УДК 621.3.051.025

В.А. ВОРОНИН, аспирант (КузГТУ)
Научный руководитель: Т.Л. ДОЛГОПОЛ, доцент (КузГТУ)
г. Кемерово

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕЛЬСКОЙ СЕТИ

Отклонение напряжения электропитания является важнейшим показателем качества электроэнергии. В настоящее время, предельно допустимая величина данного показателя устанавливается ГОСТ 32144 [1] и составляет ±10% в точке передачи электрической энергии. Требования к отклонениям напряжения на зажимах электроприемников в стандарте [1] не приведены. Согласно СП 31-110-2003, для электроустановок жилых и общественных зданий величина допустимых отклонений напряжения на зажимах электроприемников в нормальном режиме работы не должна превышать ±5%. Именно это значение и будет использовано в качестве допустимой величины отклонений напряжения в данной работе.

Основной причиной отклонений напряжения у потребителей, как правило, является потеря напряжения в электрической сети. Величина потери напряжения в сети зависит от нагрузки, удельного сопротивления и сечения проводника, длины линии. Последние три параметра обуславливают активное сопротивление линии электропередачи. При неравномерности загрузки фаз появляются токи небаланса, которые также будут оказывать влияние на отклонение напряжения на зажимах потребителей. Таким образом, снижения отклонений напряжения возможно добиться изменением параметров электрической сети, использованием различных схемных решений.

Целью данной работы является анализ и выбор оптимального схемного решения на примере электрической сети одного из поселков Кемеровской области (рис. 1). Критерием для выбора будет являться минимум приведенных затрат на реализацию рассматриваемого мероприятия.

Вопрос об определении допустимой величины потери напряжения в сельских сетях был рассмотрен в работе [2] и по ее результатам допустимые потери напряжения в сети до наиболее удаленного потребителя принимаются равными 6%.

В работе рассматриваются следующие схемные решения: увеличение сечений линий электропередач (ЛЭП), симметрирование нагрузки, сокращение длины линий, использование вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ).

Сельские сети выполняются по магистральному принципу и отличаются большой разветвленностью. По мере разветвления сети, нагрузка в

магистрали, а соответственно и потери напряжения, убывают. Вследствие большой разности нагрузок в разных частях магистрали ее нерационально выполнять одним сечением. В этом случае возможно использование комбинаций из нескольких разных сечений для обеспечения у наиболее удаленных потребителей требуемого уровня напряжения.

Равномерность распределения нагрузки по фазам является существенным фактором, влияющим на отклонения напряжения. Как правило, сельские дома являются однофазными потребителями, следовательно, необходимо равномерное распределение их по фазам. При этом необходимо учитывать, что при распределении потребителей по фазам, недостаточно обеспечить равенство суммарных фазных мощностей, необходимо стремиться максимально симметрировать фазные моменты электрических нагрузок до наиболее удаленных потребителей каждой фазы. В качестве примера, в табл. 1 показано изменение величины потери напряжения до наиболее удаленного потребителя при выполнении данного мероприятия на фидере Ф1 рассматриваемой сети (рис. 1). Симметрирование выполнялось путем перераспределения потребителей (жилых домов) по фазам. Затраты на данное мероприятие, согласно расчетам, составляют 53 тыс. рублей.

Таблица 1

Изменение потерь напряжения при симметрировании нагрузки

Показатель	Неравномерность моментов нагрузки, %	ΔU_A, %	ΔU_B, %	ΔU_C, %
До симметрирования	159,92	22,13	12,30	-3,06
После симметрирования	6,75	11,08	9,90	10,45

Как следует из табл. 1, реализация данного мероприятия позволяет снизить максимальные потери напряжения в 2 раза и выровнять потери напряжения по фазам.

Для уменьшения длины низковольтных линий сельской сети необходимо располагать источник питания (ИП) в центре электрических нагрузок (ЦЭН). Еще большего сокращения длины этих линий возможно добиться за счет децентрализации питания. На рис. 3 приведена картограмма электрических нагрузок сельской сети с разделением потребителей на отдельные группы, для каждой из которых определен ЦЭН.

На рис. 1 представлена рассматриваемая электрическая сеть с обозначением на ней положений общего ЦЭН всех потребителей (ЦЭН) и ЦЭН отдельных групп потребителей (ЦЭН 1, 2, 3), а на рис. 2 схема элек-

трической сети при раздельном питании отдельных групп потребителей. В табл. 2 приведены некоторые показатели электрической сети при реализации данных мероприятий.

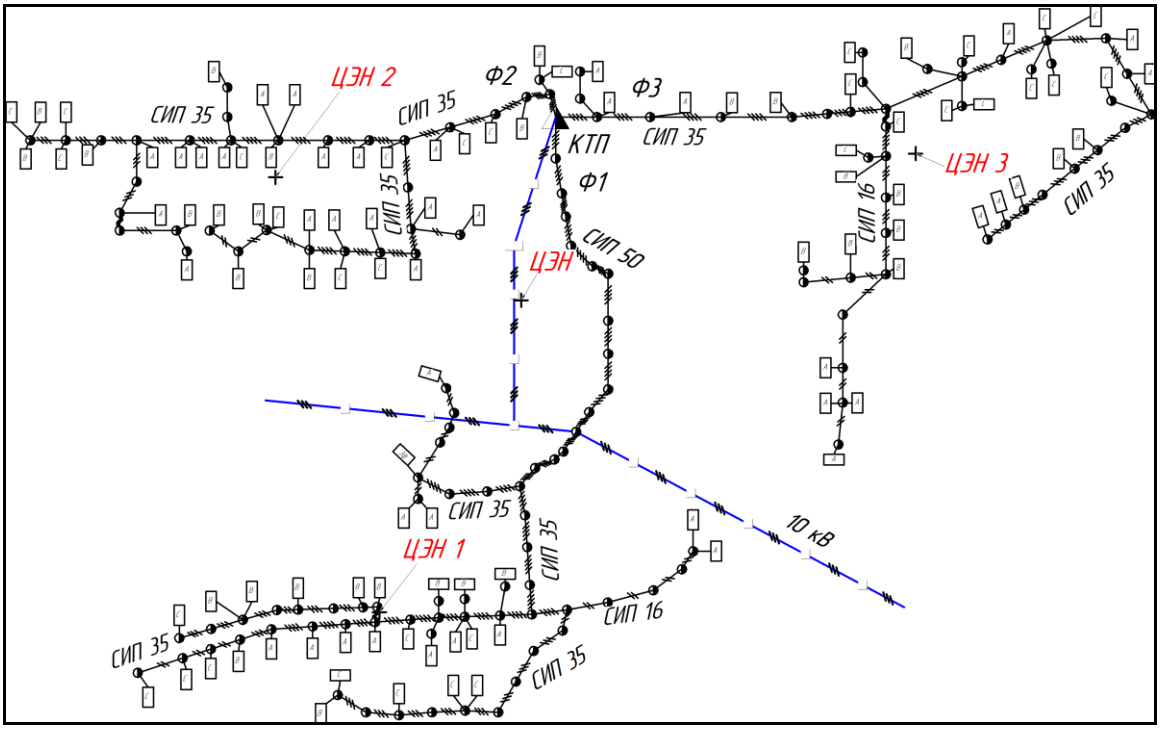

Рис. 1. Поопорная схема исходного варианта сельской распределительной сети

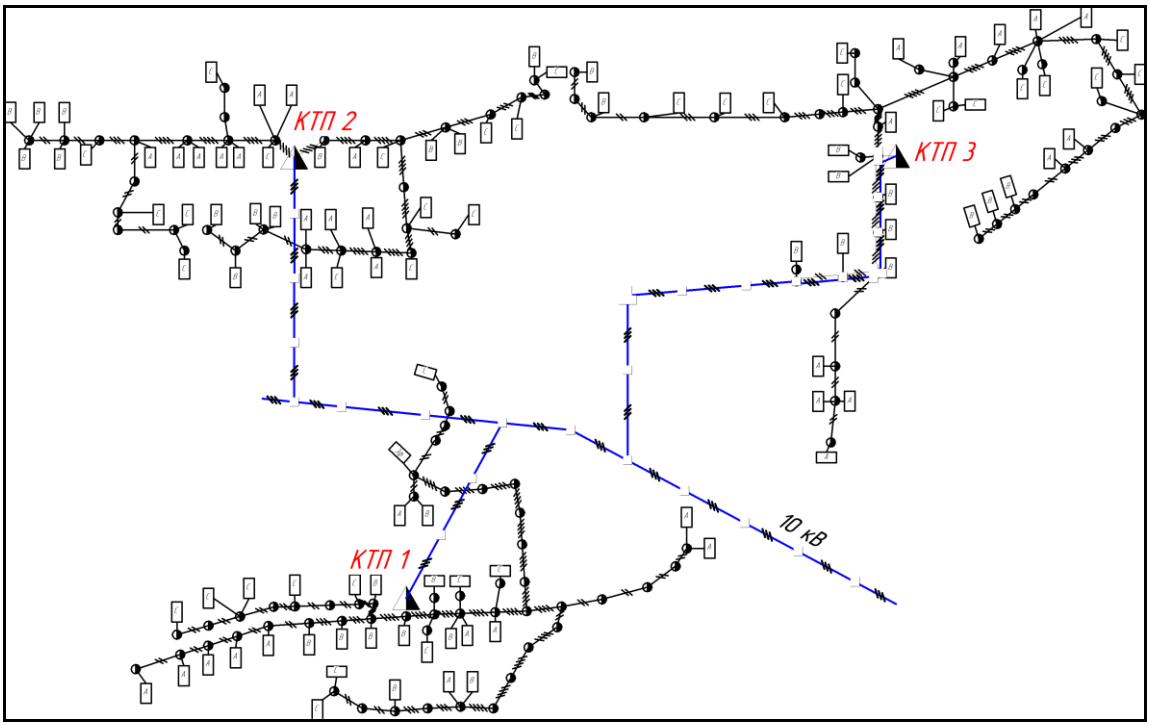

Рис. 2. Поопорная схема сельской распределительной сети при раздельном питании трех групп потребителей

Как следует из табл. 2, расположение ИП в ЦЭН не приводит к существенному снижению потерь напряжения. При раздельном питании отдельных групп потребителей значения потерь напряжения значительно сокращаются.

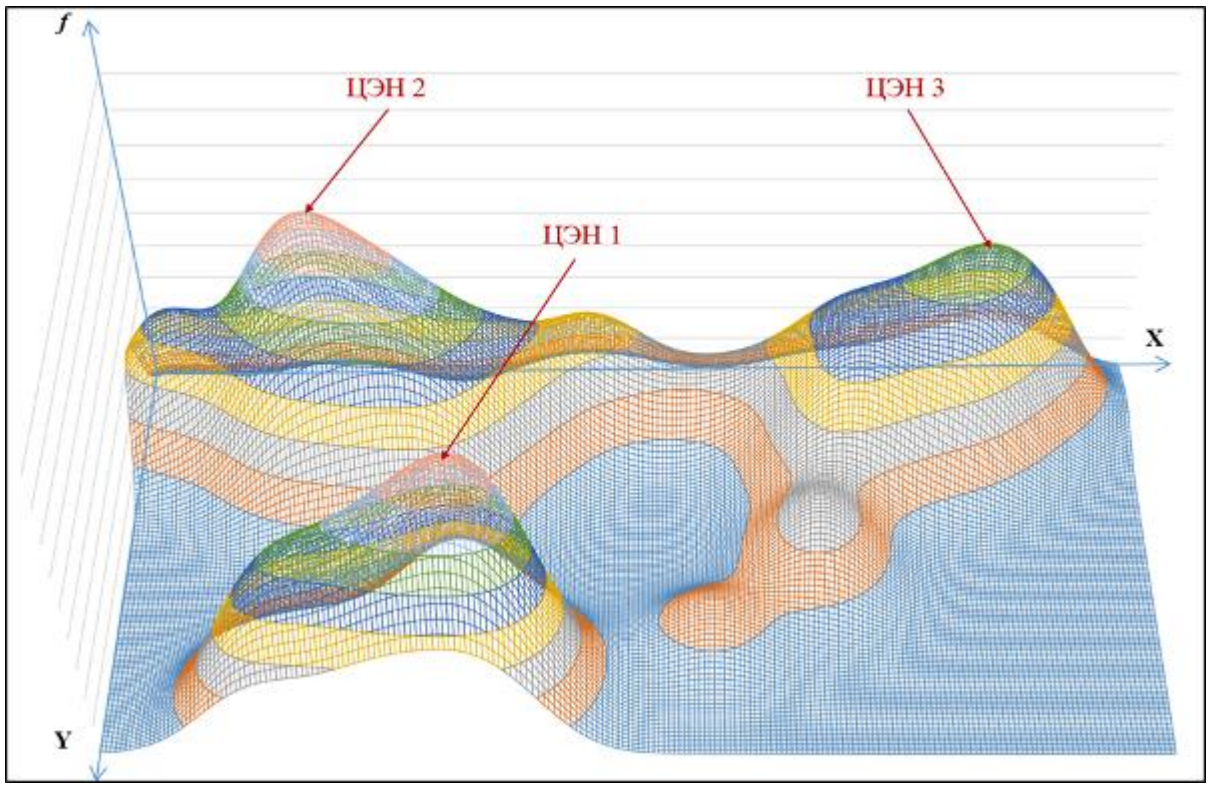

Рис. 3. Картограмма электрических нагрузок рассматриваемой сельской сети

Таблица 2

Изменение некоторых показателей сети при реализации мероприятий

Показатель	Исходная схема			Перенос КТП в ЦЭН			Увеличение КТП		
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф1	Ф2	Ф3	КТП 1	КТП 2	КТП 3
$L_{н.у.}$, м	825	520	723	710	562	721	408	378	504
$M_{н.у.}$*, кВА·м	22 286	11 497	15 671	14 060	13 008	17 982	3 568	5 085	6 136
ΔU, %	11,59	7,00	8,60	8,47	7,76	9,47	4,48	5,92	5,47

При последующем увеличении количества ИП возможен переход на индивидуальное питание небольших групп из 2-3 домов от однофазных трансформаторных подстанций (ТП). При этом протяженность высоковольтной сети будет увеличена, а низковольтная сеть, в которой наблюдаются наибольшие потери электроэнергии и напряжения, будет ограничи-

ваться только длиной отводов от ТП к потребителям. Такое решение позволит не только обеспечить нормативные значения отклонений напряжения, но и значительно снизить величину потерь электроэнергии в сети.

Из-за большой разветвленности и протяженности сельских сетей проблематично для всех потребителей обеспечить требуемые отклонения напряжения как в меньшую, так и в большую сторону. В системах электроснабжения, наиболее удаленных от ИП, потребителей целесообразно использовать вольтодобавочные трансформаторы.

Приведенные затраты для реализации перечисленных мероприятий определялись при двух условиях: полная реконструкция распределительной сети с заменой всех ее элементов и частичная реконструкция с заменой только тех элементов сети, которые не соответствуют конечной (желаемой) схеме. Затраты определялись с учетом стоимости для низковольтной и высоковольтной части сети: проводов и опор ЛЭП, ТП и стоимости потерь электроэнергии. Стоимость монтажных и демонтажных работ определялась по территориальным единичным расценкам (ТЕР). Результаты расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3

Приведенные затраты на реконструкцию сети

Мероприятие	Приведенные затраты, руб.	
	Полная реконструкц.	Частичная реконструкц.
Увеличение сечений ЛЭП в исходной схеме	486 774	130 485
Увеличение сечений ЛЭП при ИП в ЦЭН	464 095	-
Увеличение количества ИП до 3-х	560 524	280 668
Использование индивидуальных ИП	1 485 884	-
Использование ВДТ	996 090	607 392

Таким образом, наиболее целесообразным мероприятием для рассматриваемой сети (рис. 1) является увеличение сечений ЛЭП. При полной реконструкции сети минимум затрат достигается при расположении ИП в ЦЭН и увеличении сечений ЛЭП. Другие мероприятия имеют меньшие затраты на провода ЛЭП и потери электроэнергии, однако, оказываются менее выгодными за счет высокой стоимости дополнительного электрооборудования: ТП, ВДТ, а также необходимостью установки дополнительных опор для линий 0,4 кВ и 10 кВ.

Список литературы:

1. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

2. Воронин, В.А. Проблема отклонений напряжения в сельских электрических сетях / В.А. Воронин, Т.Л. Долгопол // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Инновации в технологиях и образовании», 2014. – С. 210-214.