

### Список літератури

1. Кирик В.В. Регулювання змінної напруги на нагрівальних елементах електропечі опору з використанням нечіткого логічного контролера / В.В. Кирик // Наук. пр. ІЕД НАН України. – К, 2004. – №1(7). – С.95–98.
2. Леоненков А.А. Нечеткое моделирование в среде Matlab и Fuzzy Tech / А.А. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 725 с.
3. Семенцов Г.Н. Аналіз і вибір форми функцій належності для фазифікації вхідних сигналів систем контролю і управління / Г.Н. Семенцов, О.В. Фадєєва // Вісник Хмельницького нац. ун-ту. Технічні науки. – 2006. – №1. – С.219–225.
4. FUZZY- системи – новий технологічний інструмент управління / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, К.О. Липківський, В.В. Кирик // Технічна електродинаміка. – 2001. – №3. – С. 17–20.

*Проанализирована возможность и целесообразность построения фазы - регуляторов температуры электропечей сопротивления ( ЭПО ) и влияния на характеристики регулятора температуры различных алгоритмов нечеткого управления, определяемых видом функций принадлежности и используемых входными сигналами.*

**Система автоматического регулирования, электропечи сопротивления, фазы-регулятор, нечеткая логика, функции принадлежности, показатели качества регулирования.**

*The possibility and feasibility of constructing phase -controller electric resistance (EPO) and the impact on the Temperature characteristics of various fuzzy control algorithms that define the type of membership functions and input signals used.*

**Automatic adjustment, electric resistance, fuzzy controller, fuzzy logic, membership function, quality regulation.**

УДК519.23

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНОВОГО СЛОЯ ПРИ СВЧ-КОНВЕКТИВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

**Д.А. БУДНИКОВ, кандидат технических наук  
ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского хозяйства», г. Москва**

*Приведены результаты исследований динамических свойств зерновой массы при СВЧ-конвективной сушке. Установлено, что для качественного описания поведения зернового слоя при нахождении переходной функции требуется уравнение третьей степени.*

**СВЧ-конвективная сушка, послеуборочная обработка, динамические свойства, идентификация.**

© Д.А. БУДНИКОВ, 2015

Для построения оптимальных конструкций энергосберегающих установок по сушке продуктов сельскохозяйственного производства необходимо иметь представление о динамических свойствах обрабатываемого объекта. Отсутствие этих данных ведет к перерасходу энергоресурсов, а также снижению качества конечной продукции. Таким образом, сведения о том, что сушка является одним из наиболее энергоемких процессов при производстве зерновых, что и определяет актуальность данного исследования.

Исследования динамических свойств зерновых материалов при проведении процесса сушки проводятся для установок конкретного типа. В настоящее время существуют данные, полученные для шахтных зерносушилок, установок активного вентилирования и прочих [1, 8–11]. Исследователями получены динамические характеристики, а также регрессионные модели для большого количества культур. Так, учеными Калифорнийского университета и Западного регионального исследовательского центра (США) приведены зависимости для описания процесса сушки риса различного сорта в тонком слое [9]. Проводимые исследования [8–11] позволяют судить о том, что для разработки управляющих систем сушильного оборудования необходимо детальное изучение поведения различных культур при воздействии всего многообразия существующих факторов, воздействующих на зерновой материал в процессе сушки. Большой интерес вызывает использование СВЧ-конвективного воздействия, хотя данные по поведению зернового слоя при таком виде обработки еще не полны. Это связано с тем, что установки данного типа пока не получили широкого применения в связи с невысокой производительностью, повышенными требованиями к квалификации обслуживающего персонала и т.д.

**Цель исследований** – получение динамических свойств зернового слоя при СВЧ-конвективном воздействии. При этом зерновой слой выступает в качестве объекта управления, а выраженная в той или иной форме информация о наиболее существенных характеристиках объекта является моделью.

Зерновой слой, как объект управления является динамическим объектом, т.е. объектом, выход которого зависит не только от текущего значения входных сигналов, но и от их значений в предыдущие моменты времени.

**Материалы и методика исследований.** Анализ динамических характеристик проводился для плотного неподвижного зернового слоя, подвергающегося СВЧ-конвективному воздействию. Схема лабораторной установки приведена на рис. 1. Параметры установки следующие: размеры зоны СВЧ-конвективного воздействия, заполненной зерном 200×200×300 мм, мощность магнетрона  $P_c=900$  Вт, скорость фильтрации воздуха через зерновой слой  $V=0,6$  м/с. Условия проведения экспериментов: температура наружного воздуха (агента сушки)  $T=18$  °С, обрабатываемая культура – пшеница, влажность зернового материала  $W = 12–20$  % с шагом 2 %; вентиляция проводилась непрерывно,

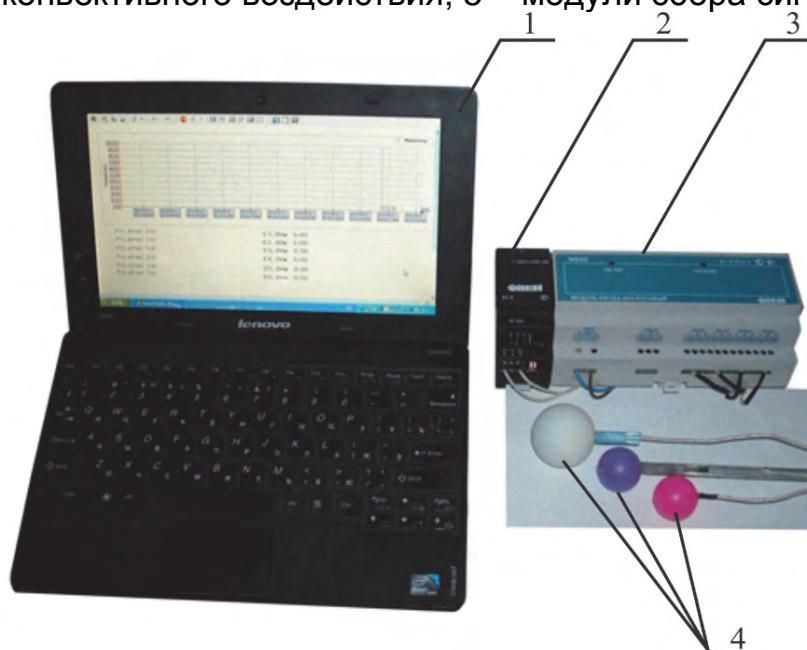
воздействие СВЧ-полем – в импульсном режиме (5 с СВЧ включено, 10 с выключено). Удельная мощность электромагнитного поля, рассеиваемая в конкретной точке, определяется в зависимости от исходной влажности обрабатываемого материала. В качестве функции отклика выбрана температура зернового материала  $\theta$ .

Для определения удельной мощности в конкретной точке было разработано «Устройство для определения величины удельной мощности электромагнитного поля СВЧ выделяемой в зерновом слое» (рис. 2).



**Рис. 1. Лабораторная установка:**

1 – нагнетающий вентилятор; 2 – блок ТЭНов; 3 – магнетрон; 4 – зона СВЧ-конвективного воздействия; 5 – модули сбора сигналов



**Рис. 2. Устройство для определения величины удельной мощности электромагнитного поля СВЧ, выделяемой в зерновом слое:**

1 – ПК, в котором реализуется алгоритм измерения; 2 - преобразователь интерфейсов; 3 – модуля ввода сигналов (до 8 датчиков); 4 – датчики

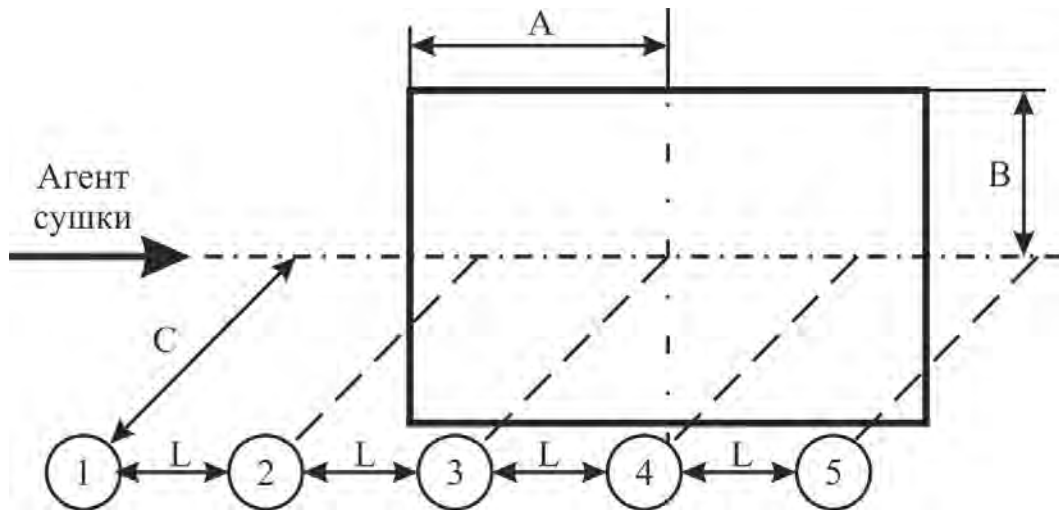


Рис. 3. Схема расположения датчиков

Результаты исследований. Пример результатов измерения представлен на рис. 4.

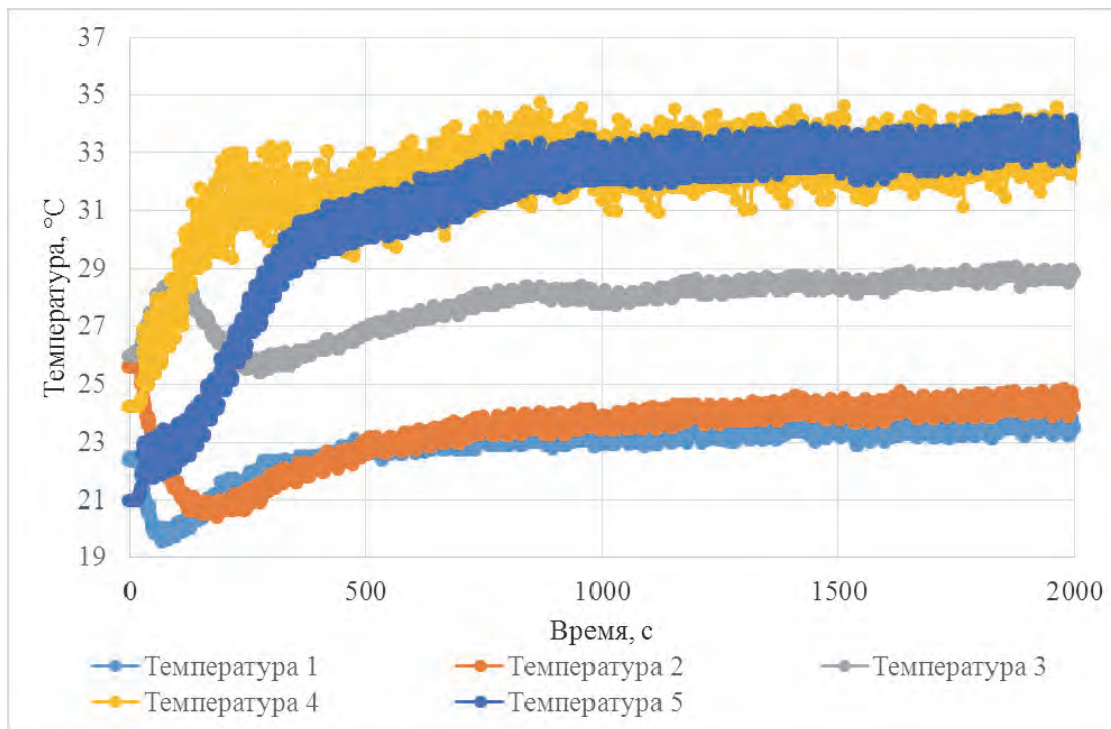


Рис. 4. Результаты эксперимента при  $W=18\%$

ARX-модель представляется в виде:

$$A(z)y(t)=B(z)u(t)+e(t),$$

или в развернутом виде:

$$y(t)+a_1y(t-1)+\dots+a_ny(t-n)=b_1u(t)+b_2u(t-1)+\dots+b_nu(t-m)+e(t).$$

Кроме полиномиального анализа были получены передаточные функции. Общий вид передаточной функции в виде Process Models имеет вид:

$$G(s) = \frac{Kp}{1 + Tp1 \cdot s} \cdot e^{-Td \cdot s}.$$

Пример коэффициентов для него приведен в табл. 1.

На конечном этапе провели оценку порядка параметрической модели, сравнение моделей и оценку их адекватности. Модели, описывающие динамические свойства слоя пшеницы при СВЧ-конвективном воздействии, полученные в результате анализа экспериментальных данных, частично приведены в табл. 2.

### 1. Коэффициенты Process Models для зернового слоя

W, %	№ датчика	Kp	Тр1	Td
16	1	0,54795	935,59	23,935
16	2	0,68909	527,15	11,765
16	3	0,048423	189,0945	12,523
16	4	0,12185	121,3217	0
16	5	0,945976	217,8842	27,169

Пример передаточных функции, полученных для зернового слоя, приведен в табл. 3.

### 3. Передаточные функции для зернового слоя

W, %	№ датчика	Передаточная функция
18	1	$\frac{0,0007082s + 0,00002612}{s^3 + 0,1965s^2 + 0,01082s + 0,00003605}$
18	2	$\frac{0,0003572s + 0,0000001305}{s^3 + 0,09751s^2 + 0,003184s + 1,281 \cdot 10^{-16}}$
18	3	$\frac{0,0002381s + 0,000004202}{s^3 + 0,1103s^2 + 0,003803s + 0,00004475}$
18	4	$\frac{0,00195s + 0,0000001137}{s^2 + 0,01233s + 6,368 \cdot 10^{-8}}$
18	5	$\frac{0,003081s + 0,0001449}{s^3 + 1,155s^2 + 0,05545s + 0,0001584}$
20	1	$\frac{0,001013s + 0,00001706}{s^3 + 0,5045s^2 + 0,0134s + 0,00002328}$
20	2	$\frac{0,1657s + 0,0003007}{s^3 + 363,9s^2 + 1,901s + 0,00225}$
20	3	$\frac{0,000119s + 0,00000001928}{s^3 + 0,03695s^2 + 0,0014s + 6,386 \cdot 10^{-10}}$
20	4	$\frac{0,0002665s + 0,000007215}{s^3 + 2,489s^2 + 0,03218s + 0,00004237}$
20	5	$\frac{0,0008347s + 0,00003231}{s^3 + 0,3773s^2 + 0,01553s + 0,00003815}$

## 2. Результаты полиномиального анализа в System Identification Toolbox

W, %	№ дат- чика	Тип модели		
		арх441	арх332	арх223
12	1	$A(z)=1-1,287z^{-1}+0,429z^{-2}-0,2159z^{-3}+0,09211z^{-4}$ $B(z)=0,0006701z^{-1}-0,0003012z^{-2}-0,0002491z^{-3}-0,0005811z^{-4}$	$A(z)=1-1,342z^{-1}+0,430z^{-2}-0,07237z^{-3}$ $B(z)=0,0001748z^{-2}-0,0002074z^{-3}-0,0006489z^{-4}$	$A(z)=1-1,336z^{-1}+0,3525z^{-2}$ $B(z)=-0,0001427z^{-3}-0,0006153z^{-4}$
12	2	$A(z)=1-1,346z^{-1}+0,5244z^{-2}-0,2514z^{-3}+0,09399z^{-4}$ $B(z)=0,0003436z^{-1}-0,0003296z^{-2}-0,00002616z^{-3}-0,00007604z^{-4}$	$A(z)=1-1,373z^{-1}+0,498z^{-2}-0,1049z^{-3}$ $B(z)=-0,00005863z^{-2}-0,001846z^{-3}-0,00008234z^{-4}$	$A(z)=1-1,322z^{-1}+0,3444z^{-2}$ $B(z)=-0,0003183z^{-3}-0,00007325z^{-4}$
12	3	$A(z)=1-1,344z^{-1}+0,555z^{-2}-0,2907z^{-3}+0,09358z^{-4}$ $B(z)=0,00004234z^{-1}+0,000007242z^{-2}-0,00001376z^{-3}-0,00003747z^{-4}$	$A(z)=1-1,436z^{-1}+0,5824z^{-2}-0,1334z^{-3}$ $B(z)=0,00002683z^{-2}-0,00001128z^{-3}-0,00003976z^{-4}$	$A(z)=1-1,447z^{-1}+0,4596z^{-2}$ $B(z)=-0,00000177z^{-3}-0,00003852z^{-4}$
12	4	$A(z)=1-0,92z^{-1}+0,08925z^{-2}-0,02725z^{-3}+0,1844z^{-4}$ $B(z)=0,00004234z^{-1}+0,000007242z^{-2}-0,00001376z^{-3}-0,00003747z^{-4}$	$A(z)=1-1,279z^{-1}+0,7614z^{-2}-0,4598z^{-3}$ $B(z)=0,0005334z^{-2}-0,0002439z^{-3}-0,0003656z^{-4}$	$A(z)=1-1,507z^{-1}+0,5321z^{-2}$ $B(z)=-0,0001467z^{-3}-0,0003056z^{-4}$
12	5	$A(z)=1-1,4z^{-1}+0,5588z^{-2}-0,2327z^{-3}+0,07647z^{-4}$ $B(z)=-0,0001911z^{-1}-0,00009827z^{-2}-0,00001106z^{-3}-0,0001852z^{-4}$	$A(z)=1-1,39z^{-1}+0,5242z^{-2}-0,1315z^{-3}$ $B(z)=-0,0002345z^{-2}-0,000083z^{-3}-0,0001699z^{-4}$	$A(z)=1-1,35z^{-1}+0,3521z^{-2}$ $B(z)=-0,0002023z^{-3}-0,00008896z^{-4}$
14	1	$A(z)=1-1,546z^{-1}+0,9718z^{-2}-0,6814z^{-3}+0,3435z^{-4}$ $B(z)=-0,0004318z^{-1}-0,0001135z^{-2}-0,001354z^{-3}-0,0001852z^{-4}$	$A(z)=1-1,507z^{-1}+0,7711z^{-2}-0,1947z^{-3}$ $B(z)=0,0003982z^{-2}-0,001739z^{-3}+0,0003682z^{-4}$	$A(z)=1-1,404z^{-1}+0,4886z^{-2}$ $B(z)=-0,001329z^{-3}+0,0003492z^{-4}$
14	2	$A(z)=1-1,578z^{-1}+0,9435z^{-2}-0,5145z^{-3}+0,2326z^{-4}$ $B(z)=-0,000005526z^{-1}-0,0001168z^{-2}-0,00004932z^{-3}+0,00005697z^{-4}$	$A(z)=1-1,543z^{-1}+0,7708z^{-2}-0,1599z^{-3}$ $B(z)=-0,00007289z^{-2}-0,0001106z^{-3}+0,00005382z^{-4}$	$A(z)=1-1,476z^{-1}+0,5656z^{-2}$ $B(z)=-0,0001585z^{-3}+0,00008151z^{-4}$
14	3	$A(z)=1-1,58z^{-1}+0,907z^{-2}-0,4388z^{-3}+0,1849z^{-4}$ $B(z)=0,0002176z^{-1}-0,0002239z^{-2}-0,0000742z^{-3}-0,000001471z^{-4}$	$A(z)=1-1,45z^{-1}+0,4891z^{-2}+0,01823z^{-3}$ $B(z)=-0,000005608z^{-2}-0,00009498z^{-3}+0,000005342z^{-4}$	$A(z)=1-1,451z^{-1}+0,5081z^{-2}$ $B(z)=-0,0000952z^{-3}+0,00000253z^{-4}$
14	4	$A(z)=1-1,625z^{-1}+1,051z^{-2}-0,5935z^{-3}+0,1857z^{-4}$ $B(z)=0,000008551z^{-1}-0,00008586z^{-2}+0,00008378z^{-3}-0,00008606z^{-4}$	$A(z)=1-1,571z^{-1}+0,8917z^{-2}-0,3065z^{-3}$ $B(z)=-0,00006331z^{-2}+0,00005635z^{-3}-0,00007751z^{-4}$	$A(z)=1-1,441z^{-1}+0,4636z^{-2}$ $B(z)=-0,000003455z^{-3}-0,00005538z^{-4}$
14	5	$A(z)=1-1,69z^{-1}+1,148z^{-2}-0,661z^{-3}+0,2059z^{-4}$ $B(z)=-0,0005479z^{-1}-0,0006393z^{-2}-0,0002432z^{-3}-0,0004197z^{-4}$	$A(z)=1-1,64z^{-1}+0,9801z^{-2}-0,3386z^{-3}$ $B(z)=-0,0008764z^{-2}-0,0003862z^{-3}-0,0004756z^{-4}$	$A(z)=1-1,499z^{-1}+0,5046z^{-2}$ $B(z)=-0,001124z^{-3}+0,000003138z^{-4}$

**Выводы.** Динамические свойства зернового материала изменяются в зависимости от продвижения по толщине в направлении вентиляции при равных значениях удельной мощности электромагнитного поля.

Проведение идентификации зернового слоя как объекта управления позволяет получить широкий спектр характеристик: переходных, полиномиальных, частотных и т.д.

При проведении идентификации объекта необходимо отслеживать качественную оценку, определяющую наиболее простую зависимость, с достаточной точностью описывающую изучаемый процесс.

В большинстве случаев для качественного описания (погрешность менее 5 %) поведения зернового слоя при описании переходной функции с помощью ARX-модели, требуется уравнение третьей степени.

### Список литературы

1. Андрианов Н.М. Идентификация динамических характеристик зерновых сушилок / Н.М. Андрианов // Успехи современного естествознания. – 2003. – № 8. – С. 14–17.
2. Будников Д.А. Исследование динамических свойств зернового слоя при СВЧ–конвективном воздействии / Д.А. Будников // Теоретический и научно-практический журнал ФГБНУ ВИЭСХ «Инновации в сельском хозяйстве». – М.: ФГБНУ ВИЭСХ. – 2014. – №4(9). – С. 94–98.
3. Будников Д.А. Поглощение электромагнитного поля СВЧ сельскохозяйственными материалами / Д.А. Будников. // Вестник ВИЭСХ. – 2013. – №2 (11). – С. 38–40.
4. Дейч А.М. Методы идентификации динамических объектов / А.М. Дейч. – М.: Энергия, 1979. – 240 с.
5. Дьяконов В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник / В. Дьяконов. – СПб.: Питер, 2001. – 448 с.
6. Льюинг Л. Идентификация систем / Л. Льюинг. Теория для пользователя. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
7. Кашьяп Р.Л. Построение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным / Р.Л. Кашьяп, А.Р. Рао. – М.: Наука, 1983. – 384 с.
8. Olmos, I.C. Trelea Dynamic optimal control of batch rice drying process // Drying Technology, 20(7), 1319–1345 (2002).
9. Bhagwati Prakash and Zhongli Pan (2011). Modeling Moisture Movement in Rice, Advanced Topics in Mass Transfer, Prof. Mohamed El-Amin (Ed.), ISBN: 978–953–307–333–0.
10. Mostafa Keshavarz Moraveji, Investigation of Some Effective Parameters on the Fluidized Bed Grain Dryers // Iranica Journal of Energy & Environment 4 (4): 391–397, 2013.
11. R. Bhadra, K. A. Rosentrater, K. Muthukumarappan, S. Kannadhasan Drying Characteristics of Distillers Wet Grains Under Varying Condensed Distillers Solubles and Drying Temperature Levels // American Society of Agricultural and Biological Engineers. – 2011. – Vol. 27(5): 777–786 ISSN 0883-8542.

*Наведено результати досліджень динамічних властивостей зернової маси при НВЧ-конвективному сушінні. Встановлено, що для якісного опису поведінки зернового шару при знаходженні перехідної функції потрібне рівняння третього ступеня.*

***НВЧ-конвективне сушіння, післязбиральна обробка, динамічні властивості, ідентифікація.***

*The results of investigations of the dynamic properties of the grain mass at a microwave-convective drying are given. It was found that for a qualitative description of the behavior of the grain layer when the transfer function is required equation of the third degree.*

***Microwave-convective drying, postharvest handling, dynamic properties, identification.***

УДК 621.316

## **АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ СИСТЕМИ «МЕРЕЖА-АКТИВНИЙ ФІЛЬТР ГАРМОНІК», ЯКА ВПЛИВАЄ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

***В.Я. БУНЬКО, кандидат технічних наук  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***

*Проаналізовано електромагнітну ситуацію системи «мережа-активний фільтр вищих гармонік», яка впливає на якість електричної енергії системи електропостачання. Проведено дослідження в області електромагнітної сумісності, які показують, що при введенні в експлуатацію та в процесі застосування технічних засобів повинно бути регламентоване дотримання вимог щодо обмеження емісії електричним обладнанням і апаратами електромагнітних перешкод у навколишнє середовище, здатних порушити функціонування іншого устаткування.*

***Індуктивність, вищі гармоніки, якість електричної енергії, коефіцієнт несиметрії, згладжувальний фільтр, нелінійне навантаження, пульсація напруги, активний фільтр, фільтруючий дросель.***

Забезпечення необхідної якості електроенергії для приймачів – це комплекс складних завдань, які розв'язують під час проектування та експлуатації електропостачальних систем. Якість електроенергії суттєво впливає на технологічний процес виробництва та якість продукції, втрати електроенергії, параметри самої ЕПС та її режиму роботи і залежить не тільки від енергосистеми як джерела живлення, але і від споживачів, оскільки на сучасних підприємствах є значна кількість особливих електроприймачів, які негативно впливають на якість електроенергії. Наявність у системах електропостачання потужних дугових електропечей, регульованих вентильних перетворювачів та інших електроприймачів і споживачів з нелінійними вольт-амперними характеристиками та приймачів із різкозмінним навантаженням створюють проблеми, пов'язані з їхньою електромагнітною

---

© В.Я. БУНЬКО, 2015