

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНСТИТУТ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

МАТЕРІАЛИ ДЕВ'ЯТОЇ
МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
СТУДЕНТІВ ТА МОЛОДИХ ВЧЕНІХ



ПРИСВЯЧЕНА 55-РІЧЧЮ
ІНСТИТУТУ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

“Сучасні інформаційні технології 2019”

“Modern Information Technology 2019”



NetCracker®



23-24 травня

Одеса
«Екологія»
2019

УДК 519.876:004.942.001.57

**МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ НАЛИВНИХ ВАНТАЖІВ, ЩО ПЕРЕВОЗЯТЬСЯ У
ВАГОНАХ-ЦИСТЕРНАХ**

Рудковський О. В.

д.т.н., завідувач кафедри КСУ Положаєнко С. А.

Одеський Національний Політехнічний Університет, УКРАЇНА

АННОТАЦІЯ. Розроблено математичну модель наливних вантажів (наприклад, сирої нафти), що перевозяться в вагонах-цистернах, а також виконано узагальнення цих моделей задля типізації та уніфікації математичного опису. Така типізація дозволяє здійснити формалізацію та уніфікацію методів і засобів математичного моделювання та здійснити машинну реалізацію зазначених методів на єдиній уніфікованій основі.

Вступ. Розв'язок задачі математичного моделювання, насамперед і в значній мірі, визначається обраною математичною моделлю (ММ) об'єкту (або процесу). *Адекватно* обрана ММ забезпечує *достовірність* результатів математичного моделювання. Крім того, на результати математичного моделювання (зокрема, його *точність*) впливають чисельні методи, якими реалізується обрана ММ об'єкту (процесу). Тому розробка ММ, що задовольняють вказаним критеріям, дозволяють підвищити ефективність технологічних процесів.

Мета роботи. Мета роботи полягає у розробці ММ наливних вантажів (та відповідних транспортних засобів), що перевозяться у вагонах-цистернах, що дозволяє, у подальшому, формалізувати та уніфікувати чисельні методи та інструментальні засоби математичного моделювання стану цих вантажів в процесі їх транспортування залізницею.

Основна частина. У відповідності до транспортних технологій, при перевезенні наливних вантажів, наприклад, нафтопродуктів (сирої нафти та продуктів її переробки, зокрема, світлих нафтопродуктів, мастил, гудронів тощо), рідких мінеральних добрив, краплених газів та інших вантажів, що перебувають у рідкій фазі, застосовуються спеціалізовані вагони — цистерни, обладнані у відповідності до особливостей вантажів, які перевозяться. Враховуючи ці особливості, насамперед фізико-хімічні явища, якими характеризуються вантажі, що перевозяться у вагонах-цистернах [1], останні можна класифікувати наступним чином:

— цистерни з *поверхневим* теплообміном, в яких теплообмін здійснюється на поверхні розділу окремих рідин (фаз), які транспортуються. До цього класу цистерн відносяться, зокрема такі, які виконано за схемами з одинарною оболонкою у вигляді утилізаційних теплообмінників;

— цистерни *об'ємного* теплообміну, в яких теплообмін здійснюється в межах всього об'єму рідин, що перевозяться. До цього класу цистерн відносяться, зокрема цистерни-термоси або цистерни, виконані у вигляді судин Дюара (з подвійною оболонкою);

— цистерни *розсередженого* теплообміну, в яких теплообмін одночасно відбувається на декількох окремих поверхнях. До цього класу цистерн відносяться, цистерни, що мають внутрішні конструктивні елементи (наприклад, перегородки, які запобігають хвилеутворенню рідин всередині цистерни під час руху; дво- або багато об'ємні цистерни, що використовуються для транспортування декількох окремих рідин, тощо).

Для кожного з наведених вище класів технологічних вагонів-цистерн (наприклад, задіяних у перевезенні сирої нафти та продуктів її переробки) розроблено ММ у вигляді рівнянь у часткових похідних (параболічних та гіперболічних) з відповідними початковими та граничними умовами. Аналізуючи ММ розглянутих цистерн-вагонів, для процесу транспортування наливних вантажів було визначено можливість *узагальненого математичного опису*, що у подальшому дало можливість уніфікувати на умовах *типізації* підходи до їх чисельної та обчислювальної реалізації. При цьому узагальнену ММ було отримано у наступному вигляді:

$$\frac{\partial \bar{\Phi}_i(r_j, z, t)}{\partial t} = f_i \left[\bar{\Phi}_i(r_j, z, t), \frac{\partial \bar{\Phi}_i(r_j, z, t)}{\partial z}, \frac{\partial^2 \bar{\Phi}_i(r_j, z, t)}{\partial r_j^2}, \frac{\partial \bar{\Phi}_i(r_j, z, t)}{\partial r_j}, \bar{U}_g(r_j, z, t) \right] + D_i(\bar{\Phi}_i, r_j, z, t) \quad (1)$$

$$\forall i = 1, \dots, k; \forall j = 1, \dots, N; \forall (r_j, z) \in \Omega; \forall t \in (0, t_k), \quad \bar{\Phi} = [\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_k]^T \quad (\text{т — знак транспонування})$$

$$\bar{\Phi}_i(r_j, z, 0) = \bar{\Phi}_{i_0}(r_j, z), \forall i = 1, \dots, k; \forall j = 1, \dots, N; \forall (r_j, z) \in \Omega \quad (2)$$

та граничних умов першого та третього роду, відповідно:

$$\bar{\Phi}_i(r_j, z, t) \Big|_{\substack{r_i=0 \\ z=0 \\ z=z_{\max}}}^{r_i=r_{\max}} = \varphi_i [P_i(r_j, z, t)], \quad \frac{\partial \bar{\Phi}_i(r_j, z, t)}{\partial r_i} \Big|_{r_i=r_{\max}}^{r_i=0} = \lambda_i [\bar{\Phi}(r_j, z, t), P_i(r_j, z, t)] \quad (3)$$

де $\bar{\Phi}_i(r_j, z, t)$ — безперервні функції стану, що залежать від часової $t \in (0, t_k)$ та просторових $\forall (r_j, z) \in \Omega$ координат; функції стану $\bar{\Phi}_i(r_j, z, t)$ визначаються розв'язком системи (1) — (3), що (за визначенням) існує і є єдиним; $\bar{U}_g(r_j, z, t), g = 1, \dots, k^*$ — функції розподіленого управління, що належать гільбертовому простору \bar{U}_{g_i} на R^{M_k} . Змінні стану $\bar{\Phi}_i(r_j, z, t)$ та управління $\bar{U}_g(r_j, z, t)$ визначено у відкритих гільбертових просторах із границями відповідно $\Omega_{\Phi_i}, \Omega_{U_g}, \forall i = 1, \dots, k; \forall r = 1, \dots, k^*$. Функції $f_i[\cdot]$ та $y_i[\cdot]$ — безперервні лінійні або нелінійні функції; $D_i(\bar{\Phi}_i, r_j, z, t) = D_i\{\bar{\Phi}_i, z, t, \Phi_1(r_j, z, t), \Phi_2(r_j, z, t), \dots, \Phi_k(r_j, z, t)\}$ — лінійні або нелінійні функції, що характеризують дію зовнішніх збуджуючих впливів; $P_i(r_j, z, t), \forall i = 1, \dots, k; \forall j = 1, \dots, N; \forall (r_j, z) \in \Omega$ — задані функції на границі $\partial\Omega$ області, які можуть виступати в якості граничних управляючих впливів; $\lambda_i, \forall i = 1, \dots, k$ — параметр, який характеризує енергетичні властивості елементів об'єкта (технологічного апарата); N — число поверхонь теплообміну (зокрема, внутрішньо об'ємних перегородок). Змінні стану $\bar{\Phi}_i(r_j, z, t)$ та управління $\bar{U}_g(r_j, z, t)$ можуть визначати різні фізичні (температуру, тиск), або геометричні (рівень) величини, а також відхилення цих величин від стаціонарних значень; параметри λ_i визначають відповідно: коефіцієнт теплопровідності, коефіцієнт теплопередачі, тощо.

Для узагальненої ММ вигляду (1) — (3) розроблено чисельні схеми реалізації на основі схем з «вагами», відомих в літературі як економічні схеми Кранка-Ніколсона [2, 3] та інструментальні засоби машинної реалізації, виконані шляхом модифікації ToolBox платформи Matlab.

Висновки. Запропоновано та реалізовано ММ наливних вантажів, що перевозяться у вагонах-цистернах. Узагальнення та уніфікація цих ММ дозволило при обчислювальній реалізації використовувати єдиний інструментарій у вигляді пакета прикладних модулів, що, у підсумку, дало зниження обчислювальних затрат на (25 — 40) % (в залежності від конкретного технологічного засобу-вагону) у порівнянні з реалізацією за стандартними процедурами із використанням ToolBox платформи Matlab.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Верлань А. Ф. Математическое моделирование аномальных диффузионных процессов / А. Ф. Верлань, С. А. Положаенко, Н. Г. Сербов. — К.: Наукова думка, 2011. — 416 с.
2. Мацевитый Ю. М. Моделирование нелинейных процессов в распределенных системах / Ю. М. Мацевитый, В. Е. Прокофьев. — К.: Наукова думка, 1985. — 302 с.
3. Самарский А. А. Теория разностных схем. — М.: Наука, 1983. — 616 с.