УДК 681.5

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ

Костарев С.Н., Середа Т.Г., Михайлова М.А.

ФГБОУВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, e-mail: iums@dom.raid.ru

Предложена разработка алгоритмов управления состоянием системами ПТО (системы «Природа–Техника–Отходы») при возмущающих воздействиях для установления зависимости статистических характеристик от их состояния. Для этого выполнены аналитические и лабораторные исследования по определению оптимальных параметров биодеструкции отходов на полигоне ТБО. На основе уточненных и обоснованных факторов, влияющих на протекание процессов биодеструкции отходов разработана модель эффективного управления системами ПТО. *Программная реализация методики оценки безопасности системы ПТО предложена в* виде диаграммы IDEF функционально-объектной модели. Для принятия эффективных решений по созданию безопасности системы ПТО разработано специальное программное обеспечение, включающее в себя модуль «АРМ оценки безопасности полигона ТБО», предназначенный для оценки безопасности как на этапе проектирования, так и на этапах эксплуатации и рекультивации полигонов ТБО.

Ключевые слова: твёрдые бытовые отходы (ТБО), АСУТП, полигон ТБО

DEVELOPMENT OF THE AUTOMATED SYSTEM OF MONITORING AND MANAGEMENT OF NATURE-TECHNICAL SYSTEMS OF RECYCLING OF WASTE PRODUCTS

Kostarev S.N., Sereda T.G., Michailova M.A.

State National Research Politechnical University of Perm, Perm, e-mail: iums@dom.raid.ru

Development of algorithms of management by a condition by systems NTW (systems nature- technics – waste products) is offered at revolting influences for an establishment of dependence of their statistical testimonials from of their condition. For this purpose analytical and laboratory researches by definition of optimum parameters of disintegration of waste products on landfill MSW are executed. On the basis of the specified and proved factors influencing course of processes of disintegration of waste products the model of efficient control is developed by systems NTW. Program realization of a technique of an estimation of safety of system NTW is offered as diagram IDEF of functional – objective model. For acceptance of effective decisions on creation of safe system NTW the special software, including the module «an automated workplace of an estimation of safety of landfill MSW», intended for an estimation of safety, both at a design stage, and at operation phases and pe cultivations of landfill MSW is developed.

Keywords: Municipal solid waste (MSW), ASUTP, sanitary landfill municipal solid waste

Источником долговременного негативного влияния на окружающую среду являются природно-технические системы утилизации отходов (системы «Природа–Техника–Отходы» (ПТО)) [5] – полигоны и свалки твёрдых бытовых отходов (ТБО). Несмотря на то, что полигоны (свалки) ТБО имеют ограниченный эксплуатационный период (в среднем 30 лет), после его закрытия и рекультивации полный жизненный цикл (ЖЦ) данной природно-технической системы продолжается тысячи лет, в течение которых будут выделяться опасные для окружающей среды эмиссионные продукты.

Поэтому актуальна формализация обобщенных моделей управления процессами на системах ПТО на основе анализа материально-энергетических и информационных потоков и разработка алгоритмов структурно-параметрического синтеза и автоматического регулирования для создания автоматизированной системы мониторинга и управления системами ПТО.

Целью представленной работы являлось выяснение механизмов идентификации состояний природно-технических систем утилизации отходов и разработка автоматизированной системы мониторинга и управления процессами на полигонах ТБО.

Материал и методы исследования

При обосновании методов и алгоритмов управления объектами депонирования отходов использовались методы системного анализа, общей теории систем, теории автоматического регулирования, методов математического и имитационного моделирования. Объектом исследований являлись материально-энергетические и информационные потоки, протекающие на объектах утилизации отходов, рассматриваемые как объекты моделирования и управления. Материалом исследования являлись твёрдые бытовые отходы.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ исследований, проводимых в период с 1970 по 2000 гг. [13, 15], показал, что наиболее эффективными процедурами

управления процессами на «старых» (закрытых) полигонах является рециркуляция фильтрата – принцип «Flushing Bioreactors» (J. Pacey, 1999) и/или целенаправленное проветривание тела полигона (Belüftung) (K. Heyer, 2000).

При биодеструкции ТБО на объектах их депонирования образуется жидкая, газообразная и твёрдая фаза. По мнению многих авторов [1, 3, 13, 15], наиболее опасным продуктом биодеструкции отходов является жидкая фаза – фильтрат. В литературе часто классифицируют фильтрат, изменяющийся со временем на «молодой», имеющий повышенные концентрации ионов тяжёлых металлов и органических загрязнений (pH < 6,5, БПК$_5$/ХПК = 15000/21000 мг O_2/л, SO_4^{2-} 500 мг/л, Pb^{2+} 0,5 мг/л), наиболее опасный для окружающей среды, образующийся в кислотной стадии, и «старый» (pH > 7,5, БПК$_5$/ХПК = 200/2000 мг O_2/л, SO_4^{2-} 20 мг/л, Pb^{2+} 0,05 мг/л), образующийся в период перехода процессов на полигоне в метановую стадию [11, 13, 15]. В промежуточной стадии фильтрат можно характеризовать как «средний».

Конкретной фундаментальной задачей в рамках заявленной проблемы являлась идентификация и управление состоянием природно-технических систем утилизации отходов.

В рамках представленной работы проведены исследования физико-химических свойств массива отходов: определение объемного веса, морфологического и фракционного состава и влажности твердых бытовых отходов по методикам, описанным в работах [13, 15].

Для определения оптимальных параметров биодеструкции массива отходов проведены лабораторные исследования по выявлению обобщающих закономерностей и определению оптимальных параметров биодеструкции отходов определённого морфологического состава с последовательным анализом продуктов биодеструкции отходов – фильтрата и биогаза [11, 13]. Оценка управляемых факторов в массиве отходов производилась по таким параметрам, как влажность отходов – ω и активная реакция среды – pH.

При исследовании термодинамических функций состояния, динамики газообразной и жидкой фазы (фильтрата) и процессов тепло- и массопереноса в массиве отходов в качестве исследуемых характеристик использованы: давление (P), коэффициенты влагопроводности (K), влажность массива твёрдых бытовых отходов (ТБО) (w) и температура (T) [7]:

$$P = f_1(\omega, S, \sigma, T),$$

$$K = f_2(\omega, S, \eta, T),$$

где S – площадь удельной поверхности твердых частиц в массиве ТБО; h – вязкость жидкости в массиве ТБО; s – поверхностное натяжение жидкости.

Для описания процессов на эксплуатируемых полигонах ТБО исследованы критерии, характеризующие отношение сил инерции, обусловленных скоростью потока жидкости, к силам вязкости, а также пространственную структуру нестационарного течения фильтрата в массиве отходов. Для описания процессов в массиве отходов на рекультивированных полигонах ТБО исследован критерий, характеризующий соотношение между силами инерции и гравитации при динамике потока фильтрата в массиве ТБО. Для изучения влияния управляемых факторов на скорость эмиссионных процессов и определения основных физико-химических параметров процесса были проведены полнофакторные лабораторные эксперименты с использованием метода математического планирования эксперимента. В качестве функций отклика выступали эмиссионные потоки жидкой фазы (фильтрата) и газовой фазы (биогаза) [3, 7].

Разработка модели эффективного управления системами ПТО

На основе уточнения и обоснования факторов, влияющих на протекание процессов биодеструкции отходов разработана модель эффективного управления системами ПТО. Данная модель будет выполнять роль контура управления процессами на полигоне ТБО, способствующего ускорению процессов биодеструкции ТБО и тем самым уменьшению экологической нагрузки на окружающую природную среду. Использованы методы теории автоматического регулирования, обобщенная структурная схема распределенного управления полигоном ТБО, описываемая функцией Грина $G(x, \xi, t, \tau)$ (рис. 1) [4, 6, 7].

Разработка программно-аппаратного комплекса для решения задач мониторинга и эффективного управления природно-техническими системами утилизации отходов

Для принятия эффективных решений по созданию более безопасной и наиболее удовлетворяющей санитарным и экологическим нормам системы ПТО разработано специальное программное обеспечение. Методологические подходы к проектированию автоматизированных систем обработки информации на полигонах ТБО основаны на системном и частном проектировании, включающем структурную схему этапов проектирования (мониторинга) и эксплуатации полигона ТБО и программный инструментарий конструктора-проектировщика полигона ТБО – «АРМ ТБО» [6, 8, 10, 12].

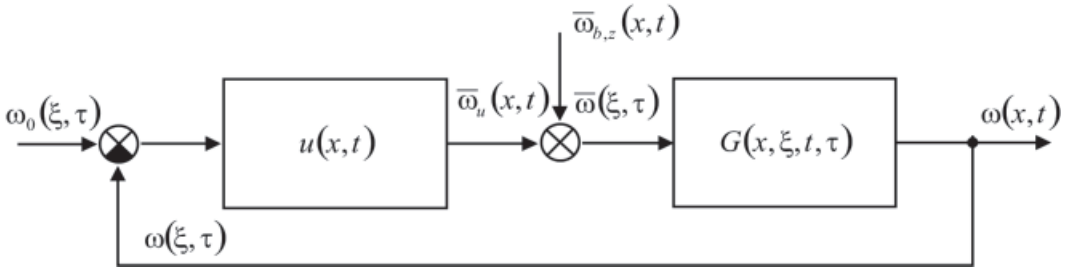

Рис. 1. Обобщенная структурная схема распределенного управления полигоном ТБО: $\omega_0(\xi, \tau)$ – заданное состояние влажности в массиве отходов; $\omega(x, t)$ – отклонение распределенного выхода от заданного состояния; $\overline{\omega}_u(x, t)$ – распределенное управляющее воздействие; $\overline{\omega}_{b,z}(x, t)$ – внешние возмущения; $\overline{\omega}(\xi,\tau)$ – стандартизирующая функция

Данная система включает в себя модуль «АРМ оценки безопасности полигона ТБО» предназначенный для оценки безопасности, как на этапе проектирования, так и на этапах эксплуатации и рекультивации полигонов ТБО. Полигон ТБО рассматривается как система ПТО, включающая в себя такие элементы, как *W* – множество элементов поступающих отходов; *G* – множество элементов продуктов биодеструкции; *E* – множество элементов окружающей среды, *H* – множество элементов инженерных сооружений (рис. 2).

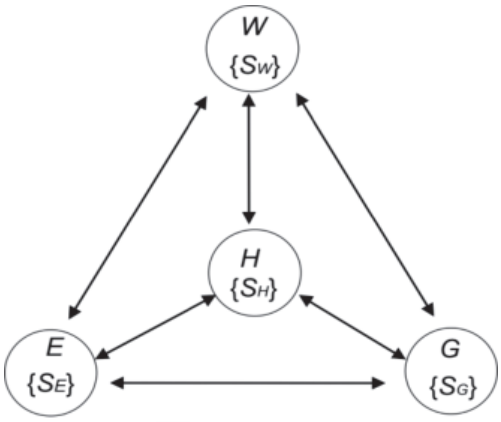

Рис. 2. Модель системы ПТО:
$W = \{w_1, w_2, ..., w_n\}$ *– множество элементов поступающих отходов;*
$G = \{g_1, g_2, ..., g_k\}$ *– множество элементов продуктов биодеструкции;*
$E = \{e_1, e_2, ..., e_m\}$ *– множество элементов окружающей среды;*
$H = \{h_1, h_2, ..., h_l\}$ *– множество элементов инженерных сооружений*

Система ПТО – сложная механическая, физическая, биологическая и химическая система, для которой факторы источников опасностей, согласно [2], можно разделить на несколько групп: механические факторы: движение грунта (уплотнение, эрозия почв, оползни, осыпание откосов полигона); физические факторы: процессы тепло-, массопереноса (образование и миграция фильтрата, образование и миграция биогаза, распределение тепловых полей); химические факторы: связаны в основном с морфологическим составом отходов и образующимися эмиссионными продуктами. Приводят к протеканию экзотермических реакций. Способствуют образованию канцерогенных, общетоксических и мутагенных веществ и образованию парниковых газов, регламентированных Киотским протоколом; биологические факторы (патогенные микроорганизмы, бактерии, вирусы, которые могут попадать в окружающую природную среду и объекты жизнедеятельности населения).

В зависимости от уровня и взаимовлияния вышеперечисленных факторов система ПТО находится в определенном состоянии: безопасном или опасном, которое может перейти к чрезвычайному событию (утечка фильтрата, выброс биогаза, возгорание, взрыв и т.п.).

Для возникновения происшествий элементы системы утилизации отходов: *H*, *W* и *G* – соответственно элементы массивов технических средств и инженерных сооружений, поступающих отходов и продуктов биодеструкции отходов, должны обладать свойствами, опасными для множества элементов окружающей среды – E.

Для описания динамического состояния системы в качестве модели случайных процессов целесообразно использовать полумарковские процессы, характеризующиеся произвольными функциями распределения вероятностей p_i времени пребывания в *i* состоянии [14]. Переход системы из состояния c_i в состояние c_j осуществляется под воздействием потока событий с вероятностью перехода λ_{ij}. Определение вероятности $p_i(t)$ состояния системы $c_1, c_2, \ldots, c_n$ *определяется решением системы уравнений Колмогорова* [6].

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^{n} \lambda_{ij}\, p_j(t) - p_i(t) \sum_{j=1}^{n} \lambda_{ij}, \ (i = 1,2,3,..., n)$$

с начальными условиями $p_1(0), p_2(0), \ldots, p_n(0); p_i(0) \geq 0, \sum_{i=1}^{n} p_i(0) = 1$

и условием нормировки $\sum_{i=1}^{n} p_i(t) = 1$.

Программная реализация предложенной методики оценки безопасности системы ПТО представлена в виде диаграммы IDEF функционально-объектной модели. В оценке состояния системы ПТО будут принимать участие квалифицированные специалисты, вводящие в систему массив данных параметров источников опасности и их допустимых значений с их последующей автоматизированной обработкой, вычислением показателей безопасности и выдачей конкретных рекомендаций по обеспечению безопасности системы ПТО (рис. 3) [5, 9].

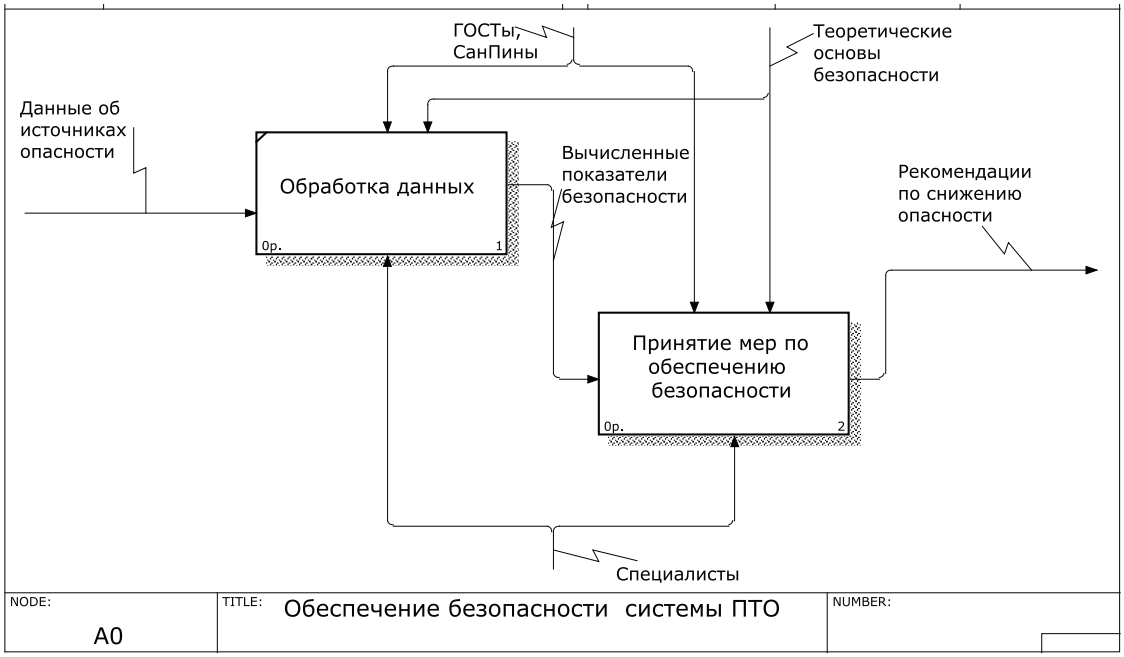

Рис. 3. Функционально-объектная модель принятия решений по повышению безопасности системы ПТО

Заключение

Применение методов системного анализа и кибернетики в управлении системами ПТО открывает возможность исследования и организации безопасного функционирования объекта депонирования ТБО в условиях, когда информация последовательно накапливается и реализуется в виде алгоритмов для ЭВМ. В этом случае управляющие действия будут направлены на минимизацию жизненного цикла природно-технических систем утилизации отходов, что имеет важное значение. Внедрение автоматизированного рабочего места конструктора-проектировщика полигона ТБО уже на этапе проектирования позволит ускорить выполнение проектной документации и повысить безопасность эксплуатации природно-технической системы депонирования отходов на этапах её эксплуатации и рекультивации.

Список литературы

1. Технологии автоматизированного управления полигоном твердых бытовых отходов / Н.И. Артемов, Т.Г. Середа, С.Н. Костарев, О.Б. Низамутдинов // Международный журнал экспериментального образования. – 2010. – № 11. – С. 43.

2. ГОСТ 12.0.003–86. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

3. Костарев С.Н., Середа Т.Г., Михайлова М.А. Системный анализ управления отходами. – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – ISBN 978-3-8465-8298-5. URL: https://www.lap-publishing.com.

4. Костарев С.Н. Статистически оптимальное управление процессом биодеструкции твердых бытовых отходов на полигонах захоронения // Автоматизация и современные технологии. – 2009. – № 3.– С. 6–8.

5. Костарев С.Н. Автоматизированное проектирование природно-технических систем утилизации отходов // Программные продукты и системы. – 2010. – № 1. – С. 98–101.

6. Костарев С.Н. Математическая модель управления состоянием полигона твердых бытовых отходов : дис. … канд. техн. наук : 05.13.18. – Пермь, 2003. – 199 с.

7. Костарев С.Н. Научно-методические основы и практические решения идентификации и управления состоянием природно-технических систем утилизации отходов: автореф. дис. … д-ра техн. наук : 05.13.01; ИжГТУ.– Ижевск, 2010.

8. Костарев С.Н., Середа Т.Г. Управление полигоном твердых бытовых отходов при стохастических возмущающих воздействиях // Обозрение прикладной и промышленной математики. – 2007. – Т. 14, В. 4. – С. 729–730.

9. Костарев С.Н., Середа Т.Г., Клюкин А.А. Подходы к созданию информационных технологий автоматизированного управления безопасным состоянием экосистем депонирования отходов // Вестник ПНИПУ. – 2009. – № 3. – С. 15–24.

10. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2009612494.– М.: ФИПС, 2009.

11. Середа Т.Г. Обоснование технологических режимов функционирования искусственных экосистем хранения отходов: дис. … д-ра техн. наук : 03.00.16 ; МГУП.– М., 2006.

12. Середа Т.Г., Костарев С.Н. Разработка методов проектирования автоматизированных систем обработки информации и управления искусственными экосистемами хранения отходов // Экологические системы и приборы.– 2006. – № 11. – С. 21–24.

13. Середа Т.Г. Разработка комплексной очистки стоков с полигонов твердых бытовых отходов : автореф. дис. … канд. техн. наук : 11.00.11; Тульский гос. ун-т. – Тула. – 2000.

14. Трефилов В.А. Теоретические основы безопасности человека: Курс лекций. – Пермь: Перм. кн. изд-во, 2006. – 100 с.

15. Christensen T., Cossu R., Stegmann R. Landfilling of Waste, Leachate. – London and N.Y., 1992.

References

1. Artemov N.I., Sereda T.G., Kostarev S.N., Nizamutdinov O.B. Tehnologii avtomatizirovannogo upravlenija poligonom tverdyh bytovyh othodov – Mezhdunarodnyj zhurnal jeksperimentalnogo obrazovanija, 2010, no. 11, pp. 43.

2. GOST 12.0.003–86. Opasnye i vrednye proizvodstvennye faktory. Klassifikacija.

3. Kostarev S.N., Sereda T.G., Mihajlova M.A. Sistemnyj analiz upravlenija othodami. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. ISBN 978-3-8465-8298-5.

4. Kostarev S.N. Statisticheski optimalnoe upravlenie processom biodestrukcii tverdyh bytovyh othodov na poligonah zahoronenija – Avtomatizacija i sovremennye tehnologii, 2009, no. 3, pp. 6–8.

5. Kostarev S.N. Avtomatizirovannoe proektirovanie prirodno-tehnicheskih sistem utilizacii othodov – Programmnye produkty i sistemy, 2010, no. 1, pp. 98–101.

6. Kostarev S.N. Matematicheskaja model' upravlenija sostojaniem poligona tverdyh bytovyh othodov : dis. … kand. tehn. nauk : 05.13.18. – Perm, 2003. – 199 p.

7. Kostarev S.N. Nauchno-metodicheskie osnovy i prakticheskie reshenija identifikacii i upravlenija sostojaniem prirodno-tehnicheskih sistem utilizacii othodov: avtoref. dis. … dokt. tehn. nauk : 05.13.01; IzhGTU.– Izhevsk, 2010.

8. Kostarev S.N., Sereda T.G. Upravlenie poligonom tverdyh bytovyh othodov pri stohasticheskih vozmushhajushhih vozdejstvijah // Obozrenie prikladnoj i promyshlennoj matematiki, 2007, T. 14, Vol. 4, pp. 729–730.

9. Kostarev S.N., Sereda T.G., Kljukin A.A. Podhody k sozdaniju informacionnyh tehnologij avtomatizirovannogo upravlenija bezopasnym sostojaniem jekosistem deponirovanija othodov – Vestnik PNIPU. – 2009, no. 3, pp. 15–24.

10. Svidetelstvo o registracii programmy dlja JeVM 2009612494. M.: FIPS, 2009.

11. Sereda T.G. Obosnovanie tehnologicheskih rezhimov funkcionirovanija iskusstvennyh jekosistem hranenija othodov: dis. … dokt. tehn. nauk : 03.00.16 ; MGUP. M., 2006.

12. Sereda T.G., Kostarev S.N. Razrabotka metodov proektirovanija avtomatizirovannyh sistem obrabotki informacii i upravlenija iskusstvennymi jekosistemami hranenija othodov – Jekologicheskie sistemy i pribory. 2006, no., pp. 21–24.

13. Sereda T.G. Razrabotka kompleksnoj ochistki ctokov s poligonov tverdyh bytovyh othodov: avtoref. dis. … kand. tehn. nauk : 11.00.11; Tulskij gos. un-t, Tula, 2000.

14. Trefilov V.A. Teoreticheskie osnovy bezopasnosti cheloveka: Kurs lekcij. Perm: Perm. kn. izd-vo, 2006, 100 p.

15. Christensen T., Cossu R., Stegmann R. Landfilling of Waste, Leachate. – London and N.Y., 1992.

Рецензенты:

Файзрахманов Р.А., д.э.н., профессор кафедры АУВ Пермского военного института внутренних войск МВД России, г. Пермь;

Шварц К.Г., д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры прикладной математики и информатики Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 11.04.2013.