

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ
ЦЕХОВОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ВИБРАЦИОННОМ ФОРМИРОВАНИИ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ**

В статье представлены результаты экспериментальных исследований режимов работы цеховых систем электроснабжения, содержащих электроприемники с нелинейными вольтамперными характеристиками. При производстве железобетонных изделий конвейерным способом в технологическом процессе применяются регулируемые электроприводы переменного тока на базе полупроводниковые преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока - асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (ППЧ-АД). Наряду с оптимизацией и повышением качества технологического процесса изготовления железобетонных изделий, ППЧ-АД является источником высших гармоник тока и напряжения в цеховой системе электроснабжения. При этом суммарные коэффициенты гармонических составляющих напряжения достигают критических значений, в зависимости от режимов работы конвейера более 8,5 %, что указывает на необходимость применения технических средств для их компенсации. В качестве технических решений может быть предложено использование активных или гибридных фильтров с системами управления, учитывающими цикличность технологического процесса.

Ключевые слова: железобетонные изделия, уплотнение бетонной смеси, виброплощадка, высшие гармоники токов и напряжений, цеховая система электроснабжения, частотный электропривод, анализаторы качества электроэнергии, суммарные коэффициенты гармонических составляющих токов и напряжений.

ВВЕДЕНИЕ

Производство железобетонных изделий (ЖБИ) для гражданского и промышленного использования производится в цехах ЖБИ по конвейерному способу (рис. 1). Для уменьшения процентного соотношения некачественной продукции особое внимание уделяется процессу динамического вибрационного формирования бетонной смеси (ДВФБС) на заданных технологическим регламентом вибросмещениях до требуемых характеристик [1]. В результате происходит более плотная укладка частиц, которая сопровождается удалением из бетонной смеси воздуха и возрастанием в 1,6-1,65 раз плотности смеси по сравнению с первоначальной.

На рис. 1: 1-4 – материалы необходимые для производства ЖБИ; 5-8 – разгрузка материалов на склад; 9 – приготовление бетонной смеси; 10 – подготовка комплектующих для установки в форму; 11 – натяжение струнопакетов, установка разделительных проставок; 12 – укладка, уплотнение и формирование бетонной смеси; 13 – извлечение съемной оснастки; 14 – тепловлажностная обработка; 15 – передача напряжения на бетон; 16 – расконтровка; 17 – очистка и смазка форм, установка закладных с уплотнителями и струнопакетов; 18 – распиловка на отдельные изделия; 19 – складирование по сортам; 20 – сдача на склад готовой продукции; М1-М2 – нерегулируемый электропривод (ЭП) конвейера, смесителя; М3 – регулируе

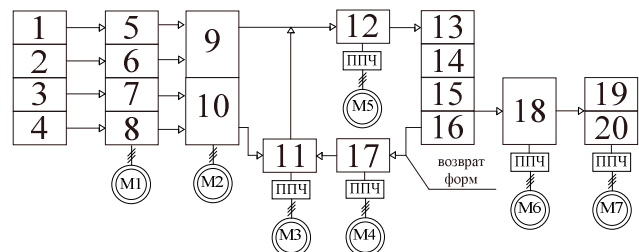


Рис. 1. Технологическая схема изготовления ЖБИ

мый ЭП конвейера протягивания для армирования изделия; М4 – регулируемый ЭП мостового крана цеха и компрессора; М5 – регулируемый ЭП виброплощадок; М6 – регулируемый ЭП станка распила плетей на отдельные изделия; М7 – регулируемый ЭП мостового крана склада; ППЧ – полупроводниковый преобразователь частоты.

Бетонная смесь после приготовления передается в бетононасос. Уплотнение ее до требуемых характеристик обеспечивает виброплощадка. Виброплощадка состоит из десяти самостоятельных вибрационных блоков, вибраторы которых имеют общий привод от электродвигателя. На виброплощадке начинается процесс формирования ЖБИ. Достижение требуемого качества происходит за счет регулирования колебаний рабочего органа виброплощадки. С этой целью в качестве электропривода используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Регулирование частоты вращения достигается использованием частотных преобразователей с промежуточным звеном постоян-

ного тока. Частотно-регулируемый электропривод является источником высших гармоник (ВГ) тока и напряжения в систему электроснабжения цеха. ВГ тока оказывают негативное влияние на режимы работы других электроприемников цеховой системы электроснабжения. Оценка показателей электромагнитной совместимости электроприводов с нелинейными вольтамперными характеристиками с цеховой системой электроснабжения является важной задачей для дальнейшей реализации соответствующих технических решений [2-4].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ
В ЦЕХОВОЙ СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ДВБФ

На рис. 2 представлена схема электроснабжения завода по производству ЖБИ. К одной из особенностей цеха по производству ЖБИ относится построение системы электроснабжения электроприемников с частотно-регулируемыми электроприводами, подключенными к одной секции шин понизительной цеховой подстанции, где трансформатор используется как понижающий и согласующий. Проблема усугубляется тем, что за счет продольного активно-индуктивного сопротивления сети несинусоидальный характер кривой входного тока указанных электроприемников вызывает искажение питающего напряжения, которые являются фактором взаимовлияния высших гармоник в цеховой системе электроснабжения [5, 6].

В табл. 1 представлены характеристики применяемого оборудования конвейерной линии, в которой используется частотный регулируемый электропривод.

Экспериментальные исследования проводились с помощью анализаторов качества электроэнергии, позволяющих производить автоматическую регистрацию мгновенных действующих и комплексных значений токов и напряжений ВГ в течение нескольких суток [7]. На рис. 2 точками подключения И1-4 указано место проведения измерений с помощью сертифицированных приборов: ChauvinArnoUX 8335 и Энергомонитор-3.3Т1, технические характеристики которых представлены в табл. 2 (сертификация приборов подтверждена свидетельством о поверке №008013, №008014 от 28.04.2016 г.).

Измерения проводились непрерывно в течение трёх суток с регистрацией данных в одну минуту. Подключение приборов осуществлялось к трехфазной четырехпроводной сети в соответствии с программой экспериментальных исследований, утвержденной главными специалистами предприятия. Программа измерений включала выполнение следующих этапов:

- установка необходимых параметров регистрации и пределов измерений токов и напряжений на приборах;
- активирование регистрации показателей режимов работы цеховой электрической сети (токи, напряжения, мощности и показателей электромагнитной совместимости).

Фрагмент результатов экспериментальных исследований в точке И4 в течение 10 мин представлен в табл. 3.

По результатам измерений получены кривые токов и напряжений, на основании которых построены гистограммы показателей электромагнитной совмести-

сти: суммарные коэффициенты гармонических составляющих тока и напряжения в исследуемой электрической сети при динамических изменениях токов и напряжений в процессе выполнения одного технологического цикла. На рис. 3 представлены осциллограммы линейного напряжения и тока, полученные с помощью прибора СА8335 и гистограммы кривых тока и напряжения (рис. 4-5) в точке И4.

Результаты эксперимента, проведенного в точках И1-4, показали, что средняя полная мощность за технологический цикл составляет 28 – 127,2 кВА, THD I 22,35 – 45%, THD U 2,5 – 8,85%. На рис. 6 представлен график изменения показателей электромагнитной совместимости в зависимости от потребляемой полной мощности.

Как видно из графика на рис. 6, с увеличением потребляемой полной мощности электроприемниками показатели ЭМС возрастают и могут значительно превышать допустимые стандартом значения.

С учетом того, что преобразователи частоты подключены к одному согласующему трансформатору, допускается вычислять суммарный коэффициент гармонической составляющей тока и напряжения на вводе (QF1, см. рис. 2) соответственно:

$$K_{I\Sigma} = \sqrt{K1_I^2 + K2_I^2 + K3_I^2 + K4_I^2} = \sqrt{22,35^2 + 27,7^2 + 29,2^2 + 40,2^2} = 61,12\%; \quad (1)$$

$$K_{U\Sigma} = \sqrt{K1_U^2 + K2_U^2 + K3_U^2 + K4_U^2} = \sqrt{2,8^2 + 2,5^2 + 4^2 + 6,7^2} = 8,66\%, \quad (2)$$

где K1-K4 – значения суммарного коэффициента гармонических составляющих тока и напряжения в точках проведения измерений И1-И4 соответственно. Достоверность результатов экспериментальных исследований подтверждается исключением систематических и случайных погрешностей на основании методики обработки результатов измерений по ГОСТ Р. 8.736-2011 [8]. В соответствии с настоящим стандартом для 24 последовательных измерений произведен расчет поправки к результатам измерений с доверительной вероятностью $P=0,95$, результаты которого представлены в табл. 4.

Таким образом, значения измеренных суммарных коэффициентов гармонических составляющих тока и напряжения с доверительной вероятностью 0,95 соответственно составляют:

- прибор СА8335 THD I (40±2,4) %, THD U (6,7±0,21) %;
- прибор Э-3.3Т1 THD I (45±1,8) %, THD U (8,85±0,26) %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Результаты измерений параметров режимов системы электроснабжения цеха по производству ЖБИ с помощью анализаторов качества электроэнергии позволили выявить уровень высших гармоник тока и напряжения для конкретного технологического процесса. При этом суммарные коэффициенты гармонических составляющих тока и напряжения соответственно: $K_I = 40 - 45\%$, $K_U = 6,7 - 8,85\%$.

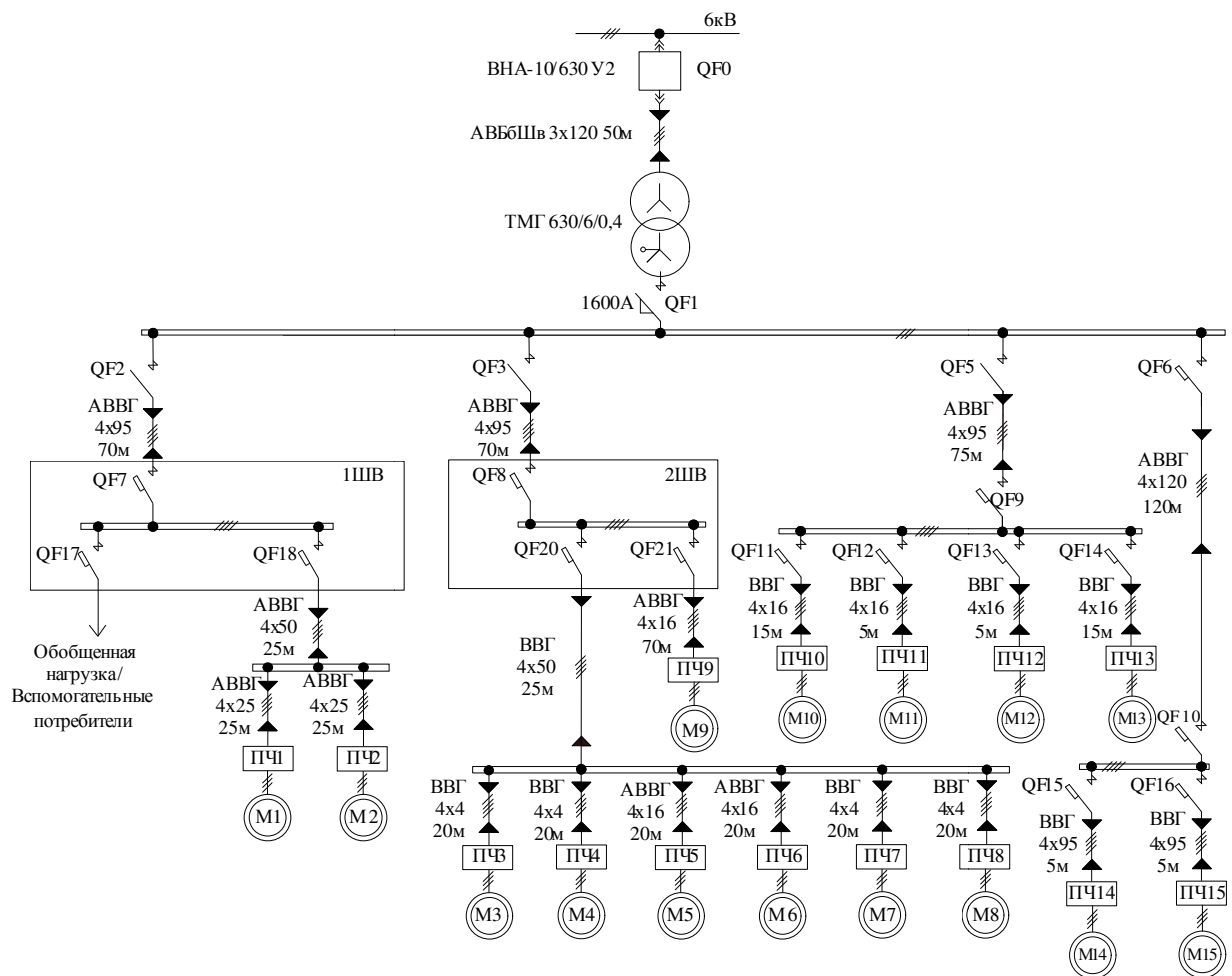


Рис. 2. Схема цеховой системы электроснабжения промышленного предприятия по производству ЖБИ

Таблица 1

Характеристики применяемого электропривода

| Наименование оборудования | Паспортные данные электроприемников | | | | | |
|---------------------------|--|----------------|--------------|-------------------------------|------------------|------------------|
| | Тип электропривода/преобразователя частоты | $P_{ном}, кВт$ | $I_{ном}, А$ | Угловая скорость n , об/мин | $\eta_{ном}, \%$ | $\cos\phi_{ном}$ |
| Станок распила | АИР/ Delta VFD | 22 | 41,5 | 2880 | 90,5 | 0,89 |
| Мостовые краны | | 23 | 48 | 750 | 76,5 | 0,71 |
| Конвейер протягивания | | 18,5 | 38 | 1000 | 89 | 0,81 |
| Вибро-площадка | | 30 | 57,3 | 1470 | 91,5 | 0,87 |
| Компрессор | | 110 | 198 | 2980 | 93,7 | 0,9 |

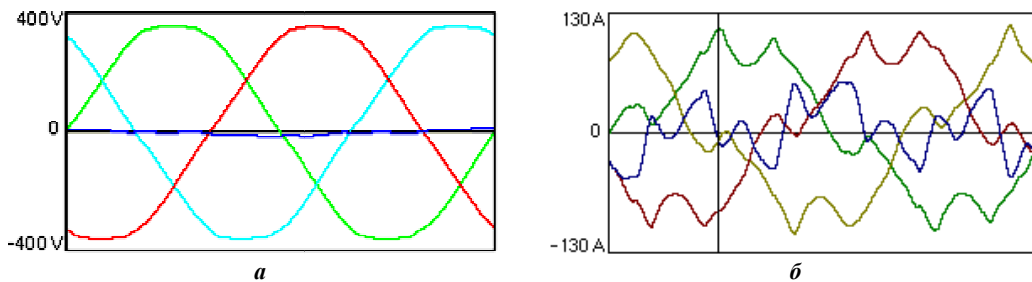


Рис. 3. Осциллограммы:
а – напряжения (THD U=7,6 %); б – тока (THD I=42 %)

Таблица 2

Технические характеристики измерительных приборов

| Прибор | Характеристика | Погрешность измерения | Предел измерения |
|------------------------|--|-----------------------|------------------|
| «Энерго-монитор-3.3Т1» | Ток, А | ±1% | 1000 |
| | Напряжение, В | ±1% | 622,5 |
| | Активная мощность, кВт | ±2% | 1120,5 |
| | Реактивная мощность, квар | ±2 % | 1120,5 |
| | Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения K_U (THD U), % | ±0,05 % | 49,9 |
| | Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока K_I (THD I), % | ±1 % | 49,9 |
| «ChauvinArnouх 8335» | Ток, А | ±0,5 % | 6500 |
| | Напряжение, В | ±0,5 % | 1000 |
| | Активная мощность, кВт | ±1 % | 9999 |
| | Реактивная мощность, квар | ±1 % | 9999 |
| | Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения K_U (THD U), % | ±0,1 % | 999 |
| | Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока K_I (THD I), % | ±1 % | 999 |

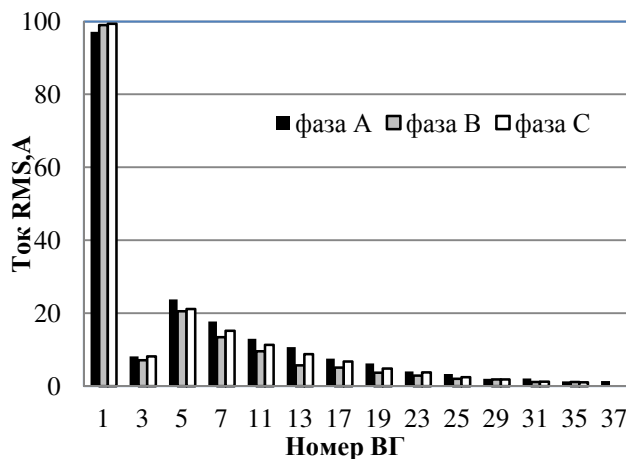
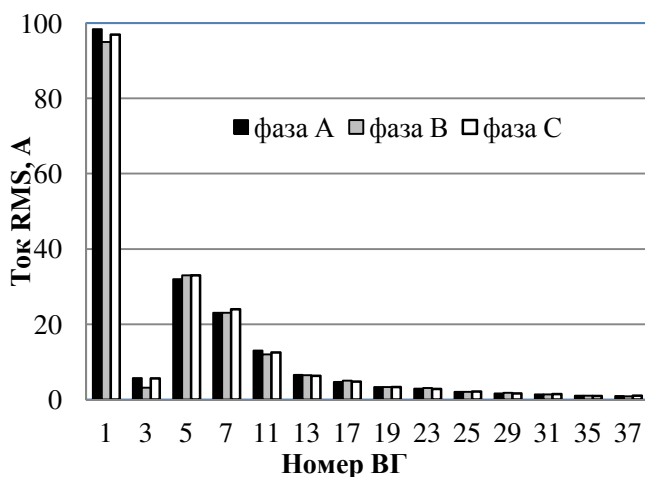


Рис. 4. Гистограмма высших гармоник кривой тока:
а – прибор Э-3.3Т1 (THD I=45 %); б – прибор СА 8335 (THD I=40 %)

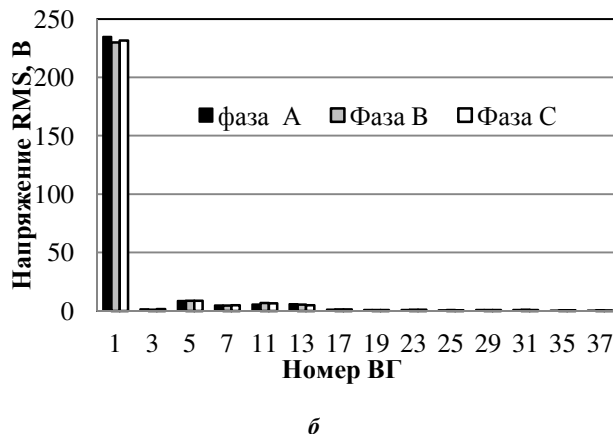
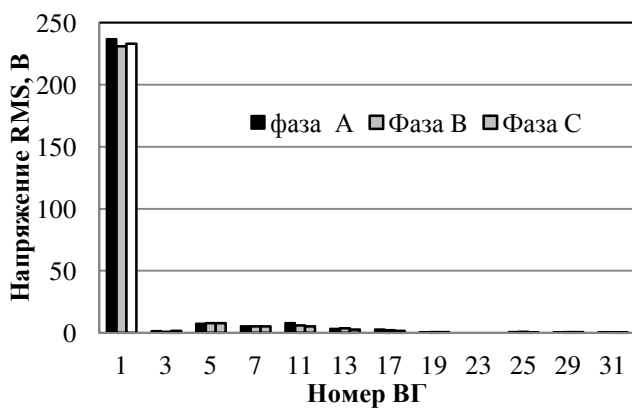


Рис. 5. Гистограмма высших гармоник кривой напряжения:
а – прибор Э-3.3Т1 (THD U=8,85 %); б – прибор СА 8335 (THD U=6,7 %)

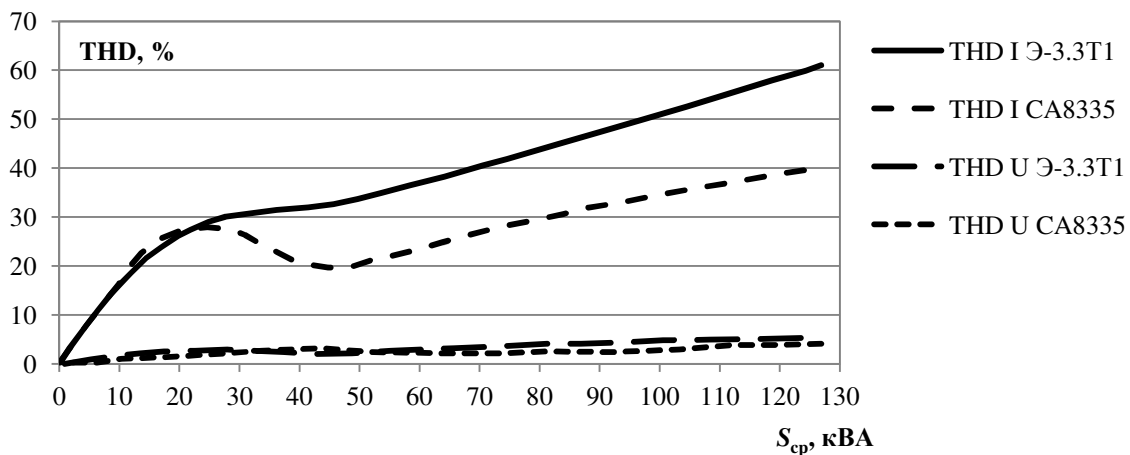


Рис. 6. Зависимость THD I и THD U от потребляемой полной мощности

Таблица 3

Фрагмент результатов измерений

| Время | I_A, A | U_{AB}, B | $P_{\Sigma}, кВт$ | $Q_{\Sigma}, квар$ | $S_{\Sigma}, кВА$ | $THDI_A, \%$ | $THDU_{AB}, \%$ | $THDI_{A(5)}, \%$ | $THDU_{A(5)}, \%$ |
|----------|----------|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| | CA8335 | CA8335 | CA8335 | CA8335 | CA8335 | CA8335 | CA8335 | CA8335 | CA8335 |
| | Э-3.3Т1 | Э-3.3Т1 | Э-3.3Т1 | Э-3.3Т1 | Э-3.3Т1 | Э-3.3Т1 | Э-3.3Т1 | Э-3.3Т1 | Э-3.3Т1 |
| 13:01:00 | 84,7 | 390 | 54 | 11,3 | 57,9 | 44,9 | 4,7 | 36,9 | 2,8 |
| | 79,01 | 389,47 | 52 | 9,9 | 58,4 | 41,88 | 6,5 | 35,37 | 4,79 |
| 13:02:00 | 79,5 | 388,7 | 53 | 13,3 | 59,3 | 39,7 | 6 | 32,4 | 4 |
| | 84,48 | 388,15 | 54,7 | 12 | 60,8 | 37,57 | 7,45 | 31,31 | 5,39 |
| 13:03:00 | 83,3 | 386 | 52,4 | 15,9 | 60,5 | 43,3 | 5,9 | 36 | 3,58 |
| | 85,24 | 389,92 | 55,5 | 13,3 | 62,1 | 39,42 | 5,34 | 33,5 | 4,64 |
| 13:04:00 | 86,4 | 387 | 56,1 | 11,5 | 57,7 | 45,2 | 5,8 | 35,3 | 4,2 |
| | 81,74 | 390,45 | 53,4 | 9,9 | 59,4 | 40,43 | 5,89 | 33,36 | 6 |
| 13:05:00 | 60,2 | 386,2 | 42,1 | 9,1 | 48,5 | 47,9 | 6,6 | 34,9 | 3,8 |
| | 70,72 | 388,1 | 45,2 | 8,6 | 51 | 42,32 | 7,58 | 34,64 | 5,43 |
| 13:06:00 | 14 | 388,8 | 32,4 | 1,9 | 4,5 | 55,2 | 5,4 | 38 | 4 |
| | 7,18 | 388,33 | 44,3 | 1,2 | 5,8 | 81,63 | 5,57 | 40 | 5,31 |
| 13:07:00 | 5 | 388,1 | 20,1 | 1,9 | 1,6 | 50,6 | 4 | 36,3 | 3,9 |
| | 2,9 | 389,9 | 14 | 1,2 | 2,2 | 61,52 | 4,67 | 34,26 | 5,05 |
| 13:08:00 | 121,8 | 386 | 67,4 | 35,6 | 78,6 | 30,4 | 5,3 | 18,4 | 3,8 |
| | 116,03 | 385,15 | 65,2 | 33,5 | 79,1 | 29,01 | 6,77 | 16,92 | 4,93 |
| 13:09:00 | 165,7 | 387,4 | 110,7 | 41,6 | 114,5 | 17,9 | 7,8 | 14,2 | 5 |
| | 171,53 | 385,2 | 105,8 | 40,4 | 115,7 | 14,64 | 8,85 | 8,93 | 6,98 |
| 13:10:00 | 104,5 | 386,2 | 68,7 | 12,7 | 71,3 | 44,7 | 6,2 | 16,3 | 4,5 |
| | 111,17 | 385,93 | 65,1 | 9,9 | 75,9 | 41,88 | 7,51 | 15,18 | 5,89 |

Примечание. P_{Σ} , Q_{Σ} , S_{Σ} – активная, реактивная, полная мощность в трехфазной сети, $THD_{A(5)}$ – коэффициент пятой гармонической составляющей тока (напряжения) фазы A.

Таблица 4

Параметры для обработки результатов измерений

| Наименование параметра | Для THD I | | Для THD U | |
|------------------------|-----------|---------|-----------|-----------|
| | CA8335 | Э-3.3Т1 | CA8335 | Э-3.3Т1 |
| S | 5,66 | 4,16 | 0,49 | 0,62 |
| S^* | 5,55 | 4,07 | 0,45 | 0,57 |
| $d_{1-q/2}$ | 0,7040 | | | |
| \tilde{d} | 0,8396 | 0,8753 | 0,7676 | 0,8858 |
| $d_{q/2}$ | 0,8901 | | | |
| $Z_{p/2} \cdot S$ | 12,28 | 9,03 | 1,06 | 1,35 |
| ϵ | 2,4 | 1,8 | 0,2083 | 0,2597 |
| THD | 40±2,4 | 45±1,8 | 6,7±0,21 | 8,85±0,26 |

Примечание. S – среднее квадратичное отклонение, содержащее n результатов измерений, S^* – смещенное среднее квадратичное отклонение, $d_{1-q/2}$ и $d_{q/2}$ – квантили распределения получаемые из таблицы Б.1 [8] по n, $q_1/2$ и $(1 - q_1/2)$, причем q_1 – заранее выбранный уровень значимости, \tilde{d} – отношение для проверки критерия подтверждения нормального закона распределения результатов измерений, $Z_{p/2}$ – верхний квантиль распределения нормированной функции Лапласа, ϵ – доверительные границы (без учета знака) случайной погрешности оценки измеряемой величины.

2. Достоверность измерений подтверждается хорошим совпадением результатов измерений двумя сертифицированными приборами и введением поправок в результаты измерений. В соответствии со стандартом доверительный интервал принимался с вероятностью 0,95.

3. Результаты натуральных экспериментов подтверждают необходимость установки фильтрокомпенсирующих устройств для ограничения токов высших гармоник. Однако с учетом цикличности технологических процессов и разнообразием ассортимента ЖБИ оптимальным решением следует считать использование гибридных фильтров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романюк Т.Ф., Петров Г.Г. Технология производства строительных материалов: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2008. 154 с.
2. Синтез фильтрокомпенсирующих устройств для систем электроснабжения: монография / Н.П. Боярская, В.П. Довгун, Д.Э. Егоров и др.; под ред. В.П. Довгуна. Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2014. 192 с.
3. W. Xu. Status and Future Directions of Power System Harmonic Analysis, in Proceedings of the IEEE PES General Meeting, Denver, Colorado, vol. 1, June 6-10, 2007, pp. 56-63.
4. P. Salmeron and J.R. Vazquez, Practical design of a three phase active power line conditioner controlled by artificial neural networks, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 20, iss. 2, April 2005, pp. 1037-1044.
5. Mark McGranaghan, Evaluating Harmonic Concerns With Distributed Loads, Electrotek Concepts, Knoxville, Tenn., Nov., 2010, pp. 72-74.
6. Victor A. Treating Harmonics in electrical distribution system // Ramos JR. Computer Power & Consulting, January, 1999, pp. 102-105.
7. Авербух М.А., Коржов Д.Н., Лимаров Д.С. Экспериментальная оценка уровня высших гармоник в схеме электроснабжения трубогибочного стана УЗТМ-465 // Промышленная энергетика. 2015. №1. С. 48-54.
8. ГОСТ Р 8.736–2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2011. 23 с.

Поступила в редакцию 29 ноября 2016 г.

INFORMATION IN ENGLISH

EXPERIMENTAL STUDY OF NON-SINUSOIDAL OPERATING MODE OF WORKSHOP POWER SUPPLY SYSTEM IN DYNAMIC VIBRATING FORMATION OF CONCRETE MIXTURES

Mikhail A. Averbukh

D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Electrical Power Engineering and Automation, Belgorod State Technological University named after Shukhov, Belgorod, Russia. E-mail: avers45@rambler.ru

Dmitry A. Prasol

Post-graduate student, the Department of Electrical Power Engineering and Automation, Belgorod State Technological University named after Shukhov, Belgorod, Russia. E-mail: dapras@mail.ru

Stanislav V. Khvorostenko

Post-graduate student, the Department of Electrical Power Engineering and Automation, Belgorod State Technological University named after Shukhov, Belgorod, Russia. E-mail: staskhvorostenko@mail.ru

The article presents the results of experimental studies of operating modes of a workshop supply systems containing power-consuming equipment with non-linear current-voltage characteristics. In the production of concrete units using a conveyor system, we use modern frequency electric drive based on asynchronous motors with squirrel-cage rotor. Along with the optimization of technological process of concrete unit manufacturing, the actuator is a source of higher harmonics of current and voltage in the electrical system of the plant. The experiments were conducted using certified devices Chauvin Arnoux 8335 and Energomonitor-3.3T1 (certification is confirmed, the certificate of calibration devices №008013, №008014, certified on 28.04.2016). The measurements were performed continuously for three days with registration of data every minute. Connection was implemented to the three-phase four-wire network in accordance with the program of experimental studies approved by the main specialists of the enterprise. The results are presented in the form of tables, graphs and histograms of measurements. The authenticity is confirmed except the systematic and random errors in the measurements according to the standard requirements. Experiments confirm the presence of higher harmonics of current and voltage in the power system of the workshop. This total harmonic components of

voltage reaches a critical value and, depending on the operating conditions of the conveyor reaches more than 8.5%, which indicates the need for the application of technical means for their compensation. To solve this problem, it was proposed to use active filters or hybrid control systems taking into account the cyclical nature of the process

Keywords: Concrete products, compaction of concrete mix, vibration platform, high harmonics currents and voltages, power system plant, frequency electric drive, power quality analyzers, total harmonic components of currents and voltages.

REFERENCES

1. Romanyuk T.F., Petrov G.G. *Tekhnologiya proizvodstva stroitelnykh materialov* [Production technology of building materials. Study guide]. Tomsk, Publishing center of TGASU Publ., 2008. 154 p. (in Russian)
2. Boyarsky N.P., Dovgun V.P., Egorov D.E. et al. *Sintez filtrokompensiruyuschikh ustroystv dlya sistem elektrosnabzheniya* [Synthesis of filter-devices for power supply systems]. Krasnoyarsk, CFU Publ., 2014. 192 p. (in Russian).
3. W. Xu. Status and Future Directions of Power System Harmonic Analysis, in Proceedings of the IEEE PES General

- Meeting, Denver, Colorado, vol. 1, June 6-10, 2007, pp. 56-63.
4. P. Salmeron and J.R. Vazquez, Practical design of a three phase active power line conditioner controlled by artificial neural networks, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 20, iss. 2, April 2005, pp. 1037-1044.
 5. Mark McGranaghan, Evaluating Harmonic Concerns With Distributed Loads, Elecnrotek Concepts, Knoxville, Tenn., Nov., 2010, pp. 72-74.
 6. Victor A. Treating Harmonics in electrical distribution system // Ramos JR. Computer Power & Consulting, January, 1999, pp. 102-105.
 7. Averbukh M.A., Corzhov D.N., Limarev D.S. Experimental assessment of the level of higher harmonics in power supply scheme pipe bending mill UZTM-465, *Promishlennaya energetika* [Industrial energy], 2015, no.1, pp. 48-54. (in Russian).
 8. GOST R 8.736–2011. State system for ensuring the uniformity of measurements. The direct measurement repeated. Methods of processing of measurement results. The main provisions. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 23 p. (in Russian).

Авербух М.А., Прасол Д.А., Хворостенко С.В. Экспериментальное исследование несинусоидальных режимов цеховой системы электроснабжения при динамическом вибрационном формировании бетонных смесей // *Электротехнические системы и комплексы*. 2017. №1(34). С.24-30. doi: 10.18503/2311-8318-2017-1(34)-24-30

Averbukh M.A., Prasol D.A., Khvorostenko S.V. Experimental Study of Non-sinusoidal Operating Mode of Workshop Power Supply System in Dynamic Vibrating Formation of Concrete Mixtures. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2017, no.1(34), pp.24-30. (In Russian) doi: 10.18503/2311-8318-2017-1(34)-24-30
