



Казанский государственный энергетический университет насчитывает свою историю с 1968 года. За время своего существования университет превратился в крупнейший научно-образовательный центр Поволжья и Урала, признанный как в России, так и в международном пространстве. Гордость университета это выпускники – целая плеяда талантливых инженеров, многие из которых стали руководителями ведущих предприятий Татарстана и России, внесли огромный вклад в развитие экономики не только в нашей стране, но и за рубежом.

В КГЭУ действуют Технопарк, Инжиниринговый центр «Компьютерное моделирование и инжиниринг в области энергетики и энергетического машиностроения», Центр компетенций и технологии в области энергосбережения; Молодежный инновационный центр, Молодежный бизнес-инкубатор, научно-образовательный центр «Компьютерные тренажеры в тепло- и электроэнергетике»; научно-технические центры и учебные классы компаний: SchneiderElectric, Bosch, Danfoss, IEK, Эван, Акку-Фертриб, Московский завод тепловой автоматики. На базе КГЭУ созданы не имеющие аналогов в России учебно-исследовательские полигоны «Подстанция 110/10 кВ» и «Распределительные сети 0,4-10 кВ».

Ученые КГЭУ занимают ведущие позиции в области электро- и теплоэнергетики, цифровых технологий, защиты окружающей среды и водных биоресурсов. Университет является участником ряда технологических платформ России. По объему и уровню выполняемых научных работ КГЭУ сегодня является наиболее динамично развивающимся вузом России.

Сегодня в КГЭУ работают над технологиями, которые изменят будущее!

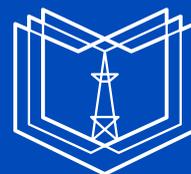
ISBN 978-5-89873-605-7



9 785898 173605 7

IV ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Материалы конференции



КАЗАНСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

IV Всероссийская научно-практическая конференция

12-13 октября 2022 г., Казань

Материалы конференции



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
ТАТАРСТАН**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Казанский государственный энергетический университет»**

**IV ВСЕРОССИЙСКАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»**

Материалы конференции

Под общей редакцией ректора КГЭУ  
Э.Ю. Абдуллазянова

Казань  
2022

УДК 621.3  
ББК 31.2  
П78

Рецензенты:  
доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «КГЭУ»  
И.В.Ившин,  
доктор технических наук, профессор  
филиала ФГБОУ ВО УГНТУ  
в г. Салавате Р.Г.Вильданов

Редакционная коллегия:  
Э.Ю.Абдуллазянов (гл.редактор), И.Г.Ахметова, Н.В.Роженцова, В.Р.Иванова

П78 IV Всероссийская. научно-практическая конференция: **«Проблемы и перспективы развития электроэнергетики электротехники»:** (Казань, 12-13 октября 2022г.) под общей редакцией ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. Казань: КГЭУ, 2022. 294с.

ISBN 978-5-89873-605-7

В сборнике представлены материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники» по следующим научным направлениям:

- 1.Проектирование и эксплуатация объектов электроэнергетики.
- 2.Энерго-и ресурсосбережение промышленных и коммунальных предприятий.
- 3.Энергосиловое оборудование, электропривод и автоматизация.
- 4.Малая энергетика, возобновляемые источники энергии, светотехника.

Предназначены для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в сфере энергетики, а так же для студентов вузов энергетического профиля.

Ответственность за содержание материалов докладов возлагается на авторов.

УДК 621.3  
ББК 31.2

ISBN 978-5-89873-605-7

© КГЭУ, 2022

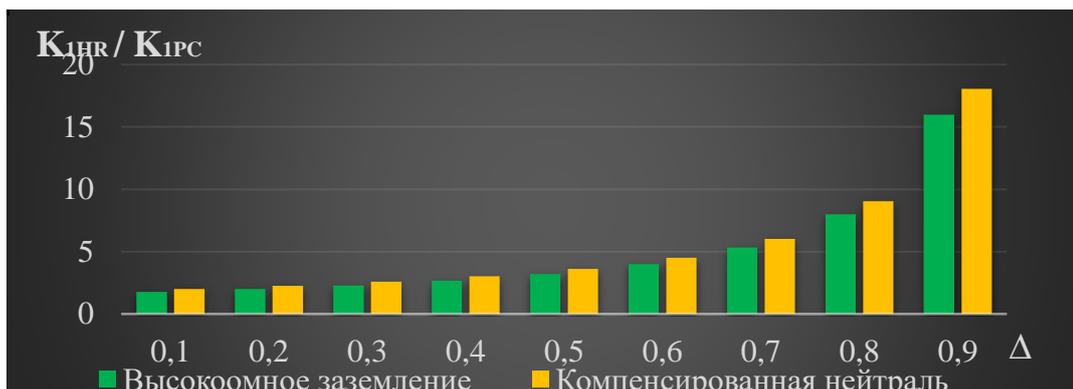


Рис.2. Сравнение числа аварийных отключений в сети с компенсированным и высокоомным заземлением нейтрали при различной степени изношенности сети  $\Delta$

Анализ резистивного заземления и заземления через дугогасящий реактор показывает, что регулируемое резистивное заземление является наиболее экономически целесообразным и эффективным методом снижения ущерба от неблагоприятных явлений.

### Список литературы

1. Вайнштейн Р.А., Коломиец Н.В., Шестакова В.В. Режимы заземления нейтрали в электрических системах. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006.– 118с.
2. Винокурова Т.Ю., Шагурина Е.С., Шуин В.А. Математическая модель для оценки минимального уровня высших гармоник в токе однофазного замыкания на землю в компенсированных сетях 6–10 кВ // Вестник ИГЭУ. –2013. –№6. –С. 5.
3. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. Ч. 1. Теоретические основы: Учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ. - 2003.– 252 с.
4. Правила устройства электроустановок, 7-е изд.– М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 1999-2005.
5. Рыжкова Е.Н., Младзиевский Е.П., Цырук С.А. Методика определения показателей эффективности сетей 6-35 кВ в зависимости от состояния нейтрали // Промышленная энергетика. – 2021. – №1. – С.2-12.

УДК 621.317.791

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АНАЛИЗАТОРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

<sup>1</sup>Ольховой Антон Владиславович, <sup>2</sup>Семенова Ольга Дмитриевна

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>olhovoya@gmail.com, <sup>2</sup>ollivka@bk.ru

В данной статье рассмотрены современные анализаторы качества электроэнергии. Изучены их характеристики достоинства и недостатки. Рекомендован для применения АКЭ ChauvinArnouxF27.

**Ключевые слова:** анализатор качества электроэнергии, КНИ, качество электрической энергии, сравнение анализаторов

## TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF POWER QUALITY ANALYZERS

<sup>1</sup>Olhovoy Anton Vladislavovich, <sup>2</sup>Semenova Olga Dmitrievna  
<sup>1,2</sup>FSBEI HE "KSPEU", Kazan  
<sup>1</sup>olhovoya@gmail.com, <sup>2</sup>ollivka@bk.ru

This article discusses modern power quality analyzers. Their characteristics, advantages and disadvantages are studied. Recommended for use with ACE Chauvin Arnoux F27.

**Keywords:** power quality analyzer, THD, power quality, analyzer comparison

Сохранение приемлемого качества электроэнергии стало в последние годы серьёзной проблемой. Крупные промышленные и бытовые потребители несут большие экономические потери из-за его ухудшения. Причиной такого положения является широкое использование нелинейных нагрузок (на каждом уровне напряжения), например, бытовых электроприборов, люминесцентных ламп, регулируемых приводов, компьютеров с одновременным уменьшением количества резистивных нагрузок. Кроме того, параметры электропитания ухудшаются из-за нагрузок, работающих с меняющимся потреблением электрической энергии (особенно реактивной), коротких замыканий в системе и коммутаций конденсаторов и мощных нагрузок.

В связи с этим появляются всё более и более высокие требования, относящиеся к качеству электроэнергии и его контролю. Сегодня качество электрической энергии стало пониматься как «продукт», который может быть лучше или хуже, несоблюдение требований к нему, подтверждаемое результатами измерений, может стать основой взаимных финансовых требований операторов системы распределения и потребителей.

Одним из параметров, принимаемых во внимание при оценке качества электроэнергии, является уровень искажений напряжения. Эти искажения характеризуются величинами каждого гармонического компонента в спектре сигнала. Чем они больше, тем больше искажено напряжение. Количественной мерой искажения формы является

суммарный коэффициент нелинейных искажений (THD), определяемый выражением:

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^N \left(\frac{G_n}{G_1}\right)^2}, \quad (1)$$

где  $N$  – количество рассматриваемых гармоник [1].

Рассмотрим сравнение анализаторов качества электроэнергии в отношении измерений нелинейных искажений напряжения и тока, основанное на технических характеристиках приборов.

На сегодня промышленность выпускает целый ряд анализаторов качества электроэнергии. В таблице 1 представлены анализаторы с диапазоном измерения КНИ до 500%.

Таблица 1

АКЭ с диапазоном измерения до 500%

Модель анализатора	КНИ, %
Ресурс-PQA	0,5-30
Электромонитор-3.3Т1	0-49,9
АКЭ-823	0-100
PQM-700	0-200
ND20	0-400
ПКЭ-А	0 -200
Fluke 43В	0-100
ПКК-57	0-99,9

В таблице 2 приведены измерители качества электроэнергии с возможностью замера более 500%. Максимальное значение, которое анализаторы качества электроэнергии сегодня замеряют является 1000%.

Таблица 2

АКЭ с диапазоном измерения более 500%

Модель анализатора	КНИ,%
F27	0.2-600
Fluke 1738	0-1000
GSC60R	0-1000
Chauvin Arnoux C.A 8220	0-999,9
Fluke 1748	0 - 1000

Анализаторы, диапазон измерения КНИ у которых больше 500%, более предпочтительны для замеров качества электроэнергии в сетях, где мощность нелинейных потребителей сравнима с мощностью самой сети, т.к. при этом коэффициент нелинейных искажений больше. А для сетей, в которых мощность сети больше мощности потребителей подойдут анализаторы с диапазоном измерения менее 500% [2]. Для измерения домашних сетей не нужен АКЭ с возможностью замерять КНИ 1000%, достаточно будет 100%, т.к. в таких сетях данное значение не превышает[3].

В таблице 3 представлены расширенные технические характеристики сравниваемых анализаторов. В данной таблице показаны показатели диапазона измеряемой мощности, коэффициента нелинейных искажений и цены на рынке.

Таблица 3

Технико-экономические показатели анализаторов

Модель	КНИ, %	Погрешность	Мощность	Погрешность	Цена , руб.
До 300 тыс. рублей					
Chauvin Arnoux F27	0,2-600	1% ± 2 ед.	10 Вт...600 кВт AC/DC	2% ± 2 ед.	29 322
ND20	0-400	±5%	-1.65 кВт..1.4 кВт ..1.65 кВт	±0,5 %	31 000
ПКЭ-А	0 - 200	абсолютная, % ±0,05 KI(h) < 1,0 относительная, % ±5,0 KI(h) > 1,0	от 0,01P <sub>н</sub> до 2,25P <sub>н</sub>	±(0,1 – 4,0) % в зависимости от используемых клещей	89 000
Ресурс-PQA	0,5-30	$K_u < U_{\text{НОМ}}/U_{(1)}:$ ± 0,05 · $U_{\text{НОМ}}/U_{(1)}$ $K_u$ $\geq U_{\text{НОМ}}/U_{(1)} : \pm 5,0$	от 0,8·U <sub>НОМ</sub> до 1,2·U <sub>НОМ</sub>	±0,5 %	95 800
ChauvinArnouxС. А 8220	0-999,9	± (1 % + 5 ед.)	0...9999 кВт	± (1%) Cos Φ ≥ 0.8 ± (1.5 % + 10 ед.) 0.2 ≤ Cos Φ < 0.8	132 000
GSC60R	0-1000	—	0...9,999 кВт	± (2 % + 7 ед. счета + погрешность	182 000

				преобразователя )	
PQM-700	0-200	$\pm 0,05 \times \text{THD}_{\text{изм}}$	от $0,8 \cdot U_{\text{НОМ}}$ до $1,2 \cdot U_{\text{НОМ}}$	$\pm 0,01$ $\cdot \sqrt{\delta_U^2 + \delta_I^2 + \delta_P^2}$ $\cdot P(E_p)$	212 040
Fluke 43B	0-30	$\pm 10 \%$	250 Вт ... 1,56 ГВт	$\pm (4 \% + 4 \text{ ед. мл.разр.})$	210 208
До 700 тыс. рублей					
Электромонитор-3.3Т1	0-49,9	—	от $0,01 I_{\text{H}} U_{\text{H}}$ до $1,5 I_{\text{H}} \cdot 1,2 U_{\text{H}}$	$\pm 0,015 X_{\text{изм.}}$ при $I_{\text{НОМ}}, U_{\text{НОМ}}, \cos \varphi = 1,0$	352 000
ПКК-57	0 – 99,9	$\pm (15\% + 2 \text{ ед. сч.})$	0 - 9999,9 МВт В пределах диапазонов измерений фазных напряжений , токов и фазовых углов	$\pm (0,01 \times X + 2 \text{ е.м.р.})$	381 870
Fluke 1738	0-1000	$\pm 0,5\%$	4 кВт/40 кВт	$1,2 \% + 0,005 \%$	435 162
АКЭ-823	0-100	—	0,1 Вт – 9,999 МВт	$\pm (1,0\% + 6 \text{ ед. сч.})$ - при $\cos \varphi > 0,5$	643 500
Fluke 1748	0 - 1000	$\pm 2,5 \%$	4 кВт/40 кВт	$1,2 \% + 0,005 \%$	700 000

По диапазону и погрешности измерения КНИ лучше всего оказался анализатор Fluke 1738. Также, при использовании с устройством токоизмерительных клещей i40S-EL, можно замерять мощности до 40 кВт с погрешностью  $1,2 \% + 0,005 \%$ , что вполне подходит для широкого применения в энергетике. С помощью данного анализатора можно замерять показания как трехфазной сети, так и однофазной сети, что тоже является плюсом данного устройства.

#### *Выбор анализатора качества электроэнергии.*

Из всех представленных анализаторов наименьшую цену имеет Chauvin Arnoux F27. По диапазону измерения КНИ и мощности он также вполне приемлем для широкого применения в энергетике, а погрешности измерения прибора очень малы. Однако данный прибор сложно найти на рынке, что создает проблему его покупки. Второй прибор Chauvin Arnoux C.A 8220 в 4,5 раза дороже, но он позволяет увеличить диапазон измерения КНИ до 1000%, также возможности измерения

мощности у данного прибора больше и погрешность измерения меньше первого варианта, но для практики возможности данного прибора не имеют значения.

Таким образом, из всех сравниваемых анализаторов качества электроэнергии наиболее предпочтительным в сравнении цена/качество является анализатор ChauvinArnoux F27 со своими возможностями замера коэффициента нелинейных искажений до 600% и измерения мощности от 10 Вт и до 600 кВт, имея небольшую цену в 29 332 рубля. Данный анализатор отлично подойдет как для замеров качества электроэнергии дома, так и для замеров в промышленных условиях.

### Список литературы

1. Анализатор качества электроэнергетики – сравнительные испытания [Электронный ресурс]. URL: <https://khomovelectro.ru/articles/sravnitelnye-ispytaniya-analizatorov-kachestva-elektroenergii-izmerenie-garmonicheskikh-iskazheniy.html> (дата обращения: 25.04.2022).
2. Барутсков И.Б., Вдовенко С.А., Цыганков Е.В. Гармонические искажения при работе преобразователей частоты // Главный энергетик. 2011. № 6. С. 5-15
3. Семенова О.Д., Тукшаитов Р.Х. К характеристике соотношения между коэффициентами нелинейных и гармонических искажений и устранению их разночтения // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация»: Материалы международной молодежной научной конференции в 3 томах, Казань, 28-30 апреля 2021 года. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. С. 301-305.
4. Электроприбор. Эксперт рынка измерительного оборудования [Электронный ресурс] URL: <https://www.electronpribor.ru/catalog/pribory-izmereniya-pokazatelej-kachestva-elektricheskoy-energii-pke/> (дата обращения: 04.03.2022)
5. ТехноАс. Контрольно-измерительные приборы, разработка и поставка [Электронные ресурсы]. URL: <https://www.technoac.ru/catalog/elektroizmeritelnye-pribory/analizatory-kachestva-elektroenergii/> (дата обращения: 04.03.2022).
6. Бирюлин, В. И. Исследование проблем качества электроэнергии в сетях напряжением 0,4 кВ / В. И. Бирюлин, Д. В. Куделина, И. В. Брежнев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 109-121. EDN SYNKNP.

7. Савина, Н. В. Выбор схемных и технических решений для улучшения качества электроэнергии в адаптивных сетях с тягой переменного тока / Н. В. Савина, И. А. Лисогурский, Л. Н. Лисогурская // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 42-54. doi 10.30724/1998-9903-2022-24-3-42-54. EDN LYXICS.

УДК 621.311(470)

## ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ МАЛЫХ ГЭС

<sup>1</sup>Рудаков Александр Иванович, <sup>2</sup>Мухаматяров Мират Ринатович  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»  
<sup>1</sup>rud-38@mail.ru, <sup>2</sup>vcc\_99@mail.ru

Разработкой и внедрением автоматизированной системы управления группой малых ГЭС предусматривается некоторое число завершенных этапов, каждый из которых соответствует реализации определенным задачам.

Вначале (на первом этапе) решаются задачи автоматизации коммерческого учета электроэнергии. Второй этап реализации АСУ может быть отнесен к автоматизации процесса производства электроэнергии и характеристики автономии малых ГЭС. Третий этап разработки и реализации АСУ микроГЭС начинается и кончается выделением опорных ГЭС.

**Ключевые слова:** автоматизированная система, группа малых ГЭС, автоматика, коммерческий учет, производство, электроэнергия.

## STAGES OF THE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR THE GROUP OF SMALL HYDROELECTRIC POWER STATIONS

Rudakov Alexander Ivanovich, Mukhamatyarov Mirat Rinatovich  
<sup>1,2</sup>FSBEI HE "KSPEU", Kazan  
rud-38@mail.ru, vcc\_99@mail.ru

The development and introduction of an automated control system of a group of small hydroelectric power stations provides for a certain number of completed stages, each of which corresponds to the implementation of certain tasks.

At first (at the first stage), the tasks of automation of commercial accounting electricity are solved. The second stage in the implementation of the ACS can be attributed to the automation of the electricity production process and the characteristics of the autonomy of small hydroelectric power stations. The third stage in the development and implementation of ACS MicroPes begins and ends with the release of support hydroelectric power stations.

**Key words:** automated system, group of small hydroelectric power stations, automation, commercial accounting, production, electricity.

В настоящее время развитие как большой, так и малой гидроэнергетики невозможно без применения систем автоматического управления (САУ ГА) и автоматического регулирования (САР ГА).