РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ЦИСТЕРНИ

Тамара Савчук[1] ,Андрій Козачук[2]

[1]Вінницький національний технічний університет
Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна
[2]Вінницький національний технічний університет
Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна, E-Mail: kozachuk35@rambler.ru

Широке розповсюдження залізничного транспорту в Україні накладає високі вимоги щодо безпеки залізничних перевезень. Щоб збільшити рівень безпеки на залізниці слід проводити прогнозування стану рухомого складу потяга з метою попередження надзвичайних ситуацій та оперативної ліквідації їх наслідків. Прогнозування (моделювання) стану температурного поля залізничної цистерни дає можливість отримати уявлення про процеси, що відбуваються всередині цистерн як в штатних, так і в нештатних ситуаціях.

Необхідно, маючи інформацію про зовнішнє джерело тепла *A*, представлену у вигляді тривимірного закону розподілу, фізичні параметри речовини, що перевозиться *q*, фізичні та геометричні характеристики цистерни *c*, визначити стан температурного поля цистерни у довільний момент часу *t*.

Метою дослідження є отримання результатів моделювання стану температурного поля залізничної цистерни.

На основі співвідношень, описаних у [1] розроблено комп'ютерну програму прогнозування стану залізничної цистерни під час пожежі. Розроблена програма реалізовує кінцево-елементний алгоритм моделювання термодинамічного стану речовини, описаний у [1, 2]. Програма передбачає можливість зміни геометричних параметрів цистерни, завдання особливостей джерела тепла та речовини, що перевозиться.

Програму написано мовою C#. Для візуалізації використовується технологія Windows Presentation Foundation(WPF). Для побудови графіків – бібліотека WPF Toolkit Data Visualization Controls. Інтерфейс програми зображено на рисунку 1.

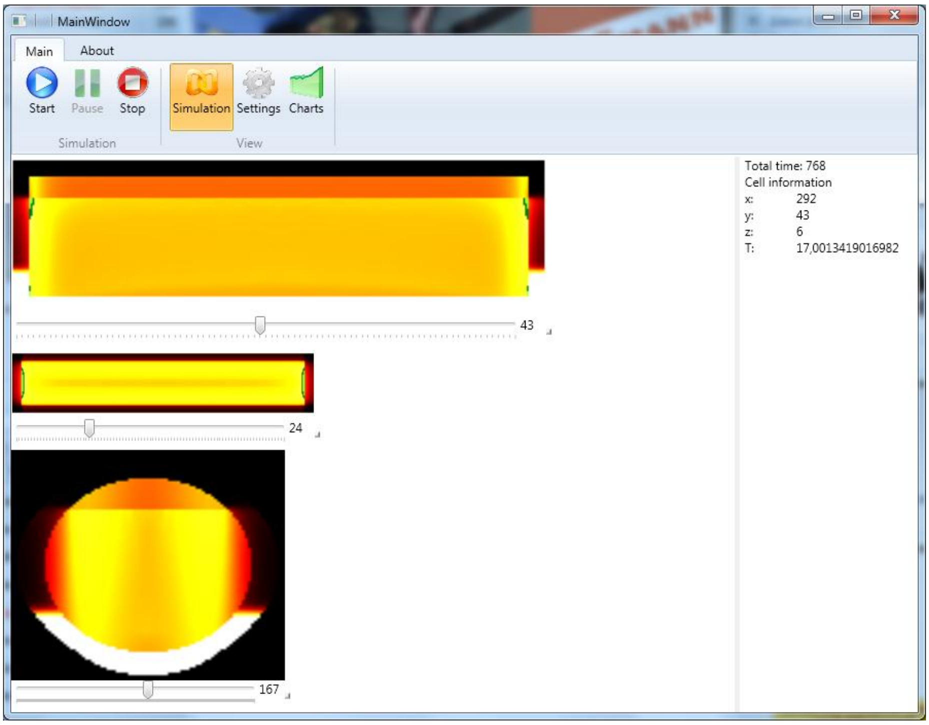

Рисунок 1 – Головне вікно програми прогнозування стану залізничної цистерни

За допомогою розробленої програми проведено моделювання стану залізничної цистерни під час нагріву зовнішнім джерелом тепла.

У роботах [3,4] наведено експериментальні дані, отримані при нагріві залізничної цистерни, заповненої водою. Було створено відповідні кінцевоелементі моделі залізничних цистерн та проведено прогнозування стану цистерни. Параметри моделі та результат прогнозування представлені на рисунках 2 – 4.

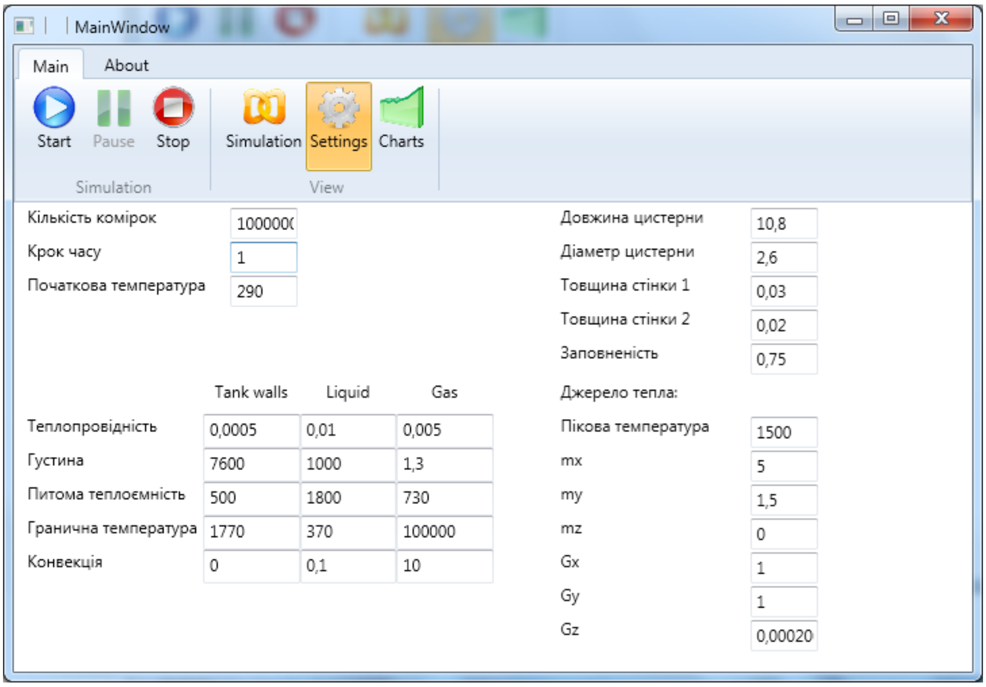

Рисунок 2 – Параметри моделювання цистерни з водою

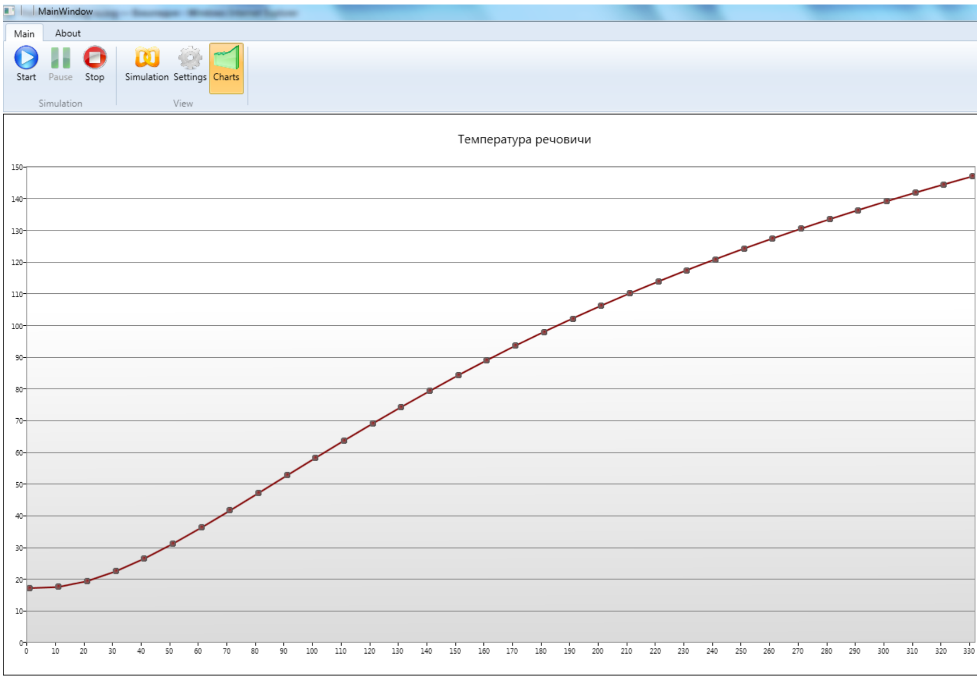

Рисунок 3 – Залежність температури газу від часу при заповненості цистерни у 33%

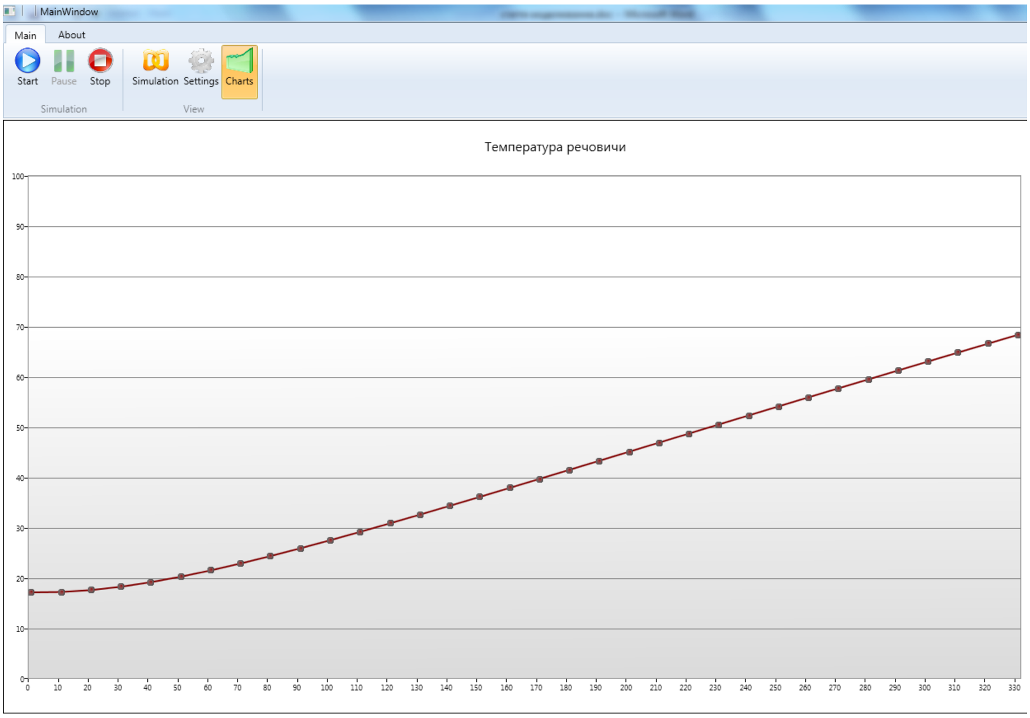

Рисунок 4 – Залежність температури рідини від часу при заповненості цистерни у 33%

На рисунках 5, 6 показано порівняння прогнозованого значення температури з експериментальним. Похибка обчислень для прогнозування стану газу склала 11%, при прогнозуванні стану рідини – 12%.

Було проведено залежність результату прогнозування від таких параметрів моделі, як кількість елементарних комірок та проміжок часу між ітераціями. Дослідження показали, що результат моделювання при зміні кроку часу та кількості комірок змінюються не більше ніж на 10%. Але при досягнення певних критичних значень, які залежать, також, і від параметрів речовини у цистерні починають накопичуватись завади, пов'язані з похибками обчислень чисел з плаваючою комою. Накопичення завад відбувається у певних «вузлах», які легко помітні на діаграмі температур. Поява вузлів знижує точність прогнозу, тому бажано використовувати такі параметри моделі, при яких вузли не виникають.

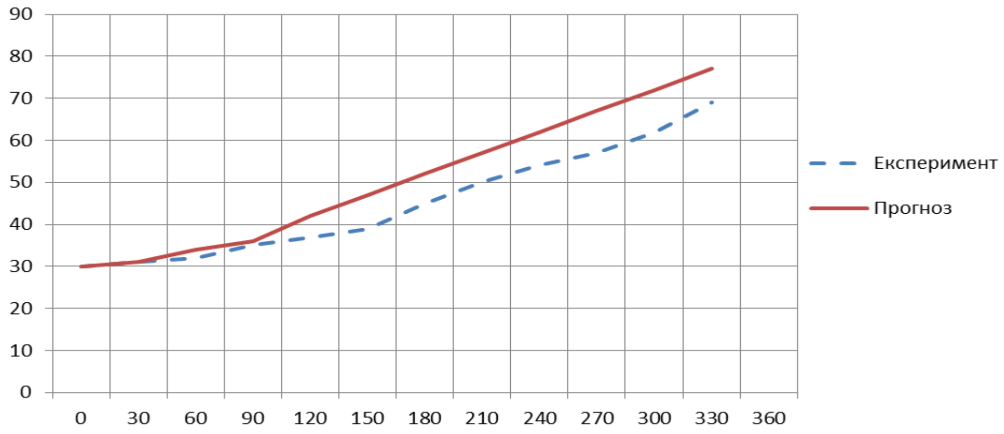

Рисунок 5 - Порівняння отриманого прогнозу температури рідини з експериментальними даними

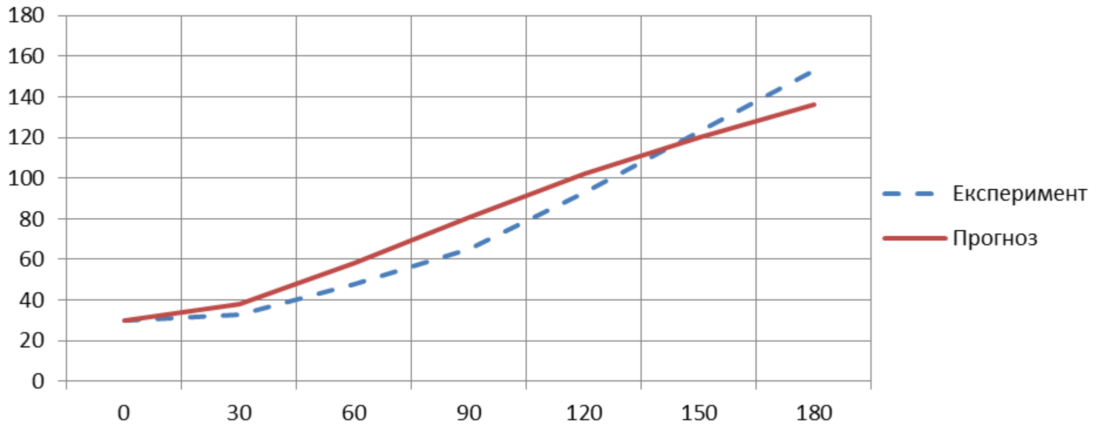

Рисунок 6 – Порівняння отриманого прогнозу температури газу з експериментальними даними

Причиною можливого вибуху є підвищення температури та тиску газоповітряної суміші у цистерні, що може призвести до безпосереднього руйнування стінок цистерни через зростаюче статичне навантаження або, за певних умов, до спалаху газоповітряної суміші, що призводить до вибуху цистерни з великою імовірністю. Рівняння стану газоповітряної суміші можна описати рівнянням Ван дер Ваальса (1), де p – тиск газу, V – об'єм газу, T – температура, υ – кількість молів речовини, R – універсальна газова стала, a, b – поправки до рівняння стану ідеального газу.

$$\left(p+\frac{a\upsilon^2}{V^2}\right)\left(\frac{V}{\upsilon}-b\right)=RT \qquad (1)$$

Припустивши, що об'єм газу та кількість речовини не змінюються, двічі застосуємо формулу (1) до газу з параметрами (p_1, V_1), та (p_2, V_2) відповідно та поділимо отримані співвідношення одне на одного.

$$\frac{p_2+\dfrac{a\upsilon^2}{V^2}}{p_1+\dfrac{a\upsilon^2}{V^2}}=\frac{T_2}{T_1} \qquad (2)$$

$$p_2=\frac{T_2}{T_1}p_1+\frac{a\upsilon^2}{V^2}\left(\frac{T_2}{T_1}-1\right) \qquad (3)$$

Таким чином, маючи значення температури газу, можна визначити тиск всередині цистерни у будь який момент часу, що дає можливість оцінити час з моменту появи полум'я до виникнення надзвичайної ситуації.

Висновки

Отже, за допомогою розробленої комп'ютерної програми, було проведено моделювання стану температурного поля залізничної цистерни. Отримані результати дають можливість отримати значення тиску у цистерні в будь-який момент часу і на основі цього значення оцінити імовірність вибуху цистерни, що дозволяє проводити прогнозування стану швидкоплинної надзвичайної ситуації на залізничному транспорті.

Список літератури

1. Перевозніков С. І., Козачук А. В. Емпіричні та стійкі чисельні методи для прогнозування фізичного стану вантажу потяга// Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – №1(17). – Вінниця: Універсум. – 2010. – 102 с.
2. Михеев М. А., Михеева. "Основы теплопередачи" // Энергия. – Москва. – 1977. – 343 с.
3. US Coast Guard Office of Research and Development. Fire testing of independent fiberglass fuel tanks with and without protective coating of fire retardant paint, May 8, 1972. Report AD 740783. Washington, DC
4. Р.Ш. Хабибулин. Валидность компьютерной модели теплового воздействия очага пожара на резервуар с горючей жидкостью http://narod.yandex.ru/100.xhtml?agps-2006.narod.ru/ttb/2008-1/06-01-08.ttb.pdf

Результати моделювання стану температурного поля залізничної цистерни / Т. О. Савчук, А. В. Козачук

У статті описані результати моделювання стану температурного поля залізничної цистерни, отримані в результаті роботи розробленої комп'ютерної програми. Отримані результати дають змогу передбачити час вибуху цистерни при різних зовнішніх та внутрішніх умовах.

Результати моделювання стану температурного поля залізничної цистерни / T. O. Savchuk, A. V. Kozachuk

The article describes the results of simulation of temperature field of tank, obtained as a result of developed software application. A result of simulation allows to predict the explosion of the tank with various external and internal conditions.