

## ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ НА ТЭЦ МЭИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА БАЗЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ BINOM3

Д.Н. АСАИНОВ (ФГБОУ ВО “НИУ “МЭИ”), О.А. ВАСИЛЬЕВА (ЗАО “Алгоритм”)

 НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

 АЛГОРИТМ

В статье представлены результаты исследований показателей качества электроэнергии, электромагнитных переходных процессов в нормальном, аварийном и послеаварийном режимах работы энергетического комплекса Национального исследовательского университета “МЭИ”. Практические примеры демонстрируют возможности Smart-технологий, реализованных в многофункциональных интеллектуальных устройствах BINOM3, для анализа режимов работы электрооборудования.

**Ключевые слова:** качество электрической энергии; распределенная генерация; интеллектуальные электрические сети.

### ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с программой развития цифровой экономики России [1], ЭЭС должна строиться по принципам так называемых “интеллектуальных активно-адаптивных сетей” или “Smart Grid”.

Значение термина Smart содержится в его аббревиатуре: Self-monitoring analysis and reporting technology – технология самоконтроля, анализа и отчетности. Для электрических сетей концепция “Smart Grid” связана с понятиями:

- оцифровка данных;
- обработка и хранение больших массивов данных (Big Data) и их оперативный анализ;
- применение “искусственного интеллекта” – технологий компьютерных программ, выполняющих функции, свойственные интеллекту человека;
- применение мобильных технологий для мониторинга и контроля;
- переход на распределенные ресурсы для хранения информации.

Для обеспечения требуемых темпов безопасного развития ЭЭС России необходимо наладить отечественное производство основных компонентов сетей Smart Grid, производить их отладку, тестирование и усовершенствование, внедрять соответствующие учебные программы в профильных ВУЗах, обучать оперативный персонал энергосистем. Такое взаимодействие было построено между ЗАО “Алгоритм” и ФГБОУ ВО “НИУ “МЭИ”, имеющего в своем составе распределительные сети 10 кВ и собственный источник генерации – ТЭЦ МЭИ, работающий параллельно с электроэнергетической системой (ЭЭС).

С развитием информационных технологий повышаются требования к наблюдаемости и достоверности режимов работы электросетей и энергосистем. Состояние одного присоединения электрического распределительного устройства может быть охарактеризовано более, чем 2000 параметров. Параметры должны вычисляться на интервалах 10 периодов, а для оценки провалов, прерываний и перенапряжений – на полупериоде основной частоты. Количество информации в течение 1 мин. только на одном присоединении может составлять более 600 000 значений.

Необходима архитектура средств измерений, основанная на переносе функций обработки, накопления, использования информации непосредственно к ее источнику – на уровень электрического присоединения [2].

Данная архитектура реализована в специализированных многофункциональных счетчиках – измерителях показателей качества электрической энергии серии BINOM3 (Свидетельство об утверждении типа СИ RU.C.34541.A № 58154/1, регистрация в Государственном реестре СИ под № 60113-15). Использование архитектуры и технологии “Smart” на практике в настоящее время не имеет повсеместного применения по многим причинам, например, неполнота должной нормативно-технической базы. Одним из полигонов применения и отладки технологий “Smart” является структурное подразделение ФГБОУ ВО “НИУ “МЭИ” ТЭЦ МЭИ, обеспечивающее тепловой и электрической энергией кампусы МЭИ, выдачу избытка мощности в энергосистему московского региона, и являющейся учебной и научно-экспериментальной базой Московского Энергетического Института.

**Цель работы** – внедрение на ТЭЦ МЭИ Smart-технологий на базе многофункциональных интеллектуальных приборов BINOM3 для проведения исследований показателей качества электроэнергии, электромагнитных и электромеханических переходных процессов при аварийных ситуациях, результаты которых позволят совершенствовать алгоритмы определения источника нарушения качества электроэнергии и противоаварийного управления.

**ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА**

На рис. 1 представлен прибор BINOM3, смонтированный на релейной панели ГЩУ. Прибор подключен к цепи статора турбо-

генератора № 1. Упрощенная схема электро-энергетического комплекса ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» с указанием мест установки приборов BINOM3 представлена на рис. 2.

Рис. 1. Прибор BINOM3 на релейной панели ГЩУ ТЭЦ МЭИ

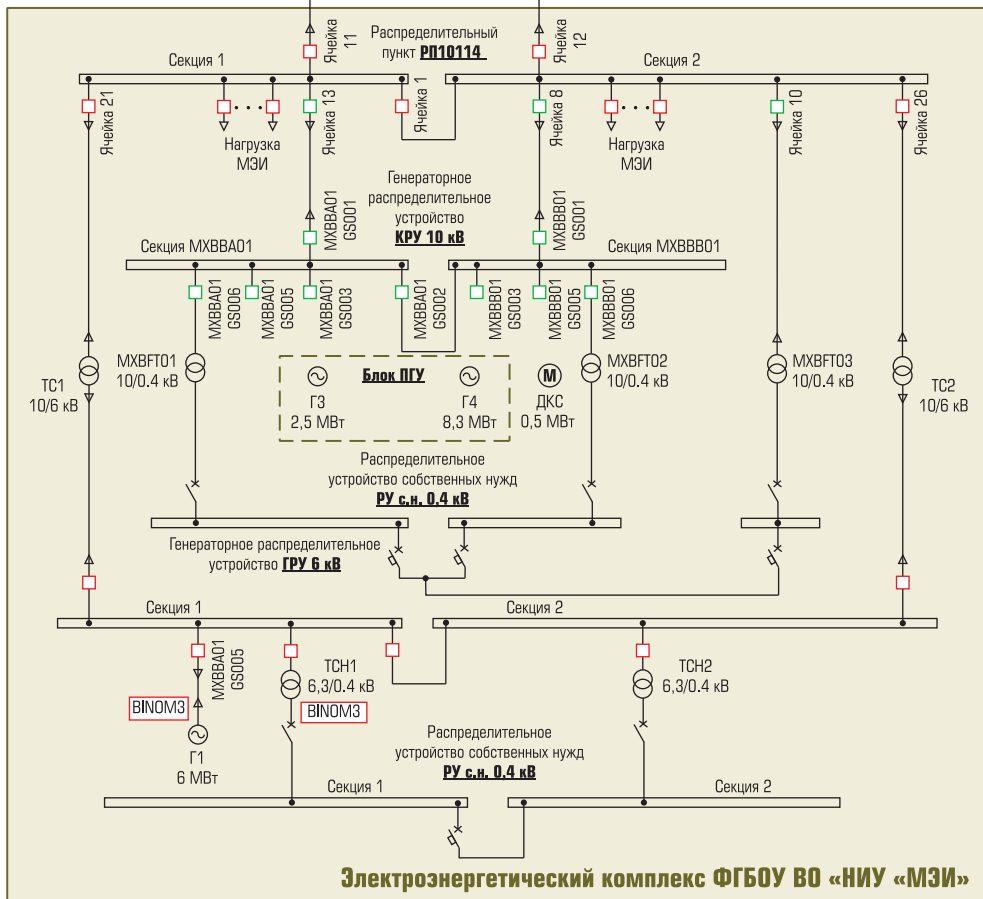
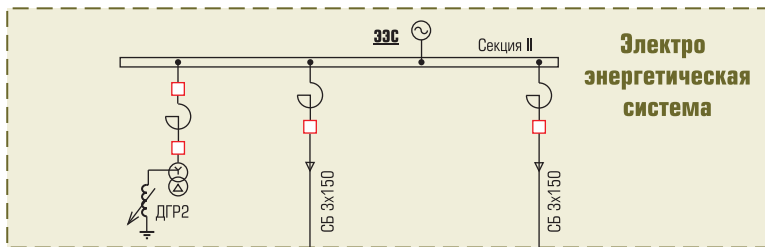


Рис. 2. Фрагмент главной схемы электрических соединений энергокомплекса ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ»

**Таблица 1.**  
Сведения о конфигурационных настройках приборов VINOM3

Тип прибора/Параметр		VINOM337U3.5713.5s16T4		VINOM337U3.22013.5s16T4	
Место установки		Выводы генератора 6,3 кВ		Выводы 0,4 кВ ТСН	
Схема измерительной цепи		Четырехпроводная			
$K_{TT}$	$K_{TN}$	60	160	1	200
$U_{\text{согл.}}$		6,3/√3 кВ		220 В	
Интервал статист. обр. ПКЭ		1 сутки, нормативные значения по ГОСТ 32144-2013			
Условия пуска осциллографа		Провал, прерывание напряжения, перенапряжение, отклонение $U$ и $f$ от заданных значений			

В составе действующего паросилового блока находятся паровой котел типа БМ-35-РФ производительностью 50 т/ч, паротурбинная установка типа П-6-35(5М) с турбогенератором типа Т-6-2ЕУ3 мощностью 6 МВт. Турбогенератор выдает мощность на ГРУ напряжением 6,3 кВ, от которого осуществляется электроснабжение собственных нужд станции через ТСН1 и ТСН2 напряжением 6/0,4 кВ. Выдача мощности местному потребителю ФГБОУ ВО “НИУ “МЭИ” осуществляется через трансформаторы связи ТС1 и ТС2 на шины распределительного пункта РП 10114 напряжением 10 кВ, здесь же выполнена связь с ЭЭС по двум кабельным линиям СБ-150, через которые выдается избыточная электроэнергия и осуществляется резервирование электроснабжения местного потребителя.

На рисунке также отмечен второй строящийся энергоблок ПГУ на базе газотурбинной установки типа GPB 80D мощностью 7,5 МВт, котла-утилизатора типа КГТ 11,6-3,9-440, паротурбинной установки типа П 2,5/10,5-3,8/0,5 с турбогенератором ТПС-2,5-2ЕУ3.

Приборы VINOM3 считывают параметры на выводах цепи статора действующего турбогенератора 6 МВт напряжением 6,3 кВ и со стороны 0,4 кВ ТСН1. Все приводимые далее показания сняты в режиме on-line со встроенного в приборы средства отображения.

Сведения об основных конфигурационных настройках приборов даны в таблице 1.

Рассматриваются нормальный режим работы оборудования, внешнее короткое замыкание, работа ТЭЦ на изолированную нагрузку.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПКЭ В НОРМАЛЬНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА НИУ МЭИ

Результаты измерений, проведенных с 11 октября по 25 ноября 2018 г., показывают, что качество электроэнергии на секции 0,4 кВ собственных нужд соответствует требованиям ГОСТ 32144 [3], а на секции сборных шин ГРУ в 100 % времени наблюдений превышены нормативные значения коэффициента гармоник напряжения 35-го порядка в фазе В (рис. 3).

#### О расчете параметров несинусоидальности

Алгоритмы измерений и статистической обработки ПКЭ установлены в ГОСТ 30804.4.7-2103 (IEC 61000-4-7:2009) и ГОСТ 30804.4.30-2103 (IEC 61000-4-30:2008) [4, 5]. Выполняется измерение мгновенных значений фазных напряжений на основном интервале времени, равном 10 периодам промышленной частоты. С использованием преобразования Фурье вычисляются среднеквадратические значения 1-ой и  $n$ -ой гармоник напряжения и коэффициенты гармоник напряжения  $n$ -го порядка  $K_{U(n)}$ :

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)l}}{U_{(1)l}} \cdot 100, \%$$

**Рис. 3.**  
Выводы генератора. Результаты статистической обработки  $K_{U(n)}$   
 $K_{U(35)95\%} = 1,364\%$  при нормативном значении 1% в 100% времени наблюдений

n	Коэффициент n-ой гармонической составляющей $K_{U(n)}$ , %		Нормативные значения коэффициентов, %	
	$K_{U(n)95\%}$	$K_{U(n)avg}$	$T_1$	$T_2$
30	0.003	0.003	0.000	0.200
31	0.039	0.045	0.000	0.300
32	0.005	0.006	0.000	0.200
33	0.024	0.026	0.000	0.300
34	0.022	0.024	0.000	0.300
35	1.364	1.378	100.000	1.500
36	0.019	0.021	0.000	0.300
37	0.253	0.260	0.000	1.500





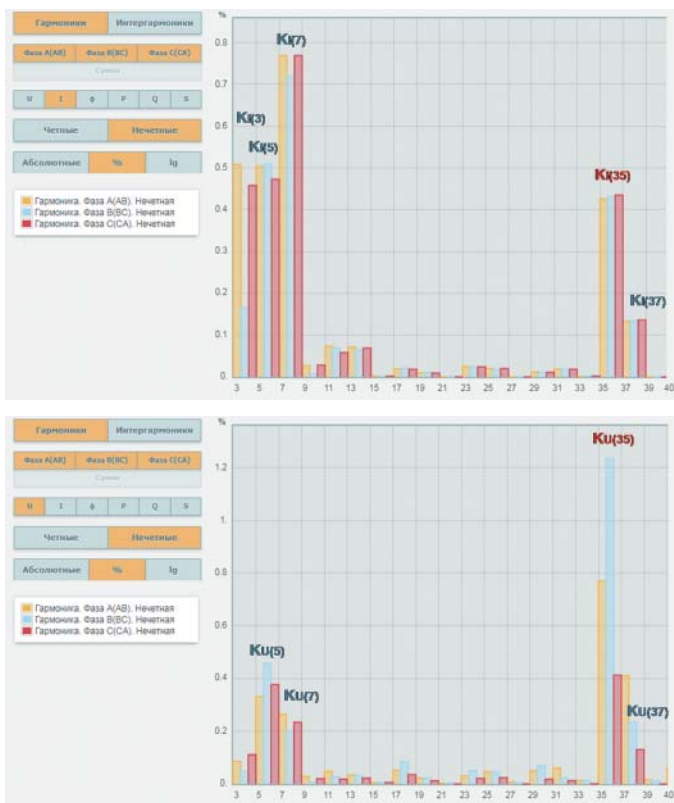


Рис. 5. Выводы генератора. Спектр по фазам коэффициентов гармоник тока  $K_{ij(n)}$  и напряжения  $K_{uj(n)}$  (интервал измерений – 10 периодов частоты)

Регулятор включается через трансформаторы тока и напряжения со стороны фазных выводов обмотки статора. В цепях регулирования возбуждения в функции тока статора регулятор имеет двухполупериодный выпрямитель, а в цепях коррекции возбуждения в функции напряжения – двухполупериодный выпрямитель и трехфазный выпрямительный мост.

Такие схемы выпрямления обуславливают наличие гармоник порядков  $n - 4k \pm 1$ ,  $n - 6k \pm 1$  ( $k = 1, 2, \dots$ ) [6, 7]. Как показано на рисунке 5, на выводе фазы в обмотки статора генератора в спектре коэффициентов гармоник тока присутствуют токи 3-ей, 5-ой, 7-ой, 35-ой и 37-ой гармоник, в спектре коэффициентов гармоник напряжения – 5-ая, 7-ая, 35-ая и 37-ая гармоники согласно приведенным выражениям.

Это позволяет предполагать, искажающее влияние РНА-60 на качество напряжения на секции ГРУ по гармонике 35-го порядка. Измерения показателей качества электроэнергии на шинах распределительного пункта РП-10114 не выявили отклонения ПКЭ за допустимые значения.

Более точно определить источник искажения позволят опыты по изменению режима работы системы возбуждения и переводу турбогенератора на работу с резервной системой возбуждения.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПКЭ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В АВАРИЙНЫХ И ПОСЛЕАВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА НИУ “МЭИ”**

**Режим внешнего короткого замыкания**

16 сентября 2018 г. в 20:02 обоими приборами VINOM3 зафиксирован провал напряжения с параметрами: время начала 20:02:14.257, продолжительность 130 мс, глубина – 24,15% (рис. 6). Событие провала

№	Дата	Время	Код	Наименование события	Параметры
67	18 09 18	08:03:41	0011	удаленный доступ	IP-адрес = 10.1.114.12, логин = admin
68	18 09 18	08:34:10	0011	удаленный доступ	IP-адрес = 10.1.114.12, логин = admin
69	18 09 18	08:33:36	0234	нарушение порядка следования фаз	
70	18 09 18	08:33:35	0303	переход на питание от сети	
71	18 09 18	08:33:34	0283	прерывание напряжения	время начала = 2018/09/18 08:33:19.147, номер = 1048, длительность = 20 мс, глубина = 100.00%, Остаточное напряжение = 0.000 кВ
72	18 09 18	08:33:26	0008	изменение конфигурации	
73	18 09 18	08:33:26	0305	выключение питания	
74	18 09 18	08:32:27	0304	выключение питания	
75	18 09 18	08:31:31	0011	удаленный доступ	IP-адрес = 10.1.114.12, логин = admin
76	18 09 18	08:26:10	0011	удаленный доступ	IP-адрес = 10.1.114.11, логин = admin
77	17 09 18	17:04:51	0011	удаленный доступ	IP-адрес = 10.1.114.12, логин = root
78	17 09 18	17:04:23	0007	попытка несанкционированного доступа	IP-адрес = 10.1.114.12, логин = admin
79	16 09 18	20:02:14	0276	провал	время начала = 2018/09/18 20:02:14.257, номер = 483, длительность = 130 мс, глубина = 24.15%, Остаточное напряжение = 1.655 кВ
80	13 09 18	11:22:03	0011	удаленный доступ	IP-адрес = 10.1.114.12, логин = admin
81	11 09 18	13:39:38	0011	удаленный доступ	IP-адрес = 10.1.114.12, логин = admin

Рис. 6. Запись о провале напряжения в Журнале событий счетчика

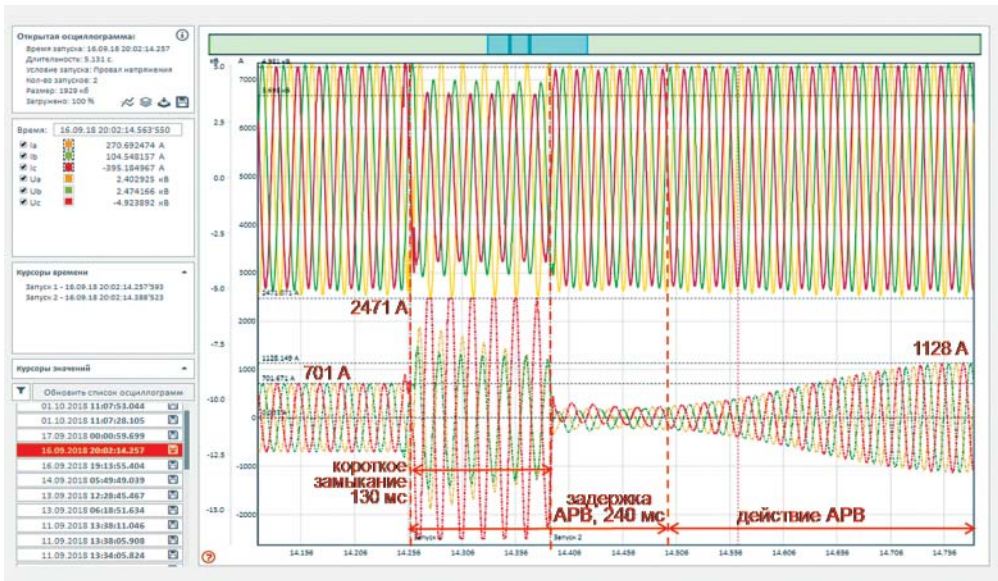


Рис. 7. Осциллограмма фазных токов и напряжений на выводах генератора (развертка 650 мс)

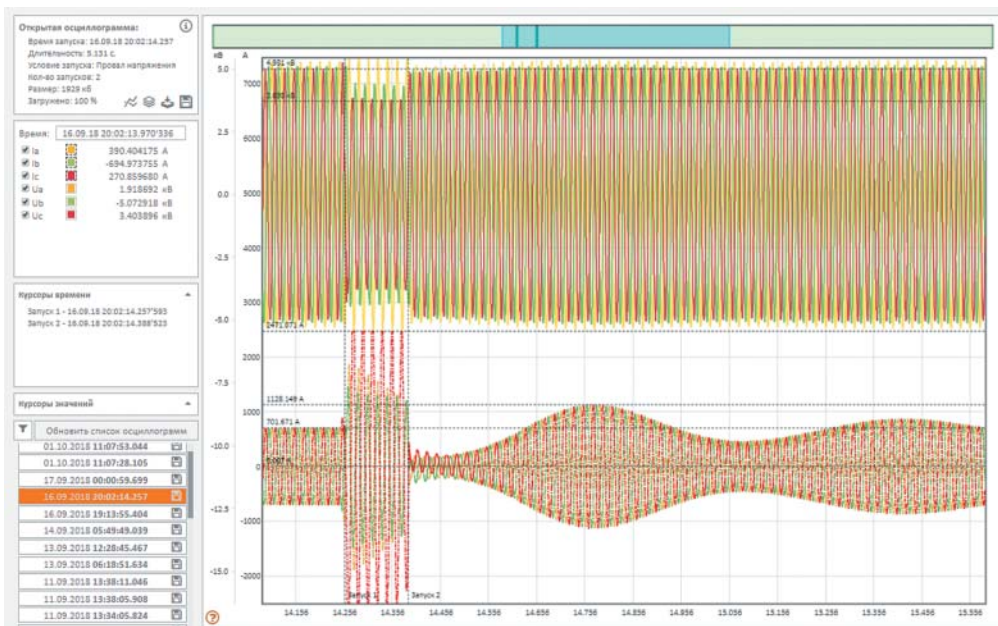


Рис. 8. Осциллограмма фазных токов и напряжений на выводах генератора (развертка 1 с 500 мс)

напряжения явилось условием пуска осциллографа в BINOM3 (рис. 7).

Из рисунка 7 видно, что произошло внешнее, по отношению к энергокомплексу “НИУ “МЭИ”, несимметричное короткое замыкание (КЗ).

При внешнем КЗ снижается напряжение на выводах статора турбогенератора и увеличивается ток, что обуславливает работу АРВ путем регулирования возбуждения в функции тока статора. Из осциллограмм можно отметить задержку в увеличении тока возбуждения: действие АРВ проявляется с запаздыванием около 240 мс после начала КЗ, что обусловлено настройками и параметрами

системы АРВ, электромагнитными параметрами турбогенератора.

По огибающей тока можно судить о характере колебаний электромеханической системы паротурбинной установки, возникающих механических усилиях в сечениях валопровода турбоагрегата (рис. 8).

Через 130 мс, когда внешнее КЗ было отключено, схемно-режимные параметры восстановились, турбогенератор с ЭЭС сохранили устойчивость, не произошло выделение энергокомплекса “НИУ “МЭИ” на изолированную работу, так как направленная защита на линиях связи РП-10114 – ЭЭС отключает выключатели в ячейках №№ 11 и 12 через 1500 мс.

### О функции осциллографирования в приборах BINOM3

Запись осциллограмм осуществляется с частотой выборки 640 точек за период основной частоты 50 Гц синхронно по каждому входному каналу тока и напряжения. Запись ведется до возникновения условия пуска осциллографа – предыстория, и с момента возникновения условия пуска – история. Если во время записи осциллограммы возникают новые условия пуска, то осциллограмма продлевается на величину истории. Общая длительность осциллограммы (предыстория + история) может составлять 120 секунд.

#### Условия автоматического пуска осциллографа:

- провал напряжения, прерывание напряжения, перенапряжение;

- нарушение уставок по току, частоте, напряжению;
- срабатывание на любом из 16 дискретных входов прибора (включение/отключение коммутационных аппаратов, срабатывание устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики).

Длительность предыстории, истории, общая длительность и количество хранимых осциллограмм, условия пуска осциллографа конфигурируются и могут быть подстроены под особенности электросети.

Осциллограммы могут быть сохранены в формате COMTRADE и просмотрены в приложении FastView (HTЦ “Механотроника”) или в формате OSCX для просмотра в приложении OSCView (<http://binom3.ru/support.php>).

### Отделение энергокомплекса “НИУ “МЭИ” на изолированную работу

19 октября 2018 г. первая кабельная линия связи (ячейка № 11 в РП-10114) была выведена в ремонт. В результате отключения второй кабельной линии связи (ячейка № 12 в РП-10114) со стороны ЭЭС энергокомплекс ФГБОУ ВО “НИУ “МЭИ” с собственным источником генерации – ТЭЦ МЭИ перешел в режим работы на изолированную нагрузку с изначально избыточной по отношению к местному потребителю генераторной мощностью (рис. 7).

При изменении баланса активной мощности изменяется частота вращения генератора и частота напряжения. Переходный процесс описывается уравнением:

$$\Delta P = P_G - P_H = T \frac{d\omega}{dt} + D\Delta\omega,$$

где  $P_G$  – активная мощность генератора,  $P_H$  – активная мощность нагрузки,  $T$  – постоянная времени,  $D$  – коэффициент демпфирования,  $\omega = 2\pi f$  – угловая частота переменного напряжения, пропорциональная частоте вращения ротора генератора,  $f$  – частота переменного напряжения. В установившемся режиме  $\Delta\omega = \Delta P/D$ .

Если  $P_G > P_H$ , то избыточная мощность идет на ускорение ротора и частота напряжения увеличивается. Если  $P_G < P_H$ , то ротор тормозится, и частота напряжения уменьшается. Для поддержания частоты вращения ротора турбогенератора и частоты напряжения необходимо постоянно сохранять баланс мощности генерации и потребления.

Изменение параметров турбогенератора при отделении ТЭЦ МЭИ от ЭЭС и при последующей синхронизации с ЭЭС показаны на графиках рисунка 9. Описание графика и зна-

чения режимных параметров для характерных точек графика приведены в таблице 2.

Из рисунка 9 и таблицы 2 видно, что до момента времени  $t_1$  энергокомплекс “НИУ “МЭИ” работает параллельно с ЭЭС по второй кабельной линии связи (ячейка № 12 в РП-10114 включена), значения параметров в допустимых границах. При этом первая кабельная линия связи находилась в ремонте (ячейка № 11 в РП-10114 отключена).

В момент времени  $t_1$  происходит отключение второй кабельной линии связи со стороны ЭЭС, что приводит к увеличению частоты до значения 50,7 Гц. Далее в период времени  $t_1 - t_2$  работает АРЧМ (снижение расхода пара) и сброс  $P_G$  с 5,8 до 4 МВт в соответствии с нагрузкой собственных нужд ТЭЦ МЭИ и потребителей “НИУ “МЭИ”, подключенных к шинам РП-10114.

Получено от диспетчера разрешение на синхронизацию с ЭЭС. Принято решение собрать схему синхронизации: отключить секционный выключатель в РП-10114, в момент времени  $t_3$  отключен выключатель 6 кВ в цепи ТС2 с погасанием секции 2 и отключением половины потребителей “НИУ “МЭИ” на время переключений. Значение частоты в результате отключения потребителей составило 51,28 Гц.

В период времени  $t_3 - t_4$  включен выключатель ячейки № 12 в РП-10114 и восстановлено питание потребителей (разделение энергокомплекса “НИУ МЭИ” на две несинхронно работающие части).

В момент времени  $t_4$  на выключателе 6 кВ в цепи ТС2 произведена синхронизация ТЭЦ МЭИ и получающих от нее питание потребителей 1-й секции РП-10114 с секцией 2, получающей питание от ЭЭС.





Рис. 9. График изменения  $f$ ,  $P_r$ ,  $Q_r$ ,  $U_a$ ,  $U_b$ ,  $U_c$  (значения на 10 периодах частоты, период записи в архив – 30 с)

**Таблица 2. Значения режимных параметров энергокомплекса «НИУ «МЭИ» с ТЭЦ МЭИ при работе в изолированном режиме и параллельно с ЗЭС (по графику рисунка 7)**

Режим	Курсор времени	$P_r$ , МВт	$Q_r$ , Мвар	$f$ , Гц	$U_a$ , кВ	$U_b$ , кВ	$U_c$ , кВ
Нормальный режим. Значения параметров в допустимых границах	t1 13:29	5,64	1,04	50,00	3,72	3,50	3,60
Отделение от энергосистемы: $P_r > P_{н}$ , $f > f_{ном}$	t2 13:30	4,18	1,84	50,71	3,81	3,57	3,68
Подготовка к синхронизации	t3 13:58	2,26	1,16	50,98	3,85	3,62	3,72
Синхронизация с последующим восстановлением доаварийного режима. Частота в допустимых границах.	t4 14:17	2,09	1,14	50,05	3,79	3,56	3,67
Нормальный режим. Значения параметров в допустимых границах	t5 15:02	5,80	1,13	50,00	3,73	3,5	3,61



**О расчете отклонения частоты**

Качество электроэнергии по частоте характеризуется отклонением частоты  $\Delta f$ :

$$\Delta f = f_{10} - f_{ном}$$

где  $f_{10}$  – фактическое значение частоты на интервале 10 с:

$$f_{10} = \frac{\sum_{i=1}^N f_i}{N};$$

$f_i$  – значение частоты, измеренное на  $i$ -ом основном интервале времени (10 периодов), как отношение числа целых периодов на основном интервале времени к общей

продолжительности целых периодов (используется фаза с наибольшим действующим значением напряжения);  $N$  – число основных интервалов времени в интервале усреднения ( $N = 50$ ).

Согласно [3] частота должна поддерживаться на уровне  $(50 \pm 0,2)$  Гц в 95 % времени, и не должна выходить за диапазон  $(50 \pm 0,4)$  Гц в 100 % времени наблюдений. В изолированных системах электроснабжения с автономными генераторными установками, не подключенных к синхронизированным системам передачи электрической энергии, отклонение частоты не должно превышать  $\pm 1$  Гц в течение 95 % времени и  $\pm 5$  Гц в течение 100 % времени наблюдений.

График изменения показателей качества электроэнергии в режиме работы ТЭЦ на изолированную нагрузку приведен на рисунке 10. Наибольшее значение отклонения частоты составило 1,28 Гц, относительное время превышения предельно допустимого значения, равного 0,4 Гц, составило 0,08 % при нормативном 0 %. Положительное и отрицательное

отклонение напряжения не вышли за нормативные согласно ГОСТ значения (рис. 11).

Таким образом, наличие архивов действующих значений параметров и показателей качества электрической энергии в измерительных приборах позволяет устанавливать взаимное влияние параметров сети, время и причины нарушений ПКЭ.



Рис. 10. График изменения ПКЭ:  $\Delta f$  (10 с),  $\pm\delta U_A$ ,  $\pm\delta U_B$ ,  $\pm\delta U_C$  (10 мин.)

Параметр	Отклонение частоты					
	$\Delta f_{нм}$ , Гц	$\Delta f_{н(95\%)}$ , Гц	$\Delta f_{в(95\%)}$ , Гц	$\Delta f_{н0}$ , Гц	T1, %	T2, %
$\Delta f$	-0.165	-0.025	0.020	1.282	0.09	0.08
Нормативное значение	-0.400	-0.200	0.200	0.400	5.00	0.00

Рис. 11. Результаты статистической обработки ПКЭ:  $\Delta f$  (10 с),  $K_{0U}$ ,  $K_{2U}$  (10 мин.)

Для ознакомления с показаниями приборов, установленных на ТЭЦ МЭИ, открыт on-line доступ (логин: **User**, пароль: **1**):

- <http://hpc-ec1.mpei.ru/>  
(BINOM337 на стороне 0,4 кВ ТСН);
- <http://hpc-ec2.mpei.ru/>  
(BINOM337 на выводах 6 кВ статора генератора).

Документация на приборы размещена по адресу <http://www.binom3.ru/>

## ВЫВОДЫ

1. Исследования показателей качества электрической энергии на ТЭЦ МЭИ выявили отклонения по 35-й гармонической составляющей напряжения, что позволило разработать комплекс организационно-технических мероприятий по выявлению и устранению источника искажений.
2. Исследования электромагнитных и электро-механических переходных процессов на ТЭЦ МЭИ позволили оценить качество противоаварийных воздействий для дальнейшей разработки алгоритмов работы цифровой интеллектуальной противоаварийной автоматики энергокомплексов с распределенной генерацией, работающей параллельно с ЭЭС.
3. Промышленная эксплуатация приборов BINOM3 показала высокую степень их готовности для реализации концепции “Smart Grid” в части присущих ей свойств: оцифровка данных, Big Data и оперативный анализ, применение “искусственного интеллекта”, мониторинг и контроль, распределенные ресурсы для хранения информации.
4. В дополнение к функциям учета, контроля качества электрической энергии, осциллографирования наличие функций телесигнализации и телеуправления в приборах BINOM3 позволяют использовать их при построении электрических сетей в рамках подхода “Цифровая энергетика”.

## Список литературы

1. *Развитие цифровой экономики в России. Программа до 2035 года.* Утверждена распоряжением Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р.
2. *ГОСТ 32144 2013.* Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — М.: Стандартинформ, 2014.
3. *Васильева О.А.* Новый стандарт функциональности в промышленной автоматизации: интеллектуальные приборы BINOM3. “Автоматизация и ИТ в энергетике”. № 12(77), 2015.
4. *ГОСТ 30804.4.7-2013.* Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств. — М.: Стандартинформ, 2013.
5. *ГОСТ 30804.4.30-2013.* Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. — М.: Стандартинформ, 2014.
6. *Каратишов И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г., Шаров Ю.В., Насыров Р.Р.* Управление качеством электроэнергии: учебное пособие. — М.: Издательский дом МЭИ, 2017.
7. *Большаков О.В., Васильева О.А.* О происхождении и измерении гармонических искажений в электрических сетях. Управление качеством электрической энергии: сборник трудов Международной научно-практической конференции. (Москва, 23-25 ноября 2016 г.). — М.: ООО “Центр полиграфических услуг “Радуга”, 2017.

*Асаинов Данил Нурутдинович* — канд., техн., наук, доцент кафедры “Электрические станции” ФГБОУ ВО “НИУ “МЭИ” Россия, Москва,

*Васильева Ольга Алексеевна* — канд., техн., наук, доцент кафедры “Электрические станции и автоматизация энергетических систем” Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ), генеральный директор ЗАО “Алгоритм”.