

ных модулей формируются в файлы в соответствии с международным стандартом IESNA:LM-63–1995. Полученные файлы с расширением .ies могут быть использованы в качестве базы данных для расчета осветительных установок посредством современных компьютерных программ.

Программный комплекс может быть использован предприятиями-изготовителями светодиодных модулей для создания энергоэкономичных и экологических осветительных приборов с заданными светотехническими характеристиками для приме-

нения в том числе в сельскохозяйственном производстве.

Список литературы

1. Коваленко, О.Ю. Расчет модуля с ультрафиолетизлучающими диодами для облучения животных / О.Ю. Коваленко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 2008. — № 12.
2. Казаков, А.В. Перспективные СИД-источники света для сельскохозяйственного производства / А.В. Казаков, А.В. Чурмасов, А.В. Половинкин // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. — 2008. — Вып. № 3 (28).

УДК 621.311:64

Т.Б. Лещинская, доктор техн. наук, профессор
М.М. Таранов, аспирант

ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКОВ ЭМИССИИ БЫТОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

В узлах нагрузки современных сельских электрических сетей 0,38 кВ, обеспечивающих электроэнергией общественных и коммунально-бытовых потребителей, остается все менее электроприемников с линейными вольтамперными характеристиками.

Преобразование электроэнергии у большинства современных электроприборов сопровождается генерацией в электрическую сеть 0,38 кВ высших гармонических составляющих токов (эмиссия высокочастотных токов). Эти высокочастотные токи создают падения напряжения на продольных элементах сети, что ухудшает форму кривой сетевого напряжения и увеличивает потери электро-

энергии. Для реализации эффективных мероприятий по улучшению качества напряжения и повышению эффективности распределения электроэнергии в сетях 0,38 кВ необходимо знать амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики узлов нагрузки.

Один из эффективных путей получения такого рода информации — экспериментальные исследования.

В узле нагрузки при поочередном включении различных электроприборов сертифицированным измерителем показателей качества электроэнергии Hioki 3196 зарегистрированы амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики тока и напряжения до 40-й гармоники включительно.

Состав бытовых электроприборов и их установленные мощности сведены в табл. 1.

Присутствие высших гармонических составляющих в токе нагрузки ламп накаливания (рис. 1) объясняется приложенным к узлу нагрузки напряжением, у которого из-за наличия высокочастотных гармоник вершины синусоиды «уплощены» (рис. 2), а спектр действующих значений гармонических составляющих представлен на рис. 3.

Если активную нагрузку принять как линейную, которая не генерирует гармоники тока в сеть, то группа таких бытовых электроприборов, как морозильная камера и холодильник (рис. 4–6) уже более чем в 2...3 раза искажает синусоидальность тока по 3-й и 5-й гармоникам.

Коллекторные машины, входящие в состав вентилятора и пылесоса (рис. 7–9), увеличивают гармоники в токе нагрузки: коэффици-

Таблица 1

Электроприемник	Установленная мощность, Вт
Сплит-система (обогрев/охлаждение)	7200/6300
Утюг	2400
Электрочайник	2300
Стиральная машина	2200
Холодильник	2000
Микроволновая печь	650
Музыкальный центр	334
Морозильник	130
Лампы накаливания	100
Телевизор средней мощности	88
Ноутбук	65
Вентилятор	40
Усилитель спутниковой антенны	30
Энергосберегающие лампы	20
DVD плеер	12



Рис. 1. Спектральный состав тока

Рис. 3. Спектральный состав напряжения

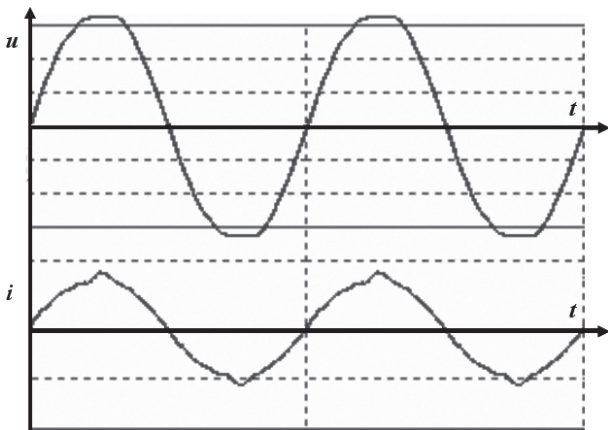


Рис. 2. Форма кривых напряжения и тока



Рис. 4. Спектральный состав напряжения

ент 3-й гармонической составляющей тока k_{i3} возрастает до 18,2...18,6%; k_{i5} — изменяется от 5,2 до 18,6%.

Из зарегистрированных характеристик наиболее негативное влияние на электрическую сеть оказывают электроприборы с импульсными блоками питания, такие как телевизор, музыкальный центр, персональный компьютер и др.

Телевизионные приемники, вне зависимости от установленной мощности, генерируют высокочастотные токи нечетного порядка — 3-го, 5-го, 7-го и 9-го. Остальные гармонические составляющие тока имеют меньшие значения (рис. 10–12)..

Микроволновая печь во время работы генерирует высокочастотные токи 3-й и 5-й гармоник

(рис. 13–15). Остальные гармоники тока менее значимы.

Для анализа наиболее значительные амплитудно-фазные характеристики приведенных выше электроприемников сведены в табл. 2.

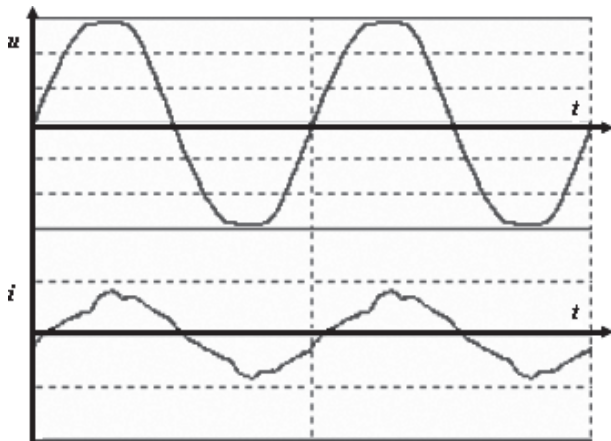


Рис. 5. Форма кривых напряжения и тока



Рис. 6. Спектральный состав тока

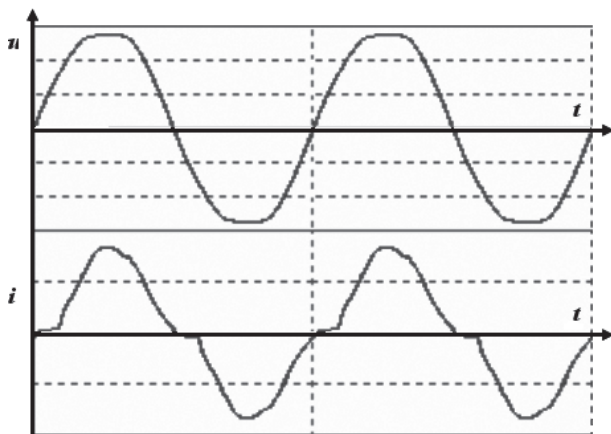


Рис. 7. Форма кривых напряжения и тока

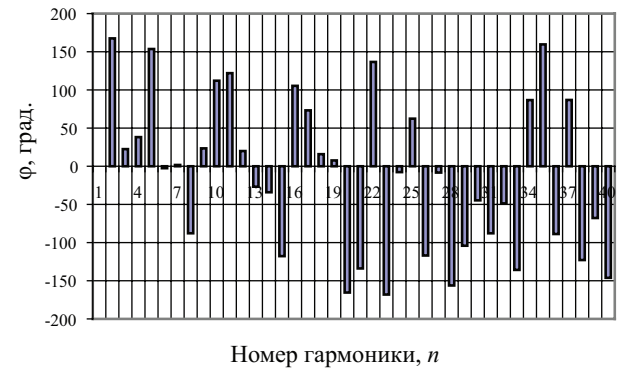


Рис. 8. Спектральный состав напряжения

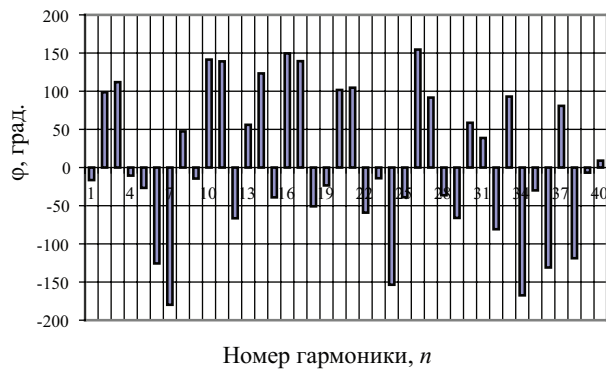


Рис. 9. Спектральный состав тока

Как видно из табл. 2, начальные фазы 3-й гармоники тока практически совпадают у телевизоров, музыкального центра, ноутбука и вентилятора с пылесосом. Совпадение начальной фазы 5-й гармоники отмечается у морозильной камеры, микро-



Рис. 10. Спектральный состав напряжения

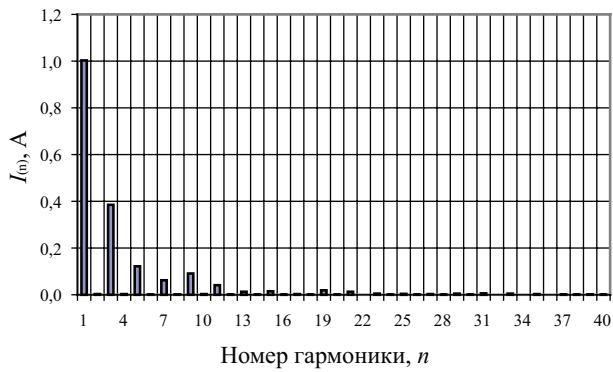


Рис. 11. Спектральный состав тока

волновой печи и лампы накаливания. Одинаковые начальные фазы 7-й гармоники тока оказались у телевизоров и сплит-систем, у морозильной камеры и музыкального центра. Близкие начальные фазы 9-й гармоники тока были у лампы накаливания и те-

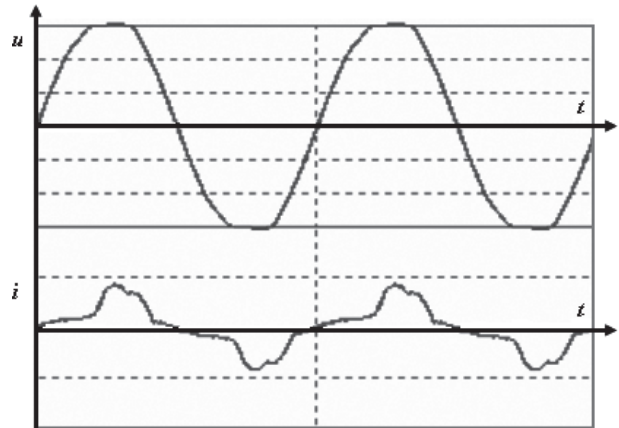


Рис. 12. Форма кривых напряжения и тока



Рис. 13. Спектральный состав напряжения

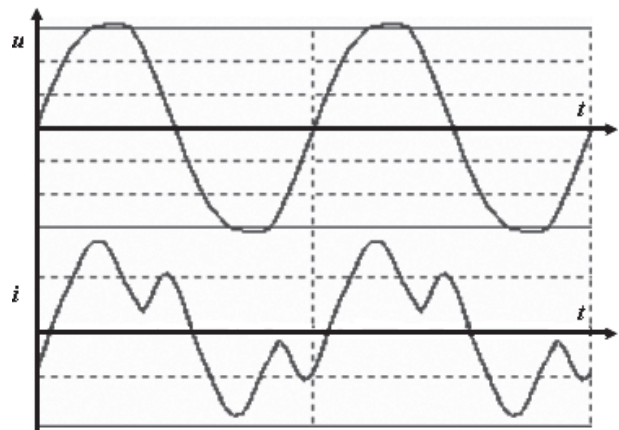


Рис. 14. Форма кривых напряжения и тока



Рис. 15. Спектральный состав тока

левизора, у телевизора и сплит-системы, у энергосберегающей лампы и морозильной камеры.

Для оценки уровня эмиссии токов высших гармоник бытовыми электроприемниками жилого дома наиболее целесообразно исследовать амплитудно-

частотные характеристики тока и напряжения в характерных точках графика нагрузки дома.

Известно, что график нагрузки жилого дома характеризуется двумя максимумами нагрузки в утренний и вечерний периоды (рис. 16). Следовательно, из него можно выделить четыре характерных периода электропотребления, а именно утренний и вечерний максимум нагрузки и дневной и ночной минимум нагрузки.

Максимумы нагрузки формируют различные электроприемники длительного и краткосрочного использования одновременно подключенные в сеть электроснабжения. Несмотря на различие состава электроприемников, их установленной мощности и марок в каждом отдельном доме, можно предположить, что в формировании максимумов нагрузки участвуют осветительные электроприборы, хозяйственные электроприборы, электроприборы для обработки и хранения продуктов, нагревательные электроприборы для приготовления пищи, культурно-бытовые электроприборы.

Экспериментальные исследования некоторых групп совместно подключенных электроприборов, формирующих утренний максимум нагрузки, представлены ниже.

Совместное подключение осветительной нагрузки (энергосберегающей лампы и ламп накаливания) и телевизора представлено на рис. 17–19.

Вечерний максимум нагрузки жилого дома также формируют различные виды совместно подключенных электроприборов, в данном случае освети-

Таблица 2

Электроприемник	Коэффициент n -й гармонической составляющей тока, %, и начальная фаза гармоники тока, град.											
	$K_{i(3)}$	$\Psi_{i(3)}$	$K_{i(5)}$	$\Psi_{i(5)}$	$K_{i(7)}$	$\Psi_{i(7)}$	$K_{i(9)}$	$\Psi_{i(9)}$	$K_{i(11)}$	$\Psi_{i(11)}$	$K_{i(13)}$	$\Psi_{i(13)}$
Вентилятор	18,6	173,3	18,6	2,57	11,8	179	6,9	9,62	2,0	-156,2	1,0	122,5
Лампы накаливания 300 Вт	2,0	79,1	3,5	-25,5	2,0	151,6	2,0	-22,4	1,2	-48,7	1,6	-25,7
Микроволновая печь	41,5	-105,7	13,8	-24,8	4,1	-7,1	1,5	90,7	1,5	175,5	0,9	-59,4
Морозильная камера	6,7	111,9	6,7	-26,7	2,8	-179,8	4,5	-14,4	0,6	139,1	0,6	56,0
Телевизор малой мощности	40,4	173,1	33,7	-6,5	20,2	168,7	9,6	-5,9	0	-165	3,9	147,4
Телевизор большой мощности	38,3	121,9	12,1	-74,7	6,4	-163,6	9,2	-12,9	4,3	111,7	1,4	101
Музыкальный центр	42,9	175,5	27,2	-7	10,9	-177,6	4,1	58,9	2,0	-27,8	2,7	-152,1
Ноутбук	31,4	171	29,1	-5,5	19,8	172	12,8	-7,3	5,8	172,7	3,5	8,8
Пылесос	18,2	158,5	5,2	119,5	0,3	103,3	2,6	37,4	1,2	-1,1	0,8	-86,1
Сплит-система	28,4	143,5	18,3	-12,2	13,80	166,1	6,4	-5,1	2,8	-77,6	0,9	169,4
Телевизор средней мощности	39,8	174,8	32,2	-6,9	16,9	165,3	5,9	-22,9	1,7	66,7	1,7	-157,8
Холодильник	6,8	87,2	6,8	26,0	3,4	151,8	3,4	-31,4	1,7	133,8	1,1	-27,7
Энергосберегающая лампа	20,2	-161	10,7	-15	13,1	135	9,5	-14,8	2,4	-118	3,6	159,7

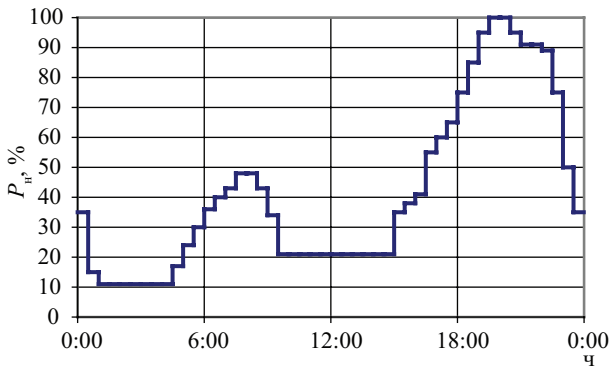


Рис. 16. Средний суточный график нагрузки жилого дома с газовой плитой [1]

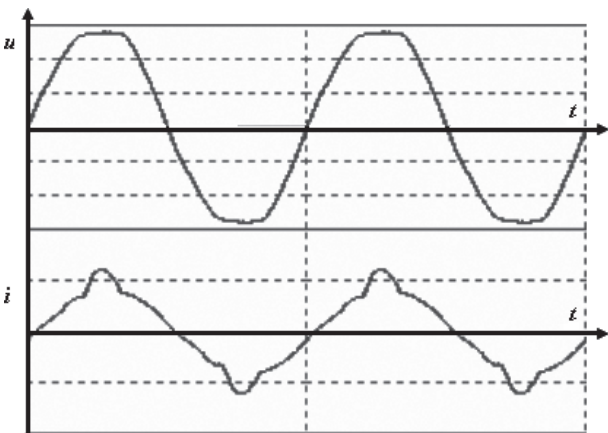


Рис. 17. Форма кривых напряжения и тока

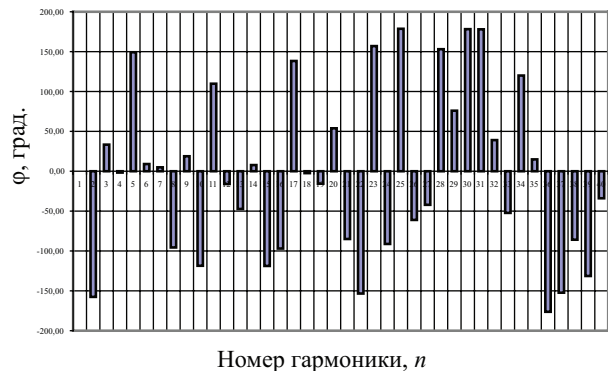


Рис. 18. Спектральный состав напряжения



Рис. 19. Спектральный состав тока

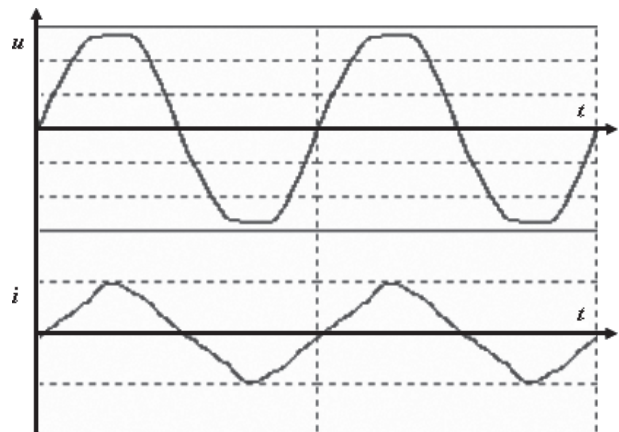


Рис. 20. Форма кривых напряжения и тока

тельные приборы, два телевизора различной мощности и персональный компьютер с аудиосистемой.

Спад вечернего максимума нагрузки объясняется тем, что выключаются мощные осветительные электроприборы, а в работе остаются нелинейные культурно-бытовые электроприборы и приборы длительного пользования.

Участки минимальной нагрузки формируют в основном приборы длительного пользования, такие как холодильник, зарядное устройство, питание телевизоров и др.

Результаты исследований различных групп совместно подключенных электроприборов в периоды максимального и минимального электропотребления дома сведены в табл. 3.



Рис. 21. Спектральный состав напряжения



Рис. 22. Спектральный состав тока

Из табл. 3 видно, что коэффициент искажения синусоидальности напряжения зависит от уровня потребления электроэнергии бытовыми узлами нагрузки и, как следствие, эмиссии токов ВГС. Во время максимального потребления электроэнергии коэффициент искажения синусоидальности напряжения возрастает до 5,0...6,1 %, а в периоды минимального электропотребления снижается до 2,9 %.

Это позволяет сделать вывод, что бытовые электропотребители служат причиной ухудшения качества электроэнергии по показателям качества — коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения и коэффициенту n -й гармонической составляющей тока, нормируемых ГОСТ 13109–97 [2]. Несинусоидальная форма напряжения во время дневного и ночного минимума нагрузки объясняет-

Таблица 3

Электроприемник	$K_{13}, \%$	$K_{15}, \%$	$K_{17}, \%$	$K_{19}, \%$	$K_{13}/K_1, \%$	$K_{15}/K_1, \%$	$K_{17}/K_1, \%$	$K_{13}/K_1 + K_{15}/K_1 + K_{17}/K_1, \%$	$K_p, \%$	$K_u, \%$
Осветительная нагрузка и телевизор	11,1	8,1	5,7	4,0	28,5	20,7	14,7	63,9	15,7	5,0
Осветительная нагрузка, телевизор и микроволновая печь	26,3	5,3	2,5	1,8	56,0	11,3	5,3	72,7	27,3	5,4
Осветительная нагрузка, телевизор, микроволновая печь и утюг	9,0	0,7	1,6	0,8	51,9	3,9	9,0	64,8	9,4	5,5
Осветительная нагрузка, телевизор и электрочайник	2,5	1,8	1,2	1,5	25,4	17,7	11,8	55,0	3,7	5,5
Вечерний максимум с включенной осветительной нагрузкой	10,2	3,5	2,8	1,2	41,5	14,2	11,2	66,8	11,3	6,1
Вечерний максимум с выключенной осветительной нагрузкой	14,3	10,6	7,4	3,5	30,0	22,2	15,6	67,9	19,9	6,0
Ночной минимум	11,6	33,7	29,6	12,9	8,2	23,7	20,8	52,7	50,0	2,9
Дневной минимум	27,4	34,2	18,2	11,7	22,6	28,2	15,0	65,8	49,5	4,5

ся тем, что при снижении нагрузки на трансформаторной подстанции недогруженный трансформатор из-за своих ферромагнитных свойств приобретает свойства нелинейного элемента в сети электроснабжения и сам является причиной искажения синусоидальности напряжения [3].

Как видно из табл. 3, эмиссия высокочастотного тока 3-й гармоники возрастает с увеличением электропотребления. Хотя в процентном отношении эмиссия тока 3-й гармоники, приходящаяся на минимумы нагрузки, зачастую превышает эмиссию в периоды максимумов, выраженная в именованных единицах картина меняется на противоположную. Так, в периоды минимальной нагрузки электропотребление составляет 0,8...1,2 А, а в периоды максимальной нагрузки достигает 10...15 А. Соответственно, ток 3-й гармоники в период минимума нагрузки составляет $K_{i(3)} = 0,14...0,22$ А, в то время как в периоды максимумов нагрузки $K_{i(3)} = 0,28...1,97$ А. Для гармоник более высокого порядка уровень эмиссии токов в периоды минимальной нагрузки сопоставим, а в некоторых случаях даже превышает эмиссию в период максимумов. Так, при минимальной нагрузке $K_{i(5)} = 0,28...0,42$ А, $K_{i(7)} = 0,15...0,38$ А, $K_{i(9)} = 0,16...0,1$ А, а в период максимальной нагрузки $K_{i(5)} = 0,1...0,4$ А, $K_{i(7)} = 0,13...0,24$ А, $K_{i(9)} = 0,08...0,16$ А.

Также из табл. 3 видно, что уровень эмиссии токов ВГС во внешнюю электрическую сеть при неизменной нелинейной нагрузке снижается при подключении линейной нагрузки — осветительных приборов и особенно мощных нагревательных

приборов, таких как электрочайник и утюг. Это явление может быть объяснено тем, что приемники с линейными вольтамперными характеристиками служат шунтом для высокочастотных токов, генерируемых нелинейными элементами в сеть внутреннего электроснабжения дома. Можно предположить, что срок службы чувствительных к колебаниям напряжения ламп накаливания вследствие этого явления снижается, но достоверность этого предположения должна быть обоснована отдельными исследованиями.

Основная доля эмиссии токов ВГС во всех характерных периодах потребления приходится на 3, 5 и 7-ю гармоники. Средняя доля эмиссии токов этих гармоник составляет 63,7% общей доли эмиссии высокочастотных токов. На основе этого наблюдения можно сделать вывод, что наиболее целесообразными средствами защиты внешней сети от генерации бытовыми электроприемниками токов высших гармоник будут технические средства, подавляющие 3, 5 и 7-ю гармоники тока.

Список литературы

1. Тарнижевский, М.В. Электрооборудование жилищно-коммунального хозяйства: справочник / М.В. Тарнижевский, Е.И. Афанасьева. — М.: Стройиздат, 1987. — 368 с.
2. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. — М.: Энергоатомиздат, 2000. — 331 с.

УДК 631.3; 629.355:658.012.1

С.В. Еременко, канд. техн. наук

ООО «Научно-производственная фирма «Севекс»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ИНКУБАЦИОННОЙ КАМЕРЫ

Опытные данные показывают, что в результате интенсивного перемешивания воздуха изменение температуры и влажности в различных точках пространства размещения яиц происходит если и не одинаково, то практически одновременно по всему объему этого пространства. Поэтому динамику состояния воздушной среды инкубационной камеры как объекта регулирования в первом приближении можно рассматривать как процесс последовательного преобразования изменения температуры и влажности воздуха в зоне размещения яиц (см. рисунок), считая при этом, что их значения в одной точке зоны достаточно для характеристики состояния всего воздуха.

Исходя из этого состояние воздушной среды инкубационной камеры, отражающее зависимость температурно-влажностных параметров от факторов, обуславливающих его изменение, в общем виде может быть определено уравнениями теплового и материального балансов влаги. Потоки теплоты, проходящие через оболочку камеры, по сравнению с другими потоками теплоты весьма малы. Они не оказывают существенного влияния на переходные процессы изменения температуры воздуха в камере. Поэтому при построении модели состояния ее воздушной среды как объекта системы управления ими можно пренебречь.