

УДК 621.311

EDN IRBOBJ

## НОВЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ, ОБУСЛОВЛЕННЫМ ГЕНЕРАЦИЕЙ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТОКА НЕЛИНЕЙНЫМИ НАГРУЗКАМИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

**А.В. Кузнецов**

e-mail: kav2@ulstu.ru

Ульяновский государственный технический университет  
*Ульяновск, Россия***В.В. Чикин**

ORCID: 0000-0002-3295-2650 e-mail: chikin\_vladislav@mail.ru

Ульяновский государственный технический университет  
*Ульяновск, Россия*

В статье предпринимается попытка провести анализ подхода к построению модели управления качеством электроэнергии в электротехническом комплексе электроснабжения потребителей сетевой организации по показателям, обусловленным генерацией гармонических составляющих тока нелинейными нагрузками потребителей, с целью его совершенствования. Предложенный подход связан с участками правоотношений и обуславливает их ответственность, обязательства и способ обеспечения исполнения обязательств. Проведен анализ технологического процесса передачи электроэнергии в электротехническом комплексе электроснабжения потребителей сетевой организации, часть из которых содержат нелинейные нагрузки. Анализ показывает, что технологический процесс в части распространения гармонических составляющих тока предполагает участие каждого искажающего потребителя, сетевой организации и других потребителей сетевой организации, вынужденных потреблять искаженную электроэнергию. В существующей нормативной правовой базе обозначены и установлены правоотношения только между искажающими потребителями и сетевой организацией. Правоотношения между искажающими потребителями и потребителями, вынужденными потреблять искаженную электроэнергию, в существующей нормативной правовой базе не обозначены, что снижает работоспособность модели управления качеством электроэнергии. Процесс генерации гармонических составляющих тока нелинейной нагрузкой потребителей в электрическую сеть сетевой организации, на настоящий момент, не управляем. Предложено узаконить правоотношения между потребителями сетевой организации, что позволит обеспечить правомерность применения управляющих факторов и эффективность управления генерацией гармонических составляющих тока нелиней-

ными нагрузками потребителей. В случае отсутствия прямых договорных отношений между потребителями для регулирования правоотношений между ними предложено использовать существующие договорные отношения между каждым потребителем и сетевой организацией через посредника, которым является энергосбытовая организация. Таким образом, возложив на энергосбытовую организацию посреднические функции в модели управления качеством электроэнергии.

**Ключевые слова:** гармонические составляющие, качество электроэнергии, нелинейная нагрузка, несинусоидальность, правоотношения, управление.

**Для цитирования:** Кузнецов А.В., Чикин В.В. Новый подход к построению модели управления качеством электроэнергии по показателям, обусловленным генерацией гармонических составляющих тока нелинейными нагрузками потребителей // Интеллектуальная Электротехника. 2024. № 1. С. 86-100. EDN IRBOBJ

## A NEW APPROACH TO BUILDING A MODEL OF POWER QUALITY MANAGEMENT BASED ON INDICATORS CAUSED BY GENERATION OF HARMONIC CURRENT COMPONENTS BY NONLINEAR CONSUMER LOADS

**A.V. Kuznetsov**

e-mail: [kav2@ulstu.ru](mailto:kav2@ulstu.ru)

Ulyanovsk State Technical University  
*Ulyanovsk, Russia*

**V.V. Chikin**

ORCID: **0000-0002-3295-2650** e-mail: [chikin\\_vladislav@mail.ru](mailto:chikin_vladislav@mail.ru)

Ulyanovsk State Technical University  
*Ulyanovsk, Russia*

**Abstract.** The article attempts to analyze the approach to building a model of power quality management in the power supply systems of consumers of a grid organization according to the indicators caused by the generation of harmonic current components by nonlinear consumer loads in order to improve it. The proposed approach is connected with the participants of legal relations and stipulates their responsibility, obligations and the way of ensuring the fulfillment of obligations. The analysis of the technological and logical process of electric power transmission in the power supply system of consumers of the grid organization, some of which contain non-linear loads, is carried out. The analysis shows that the technological process in terms of propagation of harmonic current components involves each distorting consumer, the grid organization and other consumers of the grid organization, forced to consume distorted electricity. The existing normative legal framework identifies and establishes legal relations only between the distorting consumers

and the grid organization. Legal relations between distorting consumers and consumers forced to consume distorted electricity are not specified in the existing regulatory framework, which reduces the efficiency of the power quality management model. The process of generation of harmonic components of current by nonlinear load of consumers in the electric network of grid organization, at the moment, is not controllable. It is proposed to legalize legal relations between grid organization consumers, which will ensure the legitimacy of the application of control factors and the effectiveness of management of the generation of harmonic current components by nonlinear loads of consumers. In case of absence of direct contractual relations between consumers for regulation of legal relations between them it is offered to use contractual relations between each consumer and grid organization through an intermediary, which is an energy sales company. Thus, assigning intermediary functions in the power quality management model to the energy sales company.

**Keywords:** power quality, management, non-sinusoidality, harmonic components, legal relations, nonlinear load.

**For citation:** A.V. Kuznetsov and V.V. Chikin, "A new approach to building a model of power quality management based on indicators caused by generation of harmonic current components by nonlinear consumer loads", *Smart Electrical Engineering*, no. 1, pp. 86-100, 2024. EDN IRBOBJ

## I. Введение

По опубликованным данным, ежегодные убытки от потребления электроэнергии пониженного качества для России составляют порядка 25 млрд. долларов в год [1], для США и отдельных стран Европы 20-40 млрд. долларов в год [2-4]. Проблема ущерба от низкого уровня качества электроэнергии (КЭ) многогранна и связана с целым рядом показателей качества электроэнергии (ПКЭ), обозначенных в ГОСТ 32144-2013 [5]. Часть из них характеризует искажение синусоидальной формы кривой напряжения, возникающее вследствие генерации гармонических составляющих тока нелинейными нагрузками, расположенными в электрических сетях потребителей [6]. К таким ПКЭ относятся коэффициенты гармонических составляющих напряжения до 40-ого порядка  $K_{U(n)}$  и суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения  $K_U$ . Указанные выше показатели играют достаточно весомую роль в снижении уровня КЭ. Требуют такого же внимания при создании модели управления КЭ, как и любые другие ПКЭ.

Управление КЭ в электротехническом комплексе электроснабжения потребителей сетевой организации осуществляется Государственными органами на основании технического регламента [7] и нормативных правовых актов [8, 9]. Несвершенство модели управления признается многими авторами [10-12]. В этой связи в статье предпринимается попытка провести ана-

лиз подхода к построению модели управления КЭ по показателям, обусловленным генерацией гармонических составляющих тока нелинейными нагрузками потребителей, с целью его совершенствования. Рассматриваемый в статье подход связан с участниками правоотношений и обуславливает их ответственность, обязательства и способ обеспечения исполнения обязательств. В существующем подходе предполагаются правоотношения между потребителями электроэнергии и сетевой организацией, регулируемые через посредника, в качестве которого выступают организации, осуществляющие энергосбытовую деятельность (далее по тексту – энергосбытовые организации).

Исследования, направленные на совершенствование подхода к построению модели управления КЭ по показателям, обусловленным генерацией гармонических составляющих тока нелинейными нагрузками потребителей, на взгляд авторов являются актуальными. Для анализа подхода и проведения исследований необходимо рассмотреть технологический процесс передачи электроэнергии в электротехническом комплексе электроснабжения потребителей сетевой организации, часть из которых содержат нелинейные нагрузки.

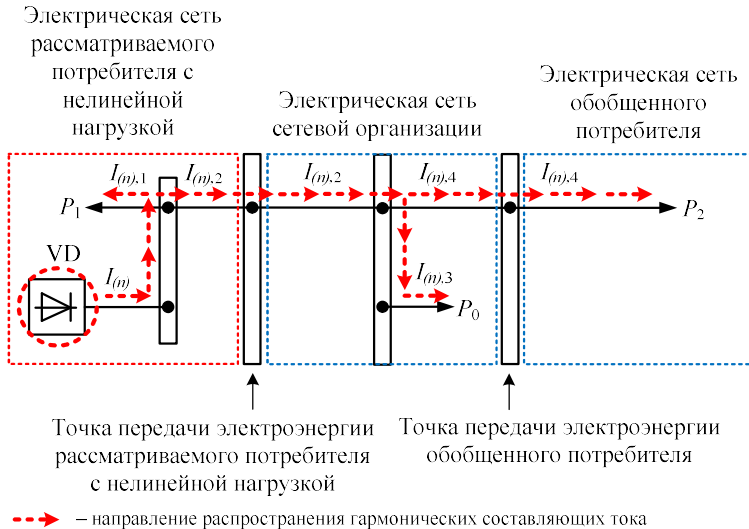
## **II. Анализ технологического процесса передачи электроэнергии в электротехническом комплексе электроснабжения потребителей сетевой организации, часть из которых содержат нелинейные нагрузки**

Технологический процесс передачи электроэнергии в электрическую сеть потребителя с нелинейными нагрузками характеризуется генерацией гармонических составляющих тока нелинейными нагрузками с дальнейшим распространением генерируемых гармонических составляющих тока по электрической сети. Гармонические составляющие тока связаны с негативными последствиями для всех элементов электротехнического комплекса электроснабжения потребителей сетевой организации, электрически и магнитно связанных с нелинейными нагрузками. Это элементы, участвующие в передаче, распределении и потреблении электроэнергии. Сюда относятся электрические сети и нагрузки потребителей электроэнергии и сетевой организации.

Для анализа процесса распространения гармонических составляющих тока рассмотрена упрощенная схема электротехнического комплекса электроснабжения потребителей сетевой организации, часть из которых содержат нелинейные нагрузки (рис. 1).

Схема составляется и рассматривается для каждого потребителя сетевой организации с нелинейными нагрузками в отдельности относительно точек передачи электроэнергии (ТПЭ), в которых нормируются ПКЭ, в фиксированный интервал времени. В составе нелинейных нагрузок потребителя может присутствовать как один, так и несколько электроприемников с

нелинейной вольт-амперной характеристикой. На схеме такая нагрузка обозначена как VD. Остальные потребители сетевой организации представлены на схеме одним обобщенным потребителем. Действительно же каждый из остальных потребителей сетевой организации подключен к электрической сети сетевой организации в определенном месте и имеют свою ТПЭ.



**Рис. 1. Упрощенная схема, иллюстрирующая распространение гармонических составляющих тока в электротехническом комплексе электроснабжения**

**Fig. 1. Simplified scheme illustrating the propagation of harmonic components of current in the electrical system of power supply**

Анализ схемы показывает, что в результате генерации гармонических составляющих тока  $I_{(n)}$  нелинейными нагрузками происходит их распространение по электрической сети и нагрузкам  $P_1$  рассматриваемого потребителя  $I_{(n),1}$ . При этом часть гармонических составляющих тока  $I_{(n),2} = I_{(n)} - I_{(n),1}$  уходит за ТПЭ в электрическую сеть сетевой организации. Вышедшие за ТПЭ гармонические составляющие тока  $I_{(n),2}$  распространяются по электрической сети сетевой организации. Часть из них  $I_{(n),3}$  поступает к нагрузкам сетевой организации  $P_0$ . Другая часть  $I_{(n),4} = I_{(n)} - I_{(n),1} - I_{(n),3}$  распространяется по электрическим сетям и нагрузкам  $P_2$  остальных потребителей, получающих питание от сетевой организации. Распределение  $I_{(n),4}$  между остальными потребителями сетевой организации происходит в соответ-

ствии с удаленностью потребителя от места генерации гармонических составляющих тока с учетом сопротивления цепи протекания гармонических составляющих тока.

Следует отметить, что рассмотренная схема не учитывает генерацию гармонических составляющих тока от нелинейных нагрузок, расположенных в электрической сети сетевой организации. Хотя это может иметь место. Вместе с тем известно, что установленная мощность нелинейных нагрузок, расположенных в электрической сети сетевой организации, несоизмеримо мала по сравнению с установленной мощностью нелинейных нагрузок, расположенных в электрических сетях потребителей [6]. Ее влиянием на технологический процесс можно пренебречь.

Визуализировать процесс распространения гармонических составляющих тока любого другого потребителя сетевой организации с нелинейными нагрузками возможно, если принять его в качестве рассматриваемого, а прежнего потребителя с нелинейными нагрузками перевести в состав обобщенного потребителя. При этом его нелинейные нагрузки необходимо не учитывать. Распространение гармонических составляющих тока других потребителей сетевой организации с нелинейными нагрузками на схеме не показано.

Реально в электротехническом комплексе электроснабжения присутствуют гармонические составляющие тока от всех потребителей с нелинейными нагрузками. Любой потребитель может как генерировать гармонические составляющие тока, так и одновременно потреблять гармонические составляющие тока, которые генерируются другими потребителями с нелинейными нагрузками. В процессе передачи эти гармонические составляющие тока могут протекать как в совпадающем, так и противоположном направлении относительно друг друга. Накладываться, увеличивая значение гармонических составляющих тока в ТПЭ, или компенсировать друг на друга. Схема распространения гармонических составляющих тока в данном случае будет результатом наложения отдельных схем распространения гармонических составляющие тока каждого из потребителей с нелинейными нагрузками.

Если при анализе процесса распространения гармонических составляющих тока, генерируемых рассматриваемым потребителем с нелинейными нагрузками, учитывать влияние гармонических составляющих тока других потребителей с нелинейными нагрузками (на схеме не показаны), то можно предположить, что в результате наложения токов в ТПЭ результирующие гармонических составляющих тока могут быть направлены как от рассматриваемого потребителя в сторону сетевой организации, так и от сетевой организации к рассматриваемому потребителю. В первом случае,

часть гармонических составляющих тока  $I_{(n),2}$  выходит за ТПЭ в электрическую сеть сетевой организации. Негативные последствия, возникающие в электрических сетях сетевой организации и остальных потребителей, связаны с частями генерируемых гармонических составляющих тока  $I_{(n),3}$  и  $I_{(n),4}$  соответственно. В этом случае, для сетевой организации рассматриваемый потребитель с нелинейными нагрузками является искажающим по показателям, обусловленным генерацией гармонических составляющих тока.

Во втором случае, гармонические составляющие тока  $I_{(n),2}$  рассматриваемого потребителя с нелинейными нагрузками не выходят за ТПЭ в электрическую сеть сетевой организации. Негативные последствия, возникающие в электрических сетях сетевой организации и остальных потребителей, не связаны с гармоническими составляющими тока рассматриваемого потребителя. В таком случае, рассматриваемый потребитель с нелинейными нагрузками подобно потребителю, не имеющему в своем составе нелинейных нагрузок, не является искажающим по показателям, обусловленным генерацией гармонических составляющих тока. Негативные последствия, возникающие в электрической сети рассматриваемого потребителя с нелинейными нагрузками, связаны не только с частью генерируемых гармонических составляющих тока  $I_{(n),1}$ , но и с гармоническими составляющими тока других потребителей с нелинейными нагрузками. Рассматриваемый потребитель с нелинейной нагрузкой вынужден потреблять электроэнергию, искаженную другими потребителями сетевой организации.

Анализ схемы показывает, что технологический процесс передачи электроэнергии в электротехническом комплексе электроснабжения потребителей сетевой организации, часть из которых содержат нелинейные нагрузки, в части распространения гармонических составляющих тока предполагает участие каждого искажающего потребителя, сетевой организации и других потребителей сетевой организации, вынужденных потреблять искаженную электроэнергию. Отсюда возникает вопрос о возможных правоотношениях между каждым искажающим потребителем и сетевой организацией, между каждым искажающим потребителем и другими потребителями сетевой организации, вынужденными потреблять искаженную электроэнергию. Правоотношения позволяют определить ответственность, обязательства и способ обеспечения исполнения обязательств, необходимые для использования в модели управления. В существующей нормативной правовой базе обозначены и установлены правоотношения только между искажающими потребителями и сетевой организацией. Правоотношения между искажающими потребителями и потребителями, вынужденными потреблять искаженную электроэнергию, в существующей нормативной правовой базе не обозначены.

### III. Эффективность модели управления качеством электроэнергии при существующем подходе к участникам правоотношений

При существующем подходе к построению модели управления КЭ по показателям, обусловленным генерацией гармонических составляющих тока нелинейными нагрузками потребителей, участниками правоотношений являются сетевая организация и каждый из подключенных к ее электрической сети потребителей электроэнергии. Для анализа существующей модели управления КЭ достаточно рассмотреть **два варианта** правоотношений между сетевой организацией и потребителем. В одном варианте, это может быть сетевая организация и один из потребителей, вынужденных потреблять искаженную электроэнергию. Искажение может создаваться как одним, так и несколькими искажающими потребителями сетевой организации. В другом варианте сетевая организация и один из искажающих потребителей. Оба варианта могут относиться к одному потребителю в разные интервалы времени. В одном из интервалов потребитель может быть искажающим. Во втором не искажающим.

В обоих вариантах, в соответствии с существующим подходом к построению, на сетевую организацию и потребителя возлагаются ответственность и обязательства друг перед другом по поддержанию значений ПКЭ, обусловленных генерацией гармонических составляющих тока нелинейными нагрузками потребителей, в ТПЭ на уровне требований ГОСТ 32144-2013. Указанные показатели связаны с протеканием в ТПЭ результирующих гармонических составляющих тока. Предусмотрен способ обеспечения исполнения обязательств, если одна из сторон не выполняет обязательства. Согласно статье 547 [9], которая регулирует правоотношения между сетевой организацией и потребителем электроэнергии по договору энергоснабжения, в качестве способа обеспечения исполнения обязательств предусмотрена оплата ущерба, связанного с негативными последствиями протекания гармонических составляющих тока.

В **первом варианте** сетевая организация несет ответственность перед потребителем за генерацию в его электрическую сеть гармонических составляющих тока. Потребитель, вынужденный потреблять искаженную электроэнергию, по действующим правилам, может предъявлять претензии к сетевой организации. Требовать возмещения ущерба. Однако сетевая организация не генерирует гармонические составляющие тока. Она не является тем участником правоотношений, который может уменьшить или ликвидировать генерацию гармонических составляющих тока в электрическую сеть. В соответствии с технологическим процессом, гармонические составляющие тока генерируются искажающим потребителем и через ее электрическую сеть поступают в электрические сети других потребителей. Сетевая



организация является посредником в процессе распространения гармонических составляющих тока (рис. 1). Ее участие в технологическом процессе этим ограничивается.

Претензии потребителя, вынужденного потреблять искаженную электроэнергию, в данном случае оказываются направленными не по адресу. Отсюда неправомерность применения любых способов обеспечения исполнения обязательств по претензиям потребителя к сетевой организации в действующей модели управления. При существующем подходе к построению управляющий фактор, который должен обеспечить уменьшение или ликвидацию генерации гармонических составляющих тока, не эффективен. Применяться не может в силу неправомерности направления претензий в адрес сетевой организации. Адресатом должен быть искажающий потребитель, который в действующей модели управления не предполагается участником правоотношений. Предъявление претензий в его адрес, при существующем подходе, также не правомерно.

Во **втором варианте** искажающий потребитель несет ответственность перед сетевой организацией. Сетевая организация, по действующим правилам, может предъявлять претензии к искажающему потребителю. Требовать возмещения ущерба, связанного с негативными последствиями протекания гармонических составляющих тока в своей электрической сети и электрических сетях других потребителей, вынужденных потреблять искаженную электроэнергию. На первый взгляд, кажется, что управляющий фактор обеспечен. Однако сетевая организация имеет основание на возмещение только той части ущерба, которая обусловлена распространением гармонических составляющих тока в своей электрической сети. Вторая часть ущерба обусловлена протеканием гармонических составляющих тока в электрических сетях других потребителей и не имеет отношения к сетевой организации.

Относительно возмещения первой части ущерба, обусловленного протеканием гармонических составляющих тока по электрической сети сетевой организации, выяснено следующее. Оплата ущерба, реализована в действующей системе тарифообразования. Осуществление деятельности сетевой организации оплачивается потребителями по тарифу на передачу электроэнергии. При расчете и обосновании тарифа учитываются все затраты, связанные с передачей электроэнергии. В процессе эксплуатации в сетевой организации проводятся ремонт и замена оборудования, вышедшего из строя, и т. д. Не исключено, что среди причин, повлиявших выход из строя оборудования, присутствуют причины, связанные с протеканием генерируемых гармонических составляющих тока нелинейной нагрузкой потребителя.

Затраты на устранение ущерба, связанного с негативными последствиями протекания гармонических составляющих тока, выделить невозможно. На сегодняшний день, они включены наряду с другими в общие затраты на содержание электрических сетей и учитываются при расчете и обосновании тарифа на передачу электроэнергии. Стало быть, в силу сложившихся обстоятельств, первая часть ущерба возмещена искажающими потребителями через тариф и не может взиматься повторно, например, по решению арбитражного суда. Не может использоваться как управляющий фактор в модели управления.

Согласно технологическому процессу, вторая часть ущерба вызвана протеканием гармонических составляющих тока в электрических сетях других потребителей. Требовать возмещения этой части ущерба от искажающего потребителя сетевая организация не имеет права. Оплата ущерба оказывается направленной не по адресу. Адресатами оплаты второй части ущерба должны быть другие потребители сетевой организации, вынужденные потреблять искаженную электроэнергию. К сожалению, при существующем подходе к построению, они не являются участниками правоотношений в рассматриваемом варианте правоотношений. В действующей модели управления КЭ оплата второй части ущерба, вызванная протеканием гармонических составляющих тока в электрических сетях потребителей, вынужденных потреблять искаженную электроэнергию, как управляющий фактор не эффективен и не может использоваться сетевой организацией по отношению к искажающему потребителю.

В итоге можно констатировать, что при существующем подходе к построению модели управления КЭ по показателям, обусловленным генерацией гармонических составляющих тока нелинейными нагрузками потребителей, действуют следующие управляющие факторы, которые, по замыслу и определению, должны обеспечить уменьшение или ликвидацию генерации гармонических составляющих тока.

1. Возмещение потребителю, вынужденному потреблять искаженную электроэнергию, ущерба, связанного с протеканием в его электрической сети гармонических составляющих тока, со стороны сетевой организации.

2. Возмещение сетевой организации ущерба, связанного с протеканием в ее электрической сети гармонических составляющих тока, со стороны искажающего потребителя.

3. Возмещение сетевой организации ущерба, связанного с протеканием в электрической сети потребителя, вынужденного потреблять искаженную электроэнергию, гармонических составляющих тока, со стороны искажающего потребителя.

Все рассмотренные управляющие факторы при существующем подходе, связанном с участниками правоотношений, не правомерны. Как для сетевой организации, так и для искажающего потребителя есть законные основания не оплачивать ущерб по предъявлению противоположной стороны. Существующий подход к построению, связанный с участниками правоотношений, не обеспечивает работоспособность модели управления КЭ по показателям, обусловленным генерацией гармонических составляющих тока нелинейными нагрузками потребителей. Процесс генерации гармонических составляющих тока в электрическую сеть сетевой организации не управляем. Авторами предлагается новый подход, исключающий правоотношения потребителей с сетевой организацией и предполагающий новые правоотношения между потребителями сетевой организации.

#### **IV. Модель управления качеством электроэнергии при новом подходе к участникам правоотношений**

При новом подходе, связанным с участниками правоотношений, действующими сторонами в правоотношениях являются каждый искажающий потребитель с одной стороны, и все другие потребители, вынужденные потреблять искаженную электроэнергию, с другой стороны. При этом, ответственность и обязательства по поддержанию значений ПКЭ, обусловленных генерацией гармонических составляющих тока нелинейными нагрузками потребителей, в ТПЭ на уровне требований ГОСТ 32144-2013, искажающий потребитель несет перед другими потребителями, вынужденными потреблять искаженную электроэнергию. Предусмотрены способы обеспечения исполнения обязательств. Одним из таких способов является возмещение потребителям, вынужденным потреблять искаженную электроэнергию, ущерба, связанного с протеканием гармонических составляющих тока. Способ обеспечения исполнения обязательств служит управляющим фактором в модели управления КЭ.

В каждом случае искажающий потребитель наносит ущерб другим потребителям сетевой организации. Сумма ущерба, наносимого каждому потребителю, вынужденному потреблять искаженную электроэнергию, должна быть предъявлена искажающему потребителю. При нескольких искажающих потребителях, каждый из них причиняет ущерб потребителю, вынужденному потреблять искаженную электроэнергию. Этот ущерб должен распределяться между искажающими потребителями.

Возникает необходимость узаконить правоотношения между искажающим потребителем и потребителями, вынужденными потреблять искаженную электроэнергию. Прямых договорных отношений между потребителями не предусмотрено. Однако существуют договорные отношения между каждым потребителем и сетевой организацией через посредника, которым является энергосбытовая организация. Предлагается использовать

эти отношения для регулирования правоотношений между потребителями. Возложить на энергосбытовую организацию посреднические функции в модели управления КЭ.

Функции энергосбытовой организации предположительно должны включать в себя следующее. Принятие претензии потребителей, вынужденных потреблять искаженную электроэнергию. Определение ущерба, связанного с протеканием гармонических составляющих тока, для каждого из потребителей, вынужденных потреблять искаженную электроэнергию. Определение суммарного ущерба. Выявление искажающих потребителей. Распределение суммы ущерба между искажающими потребителями. Предъявление соответствующей части суммы ущерба искажающему потребителю. Получение суммы ущерба и распределение ее между потребителями, вынужденными потреблять искаженную электроэнергию. Оплата им соответствующей части суммарного ущерба. Все указанные действия необходимо поддержать решениями арбитражных судов, опирающихся на соответствующие правовые документы. Для осуществления всех названных функций необходима разработка соответствующих методик.

Реализация модели управления КЭ с учетом нового подхода к правоотношениям требует решения достаточно большого объема задач. Однако, без их решения, процесс генерации гармонических составляющих тока останется не управляемым. КЭ в электротехническом комплексе электроснабжения потребителей сетевой организации, часть из которых содержат нелинейные нагрузки, либо останется на прежнем уровне, либо будет ухудшаться.

## **V. Выводы**

Анализ технологического процесса передачи электроэнергии в электротехническом комплексе электроснабжения потребителей сетевой организации, часть из которых содержат нелинейные нагрузки, показывает, что для эффективного управления КЭ по показателям, обусловленным генерацией гармонических составляющих тока нелинейными нагрузками потребителей, необходимо узаконить новые правоотношения между искажающими потребителями и потребителями, вынужденными потреблять искаженную электроэнергию.

Существующий подход к построению, связанный с участниками правоотношений, не обеспечивает работоспособность модели управления КЭ по показателям, обусловленным генерацией гармонических составляющих тока нелинейными нагрузками потребителей. Процесс генерации гармонических составляющих тока в электрическую сеть сетевой организации не управляем.

При новом подходе к правоотношениям обеспечивается правомер-

ность применения управляющих факторов и эффективность управления генерацией гармонических составляющих тока нелинейными нагрузками потребителей. Без новых правоотношений процесс генерации гармонических составляющих тока останется не управляемым.

© Кузнецов А.В., 2024

© Чикин В.В., 2024

*Поступила в редакцию 04.10.2023*

*Принята к публикации 13.12.2023*

*Received 04.10.2023*

*Approved 13.12.2023*

### Библиографический список

- [1] Добрусин Л.Н. Инвестиции в электроэнергетику России и программа повышения их эффективности. Материалы VI Всероссийского энергетического форума «ТЭК России в XXI веке», Москва, 1-4 апреля 2008 г.
- [2] Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л., Горпинич А.В. Оценка надежности электрооборудования при пониженном качестве электроэнергии // Вести в электроэнергетике. 2006. № 6.
- [3] Чэпмэн Д. Цена низкого качества электроэнергии // Энергосбережение. 2004. № 1.
- [4] Менсон Дж. Решение проблемы качества электроэнергии – дешевле, чем терпеть от нее убытки // Энергоэксперт. 2008. № 4. С. 49-63.
- [5] ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.
- [6] Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г., Шаров Ю.В., Насыров Р.Р. Управление качеством электроэнергии. М: МЭИ, 2017. – 347 с.
- [7] Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 020/2011. Электромагнитная совместимость технических средств. Утв. решением комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года N 879. Москва. 2011.
- [8] Постановление Правительства РФ от 27.12.2004 № 861. Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам администратора торговой системы оптового рынка и оказания этих услуг и Правил технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_51030/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51030/) (дата обращения 26.09.2023).

- [9] Гражданский кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 26.01.1996 г. № 14-ФЗ (ред. от 01.07.2021). [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_9027/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_9027/) (дата обращения 26.09.2023).
- [10] Коверникова Л.И., Серков А.В., Шамонов Р.Г. Об управлении качеством электрической энергии в России в прошлом, настоящем и будущем // Энергетическая политика. 2018. № 1. С. 75-85.
- [11] Кузнецов А.В., Чикин В.В. Управление качеством электроэнергии в электроэнергетической системе // Промышленная энергетика. 2021. № 5. С. 53-59. DOI: 10.34831/EP.2021.30.84.008
- [12] Кононенко В.Ю., Мурачев А.С., Смоленцев Д.О. Задачи научно-технической политики в области качества электроэнергии на современном этапе формирования цифровой экономики РФ // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № 2 (47). С. 28-31.

### References

- [1] L.N. Dobrusin, "Investicii v elektroenergetiku Rossii i programma povysheniya ih effektivnosti [Investments in electric power industry of Russia and their efficiency improvement programme]", in proc. *VI All-Russian Energy Forum "Russian Energy and Fuel and Energy Complex in XXI century"*, Moscow, Apr. 1-4, 2008 (in Russian).
- [2] I.V. Zhezhelenko, Yu.V. Saenko and A.V. Gorpnich, "Ocenka nadezhnosti elektrooborudovaniya pri ponizhenom kachestve elektroenergii [Reliability assessment of electrical equipment under reduced power quality]", *Electric power news*, no. 6, 2006 (in Russian).
- [3] D. Chapman, "Cena nizkogo kachestva elektroenergii [The price of low power quality]", *Energy Saving*, no. 1, Jan. 2004 (in Russian).
- [4] J. Manson, "Reshenie problemy kachestva elektroenergii – deshevle, chem terpet' ot nee ubytki [Solving the power quality problem is cheaper than tolerating losses from it]", *Energoekspert*, no. 4, pp. 49-63, Apr. 2004 (in Russian).
- [5] Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems, GOST 32144-2013, July 2014.
- [6] I.I. Kartashev, V.N. Tulsy, R.G. Shamonov, Y.V. Sharov and P.P. Nasyrov, *Upravlenie kachestvom elektroenergii [Power quality management]*. Moscow: MPEI, 2017 (in Russian).
- [7] Elektromagnitnaya sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv [Electromagnetic compatibility of technical means], Technical Regulations of the Customs Union TR CU 020/2011, Dec. 2011.
- [8] Decree of the Government of the Russian Federation dated December 27, 2004 No. 861. "Ob utverzhenii Pravil nediskriminacionnogo dostupa k uslugam po peredache elektricheskoy energii i okazaniya etih uslug, Pravil nediskriminacionnogo dostupa k uslugam po operativno-dispatcherskomu upravleniyu v elektroenergetike i okazaniya etih uslug, Pravil nediskriminacionnogo dostupa k uslugam administratora torgovoy sistemy optovogo rynka i okazaniya etih uslug i Pravil tekhnologicheskogo prisoedineniya energoprimayushchih ustrojstv potrebitelej elektricheskoy energii, ob"ektov po proizvodstvu elektricheskoy energii, a takzhe ob"ektov elektrosetevogo hozyajstva, prinadlezhashchih setevym organizacijam i inym licam, k elektricheskim setyam [On approval of the Rules for non-discriminatory access to services for the transmission

- of electrical energy and the provision of these services, the Rules for non-discriminatory access to services for operational dispatch control in the electric power industry and the provision of these services, the Rules for non-discriminatory access to services of a trade administrator wholesale market systems and the provision of these services and the Rules for the technological connection of power receiving devices of electrical energy consumers, electrical energy production facilities, as well as electrical grid facilities belonging to network organizations and other persons to electrical networks”]. [Online]. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_51030/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51030/) [Accessed: Sep. 26, 2023] (in Russian).
- [9] Civil Code of the Russian Federation (part two) dated Jan. 26, 1996 No. 14-FZ (as amended on July 1, 2021). [Online]. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_9027/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_9027/) [Accessed: Sep. 26, 2023] (in Russian).
- [10] L.I. Kovernikova, A.V. Serkov and R.G. Shamonov, “On electric power quality management in Russia in the past, present and future”, *Energy policy*, no. 1, pp. 75-85, 2018.
- [11] A.V. Kuznetsov and V.V. Chikin, “Control of the quality of electricity in the electric power system”, *Industrial Power Engineering*, no. 5, pp. 53-59, May. 2021. DOI: 10.34831/EP.2021.30.84.008
- [12] V.Y. Kononenko, A.S. Murachev and D.O. Smolentsev, “The tasks of scientific and technical policy in the field of power quality at the present stage of digital economy development in the Russian Federation”, *Electric Power. Transmission and Distribution*, vol. 2, no. 47, pp. 28-31, 2018.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Кузнецов Анатолий Викторович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение» Ульяновского государственного технического университета, г. Ульяновск, Российская Федерация.

**Anatoly V. Kuznetsov**, D. Sci. (Eng.), professor, head of Electrical Power Supply Department of the Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russian Federation.

**Чикин Владислав Владимирович**, старший преподаватель, аспирант Ульяновского государственного технического университета, г. Ульяновск, Российская Федерация.

**Vladislav V. Chikin**, senior lecturer, postgraduate student of the Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russian Federation.