
Экспериментальное исследование влияния электроприемников частного жилого фонда сельской местности на уровень искажения синусоидальности напряжения и тока в сети 0,38 кВ

П.В. Терентьев, Д.А. Филатов, М.В. Чесноков, А.А. Кораблев

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, Нижний Новгород

Аннотация: В жилых зданиях появилось большое число электроприемников с нелинейными вольт-амперными характеристиками с импульсным режимом работы, что приводит к генерации в электрическую сеть 0,38 кВ высших гармонических составляющих токов, большие величины этих гармоник приводят к ухудшению формы кривой сетевого напряжения. Цель работы - исследование гармоник тока генерируемых электроприемниками жилых зданий, и их влияние на коэффициент несинусоидальности напряжения сети 0,38 кВ. Установлено, что наибольшее негативное влияние на электрическую сеть оказывают ЭП с импульсными блоками питания, такие как ПЭВМ, ноутбуки и нетбуки, а также посудомоечные машины и светодиодные лампы с цоколем E14 и E27, суммарный коэффициент гармонических составляющих тока у которых составляет $85\% \leq \text{THDI} \leq 205\%$. В программе Matlab Simulink смоделирована имитационной модели сети 0,38 кВ жилого дома, что позволяет проводить исследования суммарного коэффициента искажений тока K_I и напряжения K_U в ВРУ. При установленной мощности нелинейной нагрузки превышающей более чем в два раза линейную нагрузку, коэффициент несинусоидальности напряжения в сети 0,38 кВ может превышать установленные ГОСТ 32144-2013 значения.

Ключевые слова: система электроснабжения, электрическая сеть, качество электрической энергии, гармоники напряжения, гармоники тока, электромагнитная совместимость, электроприемник.

По данным единой межведомственной информационно-статистической системы, бытовое потребление электроэнергии сельским населением с 2013 по 2018 года увеличилось на 27,9% и составило порядка 2% от всего потребления электрической энергии в Российской Федерации [1].

С ростом потребления электрической энергии изменился характер нагрузки. Возросло количество электроприемников (ЭП) с нелинейной вольт-амперной характеристикой [2, 3].

Поэтому цель работы - исследование гармоник тока генерируемых электроприемниками жилых зданий, и их влияние на коэффициент несинусоидальности напряжения сети 0,38 кВ.

Измерения осциллограмм и спектрограмм токов высших гармоник, а также снятие графиков нагрузки электроприемников жилых зданий проводились в соответствии с рекомендациями ГОСТ 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30:2008), ГОСТ 30804.4.7-2013 (IEC 61000-4-7:2009) и ГОСТ 30804.3.2-2013 (IEC 61000-3-2:2009). В качестве средства измерения использовались сертифицированные анализаторы качества электрической энергии AR-5L и AR6 фирмы Circutor, внешний вид которых показан на рис. 1.



а) AR-5L Circutor



б) AR6 Circutor

Рис. 1 – Внешний вид анализаторов качества электрической энергии

Измерения проведены для электроприемников различных производителей применяемых в частном жилом фонде сельской местности [4, 5]. Суточные графики нагрузки сняты в ВРУ 0,38 кВ жилых домов расположенных в Кстовском и Богородском районах Нижегородской области приведены на рис. 2 и рис. 3.

Проведенное исследование режимов работы ЭП частного жилого фонда сельской местности показало, что большинство из них работают в повторно-кратковременном или кратковременном режиме, этим объясняются броски тока и мощности в графиках нагрузки данного типа жилых зданий.

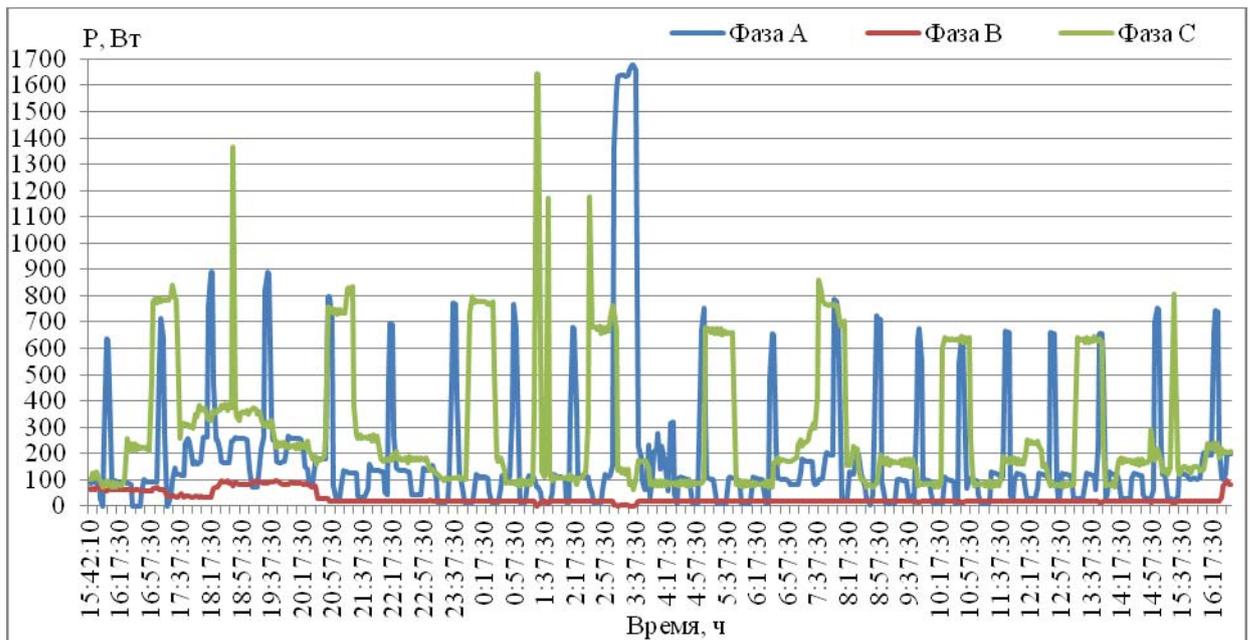


Рис. 2 – Суточный график нагрузки жилого дома №1 (Нижегородская обл., Богородский р-н)

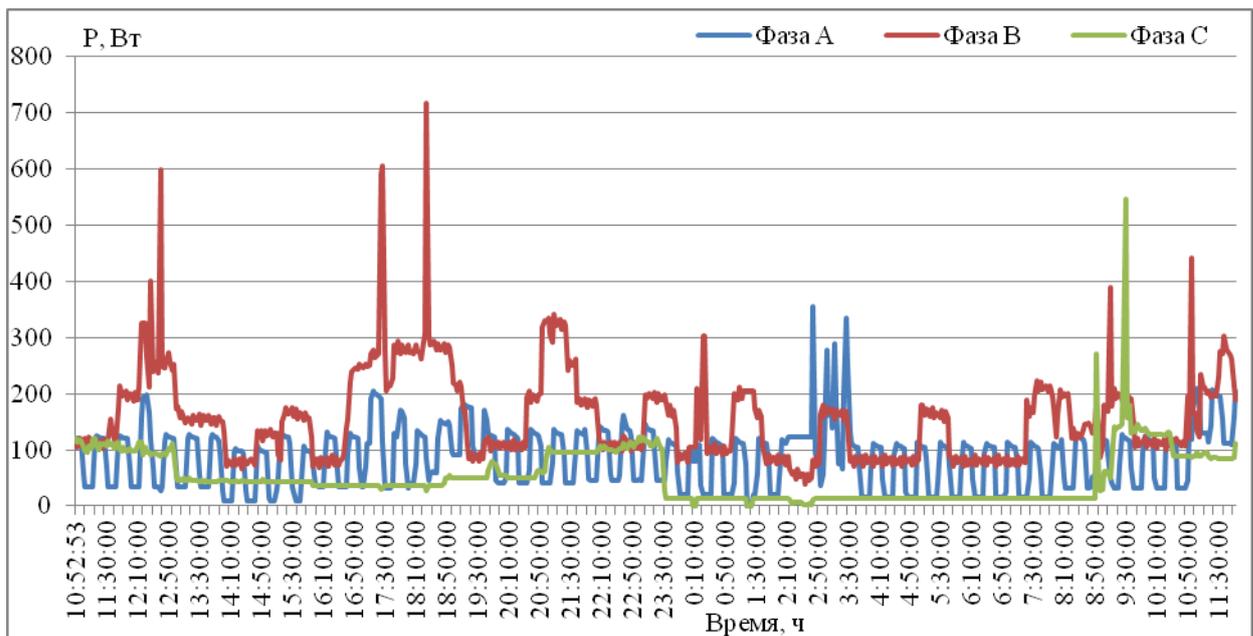


Рис. 3 – Суточный график нагрузки жилого дома №2 (Нижегородская обл., Кстовский р-н)

Характерной особенностью суточных графиков является большая неравномерность потребления электроэнергии по часам суток и сезонам.

Как отмечено выше в жилых зданиях появилось большое число электроприемников с нелинейными вольт-амперными характеристиками с

импульсным режимом работы, что приводит к генерации в электрическую сеть 0,38 кВ высших гармонических составляющих токов.

ГОСТ 32144-2013 не ограничивает величину гармоник тока, однако большие величины этих гармоник приводят к ухудшению формы кривой сетевого напряжения [6 – 9].

В рамках данной работы проведено исследование гармоник тока генерируемых ЭП жилых зданий различных производителей. В таблице №1 приведены параметры исследуемых электроприемников.

Таблица №1

Параметры исследованных электроприемников

№ п/п	Наименование ЭП	Напряжение, В	Мощность, Вт	cos φ, о.е.
1	Стиральная машина LG	220-240	2100	0,7
2	Газовый котел Bosch	230	150	0,9
3	Телевизор LG	100-240	300	0,92
4	Нетбук Sony	100-240	220	0,5
5	Ноутбук Samsung	100-240	330	0,5
6	ПЭВМ Dell	100-240	600	0,9
7	Принтер Xerox	220-240	1000	0,9
8	Микроволновая печь Samsung	230	1150	0,98
9	Холодильник Siemens	220-240	90	0,98
10	Посудомоечная машина Bosch	220-240	2000	0,98
11	Утюг Tefal	220-240	1740	0,99
12	Вытяжка Elikor	220-230	140	0,6
13	Пылесос Samsung	230	1300	0,99
14	Бойлер Thermex	230	2000	1
15	Электрический теплый пол	220-230	550	1
16	Электропривод ворот DoorHan	230	150	0,85
17	СДЛ Osram	220	9	0,9

Анализ электроприемников частного жилого фонда сельской местности показывает, что фирмы - производители не предоставляют данные о высших

гармониках тока, генерируемых данными ЭП. Это не позволяет проводить расчеты высших гармоник, как тока, так и напряжения при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения 0,38 кВ, питающих жилые здания.

В таблице №2 приведены результаты замеренного суммарного коэффициента гармонических составляющих тока THD_I исследуемых электроприемников.

Таблица №2

Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока THD_I
исследуемых электроприемников

№ п/п	Наименование ЭП	THD_I , %
1	Стиральная машина LG	33,1
2	Газовый котел Bosch	23,8
3	Телевизор LG	34,8
4	Нетбук Sony	205,0
5	Ноутбук Samsung	194,0
6	ПЭВМ Dell	128,8
7	Принтер Xerox	6,2
8	Микроволновая печь Samsung	26,7
9	Холодильник Siemens	15,8
10	Посудомоечная машина Bosch	85,8
11	Утюг Tefal	6,4
12	Вытяжка Elikor	15,4
13	Пылесос Samsung	21,1
14	Бойлер Thermex	38,2
15	Электрический теплый пол	12,8
16	Электропривод ворот DoorHan	46,0
17	СДЛ Osram	122,1

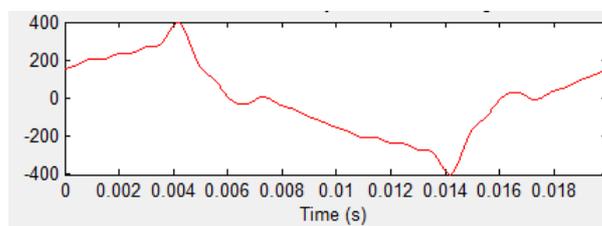
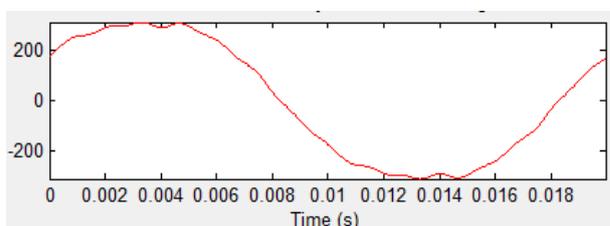
Из полученных характеристик наиболее негативное влияние на электрическую сеть оказывают ЭП с импульсными блоками питания, такие как ПЭВМ, ноутбуки и нетбуки, а также посудомоечные машины, светодиодные лампы с цоколем E14 и E27.

В соответствии с ГОСТ 32144-2013, значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U в исследуемой

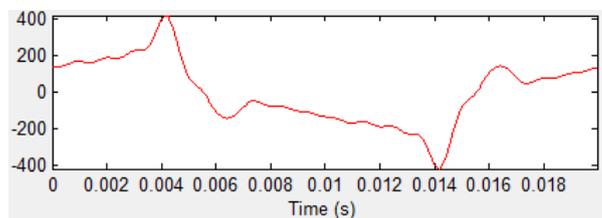
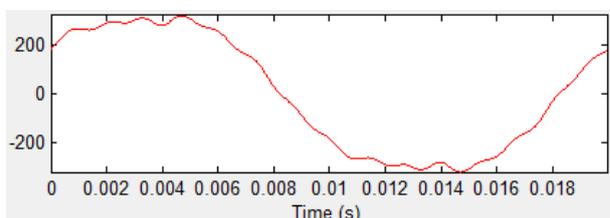
сети, не должны превышать 8% в течение 95 % времени интервала в одну неделю и 12% в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Для исследования влияния высших гармоник тока, генерируемых нелинейными ЭП, на коэффициент несинусоидальности напряжения, разработана имитационная модель узла нагрузки жилого дома в программном продукте Matlab Simulink [10].

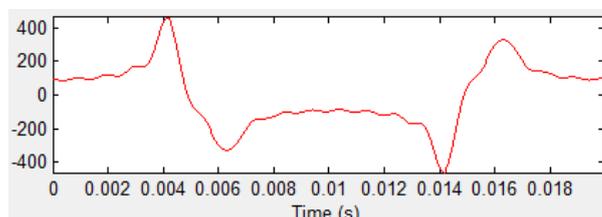
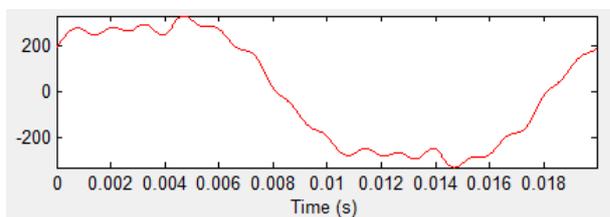
На рис. 4 приведены полученные при моделировании осциллограммы тока и напряжения, при разных соотношениях нелинейной к линейной нагрузки, в ВРУ жилого дома.



а) Осциллограмма напряжения и тока при соотношении нелинейной нагрузки к линейной 50/50



б) Осциллограмма напряжения и тока при соотношении нелинейной нагрузки к линейной 70/30



в) Осциллограмма напряжения и тока при соотношении нелинейной нагрузки к линейной 100/0

Рис. 4 – Осциллограммы тока и напряжения в ВРУ жилого дома, полученные при моделировании в Matlab Simulink

В таблице №3 приведены суммарные коэффициенты гармонических составляющих напряжения и тока в ВРУ жилого дома, определенные на имитационной модели сети 0,38 кВ.

Таблица №3

Коэффициенты несинусоидальности напряжения и тока от отношения нелинейной к линейной нагрузке

№ п/п	Отношение нелинейных/линейным нагрузкам	Коэффициенты несинусоидальности напряжения, K_U , %	Коэффициенты несинусоидальности тока, K_I , %
1	0/100	0	0
2	10/90	1,2	4,47
3	20/80	2,48	9,86
4	30/70	3,86	16,42
5	40/60	5,35	24,44
6	50/50	6,95	34,28
7	60/40	8,68	46,29
8	70/30	10,56	60,58
9	80/20	12,59	77,32
10	90/10	14,79	95,58
11	100/0	17,18	113,52

Экспериментальные исследования показали, что современные электроприемники частного жилого фонда сельской местности за счет генерации в сеть высших гармонических составляющих токов приводят к искажению синусоидальности кривой напряжения.

Проведено исследование суммарного коэффициента искажений тока K_I и напряжения K_U в ВРУ жилого дома, на имитационной модели сети 0,38 кВ, разработанной в программном продукте Matlab Simulink, при различном соотношении линейной и нелинейной нагрузки, что позволяет значительно упростить определение соответствия систем электроснабжения жилых зданий требованиям ГОСТ 32144-2013 на допустимые уровни гармоник напряжения.

Из результатов моделирования можно сделать вывод, что при установленной мощности нелинейной нагрузки превышающей более чем в два раза линейную нагрузку, коэффициент несинусоидальности напряжения в сети 0,38 кВ может превышать установленные ГОСТ 32144-2013 значения.

Литература

1. Единая межведомственная информационно-статистическая система. URL: fedstat.ru/indicator/43277.
2. Филатов Д.А., Терентьев П.В. Качество электроэнергии и электромагнитная совместимость в электроэнергетике сельского хозяйства: учебное пособие: Нижегородская ГСХА, 2017. 116 с.
3. Гибадуллин А.А. Модернизация электроэнергетики // Инженерный вестник Дона, 2012, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/797.
4. Кузьминов А.С. Стандарты и маркировка энергоэффективности как инструмент нормативного регулирования повышения энергоэкономичности бытового оборудования // Инженерный вестник Дона, 2011, №4. URL: vdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/567.
5. Ивакин Е.К., Белевцов С.П. Малоэтажное строительство: девелопмент и логистика // Инженерный вестник Дона, 2011, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/708.
6. Deokar, Sanjay A., Waghmare Laxman M. Analysis of distribution transformer performance un-der non-linear balanced load conditions and its remedial // International journal of technology and advanced engineering. Volume 1, Issue 2, December 2011. pp. 152-161.
7. Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б., Севостьянов А.А. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебник для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2010. — 224 с.
8. Воздействие гармоник - перегрузки оборудования. URL: ru.electrical-installation.org/ruwiki/Воздействие_гармоник_-_перегрузки_оборудования.

9. Nejdawi I.M., Emanuel A.E., Pileggi D.J., Corridori M.J., Archambeault R.D. Harmonic Trend in the USA: A Preliminary Survey. // IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, №4, 1999, pp. 1488-1494.

10. Щербаков В.С., Руппель А.А., Глушец В.А. Основы моделирования систем автоматического регулирования и электротехнических систем в среде MATLAB И SIMULINK: Учебное пособие. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2003. – 160 с.

References

1. Edinaya mezhvedomstvennaya informacionno-statisticheskaya sistema. [A single interdepartmental information and statistical system]. URL: edstat.ru/indicator/43277.

2. Filatov D.A., Terent'ev P.V. Kachestvo elektroenergii i elektromagnitnaya sovместimost' v elektroenergetike sel'skogo hozyajstva: uchebnoe posobie [Electricity Quality and Electromagnetic Compatibility in Agricultural Electricity: A Training Manual]: Nizhegorodskaya GSKHA [Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2017. 116 p.

3. Gibadullin A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/797.

4. Kuz'minov A.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2011, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/567.

5. Ivakin E.K., Belevcov S.P. Inzhenernyj vestnik Dona, 2011, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/708.

6. Deokar, Sanjay A., Waghmare Laxman M. International journal of technology and advanced engineering. Volume 1, Issue 2, December 2011. pp. 152-161.

7. Vagin G.YA., Loskutov A.B., Sevost'yanov A.A. Elektromagnitnaya sovместimost' v elektroenergetike: uchebnik dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenij [Electromagnetic compatibility in the electric power industry: a textbook for



students. higher textbook. institutions]. Moscow.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2010. 224 p.

8. Vozdejstvie garmonik - peregruzki oborudovaniya. URL: ru.electrical-installation.org/ruwiki/Vozdejstvie_garmonik_-_peregruzki_oborudovaniya.

9. Nejdawi I.M., Emanuel A.E., Pileggi D.J., Corridori M.J., Archambeault R.D. Archambeault. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, №4, 1999, pp. 1488-1494.

10. SHCHerbakov V.S., Ruppel' A.A., Glushec V.A. Osnovy modelirovaniya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya i elektrotekhnicheskikh sistem v srede MATLAB I SIMULINK: Uchebnoe posobie [Fundamentals of modeling automatic control systems and electrical systems in the environment of MATLAB AND SIMULINK: a Training manual]. Omsk: Izd-vo SibADI, 2003. 160 p.