

Zharkov, G.N. Churilov. Fizika tverdogo tela. 2009. Vol. 51.9. 1857-1859 Print. **6.** Veremly Yu.P. Utvorennaya vugletsevih nanomaterialiv v plazmi vtorinnogo rozryadu. Yu.P. Veremly, V.Ya. Chernyak, S.A. Filatov Ukr. flz. zhurn. – 2008. Vol. 53.4. 395-399 Print. **7.** Pat. 95543 Ukraine MPK C01V 31/02 (2006.01), H05H 1/24 (2006.01), H05H 1/32 (2006.01). Sposib oderzhannya vugletsevyh nanomaterialiv (varianti). L.Z.Boguslavskiy, D.V.Vinnichenko, N.S.Nazarova; zayavnik i patentovlasnik IPT NAN UkraYini. No a 2010 01186; zayavl. 05.02.2010; Opubl. 10.08.2011 r., Byul. No 15. 9 Print. **8.** Rud A.D. Issledovanie strukturyi UNM, poluchennyh metodami elektrorozryadnoy obrabotki ugle rodsoderzhaschih gazov. A.D. Rud, I.M. Kiryan, L.Z. Boguslavskiy, G.M. Zelinskaya, N.S. Nazarova, D.V. Vinnichenko. Metallofizika, noveyshie tehnologii. 2011. Vol. 33. spetsvyipusk. 111-115 Print. **9.** Boguslavskii L.Z. Electrodischarge Method for Synthesizing Nanocarbon from Gaseous Raw Hydrocarbons L. Z. Boguslavskii, N. S. Nazarova, D. V. Vinnichenko, A. D. Rud and I. V. Urubkov. Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2011. Vol. 47.4. 352–358 Print. **10.** Vinnychenko D.V. Vyznachennya optimal'nykh kharakterystyk vysokovol'tnoyi elektrorozryadnoyi systemy dlya realizatsiyi tekhnolohiyi elektroimpul'snoho syntezy nanovuhletsyu. Tekhnichna elektrodynamika. 2014. No 4. 129-131 Print. **11.** Shcherba A.A., Vinnychenko D.V. Stabilizatsiya ta rehulyuvannya rez-hymnykh parametriv vysokovol'tnoyi elektrorozryadnoyi systemy dlya elektroimpul'snoho syntezy nanovuhletsyu. Visnyk NTU «KhPI». 2014. No 21 (1064). 141-151 Print.

*Надійшла (received) 19.03.2015*

УДК 621.3.015.3:537.523.3:697.946

**Л. З. БОГУСЛАВСКИЙ**, канд. техн. наук, доцент, зав. отд., ИИПТ  
НАН Украины, Николаев;

**Л. Н. МИРОШНИЧЕНКО**, канд. техн. наук, ст. научн. сотр., ИИПТ  
НАН Украины, Николаев;

**Л. Е. ОВЧИННИКОВА**, канд. техн. наук, доцент, ст. научн. сотр., ИИПТ  
НАН Украины, Николаев;

**С. С. КОЗЫРЕВ**, канд. техн. наук, доцент, НУК, Николаев

### **АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫМ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ**

Разработан алгоритм адаптивного управления импульсным источником питания системы электрофильтрации, обеспечивающий корректировку параметров импульсов в соответствии с текущим составом экологически опасных промышленных газовых выбросов. Определены информационные координаты и каналы управляющих воздействий. Данный алгоритм дает возможность генерировать высоковольтные импульсы с параметрами, позволяющими вести эффективную деструкцию всех весомых составляющих в процессе обработки.

© Л. З. Богуславский, Л. Н. Мирошниченко, Л. Е. Овчинникова, С. С. Козырев, 2015

**Ключевые слова:** адаптивное управление, алгоритм, импульсные источники питания, электрофильтрация, экологически опасные промышленные выбросы.

**Введение.** В системах электрофильтрации экологически опасных промышленных выбросов для осаждения разноимпедансных пылевых частиц и деструкции их экологически опасных составляющих используются дополнительные импульсные высоковольтные высокочастотные источники питания, формирующие импульсы напряжения специальной формы [1]. Наличие в промышленных выбросах различных опасных составляющих и пылевых частиц с разным сопротивлением, а также текущее изменение их соотношения в процессе очистки, обуславливает необходимость корректировки параметров импульсов дополнительных импульсных высокочастотных источников питания в соответствии с текущим составом и весовыми долями промышленных выбросов. Это требует разработки адаптивных алгоритмов управления импульсными высокочастотными источниками питания систем электрофильтрации.

**Целью работы** является исследование экологически опасных промышленных выбросов как объекта обработки и импульсных высоковольтных высокочастотных источников питания как объекта управления с целью определения координат вектора состояния, выбора информационных входных координат, каналов управляющих воздействий для разработки адаптивных алгоритмов управления, позволяющих варьировать параметры импульсов в процессе осаждения разноимпедансных пылевых частиц и деструкции экологически опасных составляющих в зависимости от текущего состава и весовых долей промышленных выбросов.

**Материалы исследований.** Предварительные исследования экологически опасных промышленных выбросов показали, что в их состав входят разноимпедансные пылевые частицы; соединения углерода  $CO_x$ , серы  $SO_x$  и азота  $NO_x$ ; высокомолекулярные канцерогенные соединения. Для осаждения разноимпедансных пылевых частиц и деструкции экологически опасных составляющих необходимы высоковольтные импульсы напряжения специальной формы с различными параметрами [2].

С целью обеспечения эффективного осаждения пыли при электрофильтрации используют ее дозарядку высоковольтными импульсами напряжением  $(30-100)\% U_{ин}$ , длительность которых (обычно это десятки-сотни микросекунд) должна соответствовать электрическим параметрам пыли. Частота следования разрядных импульсов в зависимости от удельного электрического сопротивления пыли должна находиться в диапазоне  $10...1000$  Гц - это условие обеспечения стабильного разряда при изменении характеристик среды в процессе работы импульсных источников питания в значительном объеме обрабатываемых выбросов. Таким образом, в зависимости от текущего со-

става пыли возникает необходимость регулировки амплитуды, длительности и частоты следования импульсов в процессе обработки для эффективного осаждения разноимпедансных составляющих.

Для деструкции экологически опасных составляющих необходимо обеспечить плазмохимическое преобразование окислов углерода  $\text{CO}_x$ , серы  $\text{SO}_x$  и азота  $\text{NO}_x$  в сравнительно безопасные соединения, а также осуществить плазмохимическое преобразование высокомолекулярных канцерогенных соединений в простые, безопасные соединения. Как показали предварительные экспериментальные исследования, деструкция возможна при создании неравномерного электрического поля напряженностью не менее 2 МВ/м в точках образования стримера, что технически можно реализовать формированием стримерного объемного разряда в газовой среде. Для формирования такого разряда при атмосферном давлении без предварительной ионизации необходимы высоковольтные высокочастотные импульсы с наносекундным фронтом, амплитудой от 60 до 120 кВ, длительностью от 50 до 100 мкс, с частотой следования от 1 до 10 кГц в зависимости от состава газовых выбросов [3]. Таким образом, обеспечение результативной деструкции экологически опасных составляющих газовых выбросов требует изменения параметров импульсов, генерируемых импульсным высоковольтным источником питания, в соответствии с их текущим составом.

В результате проведенных исследований объекта обработки - экологически опасных промышленных выбросов в электрофильтре установлено, что в процессе фильтрации изменяется их количественный и качественный состав и для обеспечения эффективного осаждения разноимпедансных пылевых частиц и деструкции экологически опасных составляющих необходимо обеспечить текущий контроль состава выбросов с целью корректировки параметров импульсов, генерируемых импульсным высоковольтным источником питания.

Обеспечение операционного контроля состава газовых выбросов потребовало проведения анализа существующих газовых анализаторов. В качестве датчика газового анализатора для определения состава газовых выбросов может быть выбран первичный электрохимический преобразователь (ПЭП) для преобразования массовой концентрации газовой составляющей в токовый сигнал, пропорциональный концентрации. А для определения массовой концентрации различных взвешенных пылевых частиц в газоанализаторе можно использовать измеритель оптической плотности пылегазовой среды ВГО-2 [4]. Применение газоанализаторов позволяет проводить непосредственный текущий анализ структуры конкретной газовой смеси и определять в объеме опасных выбросов количество и весовой коэффициент наиболее значимых составляющих газовых выбросов, что может использоваться в качестве информационных координат в системе управления.

Комплексные системы электрофильтрации экологически опасных промышленных выбросов обеспечивают эффективное осаждение высокоомных

пылей и деструкцию экологически опасных газовых выбросов с помощью дополнительных управляемых импульсных источников питания, генерирующих высоковольтные высокочастотные импульсы, количество и параметры которых должны соответствовать количеству и величине долей весомых составляющих промышленных выбросов. Для обеспечения такого соответствия необходима разработка адаптивных алгоритмов управления импульсными источниками питания.

С целью разработки адаптивных алгоритмов управления проведено исследование импульсного высоковольтного высокочастотного источника питания как объекта управления для выбора каналов управляющих воздействий и информационно эффективных координат контроля. В системах электрофильтрации в качестве дополнительного импульсного источника питания используются генераторы высоковольтных импульсов с наносекундным фронтом для получения стримерного коронного разряда [5].

Необходимое количество генераторов ( $\Gamma_1 \dots \Gamma_N$ ) в источнике питания равняется количеству весомых составляющих фильтруемых промышленных выбросов и определяется по результатам предварительного анализа их состава [6].

В результате проведенных исследований установлены информационно эффективные и аппаратно определяемые выходные координаты генератора высоковольтных импульсов: амплитуда импульса, длительность импульса, крутизна фронта импульса, частота следования импульсов. Каналами управляющих воздействий генератора высоковольтных импульсов являются входы регулятора напряжения и формирователя импульсов.

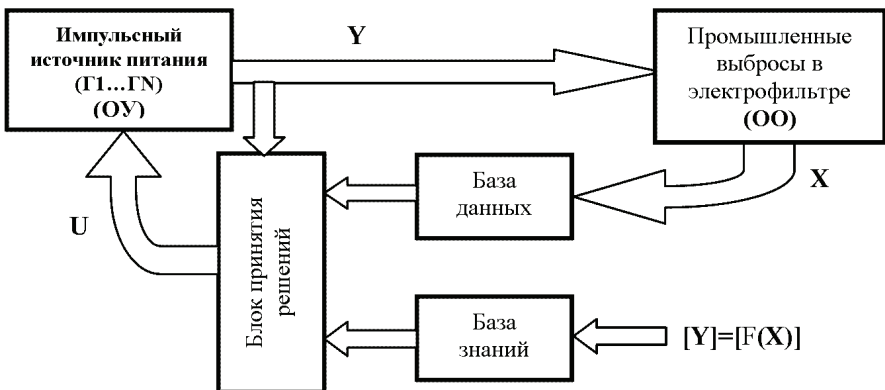


Рисунок 1 – Блок-схема адаптивной системы управления процессом очистки газовых выбросов:  $X$  – вектор состояния объекта обработки (OO);  $Y$  – выходной вектор объекта управления (OU);  $U$  – вектор управляющих воздействий;  $[Y]=[F(X)]$  – множество законов управления

На основании исследования объекта обработки ОО (экологически опасные промышленные выбросы в электрофильтре) и объекта управления ОУ (генераторы высоковольтных импульсов Г1...ГN) построена обобщенная блок-схема адаптивной системы управления процессом очистки промышленных выбросов (рис. 1).

Координатами вектора состояния объекта обработки X являются сигналы с газоанализатора, соответствующие весовым коэффициентам наиболее значимых составляющих промышленных выбросов. Координатами выходного вектора объекта управления Y являются параметры импульсов на выходе генератора (амплитуда импульса, длительность импульса, крутизна фронта импульса, частота следования импульсов). Координатами вектора управляющих воздействий U являются сигналы, поступающие на регулятор напряжения и формирователь импульсов генератора с системы управления по алгоритму, выработанному в блоке принятия решений в соответствии с текущими значениями координат вектора состояния объекта обработки, выходного вектора объекта управления и множеством законов управления, заложенных в базу знаний.

Для формирования базы знаний необходимо проведение серии экспериментов на созданных макетных образцах высоковольтного оборудования комплексных систем электрофильтрации экологически опасных промышленных выбросов [7] или на реальных установках электрофильтрации, что позволит получить множество законов управления в виде однозначного соответствия  $[Y]=F(X)$ . Результаты экспериментальных исследований дадут возможность установить необходимые значения параметров импульсов, генерируемых импульсными высоковольтными высокочастотными источниками питания, для осаждения разноимпедансных пылевых частиц и деструкции экологически опасных газовых выбросов при различных сочетаниях составных элементов и их весовых долей.

На основании анализа проведенных исследований синтезирован адаптивный алгоритм управления импульсными высокочастотными источниками питания систем электрофильтрации (рис. 2).

Реализовать синтезированный алгоритм возможно на промышленных контроллерах фирмы Atmel серии Mega (AtMega16, AtMega8535) или на контроллерах STM 32 с ядром ARM, которые обеспечивают необходимое быстроедействие управления элементами системы и имеют полный набор используемых функций, дополнительные подсистемы индикации и панели ввода информации.

При обеспечении возможности изменения базы знаний алгоритм является универсальным и позволяет осуществлять адаптивное управление импульсными высоковольтными высокочастотными источниками питания комплексных систем электрофильтрации, гарантируя эффективную деструкцию всех весовых составляющих разноимпедансных газовых выбросов при минимальных энергозатратах.

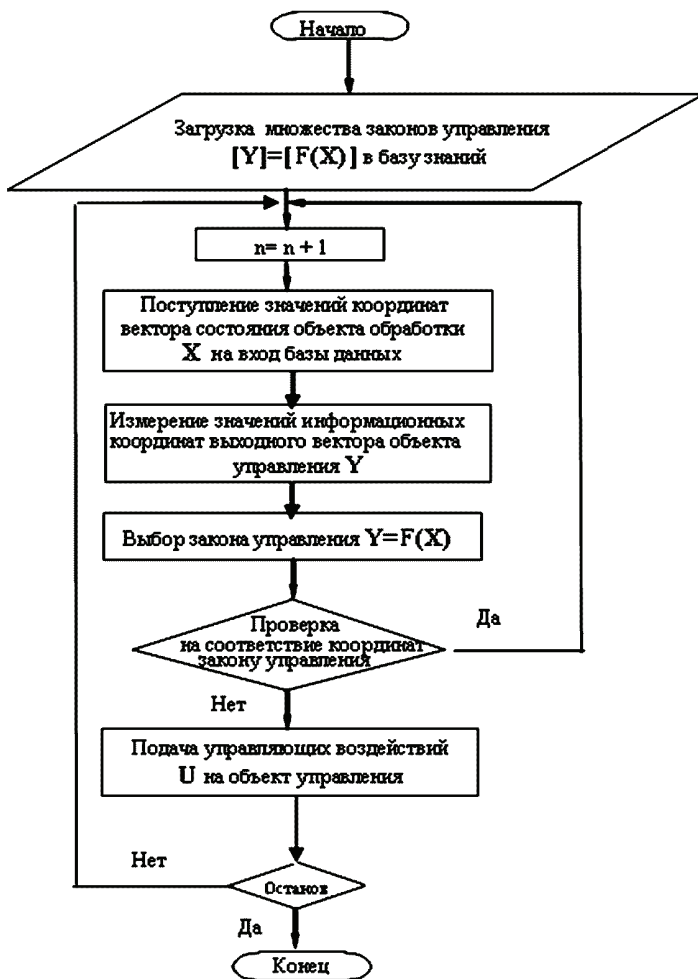


Рисунок 2 – Адаптивный алгоритм управления

**Выводы.** Проведены исследования экологически опасных промышленных выбросов как объекта обработки и импульсного высоковольтного высокочастотного источника питания как объекта управления, состоящего из  $N$  генераторов высоковольтных импульсов с наносекундным фронтом, на основании которых определены информационные координаты и каналы управляющих воздействий системы адаптивного управления. База знаний должна быть сформирована по результатам экспериментальных исследований на созданных макетных образцах высоковольтного оборудования комплексных систем электрофильтрации. Для получения множества законов управления

необходимо установить значения параметров импульсов, генерируемых импульсными высоковольтными высокочастотными источниками питания, необходимые для осаждения разноимпедансных пылевых частиц и деструкции экологически опасных составляющих промышленных выбросов, при различных сочетаниях составных элементов и их весовых долей, что является основой для синтеза адаптивного алгоритма управления и формирования базы знаний.

В результате проведенных исследований построена архитектура адаптивной системы управления и разработан адаптивный алгоритм управления импульсным источником питания системы электрофильтрации, обеспечивающей корректировку параметров импульсов генераторов в соответствии с текущим составом промышленных выбросов, что дает возможность генерировать высоковольтные импульсы с параметрами, позволяющими вести эффективную деструкцию всех весомых составляющих в процессе обработки экологически опасных промышленных выбросов при минимальных энергозатратах.

**Список литературы. 1.** Пат. 90293 Україна, МПК (2014) B01D 53/32 (2006.01) C10K 1/00 Н1Т 19/00. Спосіб деструкції різноімпедансних газових викидів небезпечних промислових об'єктів / *Богуславський Л. З., Мирошніченко Л. М., Діордійчук В. В.*; заявник та патентовласник Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України. – № у 2013 11731; заявл. 04.10.2013; опубл. 26.05.14. Бюл. № 10. **2.** *Богуславський Л. З.* Электрофильтрация разноимпедансных газовых выбросов в комплексной системе пылегазоочистки экологически опасных промышленных объектов / *Л. З. Богуславский, Л. Н. Мирошніченко* // Вестник «ХПИ». Тем. вып. «Техника и электрофизика высоких напряжений». – Х.: НТУ «ХПИ», 2014. – № 21. – С. 12-16. **3.** *Богуславський Л. З.* Влияние режимов работы высоковольтного источника питания на формирование стримерного коронного разряда и эффективность систем газоочистки / *Л. З. Богуславский, Л. Н. Мирошніченко, Ю. Г. Казарян, Н. С. Ярошинский* // Технічна електродинаміка. Тем. вип. «Силова електроніка та енергоефективність». – 2011. – Ч. 1. – С. 44-49. **4.** [http://www.ukranalyt.com.ua/index4\\_0.htm](http://www.ukranalyt.com.ua/index4_0.htm) Газоаналитические приборы, ЗАО «Укрналит». **5.** Пат. 50169 Україна, МПК H03K 3/53 (2006.01) Генератор високовольтних імпульсів з наносекундним фронтом для отримання стримерного коронного розряду / *Богуславський Л. З., Мирошніченко Л. М., Казарян Ю. Г., Христо О. І.*; заявник та патентовласник Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України. – № у 2009 12959; заявл. 14.12.2009; опубл. 25.05.10. – Бюл. № 10. **6.** Заявка № у 2014 07889 Україна, МПК (2014.01) H03K3/53 B01D 53/32 C10K1/00 Система імпульсного електроживлення електрофільтрів для очищення різноімпедансних газових викидів / *Богуславський Л. З., Мирошніченко Л. М., Овчиннікова Л. Є.* Заявлено 14.07.2014. **7.** *Богуславський Л. З.* Создание макетных образцов высоковольтного оборудования комплексных систем электрофильтрации экологически опасных промышленных выбросов / *Л. З. Богуславский, Л. Н. Мирошніченко, В. В. Диордійчук, Д. В. Винниченко, Н. С. Ярошинский* // Вестник «ХПИ». Тем. вып. «Техника и электрофизика высоких напряжений». – Х.: НТУ «ХПИ», 2012. – № 52 (958). – С. 31-39.

**Bibliography (transliterated): 1.** Pat. 90293 Ukraine, MPK (2014) B01D 53/32 (2006.01) C10K 1/00 H1T 19/00. Sposib destruktivnoyi riznoimpedansnykh hazovykh vykydiv nebezpechnykh promyslovykh ob'yektiv Bohuslavskyy L. Z., Myroshnychenko L. M., Diordiychuk V. V.; zayavnyk ta patentovlasnyk Instytut impul'nykh protsesiv i tekhnolohiy NAN Ukrainy. № u 2013 11731; zayavl. 04.10.2013; opubl. 26.05.14. Byul. No 10. Print. **2.** Bohuslavskyy L. Z. Elektrofiltratsiya raznoympedansnykh hazovykh vybrosov v kompleksnoy systeme pyl'egazoochystky ekologicheskyy opasnykh promyshlennykh ob'yektiv L. Z. Bohuslavskyy, L. N. Myroshnychenko Vestn. Har'k. politehn. in-

ta. No 21. 2014. 12-16 Print. 3. Boguslavskij, L. Z. Vlijanie rezhimov raboty vysokovoltnogo istochnika pitaniya na formirovanie strimernogo koronnogo razrjada i effektivnost sistem gazoochistki L. Z. Boguslavskij, L. N. Myroshnychenko, Yu. G. Kazaryan, N. S. Yaroshynskij Tehn. elektrodinamika. Tem. vyp. Sylova elektronika ta energotfektyvnist. 2011. 44-49. Print. 4. [http://www.ukranalyt.com.ua/index4\\_0.htm](http://www.ukranalyt.com.ua/index4_0.htm) Gazoanaliticheskie priboryi, ZAO «Ukranalit» Web. 5. Pat. 50169 Ukraine, MPK H03K 3/53 (2006.01) Generator vysokovoltnykh impulsiv z nanosekundnym frontom dlya otrymannya strypernogo koronnogo rozryadu Boguslavskij L. Z., Myroshnychenko L. M., Kazaryan Yu. G., Xrysto O. I.; zayavnyk ta patentovlasnyk Instytut impulsnykh procesiv i tehnologij NAN Ukraine. № u 2009 12959; zayavl. 14.12.2009; opubl. 25.05.10. Byul. No 10. Print. 6. Zayavka № u 2014 07889 Ukraine, MPK (2014.01) H03K3/53 B01D 53/32 C10K1/00 Systema impulsnoho elektrozhvylennyia elektrofiltriv dlya ochyshchennya riznoimpedansnykh hazovykh vykydiv Bohuslavskyy L. Z., Myroshnychenko L. M., Ovchynnikova L. Ye. Zayavleno 14.07.2014. Print. 7. Boguslavskij, L. Z. Sozdanie maketnyh obrazcov vysokovoltnogo oborudovaniya kompleksnyh sistem elektrofiltracii ekologicheski opasnyh promyshlennyh vybrosov L. Z. Boguslavskij, L. N. Myroshnychenko, V. V. Dyordyjchuk, D. V. Vynnychenko, N. S. Yaroshynskij. Vestn. Har'k. politehn. in-ta. No 52 (958). 2012. 31-39. Print.

*Поступила (received) 14.04.2015*

УДК 681.84.087.47 : 621.391

**А. О. ДОВЖЕНКО**, аспірант, НТУУ «КПІ», Київ;  
**В.Б. ШВАЙЧЕНКО**, канд. техн. наук, доцент, НТУУ «КПІ», Київ;  
**О. ШАРАДГА**, аспірант, НТУУ «КПІ», Київ

## **ОСОБЛИВОСТИ МЕТОДУ УЩІЛЬНЕННЯ БАГАТОКАНАЛЬНОГО ЗВУКОВОГО КОНТЕНТУ**

Визначено особливості методів передискретизації в цифровій обробці багатоканальних форматів для покращення електромагнітної сумісності (ЕМС) цифрових звукотехнічних систем. Досліджено ефективність каналного мультиплексування під час передискретизації за умови застосування дельта-сігма модуляції. Проведене порівняння особливостей сучасних аудіоформатів за критеріями ЕМС. Оцінено перспективи та визначені переваги пропонованого методу ущільнення спектральних складників прямого цифрового потоку.

**Ключові слова:** багатоканальні аудіоформати, електромагнітна сумісність, обробка сигналів, спектральні характеристики, цифрові звукотехнічні системи.

**Вступ.** В нинішній час потреби якості запису та відтворення звукової інформації постійно підвищуються. Користувачі потребують більш якісного звуку у кінотеатрах та домашніх звукових системах. Збільшують частотний діапазон, кількість каналів, оптимізують програмні та апаратні засоби коду-

© А. О. Довженко, В. Б. Швайченко, О. Шарадга, 2015