

УДК 697.3-52

С. С. ТИТАР, канд. техн. наук, проф.; проф. ОНПУ, Одеса;
Д. В. ЗАЙЦЕВ, аспірант ОНПУ, Одеса

ДОСЛІДЖЕННЯ ОХОЛОДЖЕННЯ В'ЯЗКИХ НАФТОПРОДУКТІВ ПРОТЯГОМ ЇХ ЗБЕРІГАННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ В ЗАЛІЗНИЧНИХ ЦИСТЕРНАХ

В статті представлений комплекс заходів по транспортуванню, вивантаженню та зберіганню рідких, в'язких продуктів на прикладі нафтового бітуму. Виробництво бітуму в нафтохімічній галузі промисловості відбувається при порівняно високих температурах (~140–150 °С). При вказаних температурах цей матеріал знаходиться в рідкому стані й має в'язкість зіставну з в'язкістю води. У зв'язку з цим, транспортування бітуму від місця виробництва до місця споживання відбувається в залізничних цистернах (звичайні цистерни, цистерни-термоса, цистерни з паровою сорочкою). Цей матеріал різко збільшує в'язкість при зменшенні температури й частіше всього його вивантаження з цистерн без додаткового розігрівання стає неможливим. Найбільш складним питанням є визначення параметрів бітуму, який охолоджується при транспортуванні. Для цього треба правильно визначити коефіцієнт теплопередачі від гарячого бітуму через стінку цистерни в навколишнє середовища, також необхідно знати коефіцієнти тепловіддачі від бітуму до стінки й від стінки до оточуючого повітря при русі цистерни. Було розглянуто дві можливі фізичні моделі теплообміну бітуму з оточуючим середовищем. В подальшому необхідно провести натурні спостереження охолодження бітуму при русі цистерн на комплексі вивантаження та зберігання бітуму, а також лабораторні дослідження.

Ключові слова: теплообмін, коефіцієнт теплопередачі, конвекція, коефіцієнт тепловіддачі, температура.

Вступ

Виробництво бітуму в нафтохімічній галузі промисловості відбувається при порівняно високих температурах (~140–150 °С). При вказаних температурах цей матеріал знаходиться в рідкому стані й має в'язкість зіставну з в'язкістю води. У зв'язку з цим, транспортування бітуму від місця виробництва до місця споживання відбувається в залізничних цистернах (звичайні цистерни, цистерни-термоса, цистерни з паровою сорочкою). Цей матеріал різко збільшує в'язкість при зменшенні температури й частіше всього його вивантаження з цистерн без додаткового розігрівання стає неможливим.

Мета роботи – визначення температури матеріалу наприкінці транспортування при різних температурах зовнішнього повітря.

Найбільш важливим моментом є правильне визначення коефіцієнта теплопередачі від гарячого бітуму через стінку цистерни в навколишнє середовище. Для цього необхідно знати коефіцієнти тепловіддачі від бітуму до стінки й від стінки до оточуючого повітря при русі цистерни.

Вихідні дані для розрахунку:

- питома теплоємність бітуму $c = 1,68$ кДж/(кг·К)
- температура навколишнього середовища $t_H = -15; -10; -5; 0; +10; +15$ °С
- початкова температура бітуму $t_{б.н.} = 140$ °С
- маса бітуму в цистерні $G = 57300$ кг
- поверхня цистерни $F = 92$ м²
- діаметр цистерни $D = 2,8$ м
- час цистерни в дорозі ... $\tau = 4, 6, 8, 10$ діб або 96, 144, 192, 240 годин, відповідно

© С.С. Титар, Д.В. Зайцев, 2014

Для знаходження коефіцієнта теплопередачі від бітуму до стінки можливо використання відомої залежності (1)

$$Nu = 0,5 (Gr Pr)_{ж}^{0,25} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} \quad (1)$$

Цю залежність було отримано для фізичної моделі I , яка відрізняється від дійсних умов, і справедлива для випадку вільної конвекції зовні циліндру, як показаний на рис. 1. В нашому випадку вільна конвекція має місце в середині циліндру.

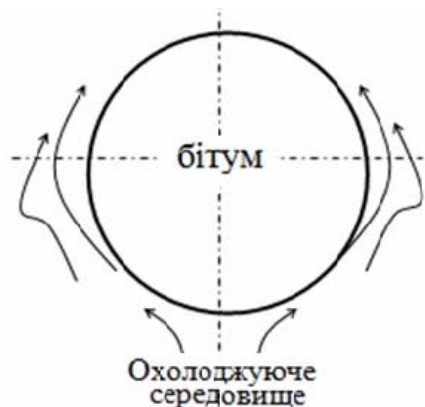


Рис. 1 – Фізична модель теплообміну I за формулою (1)

Коефіцієнт тепловіддачі від бітуму до стінки, враховуючи залежність (1), $\alpha_1 = 2,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. По залежності для вимушеної конвекції (повітря уздовж циліндра) визначають коефіцієнт тепловіддачі від цистерни до оточуючого повітря $\alpha_2 = 14,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Нехтуючи термічним опором цистерни по залежності (2) одержують значення коефіцієнта теплопередачі $k = 1,75 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2)$$

Задаючи різний час в дорозі τ , можна отримати температуру бітуму в пункті призначення

$$t_6 = t_B + \frac{t_H - t_B}{e \frac{Fk\tau}{Gc}} \quad (3)$$

по залежності (3)

Результати розрахунків температури матеріалу наприкінці транспортування за цією моделлю наведені у табл. 1 та на рис. 2.

Таблиця 1

Результати розрахунків температури матеріалу t_6 наприкінці транспортування

| $t_6, \text{ }^\circ\text{C}$ | $\tau, \text{ год.}$ | | | |
|-------------------------------|----------------------|------|------|------|
| $t_H, \text{ }^\circ\text{C}$ | 96 | 144 | 192 | 240 |
| -15 | 72,0 | 50,1 | 33,8 | 21,5 |
| -10 | 74,2 | 53,0 | 37,2 | 25,4 |
| -5 | 76,3 | 55,9 | 40,6 | 29,2 |
| 0 | 78,5 | 58,8 | 44,1 | 33,0 |
| 10 | 82,9 | 64,6 | 50,9 | 40,6 |
| 15 | 85,1 | 67,5 | 54,3 | 44,5 |

Слід зазначити, що найбільш складним у цьому розрахунку є правильне визначення коефіцієнта тепловіддачі від бітуму до стінки цистерни. На вільну конвекцію бітуму в цистерні будуть накладатися коливання від розгойдування цистерни при русі, через що збільшуватиметься коефіцієнт тепловіддачі. З іншого боку, на стінці цистерни, внаслідок її охолодження, може утворюватися нерухомий

прилиплий шар бітуму, який при низькій теплопровідності бітуму буде зменшувати коефіцієнт теплопередачі. Крім того, безпосередньо в теплообміні з повітрям буде братися доля тільки 0,5 площі поверхні цистерни, інша половина захищена сорочкою. Правда, зовнішній шар сорочки буде отримувати тепло від поверхні цистерни (внутрішньої поверхні сорочки) випромінюванням і лише після цього буде віддавати тепло оточуючому повітрю.

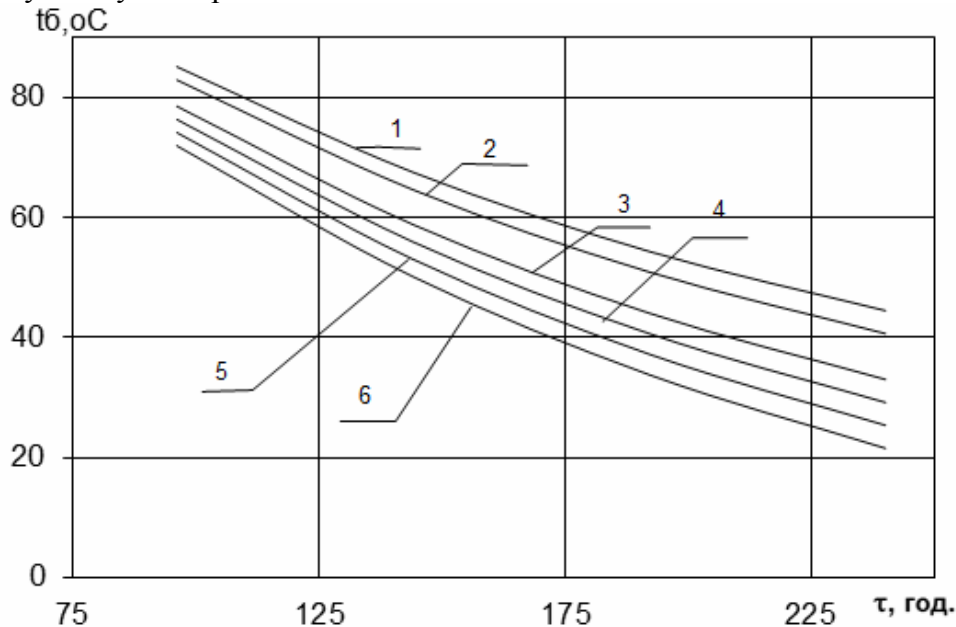


Рис. 2 – Температура бітуму в цистерні в залежності від температури зовнішнього повітря та часу транспортування:
 1 – $t_n = 15 \text{ }^\circ\text{C}$; 2 – $t_n = 10 \text{ }^\circ\text{C}$; 3 – $t_n = 0 \text{ }^\circ\text{C}$; 4 – $t_n = -5 \text{ }^\circ\text{C}$; 5 – $t_n = -10 \text{ }^\circ\text{C}$; 6 – $t_n = -15 \text{ }^\circ\text{C}$

Є можливість спробувати визначити коефіцієнт теплопередачі, використовуючи іншу модель теплообміну між бітумом і стінкою цистерни, вважаючи стінку плоскою, як показано на рис. 3.

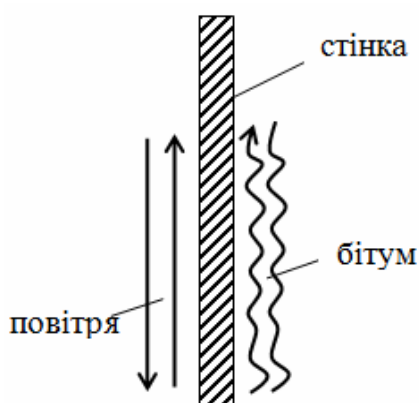


Рис. 3 – Фізична модель теплообміну 2, для цистерни з плоскою стінкою

Ця модель дещо ближче до реальної ситуації, проте не зовсім ясно, яким повинен бути визначальний геометричний розмір (діаметр цистерни чи $\frac{1}{2}$ довжини кола). Враховуючи порівняно невелику кривизну поверхні цистерни, правильніше, з нашої точки зору, за визначальний розмір вибрати діаметр цистерни. Крім того, будемо вважати, що в поверхні цистерни з боку бітуму утворився прилиплий шар.

При знаходженні залежності для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі від бітуму до стінки цистерни відповідно до цієї фізичної, необхідно визначити число Релея по залежності (4)

$$Ra_6 = Gr_6 \cdot Pr_6 \quad (4)$$

Для цього заздалегідь було визначено середню температуру стінки t_{cp} і різницю температур між температурою бітуму і температурою стінки цистерни Δt .

При цьому зроблено такі припущення. При достатньо тривалому часі в дорозі температура стінки, температура бітуму і температура навколишнього середовища стануть рівними. У початковий момент температура бітуму рівна 140 °С.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки цистерни в навколишнє середовище визначено по залежності (5)

$$\alpha_{\text{пов}} = 11,6 + 7\sqrt{\omega}, \quad (5)$$

де ω – швидкість вітру, м/с.

Коефіцієнт теплопередачі в цьому випадку з урахуванням нерухомого шару бітуму біля стінки цистерни визначаємо по залежності (6)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\delta}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{пов}}}}. \quad (6)$$

Результати розрахунків температури матеріалу наприкінці транспортування за цією моделлю наведені у табл. 2 і на рис. 4.

Таблиця 2

Результати розрахунків температури матеріалу t_{δ} наприкінці транспортування

| $t_{\delta}, \text{ }^{\circ}\text{C}$ | $\tau, \text{ год.}$ | | | |
|--|----------------------|------|------|------|
| $t_{\text{н}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$ | 96 | 144 | 192 | 240 |
| -15 | 58,2 | 35,3 | 19,6 | 8,8 |
| -10 | 61,3 | 39,2 | 23,9 | 13,4 |
| -5 | 64,2 | 42,8 | 28,0 | 17,8 |
| 0 | 67,2 | 46,6 | 32,3 | 22,4 |
| 10 | 73,3 | 54,1 | 40,8 | 31,5 |
| 15 | 76,0 | 57,7 | 44,8 | 35,8 |

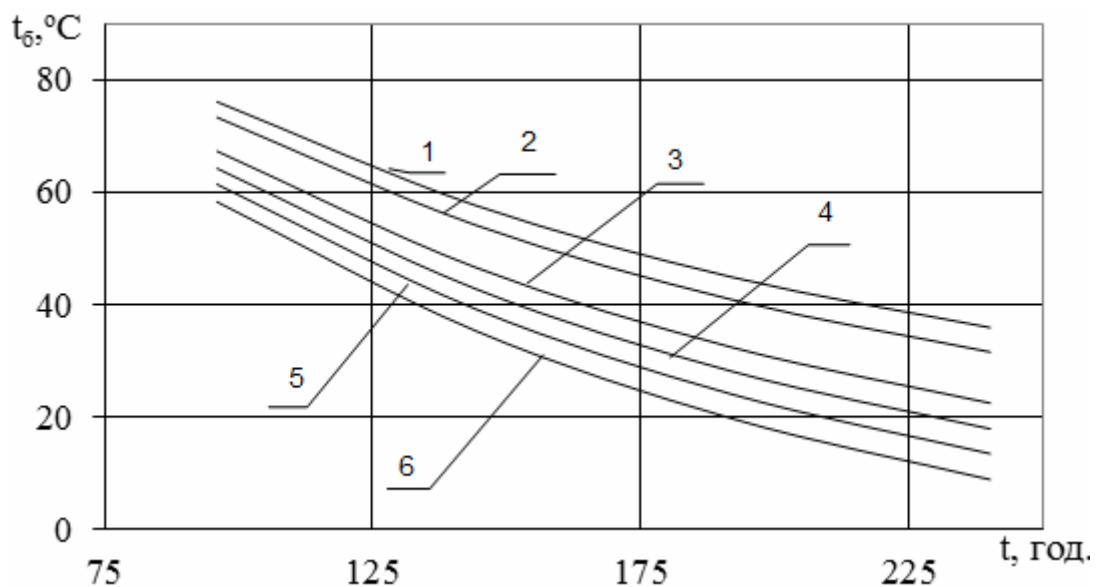


Рис. 4 – Температура бітуму в цистерні в залежності від температури зовнішнього повітря та часу транспортування:
 1 – $t_{\text{н}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $t_{\text{н}} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – $t_{\text{н}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – $t_{\text{н}} = -5 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 5 – $t_{\text{н}} = -10 \text{ }^{\circ}\text{C}$; 6 – $t_{\text{н}} = -15 \text{ }^{\circ}\text{C}$

На рис. 5 виконано порівняння розрахунків температури бітумів в цистерні в залежності від температури зовнішнього повітря та часу транспортування за різними моделями теплообміну.

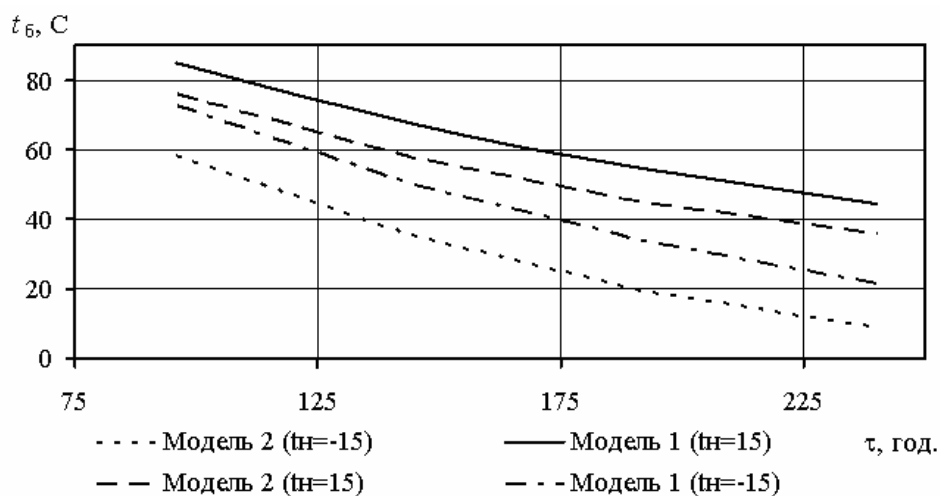


Рис. 5 – Порівняння розрахунків температури бітумів в цистерні в залежності від температури зовнішнього повітря та часу транспортування

Висновки

- 1) Вперше зроблено аналіз рівнянь для розрахунку теплообміну між бітумом та навколишнім середовищем при транспортуванні у залізничних цистернах.
- 2) Опираючись на отриманні данні треба констатувати, що температура бітуму, по ходу транспортування, неминуче падає, при чому за певною залежністю. Це дає нам можливість зрозуміти, як і коли бітум віддає, чи приймає тепло.
- 3) Аналізуючи різні фізичні моделі і порівнюючи результати, можна зазначити, що результати розрахунків за різними моделями будуть відрізнятися на 15...30 %.
- 4) На велику розбіжність між даними отриманими за різними моделями, мають великий вплив припущення, які неможливо ігнорувати.
- 5) Для підтвердження цих висновків потрібно провести експеримент на моделі чи в натурних умовах.

Список літератури: 1. Исаченко, В. П. Теплопередача [Текст] / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – Москва: Энергия, 1975. – 423 с. 2. Титар, С. С. Системы энергопостачання промислових підприємств [Текст] / С. С. Титар. – Одеса: АТ БАХВА, 2002. – 356 с. 3. Гун, Р. Б. Нефтяные битумы [Текст] / Р. Б. Гун. – Москва: Химия, 1989. – 323 с. 4. Левенберг, В. Д. Аккумуляция тепла [Текст] / В. Д. Левенберг, М. Р. Ткач, В. А. Гольстрем. – Киев: Техника, 1991. – 84 с.

Bibliography (transliterated): 1. Isachenko, V. P., V. A. Osipova and A.S. Sukomel. *Teploperedacha*. Moscow: Jenergija, 1975. Print. 2. Tytar, S. S. *Systemy energopostachannja promyslovyh pidpryjemstv*. – Odessa: АТ ВАНВА, 2002. Print. 3. Gun, R. B. *Neftjannye bitumu*. Moscow: Himija, 1989. Print. 4. Levenberg, V. D., M. R. Tkach and V. A. Gol'strem. *Akkumulirovanie tepla*. Kiev: Tehnika, 1991. Print.

Надійшла (received) 25.02.14