

5. Щитов С.В., Кривуца З.Ф. Исследование параметров транспортных потоков в АПК Амурской области // Вестн. КрасГАУ. – 2011. – № 8. – С. 195–199.
6. Евдокимов В.Г., Щитов С.В., Кривуца З.Ф. Использование навигационной системы ГЛОНАСС и GPS для мониторинга автомобильного транспорта // Двойные технологии. – 2012. – № 3. – С. 26–31.
7. Щитов С.В., Кривуца З.Ф. Энергетическая оценка транспортно-технологического обеспечения производства сельскохозяйственных культур // Вестн. КрасГАУ. – 2011. – № 11. – С. 180–185.



УДК 621.316

*И.В. Наумов, С.В. Подъячих, Д.А. Иванов,
Г. Дамдинсурэн, М.В. Шевченко*

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ В СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЯХ 0,38 кВ В МОНГОЛИИ

В статье приведены результаты исследований несимметричных режимов работы сельских распределительных сетей 0,38 кВ в Монголии. Установлено, что качество электрической энергии в исследуемых сетях не соответствует требованиям государственного стандарта, а сами показатели несимметрии напряжений превышают установленные ГОСТом значения.

Ключевые слова: качество электрической энергии, измерение, несимметрия напряжений, электрическая сеть, исследование, дополнительные потери мощности, Монголия.

*I.V. Naumov, S.V. Podyachikh, D.A. Ivanov,
G. Damdinsuren, M.V. Shevchenko*

THE RESEARCH OF THE ASYMMETRIC OPERATING MODES IN THE RURAL DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS OF 0,38 KV IN MONGOLIA

The research results of the asymmetrical operating modes of the rural distribution networks of 0,38 kV in Mongolia are given in the article. It is established that the electric energy quality in the studied networks doesn't meet the requirements of the state standard and indicators of the voltage asymmetry exceed the values established by the state standard specification.

Key words: electric energy quality, measurement, voltage asymmetry, electric network, research, additional losses of power, Mongolia.

Введение. В соответствии с заключенным контрактом между Монгольским ГАУ и Иркутским ГАУ о совместном научно-педагогическом сотрудничестве в период с 2013 по 2014 г. в пригородных распределительных электрических сетях 0,38 кВ районного центра «Зуунмод», входящего в состав Центрального аймака «ТУВ» Монголии, были проведены исследования несимметричных режимов работы.

Установлено [1, 2, 3, 4], что несимметрия токов и напряжений существенно влияет на увеличение потерь электрической энергии и снижение её качества.

Цель исследований. Минимизация несимметричных режимов работы этих сетей.

Задачи исследований. Получение данных по несимметрии токов и напряжений; расчет значений показателей несимметрии, характеризующих ухудшение качества и увеличение потерь электроэнергии; анализ и рекомендации по симметрированию режима работы исследуемых сетей.

Результаты исследований и их обсуждение. Пригородные распределительные электрические сети хозяйства представлены трансформаторными подстанциями 10/0,4 кВ (144 шт.), воздушными ЛЭП 10 кВ – 432 км, кабельными ЛЭП 10 кВ – 7,8 км, воздушными ЛЭП 0,38 кВ – 204,9 км и кабельными ЛЭП 0,38 кВ – 62,6 км.

Измерения токов и напряжений производились на трёх трансформаторных подстанциях – ТП-5, ТП-9 и ТП-17 – на 9 отходящих линиях напряжением 0,38 кВ. В качестве инструмента измерений были использованы сертифицированные измерители качества электрической энергии «Ресурс-УФ2-М» и цифровые мультиметры «М-200». Измерения осуществлялись в соответствии с действующим ГОСТ 308.4.4.30-2013. Выборка средневзвешенных значений измеряемых величин производилась в течение 1008 десятиминутных интервалов в неделю в соответствии с ГОСТ 32144-2013.

В качестве примера рассмотрим результаты исследований несимметричных режимов на примере ТП-9. Номинальная мощность трансформатора ТМ 400 кВ·А. Электрическая электроэнергия передается на одноквартирные дома, мастерские и магазин. Потребители имеют следующую нагрузку: обогрев помещения: 81,5 кВт (калорифер 44 кВт, ТЭНы по 2,5 кВт – 15 шт.); сварочный аппарат – 15 кВт; молот – 4 кВт; наждак – 1,5 кВт; тельфер – 3 кВт; вулканизатор – 3 кВт; освещение – 11,4 кВт (6 ламп ДРЛ-400, 18 ламп накаливания по 500 Вт).

В результате произведенных измерений фазных и междуфазных токов и напряжений на исследуемых, отходящих от подстанций, ЛЭП, а также расчета показателей несимметрии токов и напряжений, показателей качества и дополнительных потерь электрической энергии отдельно для зимнего, весеннего, летнего и осеннеого периодов были получены данные, которые представлены в сводной таблице результатов экспериментальных исследований на ТП 9 (табл.). Проведем анализ полученных результатов для весеннего периода исследований. На основании данных измерений и расчетов нами построены временные диаграммы изменения этих величин за исследуемые периоды времени, которые представлены на рис. 1–6.

Линия 1

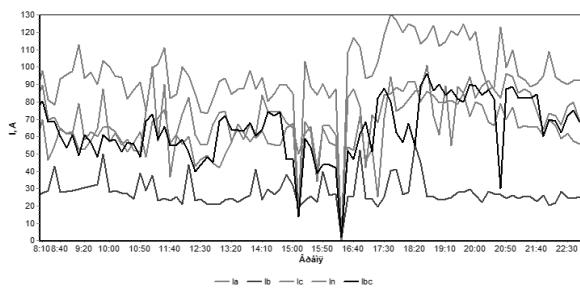


Рис. 1. Временная диаграмма изменения фазных токов

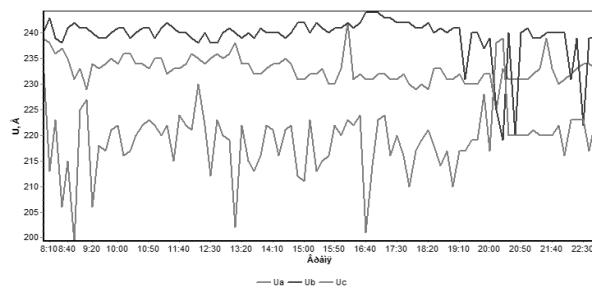


Рис. 2. Временная диаграмма изменения фазных напряжений

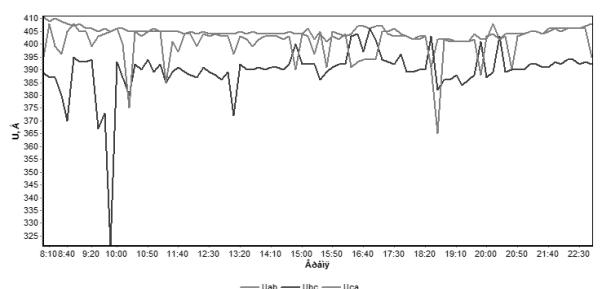


Рис. 3. Временная диаграмма изменения междуфазных напряжений

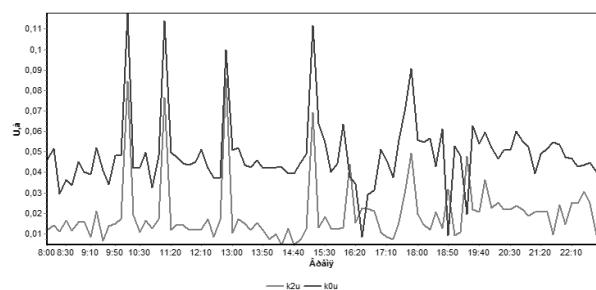


Рис. 4. Временная диаграмма изменения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям

Результаты экспериментальных исследований несимметричных режимов на ТП 9

ТП 9	U _A , В	U _B , В	U _C , В	U _{AB} , В	U _{BC} , В	U _{CA} , В	I _A , А	I _B , А	I _C , А	I _N , А	I _{BC} , А	K _{2i} , о.е.	K _{0i} , о.е.	K _P , о.е.	K _{2U} , о.е.	K _{0U} , о.е.
Зима																
Л 1	227	227	217	394	393	383	59,06	28,56	69,85	36,99	64,78	0,473	0,273	1,534	0,026	0,022
Л 2	217	227	227	394	394	383	14,76	20,44	17,85	14,55	25,30	0,471	0,331	1,861	0,021	0,038
Л 3	217	227	227	393	393	383	44,29	13,26	9,68	32,12	14,04	0,747	0,445	2,695	0,019	0,037
Весна																
Л 1	233	239	219	404	390	401	95,82	27,92	67,64	66,19	64,31	0,702	0,437	2,317	0,029	0,056
Л 2	233	240	221	404	394	403	23,14	18,01	11,25	12,47	18,65	0,366	0,249	1,42	0,019	0,048
Л 3	233	240	222	404	394	402	10,78	13,29	55,63	43,56	55,12	0,626	0,549	3,032	0,021	0,048
Лето																
Л 1	225	229	219	392	389	381	68,15	24,51	44,45	31,87	43,14	0,518	0,24	1,518	0,021	0,019
Л 2	225	229	219	393	391	382	14,59	14,41	7,66	8,91	14,01	0,367	0,187	1,209	0,018	0,015
Л 3	225	229	219	392	389	381	67,68	24,48	44,12	31,56	42,78	0,518	0,24	1,518	0,021	0,019
Осень																
Л 1	227	224	219	388	376	390	101,01	33,71	59,25	54,17	60,06	0,595	0,292	1,724	0,012	0,02
Л 2	227	225	219	389	381	390	15,50	19,28	12,20	16,35	18,26	0,541	0,421	2,22	0,014	0,023
Л 3	227	224	220	389	381	390	4,58	20,69	42,89	26,33	38,34	0,871	0,495	2,866	0,017	0,026

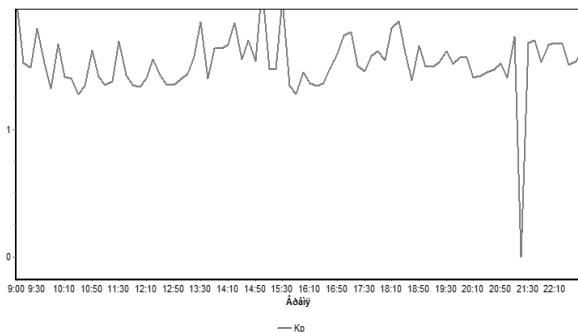


Рис. 5. Временная диаграмма изменения коэффициента потерь мощности

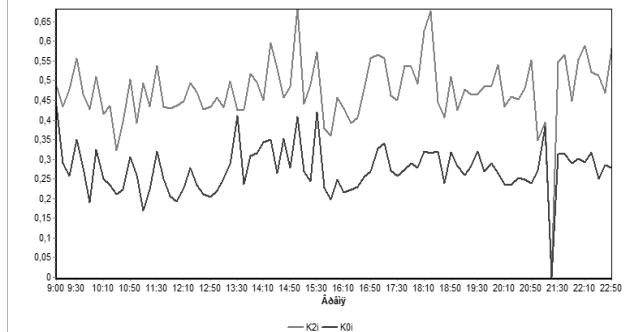


Рис. 6. Временная диаграмма изменения коэффициентов несимметрии токов по обратной и нулевой последовательностям

Анализ полученных зависимостей (рис. 1–6) показал следующее. На рисунке 1 представлена временная диаграмма изменения фазных токов в исследуемой ЛЭП. Как видно, для линии 1 наиболее загруженной является фаза «А», по которой протекает средний за исследуемый период времени ток, равный 96 А. В фазах «В» и «С» такой ток соответственно составляет 28 и 68 А. Данный «перекос фаз» привел к возникновению коэффициентов обратной K_{2i} и нулевой K_{0i} последовательностей (рис. 6), среднее значение которых за исследуемый период времени составило соответственно 0,7 и 0,4, что в свою очередь привело к увеличению потерь мощности, характеризующейся коэффициентом дополнительных потерь K_P (рис. 5), среднее значение которого за исследуемое время составило 2,3.

Таким образом, потери электрической энергии в реальном несимметричном режиме в 2,3 раза превышают потери, обусловленные протеканием только токов прямой последовательности.

Рассмотрим, как дополнительные потери мощности в несимметричном режиме влияют на увеличение стоимости электрической энергии. Предполагаем, что электрическая энергия передается по данной ЛЭП в течение года непрерывно. Таким образом, время потерь τ условно можно принять можно принять равным 2190 ч в для каждого времени года.

Тогда общие потери электрической энергии в исследуемой ЛЭП с учётом несимметрии токов в каждой из фаз:

$$\Delta W = l \cdot r_0 \cdot \tau \cdot (I_A^2 + I_B^2 + I_C^2),$$

где l – длина исследуемой ЛЭП (составляющая 1,2 км); r_0 – активное сопротивление 1 км провода, равное 1,16 Ом/км; $\tau = 2190$ ч.; I_A, I_B, I_C – соответственно средние значения фазных токов в ЛЭП за период исследования. (Токи в фазах, средние за период измерения, составили соответственно 96 А, 28 А и 68 А.). Таким образом:

$$\Delta W = 1,2 \cdot 1,16 \cdot 2190 \cdot (96^2 + 28^2 + 68^2) = 49190,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Потери электрической энергии в условно-симметричном режиме (в том случае, если бы коэффициент потерь мощности был равен 1) при среднем значении коэффициента потерь, равном 2,3:

$$\Delta W_{CSIM} = \Delta W / K_P = 49190,3 / 2,3 = 21387 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Потери электрической энергии, приходящиеся на долю несимметрии фазных токов:

$$\Delta W_{HEC} = \Delta W - \Delta W_{СИМ.} = 491903 - 21387 = 278033 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Стоимость электрической энергии для сельских электрических сетей составляет 113,9 тугр/кВт·ч. В долларовом эквиваленте на 13.14.2014 г. это составит 0,062 долл/кВт·ч (1\$=1840 тугр.). Таким образом, стоимость дополнительных потерь электрической энергии, обусловленных несимметрией токов, за год в исследуемой ЛЭП составили:

$$C = \Delta W_{HEC} \cdot \beta = 278033 \cdot 0,062 = 1723,8 \$ = 31718005 \text{ тугр.}$$

Следует отметить, что данные потери электрической энергии и их стоимость просчитаны только непосредственно для исследуемой отходящей ЛЭП. Протекание токов нулевой и обратной последовательностей по обмотке низкого напряжения силового трансформатора также приводит к увеличению потерь, которые будут определяться суммированием токов обратной и нулевой последовательностей от каждой из присоединенных к шинам 0,4 кВ линий электропередачи. Поэтому полученное значение стоимости дополнительных потерь электроэнергии значительно увеличится.

Как видно из графиков (рис. 2–3), уровень несимметрии напряжений достигает значительной величины, что приводит к возникновению коэффициентов несимметрии напряжений по обратной (K_{2U}) и нулевой (K_{0U}) последовательностям, которые за исследуемый период времени в среднем составили соответственно 3 и 5 % (рис. 4). Согласно ГОСТ 32144-2013, значения этих коэффициентов в десятиминутном интервале измерений в одну неделю в 100 %, времени этого интервала не должны превышать 4 %, причем в 95 % времени этого интервала – не более 2 %.

Таким образом, в 100 % времени интервала измерений коэффициент K_{0U} превышает установленные значения соответственно в 1,25 раза, причем в 95 % исследуемого интервала эти показатели превышают нормальные (2 %) значения соответственно в 1,5 и в 2,5 раза.

Симметрирование режима работы данной электрической сети возможно за счет снижения систематической (неслучайной) и вероятностной несимметрий фазных токов.

Статистическая несимметрия токов, обусловленная неравномерным характером распределения однофазных нагрузок по фазам трёхфазной электрической сети, может быть уменьшена путём перераспределения однофазных нагрузок, а именно: снять нагрузку с перегруженных фаз – с фазы «А» – 32 А, с фазы «С» – 4 А – и всю эту нагрузку переподключить на фазу «В». В результате в каждой из фаз будет симметрично подключена нагрузка, потребляющая ток по 64 А.

Вместе с этим вероятностную составляющую несимметрии токов ничем, кроме симметрирующего устройства [5], уменьшить невозможно. Вследствие этого наиболее эффективным средством нормализации режима работы данной ЛЭП является подключение шунто-симметрирующего устройства, параметры которого можно рассчитать по методике, изложенной в [6]:

$$\underline{Y}_{CY1} = \underline{Y}_{\mathcal{E}1} - \underline{Y}_1 - \underline{Y}_{S1};$$

$$\underline{Y}_{CY2} = \underline{Y}_{\mathcal{E}2} - \underline{Y}_2 - \underline{Y}_{S2};$$

$$\underline{Y}_{CY0} = \underline{Y}_{\mathcal{E}0} - \underline{Y}_0,$$

где \underline{Y}_{CY1} , \underline{Y}_{CY2} , \underline{Y}_{CY0} – соответственно комплексные проводимости прямой, обратной и нулевой последовательностей симметрирующего устройства; $\underline{Y}_{\mathcal{E}1}$, $\underline{Y}_{\mathcal{E}2}$, $\underline{Y}_{\mathcal{E}0}$ – эквивалент-

ные проводимости схем замещения соответственно прямой, обратной и нулевой последовательностей; \underline{Y}_1 , \underline{Y}_2 , \underline{Y}_0 – комплексные проводимости электрической сети соответственно прямой, обратной и нулевой последовательностей; \underline{Y}_{S1} , \underline{Y}_{S2} – комплексные проводимости трёхфазной симметричной нагрузки соответственно прямой и обратной последовательностей.

Использование данной методики позволило определить параметры симметрирующего устройства для исследуемой линии электропередачи:

$$\underline{Z}_{CY1} = \underline{Z}_{CY2} = 267,82e^{j49,07^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{CY0} = 0,044e^{j114,13^\circ} \text{ Ом.}$$

Таким образом, осуществленный анализ показал, что режим работы исследуемой электрической сети является объективно-несимметричным и требует применения мероприятий, в частности, установки шунто-симметрирующего устройства для снижения дополнительных потерь и повышения качества электрической энергии. Аналогичный анализ проведен и для двух остальных ЛЭП. Результаты анализа показали следующее.

Стоимость дополнительных потерь электроэнергии для линий 2 и 3 составила соответственно 160,621,7 и 328418,7 тугр. Суммарная стоимость потерь электроэнергии в трёх отходящих ЛЭП составила 3660840,9 тугр. Используя полученные значения для показателей несимметрии токов, а также соответствующие значения коэффициента потерь для каждой из отходящих ЛЭП, не составляет труда определить и дополнительные потери энергии и их стоимость в силовом трансформаторе. Стоимость потерь составила 207720 тугр.

Таким образом, стоимость суммарных потерь электроэнергии для исследуемой сети в весенний период составила 3868560,9 тугр. (2102,5 \$).

Произведенные исследования качества электроэнергии в весенний период для всех трёх ЛЭП показали, что значения коэффициента K_{2U} практически удовлетворяют требованиям стандарта, но при этом среднее значение коэффициента K_{OU} составило 5,1 %, что превышает в 1,3 раза требуемые значения для 100 % времени интервала измерения и почти в 2,6 раза – значения для 95 % времени этого интервала.

Заключение. Уровень несимметрии токов и напряжений в исследуемых электрических сетях достигает значительной величины и не удовлетворяет требованиям ГОСТ 32144-2013. Симметрирование режима работы сетей возможно перераспределением однофазных нагрузок по фазам, а также установкой симметрирующих устройств в узле нагрузок.

Литература

- Наумов И.В. Качество электрической энергии в сельских сетях 0,38 кВ // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2002. – № 3. – С. 19–20.
- Наумов И.В. Снижение потерь и повышение качества электрической энергии в сельских распределительных сетях 0,38 кВ с помощью симметрирующих устройств: дис. ... д-ра техн. наук. – СПб., 2002. – 387 с.
- Наумов И.В., Ямщикова И.В. Стоимостная оценка дополнительных потерь электрической энергии в сетях 0,38 кВ // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2003. – С. 247–252.

4. Naumov I.V. A method for estimation of additional power losses in spatially distributed electric networks // Influence of Distributed and Renewable Generation on Power Security. Proceedings of the GRIS Workshop 2006, Magdeburg 6th-8th December, 2006.
5. Наумов И.В., Иванов Д.А. Симметрирующее устройство для трёхфазной четырёхпроводной сети с регулируемыми параметрами // Вестн. КрасГАУ. – 2007. – № 4. – С. 191–194.
6. Наумов И.В., Пруткина А.В. Выбор параметров симметрирующего устройства в зависимости от изменяющихся показателей несимметрии в распределительных сетях 0,38 кВ с сосредоточенной нагрузкой // Вестн. КрасГАУ. – 2014. – № 11. – С. 186–195.



УДК 621.436

E.D. Година, А.П. Уханов

РАЗРАБОТКА СМЕСИТЕЛЬ-ДОЗАТОРА ДЛЯ ДВУХТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

В статье рассматриваются различные варианты конструкторской разработки смесителя-дозатора для смешивания растительного и минерального компонентов смесевого топлива. Предложена новая конструкция смесителя-дозатора для двухтопливной системы питания тракторного дизеля.

Ключевые слова: дизель, топливная система, смеситель-дозатор, смесевое топливо.

E.D. Godina, A.P. Uuhanov

THE DEVELOPMENT OF THE MIXER-BATCHER FOR THE DUAL-FUEL POWER SUPPLY SYSTEM OF THE TRACTOR DIESEL

Various options of the mixer-batcher design development for mixing of the vegetable and mineral components of the mixed fuel are considered in the article. The new design of the mixer-batcher for the dual-fuel power supply system of the tractor diesel is offered.

Key words: diesel, fuel system, mixer-batcher, mixed fuel.

Введение. Потребление нефтепродуктов по разным прогнозам будет неуклонно уменьшаться в силу предполагаемого сокращения запасов нефти. На смену классическим топливам приходят альтернативные виды моторных топлив и, в частности, биотопливо на основе растительных масел.

По прогнозам Международной энергетической ассоциации (IEA), мировое производство биотоплива увеличится к 2030 г. до 92–147 млн т энергетического эквивалента нефти. Ежегодные темпы прироста производства биотоплива составят 7–9 %.

Ожидается, что до 2030 г. потребление биотоплива в странах Евросоюза (ЕС) увеличится по сравнению с текущими показателями в 13–18 раз [1].

Земли сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации занимают 400,9 млн га, или 23 % от общего земельного фонда. На сегодняшний день остаются невостребованными около 20 млн га продуктивной пашни. Этот ресурс можно было бы использовать для выращивания энергетических сельскохозяйственных культур, необходимых для производства биотоплива.

Одним из видов биотоплива является дизельное смесевое топливо, представляющее собой бинарную смесь, состоящую из минерального дизельного топлива и растительного масла в различных объемных соотношениях.

Основной проблемой широкого применения смесевого топлива в качестве моторного топлива в дизелях серийно выпускаемых и находящейся в эксплуатации автотракторной техники является