С. Кадыркулов // Центр научно–технической информации по энергетике и электрификации. Серия: строительство сельских электросетей, вып.7 (198). – М. – 2001.

2.Рахматулов А.З. О характеристике сельских электросетей Таджикистана, состояние их надёжности работы и качества электроснабжения [Текст] / А.З. Рахматулов // Весник: Курган - Тюбенского государственного университета имен Носира Хусрава, (научный журнал) серия естественных наук №2/2(54). Бохтар – 2017 г.

3. Рахматулов А.З. О методическом подходе к определению распределения потерь напряжения по длине ВЛ 6–10 кВ [Текст] / Р.Т. Каражанова, А.З. Рахматулов, О.М. Медетбеков // Известия Ошского технологического университета № 1/2018, Материалы Республиканской научно – практической конференции «Физико–технические проблемы в образовании и науке»,– Ош, 2018.

4.Министерство энергетики Республики Беларусь. Технический кодекс установившейся практики ТКП 385–2012 (02230). Нормы проектирования электрических сетей внешнего электроснабжения напряжением 0,4 – 10 кВ. Изд. официальное, Мн.: 2012, 48 с.