

на імпорту продуктів харчування у країні з низьким рівнем економічного розвитку при несприятливих зовнішніх умовах внаслідок недостатнього рівня державної підтримки.

Сценарій  $s_4$  побудовано для країни  $c_B$  з високим рівнем економічного розвитку. Несприятливі погодні умови та зниження рівня цін у 2008–2010 роках не вплинули на виробничий потенціал країни, проте починаючи з 2008 року рівень виробництва скорочувався і в 2010 році досяг найнижчої позначки. Незважаючи на збільшення імпорту в 2010 році, рівень споживання продуктів харчування знизився, що призвело до росту суспільного невдоволення в країні. Рівень державної підтримки на протязі всього періоду з 2005 по 2010 рік залишався високим, що дозволило не допустити ескалації суспільного невдоволення, незважаючи на несприятливі для виробництва продуктів харчування зовнішні умови. *Визначною рисою сценарію  $s_4$  є збереження економічно розвинутою країною високого рівня виробничого потенціалу навіть при несприятливих зовнішніх умовах, обмеження імпорту та, незважаючи на погіршення соціальної обстановки, обмеження рівня соціального невдоволення.*

#### Висновки

В роботі обґрунтовано можливість автоматизованої процедури побудови сценаріїв майбутніх подій на основі семантичних мереж та ситуаційної логіки. Запропоновано підхід до автоматизованого формування сценаріїв майбутніх подій, що реалізується в умовах неповноти та неточності вихідної інформації. Підхід, що запропоновано, реалізовано в обчислювальному алгоритмі, що надає можливість ефективно проводити дослідження в даній предметній галузі. Виконано обчислювальний експеримент щодо реалізованості та достовірності розробленого підходу.

Застосування розробленого підходу розглянуто на прикладі побудови сценаріїв впливу вартості продуктів харчування на рівень суспільного невдоволення. Запропоновано семантичну модель зміни рівня суспільного невдоволення під впливом зовнішніх факторів – рівня цін на продукти харчування та погодних умов. Представлення моделі та початкових умов за допомогою конструкції ситуаційної логіки та семантичних мереж дозволило автоматично побудувати сценарії майбутніх подій для двох гіпотетичних країн з урахуванням двох альтернативних сценаріїв зміни інтенсивності впливу зовнішніх факторів.

Обґрунтовано доцільність застосування запропонованого підходу до побудови сценаріїв майбутнього складних систем різної природи.

#### Література

1. Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. Основи системного аналізу. – К.: Видавнича група ВНУ, 2007. – 544 с. : іл., табл. – ISBN 978-966-552-153-2.
2. Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. Технологическое предвидение. – К.: Политехника, 2005. – 156 с.
3. Barwise J., Perry J. Situations and Attitudes // The Journal of Philosophy. – 1981. – Vol. 78, No 11. – P. 668–691.
4. Peirce C. S. Manuscripts on existential graphs // Collected Papers of Charles Sanders Peirce. – Vol. 4. – Cambridge, MA: Harvard University Press, 1906. – P. 320–410.
5. Richens R.H. Preprogramming for mechanical translation // Mechanical Translation. – 1956. – Vol. 3, No. 1. – P. 20–25.
6. Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O. The Semantic Web // Scientific American. – May 2001. – P. 34–43.
7. Cwm – a general purpose data processor for the semantic web [Електронний ресурс] / W3C consortium, T. Berners-Lee. – Електрон. дан. – Режим доступу: <http://www.w3.org/2000/10/swap/doc/cwm.html>, вільний. – Заголовок з екрану.

УДК 681.5

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИФФУЗИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ПРИ ПОСТРОЕНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ХРАНЕНИЕМ ЗЕРНА

Поливода В.В., аспирант каф. технической кибернетики  
Херсонский национальный технический университет

*В статье проведен анализ публикаций по теме исследования, проведено исследование процессов, происходящих при хранении зерна, разработана математическая модель хранения зерна, построена оптимальная по быстродействию система управления хранением зерна.*

*In article the analysis of publications on a theme of research is carried out, research of the processes occurring at grain storage is performed, the mathematical model of grain storage is developed, and the optimum control system of grain storage on speed is constructed.*

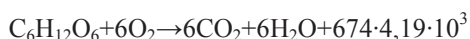
Ключевые слова: оптимальная система управления, хранение, зерновая масса, математическая модель.

**Постановка проблемы.** Зерновой сектор экономики Украины является традиционно стратегической, экспортно-ориентированной отраслью, способной обеспечить продовольственные потребности не только страны, но и за своими потенциальными объёмами производства влиять на мировую продовольственную безопасность [1]. Потери зерна при хранении по оценкам ФАО (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН) могут достигать 30–50 % [2]. Причина этих потерь – неблагоприятные условия хранения. Для длительного хранения зерна используют специальные ёмкости хранения – силосы на хлебоприёмных предприятиях (ХПП). Нарушение технологии хранения приводит к потерям вследствие загрязнения и снижению качества, порчи. Возникает необходимость в построении оптимальной системы управления, снижающей риск потерь сырья.

**Анализ публикаций по теме исследования.** Построение оптимальной системы управления хранением зерна является сложной задачей, т.к. зерно представляет собой живой организм и в нём протекают сложные биологические процессы, которые могут привести к нарушению технологии хранения зерна и его порчи. Порча зерна возникает вследствие повышения температуры в очагах самосогревания выше критической. Поэтому традиционно системы управления хранением зерна разрабатываются на основе математической модели хранения зерна с привлечением теории теплопроводности. Так, Лыковым А.В. были получены решения задачи распространения температуры в телах различных форм [3]. Используя эти решения, Сергунов В.С. проводит исследование хранения зерна, в котором образуются очаги самосогревания различных форм и получает динамику распространения температуры в зерновой массе [4]. Хобин В.А. проводит моделирование технологических процессов сушки зерна [5]. В [6] выдвинута гипотеза, что управление хранением зерна можно производить не только на основе температурных полей. Так, в [7] описан способ контроля зерновой массы при хранении на основе анализа состава газов межзернового пространства.

**Основная часть.** При хранении зерна происходит процесс дыхания. В результате дыхания зерновой массы происходит процесс преобразования и распада органических веществ, и, прежде всего сахаров, выделяется энергия, необходимая организмам для жизнедеятельности. Различают аэробное и анаэробное дыхание зерновой массы.

Аэробное дыхание происходит при свободном доступе кислорода и осуществляется в соответствии со следующим уравнением (кДж):



Анаэробное дыхание происходит при полном отсутствии кислорода и может быть выражено уравнением (кДж)



Из уравнений видно, что при хранении зерна происходит выделение углекислого газа  $CO_2$ . Эффективное управление процессом хранения зерна может быть построено на контроле трех основных показателей: температуры, влажности и состава газовой среды межзернового пространства.

Для оперативного предупреждения локальных очагов самосогревания зерна необходимо найти решение задачи распределения концентрационных полей в зерновой массе при ее хранении в силосах методами математического моделирования дисперсных систем с распределенными параметрами. Измерения проводились в металлическом силосе высотой  $H=21$  м и радиусом  $r=7$  м.

Задача оптимального управления заключается в поиске координат очага самосогревания и времени его возникновения

$$X_m = (x_m, y_m, z_m), \tau_{om}, m = \overline{1, M} \quad (1)$$

при условии, что процесс распределения концентрации описывается дифференциальным уравнением нестационарной диффузии:

$$\frac{\partial C(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} = D \nabla^2 C + m_v; \quad (2)$$

$$C(x, y, z, 0) = C_0; \quad (3)$$

$$-D \left[ \frac{\partial C}{\partial n} \right]_S = 0; \quad (4)$$

а расчётные значения концентрации из решения уравнений (1–4)

$$C_n^* = C^*(x_n, y_n, z_n, \tau_k), \quad n = \overline{1, N} \quad (5)$$

обеспечивали бы минимум функционала

$$\Phi = \sum_{n=1}^N (C_n^* - C_n)^2 \Rightarrow \min \quad (6)$$

Чаще всего очаг в зерновой массе образуется в форме наклонного пласта (из-за различной влажности и температуры зернового слоя) или вертикального пласта (из-за влияния температуры наружного воздуха на зерновую насыпь силоса: круглого – цилиндрический пласт, квадратного – плоский пласт), реже – очаг в форме шара (из-за активизации дыхания насекомых).

Для рассматриваемых случаев решение задачи может быть найдено из решения дифференциальных уравнений диффузии газов при конкретных условиях однозначности (краевых условий).

Однако для упрощения решения задачи можно принять допущение, что газы в межзерновом пространстве распространяются в очаге и в окружающей очаг зерновой насыпи равномерно по всем координатам в силу свойства скважистости зерновой массы – при наполнении силоса между частицами зерновой массы (зерном) остаются промежутки. Тогда достаточно рассматривать одномерные дифференциальные уравнения диффузии.

Вывод расчетных формул при аналитическом рассмотрении необходим для трех следующих вариантов: вариант I – очаг самосогревания в виде пласта толщиной  $2R$ , м; вариант II – очаг самосогревания в виде пласта (столба) цилиндрической формы диаметром  $2R$ ; вариант III – гнездовой очаг самосогревания, по форме подобный шару диаметром  $2R$ , м.

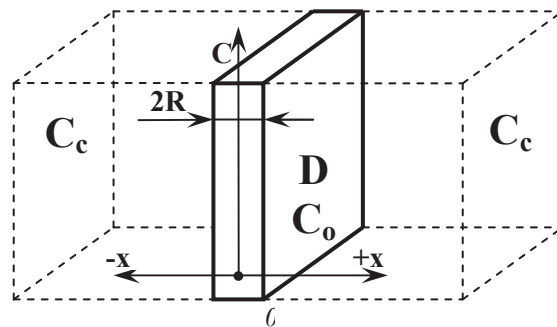


Рис. 1 – Схема зерновой насыпи с очагом самосогревания в форме пласта.

Вариант I. Очаг самосогревания в виде пласта. Изменение концентрации в произвольный момент времени в любой точке зернового массива, окружающего греющийся пласта толщиной  $2R$  (рис. 1), можно найти, решая дифференциальные уравнения диффузии для одномерной однослойной пластины

$$\frac{\partial C(x, \tau)}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 C(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (7)$$

где  $\tau$  – продолжительность процесса, сут;

$x$  – расстояние от средней плоскости греющегося пласта, м;

$D$  – коэффициент диффузии углекислого газа в воздухе,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$C$  – концентрация углекислого газа в рассматриваемой точке зернового слоя, кг/м<sup>3</sup>;

Вариант II. Очаг самосогревания в виде цилиндра (рис. 2). В этом случае дифференциальное уравнение диффузии для определения концентрации газа  $C$  (кг/м<sup>3</sup>) в любой момент времени  $\tau$  (с) на расстоянии  $r$  (м) от оси столба зерна принимает вид уравнения для неограниченного цилиндра радиуса  $R$

$$\frac{\partial C(r, \tau)}{\partial \tau} = D \left( \frac{\partial^2 C(r, \tau)}{\partial^2 r} + \frac{1}{r} \frac{\partial C(r, \tau)}{\partial r} \right) \quad (8)$$

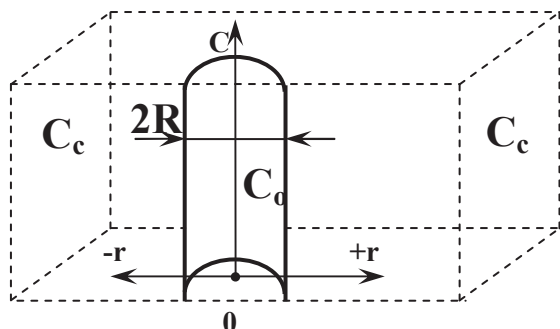


Рис. 2 – Схема зерновой насыпи с очагом самосогревания в форме цилиндра

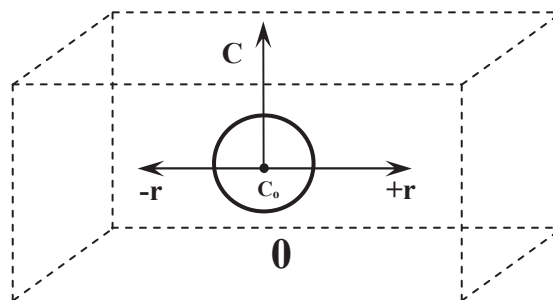


Рис. 3 – Схема зерновой насыпи с очагом самосогревания в форме шара

Вариант III. Очаг самосогревания в виде шара. В этом случае дифференциальное уравнение диффузии принимает вид уравнения для одномерного однослойного шара

$$\frac{\partial(r, C(r, \tau))}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2(r, C(r, \tau))}{\partial^2 r} \quad (9)$$

Решим уравнение (2) методом сеток в интервале времени  $\tau_1 < \tau \leq \tau_2$ , в течении которого действует источник массы с линейным повышением концентрации углекислого газа поверхности очага самосогревания  $C_{\text{п}} = C_0 + b \cdot \tau$ .

Начальные условия  $C(x, 0) = C_0$  и краевые условия:

$$\left. \begin{aligned} C(0, \tau) &= C_0 + b\tau, \\ \frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{x=\infty} &= 0, \\ C \Big|_{x=\infty} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Начальная концентрация углекислого газа в воздухе межзернового пространства равна естественной концентрации в воздухе и составляет 0,4%. В результате измерений получена концентрация углекислого газа  $C_0 = 5,3\%$ ,  $C(r, 0) = 0,4\%$ .

При моделировании получено решение, представленное на рис. 1 (точка А).

Видно, что увеличение концентрации на 1% на расстоянии 1 м происходит за 3,5 ч., т.е. за это время возможно обнаружить очаг самосогревания, что значительно быстрее при использовании метода контроля температуры. Так, на расстоянии 0,2 м температура повышается на 1 °С через 10 часов, а на расстоянии 1,0 м – через 215 часов (примерно 9 суток) вследствие низкой тепло- и температуропроводности зерна [8], при чём необратимая порча зерна в очаге самоогревания может произойти за 4-5 суток [9]. Увеличение количества термоподвесок, на которых расположены термодатчики, приводит к риску обрыва термоподвесок и даже разрушению конструкции силоса при подаче и, особенно, при выпуске зерна из силоса. Поэтому при использовании системы управления хранением зерна, в которой в качестве измери-

тельного устройства входит термодатчик, приводит к риску необратимых потерь зерна, убытков вследствие обрыва термоподвесок, выхода из строя системы управления, разрушению силоса.

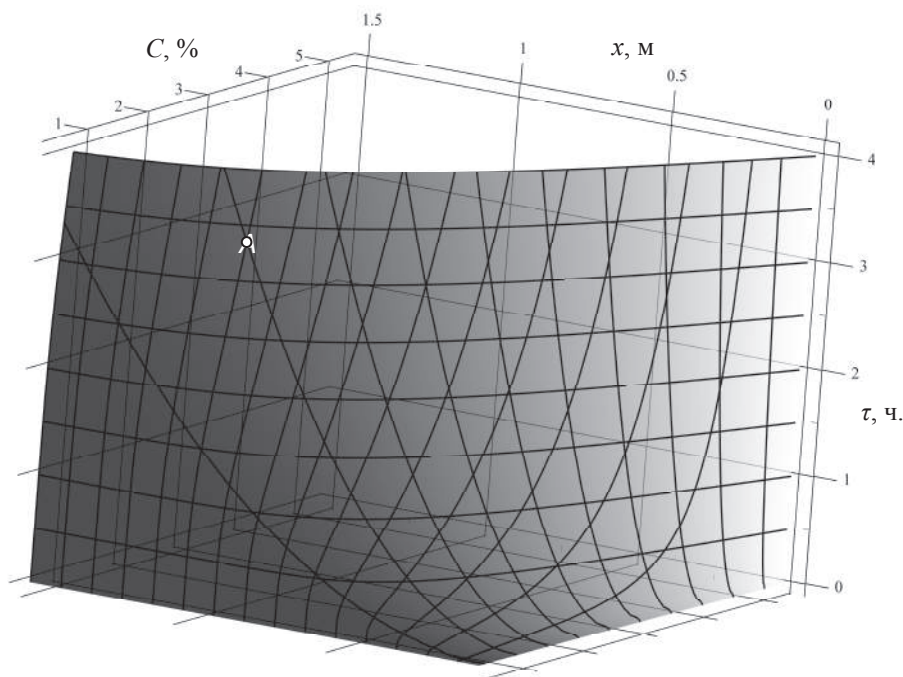


Рис. 4 – Результаты моделирования

В смысле оптимальной по быстродействию разработана структура системы управления хранением зерна на основе контроля состава газовой среды (рис. 5).

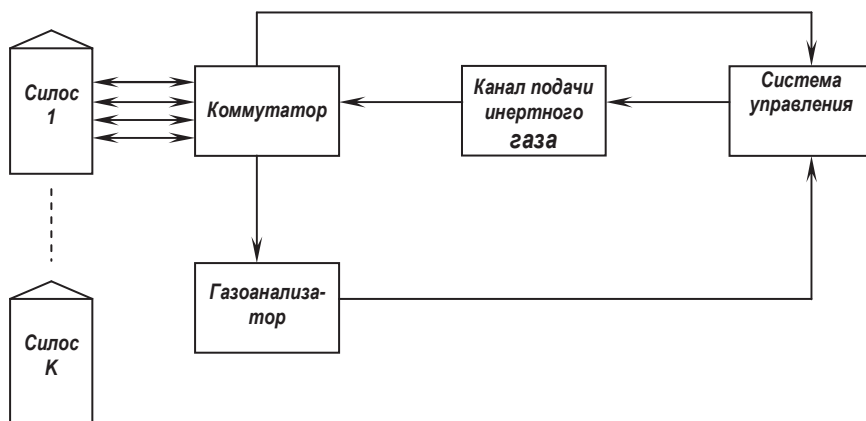


Рис. 5 – Структура оптимальной системы управления хранением зерна

**Выводы.** В статье выполнено моделирование процесса диффузии и разработана оптимальная система управления хранением зерна. Показано, что система управления будет оптимальной по быстродействию при использовании метода анализа состава газовой среды межзернового пространства.

#### Литература

1. Концепція Державної цільової програми “Зерно України 2009-2015”. – Київ: Українська академія аграрних наук.
2. Боуманс Г. Эффективная обработка и хранение зерна/Пер. с англ. В.И. Дашевского. – М.: Агропромиздат, 1991.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967.

4. Сергунов В.С. Дистанционный контроль температуры зерна при хранении. – М.: Агропромиздат, 1987.
5. Хобин В.А., Степанов В.Т. Системы гарантирующего управления зерносушилками // Тез. докл. 11-ой междунар. Конф. По автоматическому управлению «Автоматика-2004». – Киев, 27-30 сентября 2004. – Т.2. – С. 65.
6. Поливода В.В., Бражник А.М. Динамические свойства зерновой массы как объекта управления в процессе хранения//Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій: матеріали науково-практичної конференції. Том 3 – Херсон, видавництво Херсонського морського інституту, 2005.
7. Патент України №22769 на корисну модель. Спосіб контролю зернової маси при зберіганні/Винахідник: Поливода Владислав Володимирович; власник: Херсонський національний технічний університет. – № заявки u 206 13618, дата подання заявки 22.12.2006; дата публікації 25.04.2007, Бюл. №5.
8. Шевцов, А. А. Математическая модель процесса самосогревания зернового сырья при хранении в силосе [Текст] / А. А. Шевцов, И. О. Павлов, Д. А. Бритиков, И. В. Фурсова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2006. – № 3. – С. 56-59.
9. Бритиков, Д. А. Моделирование процесса самосогревания зернового сырья в зернохранилище [Текст] / Д. А. Бритиков // Материалы V международной конференции студентов и аспирантов «Техника и технология пищевых производств». – Могилев: – Могилев. гос. технол. ин-т. Могилев, 2005 г. – С. 121-122.

УДК 004.942:691.342

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СИНТЕГРАНА

**Савельева О.С., канд. техн. наук, доцент, Панова Т.М., ст. преподаватель, Андросюк А.В.  
Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса**

*Предложено использование структурной схемы САПР «SINTEGRAN» на этапе автоматизированного проектирования технологии изготовления синтегранна, которая позволит оценить полученный вариант конструкции на отказоустойчивость.*

*The use of flow diagram of SAPR «SINTEGRAN» is offered on the stage of the automated planning of technology of making of sintegran, which will allow to estimate the got variant of construction on its fault tolerance.*

Ключевые слова: синтегран, автоматизированное проектирование, САПР, технология изготовления.

Перед промышленностью, выпускающей строительные материалы, изделия и конструкции, при нынешних высоких темпах роста объема производства стоит ряд программных технических задач, в частности, создание материалов с повышенными традиционными показателями качества, которые позволят обеспечивать стабильность и надежность каждого показателя, как при выпуске, так и во время эксплуатации материалов и конструкций.

При этом должны быть выдержаны технико-экономические условия и ограничения, что, в свою очередь, предусматривает постановку ряда новых задач, в частности:

- снижение трудозатрат при производстве материалов и конструкций повышенной заводской готовности;
- уменьшение времени изготовления или интенсификации технологии по быстрдействию;
- охрана природной среды от разрушения и загрязнения.

При инженерном решении перечисленных задач требуется принципиально новый научно-технический подход, включающий количественные методы описания взаимосвязей между отдельными рецептурно-технологическими, субстанциональными, конструктивно-эксплуатационными факторами, а также между ними и показателями качества и экономичности готовой продукции с учетом стохастической природы взаимосвязей с целью оптимизации принятия решений в автоматизированном проектировании. Одним из современных композиционных материалов является синтегран.

Синтегран – это высоконаполненный композиционный материал с повышенными прочностными показателями, ударными характеристиками и пониженной пористостью, который используется для изго-