

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.114>**ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА НЕЙТРАЛИ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
МОЩНОСТЬЮ ДО 100 КВТ**

Научная статья

**Ившина К.В.<sup>1</sup>, Горожанкин А.Н.<sup>2</sup>, Таваров С.Ш.<sup>3,\*</sup>**<sup>3</sup>ORCID : 0000-0002-2875-2752;<sup>1, 2, 3</sup> Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (tabarovsaid[at]mail.ru)

**Аннотация**

В статье рассмотрено влияние несимметрии на величину тока через тело человека с помощью компьютерной модели автономной системы электроснабжения напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью, выполненной в программной среде «Matlab-Simulink». В результате проведенного исследования на компьютерной модели представлены результаты моделирования при прикосновении человека к фазе А и изменении несимметрии в сети от 0 до 10% (максимально допустимая величина несимметрии) которые подтверждают влияние несимметрии на величину тока через сопротивление тела человека. Проведённые исследования доказывают целесообразности изолированного режима нейтрали для обеспечения электробезопасности в автономной системе электроснабжения напряжением до 1000 В.

**Ключевые слова:** автономная система электроснабжения, компьютерная модель, 4-х проводная сеть с изолированной нейтралью.

**A SUBSTANTIATION OF NEUTRAL MODE FOR AUTONOMIC ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM WITH POWER UP TO 100 KW**

Research article

**Ivshina K.V.<sup>1</sup>, Gorozhankin A.N.<sup>2</sup>, Tavarov S.S.<sup>3,\*</sup>**<sup>3</sup>ORCID : 0000-0002-2875-2752;<sup>1, 2, 3</sup> South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russian Federation

\* Corresponding author (tabarovsaid[at]mail.ru)

**Abstract**

The article examines the influence of asymmetry on the current through the human body using a computer model of an autonomous power supply system with voltage up to 1000 V with an isolated neutral, made in the software environment "Matlab-Simulink". In the results of the conducted research on the computer model the results of modelling are presented when a person touches phase A and the asymmetry in the network changes from 0 to 10% (maximum permissible value of asymmetry), which confirm the influence of asymmetry on the value of current through the resistance of the human body. The carried out research proves the expediency of the isolated neutral mode to ensure electrical safety in the autonomous power supply system with voltage up to 1000 V.

**Keywords:** autonomous power supply system, computer model, 4-wire network with isolated neutral point.

**Введение**

В [1] были предложены уточнения в классификацию автономных систем электроснабжения (АСЭ), в частности, введены АСЭ мощностью до 10 кВт и свыше 10 до 100 кВт. Здесь же дано обоснование этим предложениям.

Если в АСЭ мощностью до 10 кВт схему электроснабжения рекомендовано выполнять двухпроводными линиями с изолированными от земли проводами, поскольку в таких системах в качестве потребителей электрической энергии применяться будут однофазные электроприемники [2], то в АСЭ мощностью до 100 кВт наличие трехфазных потребителей является возможным.

Ранее Семенов М.Н. [3] было дано обоснование о переводе трехфазных 4-х проводных сетей с глухозаземленного режима нейтрали на изолированный. Однако это предложение касалось сельских электрических сетей напряжением до 1000 В, мощность питающих трансформаторов в которых составляет 160 кВА и более. Заметим также, что в указанных сетях имеется квалифицированный электротехнический персонал, на который возложено не только их эксплуатация, но и обслуживание.

Область применения АСЭ мощностью от 10 до 100 кВт в настоящее время обширна. Они могут применяться в следующих случаях:

- при отсутствии централизованного электроснабжения;
- при отсутствии возможности присоединения к централизованной системе электроснабжения;
- удаленные объекты;
- дачи, небольшие дома, торговые палатки;
- удаленные склады, бытовки, домики на базах отдыха;
- для питания удаленного видеонаблюдения и связи;
- для питания пожарной и охранной сигнализации;

- метеостанции;
- автокофейни;
- автотуризм и др.

В основном, такие системы применяются для обеспечения электроэнергией частного домовладения, фермерских хозяйств таких как пасеки, сыроварни, оранжереи и теплицы [4], [5], [6]. В качестве источника питания наиболее широким спросом пользуются фотоэлектрические (солнечные) батареи и ветроэлектрические установки.

Предусматривать в структуре подобных предприятий наличие энергослужбы экономически нецелесообразно. На наш взгляд, подобные АСЭ должны быть спроектированы и исполнены таким образом, чтобы величина индивидуального риска поражения электрическим током была менее приемлемого, т.е. менее  $10^{-6}$ .

Оценить опасность поражения электрическим током в той или иной системе электроснабжения можно различными методами: статистическим, аналитическим, компьютерным моделированием [7]. Компьютерная модель обеспечивает возможность изменения любых параметров. Моделировать можно различные автономные системы электроснабжения (однофазные и трёхфазные), с различными источниками питания, с подключением нагрузки разного вида и мощности. Возможно изменение сопротивления тела человека в зависимости от величины приложенного напряжения и других факторов. На одной компьютерной модели возможно проведение неограниченного числа экспериментов.

### Основные результаты

Проведем оценку опасности поражения электрическим током с помощью разработанной нами компьютерной модели, описанной в [8].

Компьютерная модель электрической сети разработана в программном комплексе MATLAB с использованием расширения Simulink и библиотекой SimPowerSystems, блоки которой моделируют конкретные устройства: источники энергии, трансформаторы, линии электропередачи и другое оборудование. Созданная компьютерная модель позволяет моделировать такие режимы электрической сети, которые сложно организовать в реальной сети.

В компьютерную модель заложены параметры 4-х проводной сети с изолированной нейтралью и мощностью источника питания 100 кВА.

Разработанная компьютерная модель позволяет проводить исследования различных режимов работы электрической сети напряжением 380 В с изолированной нейтралью при изменении её параметров. Предложенная компьютерная модель сети дает возможность исследовать влияние следующих факторов при прикосновении человека к одной из фаз:

- влияние режима нейтрали сети на величину тока через тело человека;
- влияние параметров изоляции фаз сети на величину тока через тело человека;
- влияние несимметрии в сети на величину тока через тело человека;
- влияние сопротивления пола и обуви на величину тока через тело человека;
- влияние сопротивление грунта на величину тока через тело человека.

В табл. 1 приведены результаты моделирования при прикосновении человека к фазе А и изменении несимметрии в сети от 0 до 10% (максимально допустимая величина несимметрии [9], [10]).

Таблица 1 - Влияние несимметрии на величину тока через сопротивление тела человека

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.114.1>

Человек прикоснулся к фазе А		Несимметрия в сети (%)				
		0	2,5	5	7,5	10
Несимметрия на фазе А	$I_h$ , мА	2,6	2,79	2,79	2,8	2,8
	$I_{н,п}$ , А	≈0	5,43	5,44	5,45	5,47
	$U_{A,B}$	241,5	243	243	243	243
	$U_{B,B}$	241,5	237,2	237,2	237,2	237,2
	$U_{C,B}$	241,5	245,2	245,2	245,2	245,2
Несимметрия на фазе В	$I_h$ , мА	2,6	2,69	2,69	2,69	2,69
	$I_{н,п}$ , А	≈0	5,43	5,44	5,45	5,47
	$U_{A,B}$	241,5	245,2	245,2	245,2	245,2
	$U_{B,B}$	241,5	243	243	243	243
	$U_{C,B}$	241,5	237,2	237,2	237,2	237,2
Несимметрия на фазе С	$I_h$ , мА	2,6	2,58	2,58	2,58	2,58
	$I_{н,п}$ , А	≈0	5,43	5,43	5,43	5,43
	$U_{A,B}$	241,5	237,2	237,2	237,2	237,2
	$U_{B,B}$	241,5	245,2	245,2	245,2	245,2
	$U_{C,B}$	241,5	243	243	243	243

Согласно данным табл. 1, ток через тело человека, прикоснувшегося к одной из фаз (в нашем случае к фазе А), при самых неблагоприятных условиях ( $R_h=1000$  Ом, изолирующее сопротивление пола и обуви равны 0) и максимально допустимой несимметрии в любой из фаз, не превышает 3 мА, т.е. меньше порогового неотпускающего тока, что для женщин, что для мужчин. Для достижения электробезопасности стоит ориентироваться именно на величину отпускающего тока, так как ориентация на более высокие значения неприемлема. Ощутимый ток для человека начинается в пределах 0,6 мА для женщин и 1 мА для мужчин. Значения неотпускающего тока равны 12-14 мА и токи фибрилляции составляют 24-28 мА, что соответствует мнению многих исследователей [8], [11].

Недостаток сетей напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью общеизвестен [8]. Если в момент прикосновения человека к одной из фаз (при появлении напряжения на открытых проводящих частях) произойдет замыкание другой фазы на проводящее основание, на котором стоит человек, ток через его тело при указанных выше условиях резко возрастет и может существенно превышать уровень порогового фибрилляционного тока. Для обеспечения безопасности в этом случае необходимо не только выполнить электрическую сеть самонесущим изолированным проводом, но и предусмотреть в ней систему контроля изоляции, основанную на измерении режимных параметров в контролируемой сети.

### Заключение

С помощью компьютерной модели были получены такие значения как:  $I_h$  – ток, протекающий через тело человека,  $I_{н.п.}$  – ток, протекающий в нулевом проводе и  $U_A, U_B, U_C$  – напряжения на фазах А, В, С.

Из табл. 1 видно, что с увеличением несимметрии в сети увеличивается ток через тело человека. Самые высокие значения  $I_h$  получаются тогда, когда человек прикасается к той фазе, на которой моделируется несимметрия (в нашем случае это фаза А). При несимметрии 10%, ток через тело человека имеет численное значение равное 2,8 мА. Это значение находится в пределах ощутимого тока и не превышает порогового значения неотпускающего, что говорит нам о высокой надежности таких систем. С режимом изолированной нейтрали в автономных системах электроснабжения мощностью до 100 кВт электробезопасность будет обеспечиваться надлежащим уровнем.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.114.2>

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

International Research Journal Reviewers Community  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.114.2>

### Список литературы / References

- Ившина К.В. О подходе к классификации автономных систем электроснабжения. Электроэнергетика глазами молодежи / К.В. Ившина // Материалы XII Международной научно-технической конференции. 16-19 мая 2022. Нижний Новгород. — В 2 ч. Часть 2. — Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. — 2022. — С. 121-123.
- Ившина К.В. Обеспечение электробезопасности в автономных системах электроснабжения (АСЭ) мощностью до 10 кВт / К.В. Ившина // Всероссийская научная конференция молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации». 4-8 декабря 2023. — НГТУ, Новосибирск.
- Семенова М.И. Обоснование перехода от глухозаземленной нейтрали к изолированной в сетях электроустановок сельскохозяйственного назначения напряжением до 1000 В: диссертация на соискание канд. техн. наук / М.И. Семенова. — Челябинск. — 2011. — 153 с.
- Онучин Е.М. Теоретическое исследование системы энергообеспечения пасечных хозяйств на базе комбинированной гелиоустановки / Е.М. Онучин, А.А. Медяков, А.П. Осташенков // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — №101 (07). — С. 1-15.
- Попов М.Ю. Исследование параметров внутренней среды автономной теплицы в осенне-зимний период / М.Ю. Попов, А.А. Серегин, И.В. Юдаев // Вестник аграрной науки Дона. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса. — 2022. — Т. 15. — №3 (59). — С. 26-36.
- Эрк А.Ф. Энергообеспечение фермы дойных коз с использованием энергии солнца / А.Ф. Эрк, В.Н. Судаченко, В.А. Размук [и др.] // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. — 2020. — № 1 (102). — С. 4-14.
- Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». — 53 с.
- Сидоров А.И. Электробезопасность: Монография / А.И. Сидоров. — Издательский центр ЮУрГУ. — 2022. — 235 с.
- Ившина К.В. Исследование безопасности в автономной системе электроснабжения (АСЭ) до 1000 В с помощью компьютерного моделирования / К.В. Ившина // Материалы Международной научно-практической конференции: «Энергетика: состояние и перспективы развития» Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими — Душанбе: ЦИ и П ТТУ имени академика М.С. Осими, 2023. — С. 79-83.
- ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. 2014.

11. Суворов И.Ф. Развитие теории, разработка методов и средств обеспечения электробезопасности в системах электроснабжения напряжением до 1000 В: Диссертация на соискание док. техн. Наук / И.Ф. Суворов. — Чита: ЧитГУ, 2006. — 457 с.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Ivshina K.V. O podhode k klassifikacii avtonomnyh sistem elektrosnabzheniya. Elektroenergetika glazami molodezhi [On the Approach to the Classification of Autonomous Power Supply Systems. Electric Power Industry through the Eyes of Youth] / K.V. Ivshina // Materialy XII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. 16 — 19 maya 2022. Nizhnij Novgorod. — V 2 ch. Chast' 2 [Materials of the XII International Scientific and Technical Conference. 16-19 May 2022. Nizhniy Novgorod. — Part 2]. — N. Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseev University of Economics. — 2022. — P. 121-123 [in Russian].

2. Ivshina K.V. Obespechenie elektrobezopasnosti v avtonomnyh sistemah elektrosnabzheniya (ASE) moshchnost'yu do 10 kVt [Ensuring Electrical Safety in Autonomous Power Supply Systems (ASE) with Power up to 10 kW] / K.V. Ivshina // Vserossiyskaya nauchnaya konferenciya molodyh uchenykh «Nauka. Tekhnologii. Innovacii». 4-8 dekabrya 2023, NGTU, Novosibirsk [All-Russian Scientific Conference of young scientists "Science. Technologies. Innovations". December 4-8, 2023, NSTU, Novosibirsk] [in Russian].

3. Semenova M.I. Obosnovanie perekhoda ot gluhozazemlennoj nejtrali k izolirovannoj v setyah elektroustanovok sel'skohozyajstvennogo naznacheniya napryazheniem do 1000 V [Justification for the Transition from a Solidly Grounded Neutral to an Isolated One in Networks of Electrical Installations for Agricultural Purposes with Voltages up to 1000 V]: dissertation for the Candidate of Technical Sciences / M.I. Semenova. — Chelyabinsk. — 2011. — 153 p. [in Russian]

4. Onuchin E.M. Teoreticheskoy issledovanie sistemy energoobespecheniya pasechnykh hozyajstv na baze kombinirovannoj gelioustanovki [Theoretical Study of the Energy Supply System for Apiary Farms Based on a Combined Solar Power Plant] / E.M. Onuchin, A.A. Medyakov, A.P. Ostashenkov // Nauchnyj zhurnal KubGAU [Scientific Journal of KubSAU]. — 2014. — No. 101 (07). [in Russian].

5. Popov M.Yu. Issledovanie parametrov vnutrennej sredy avtonomnoj teplicy v osenne-zimnij period [Study of the Parameters of the Internal Environment of an Autonomous Greenhouse in the Autumn-Winter Period] / M.Yu. Popov, A.A. Seregin, I.V. Yudaev // Vestnik agrarnoj nauki Dona. Tekhnologii, mashiny i oborudovanie dlya agropromyshlennogo kompleksa [Don Agrarian Science Bulletin] — 2022. — V. 15. — No. 3 (59). [in Russian].

6. Erk A.F. Energoobespechenie fermy dojnykh koz s ispol'zovaniem energii solnca [Energy Supply for Dairy Goat Farm Using Solar Energy] / A.F. Erk, V.N. Sudachenko, V.A. Razmuk [et al.] // Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva [Technologies and Technical Means of Mechanized Production of Crop and Livestock Production] — 2020. — No. 1 (102). [in Russian].

7. Federalnyy zakon ot 22.07.2008 N 123-FZ (red. ot 25.12.2023) «Tekhnicheskij reglament o trebovaniyakh pozharной bezopasnosti» [Technical regulations on fire safety requirements]. — 53 p. [in Russian]

8. Sidorov A.I. Elektrobezopasnost': Monografiya [Electrical Safety: Monograph] / A.I. Sidorov. — SUSU Publishing Center. — 2022. — 235 p. [in Russian]

9. Ivshina K.V. Issledovanie bezopasnosti v avtonomnoj sisteme elektrosnabzheniya (ASE) do 1000 V s pomoshch'yu komp'yuternogo modelirovaniya [Study of Safety in an Autonomous Power Supply System up to 1000 V Using Computer Modeling] / K.V. Ivshina // Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: «Energetika: sostoyanie i perspektivy razvitiya» Tadzhijskij tekhnicheskij universitet imeni akademika M.S. Osimi [Materials of the International Scientific and Practical Conference: "Energy: the State and Prospects of Development" Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi]. — Dushanbe: QI and P TTU named after academician M.S. Osimi, 2023. — p. 79-83 [in Russian].

10. GOST 32144-2013 Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemah elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya [Electric Energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Standards for the quality of electrical energy in general-purpose power supply systems]. 2014 [in Russian].

11. Suvorov I.F. Razvitie teorii, razrabotka metodov i sredstv obespecheniya elektrobezopasnosti v sistemah elektrosnabzheniya napryazheniem do 1000 V [Development of Theory, Development of Methods and Means of Ensuring Electrical Safety in Power Supply Systems with Voltages up to 1000 V]: Dissertation for the PhD in Technical sciences / I.F. Suvorov. — Chita: ChitGU, 2006. — 457 p. [in Russian]