

ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОЛОГІЧНА КІБЕРНЕТИКА

УДК 658.264

С. С. Титар¹
Д. В. Зайцев¹

ТРАНСПОРТУВАННЯ В'ЯЗКИХ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ

¹Одеський національний політехнічний університет, Одеса

Розглянуто проблеми, що виникають під час транспортування та вивантаження в'язких, рідких продуктів на прикладі нафтового бітуму. Найскладнішим питанням є визначення параметрів бітуму, який охолоджується під час транспортування. Розглянуто дві можливі фізичні моделі теплообміну під час транспортування цистерни, наповненої гарячим бітумом, з навколишнім середовищем. В подальшому необхідно провести натурні спостереження охолодження бітуму під час руху цистерн та лабораторні дослідження.

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

Вступ

Виробництво бітуму в нафтохімічній галузі промисловості відбувається за порівняно високих температур (~ 140...150 °С). Бітум є реонестабільною (неньютоновською) рідиною за температур нижчих 30 °С. За вищих температур 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 зі зменшенням температури й час-тіше всього його вивантаження з цистерн без додаткового розігрівання стає неможливим.

Метою роботи є визначення закономірностей теплообміну бітуму у цистерні з навколишнім середовищем та температури матеріалу наприкінці транспортування за різних температур зовнішнього повітря.

Виклад основного матеріалу

Вихідні дані для розрахунку:

- питома теплоємність бітуму $c = 1,68$ кДж/(кгК);
- температура навколишнього середовища $t_n = -10$ °С, -5 °С, 0 °С, $+10$ °С, $+15$ °С;
- початкова температура бітуму $t_p = 140$ °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;
- умовна середня температура бітуму в кінцевому пункті t_6 .

Найважливішим моментом є правильне визначення коефіцієнта теплопередачі від гарячого бітуму через стінку цистерни у навколишнє середовище. Для цього необхідно знати коефіцієнти тепловіддачі від бітуму до стінки й від стінки до навколишнього повітря під час руху цистерни.

Для знаходження коефіцієнта тепловіддачі від бітуму до стінки можна використати відому залежність [1]

$$Nu = 0,5 (Gr \cdot Pr)_p^{0,25} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} \quad (1)$$

Цю залежність отримано для фізичної моделі рис. 1, справедливої для випадку вільної конвекції ньютонівської рідини зовні циліндру. В нашому випадку вільна конвекція має місце в середині циліндру (цистерни).

Коефіцієнт тепловіддачі від бітуму до стінки, враховуючи залежність (1), $\alpha_1 = 2,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$. Із залежності для вимушеної конвекції (повітря уздовж циліндра) визначають коефіцієнт тепловіддачі від цистерни до навколишнього повітря $\alpha^2 = 14,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$. Враховуючи товщину прилиплому шару (умовно $\delta = 15 \text{ мм}$), який утворюється при охолодженні біля стінки цистерни, і його теплопровідність, при цьому нехтуючи термічним опором цистерни, отримують значення коефіцієнта теплопередачі $k = 1,75 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$.

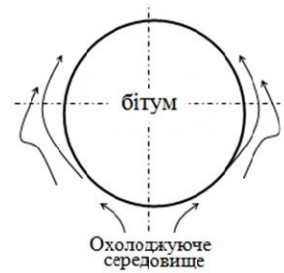


Рис. 1. Фізична модель теплообміну 1 за формулою (1)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{пш}}}{\lambda_{\text{пш}}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2)$$

Задаючи різний час в дорозі τ , можна отримати середню температуру бітуму в пункті призначення за формулою [2]

$$t_{\text{б}} = t_{\text{н}} + \frac{t_{\text{н}} - t_{\text{н}}}{e^{Fk\tau / Gc}} \quad (3)$$

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

Таблиця 1

Результати розрахунків температури матеріалу наприкінці транспортування

τ , год.		96	144	192	240
$t_{\text{н}}, \text{ }^\circ\text{C}$	-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 найскладнішим 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 під час руху, через що збільшуватиметься коефіцієнт тепловіддачі. З іншого боку, на стінці цистерни, внаслідок її охолодження, може утворюватися нерухомий прилиплий шар бітуму, який за низької теплопровідності бітуму буде зменшувати коефіцієнт теплопередачі.

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

Ця модель дещо ближче до реальної ситуації, проте не зовсім ясно, яким має бути визначальний геометричний розмір (діаметр цистерни). Враховуючи порівняно невелику

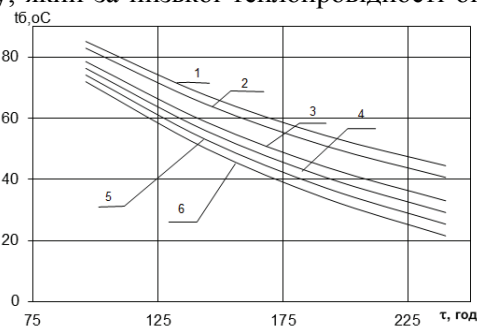


Рис. 2. Температура бітуму в залежності від температури зовнішнього повітря та часу транспортування:

- 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 — $t_{\text{н}} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$

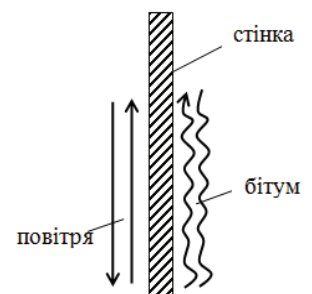


Рис. 3. Фізична модель теплообміну 2, для цистерни з плоскою стінкою

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 моделі, необхідно визначити число Релея за формулою [1]

$$Ra_{\delta} = Gr_{\delta} \cdot Pr_{\delta}. \quad (4)$$

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

При цьому зроблено такі припущення: за достатньо тривалого часу в дорозі температура стінки, температура бітуму і температура навколишнього середовища стануть рівними; у початковий момент температура бітуму рівна 140 °С.

Оскільки $109 < P_{r\delta} \cdot G_{r\delta} < 6 \cdot 10^{10}$, то режим руху — перехідний. У цьому режимі руху коефіцієнт тепловіддачі змінюється від максимального до мінімального. Автори розраховували і той і інший коефіцієнти тепловіддачі, а для подальшого розрахунку взяли середнє значення.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки цистерни у навколишньому середовищі визначено за формулою [2]

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

де ω — швидкість вітру, м/с.

Коефіцієнт теплопередачі в цьому випадку з урахуванням нерухомого шару бітуму біля стінки цистерни визначаємо за формулою [1]

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\delta}} + \frac{\delta_{пш}}{\lambda_{пш}} + \frac{1}{\alpha_{пов}}}. \quad (6)$$

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

Таблиця 2

Результати розрахунків температури матеріалу наприкінці транспортування

τ , год.		96	144	192	240
$t_{н}, ^\circ\text{C}$	-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

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

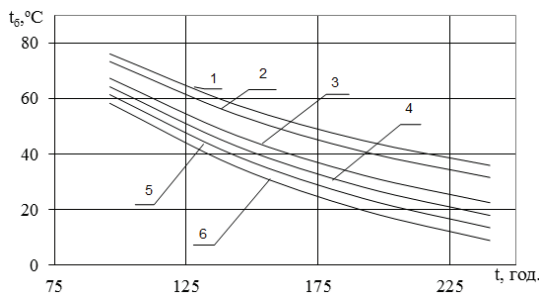


Рис. 4. Температура бітуму в цистерні в залежності від температури зовнішнього повітря та часу транспортування:

- 1 — $t_{н} = 15$ °С; 2 — $t_{н} = 10$ °С; 3 — $t_{н} = 0$ °С;
4 — $t_{н} = -5$ °С; 5 — $t_{н} = -10$ °С; 6 — $t_{н} = -15$ °С

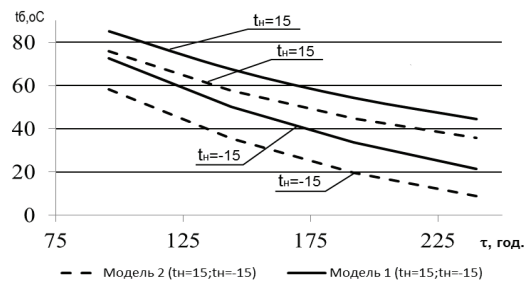


Рис. 5. Порівняння розрахунків температури бітумів в цистерні в залежності від температури зовнішнього повітря та часу транспортування

Висновки

1. Вперше зроблено аналіз рівнянь для розрахунку теплообміну між бітумом та навколишнім середовищем під час транспортування у залізничних цистернах.
2. На основі отриманих даних констатуємо, що температура бітуму, по ходу транспортування, неминуче падає за певною залежністю.
3. Аналізуючи різні фізичні моделі теплообміну і порівнюючи результати, можна зазначити, що результати розрахунків за різними моделями будуть відрізнятися на 15...30 %.
4. На розбіжність між даними, отриманими за різними моделями, припущення мають великий вплив.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Исаченко В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. — Москва : Энергия, 1975. — 423 с.
2. Титар С. С. Системи енергопостачання промислових підприємств / С. С. Титар. — Одеса : АТ БАХВА, 2002. — 356 с.
3. Гун Р. Б. Нефтяные битумы / Р. Б. Гун. — Москва : Химия, 1989. — 323 с.
4. Левенберг В. Д. Аккумуляирование тепла / В. Д. Левенберг, М. Р. Ткач, В. А. Гольстрем. — Киев : Техника, 1991. — 84 с.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 1.02.2013

Титар Сергій Семенович — канд. техн. наук, професор кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій;

Зайцев Дмитро Володимирович — магістр, e-mail: dimasyz@mail.ru.

Одеський національний політехнічний університет, Одеса

S. S. Tytar¹
D. V. Zaitsev¹

Transportation of refined viscous petroleum products

¹Odessa National Polytechnic University

The article presents a range of activities related to transportation of liquid and viscous products as an example of bitumen. The most difficult issue is to define the parameters of the bitumen, which is cooled during transportation. Two possible physical models of heat exchange with the environment of bitumen are considered in the paper. In the future it is necessary to conduct field observations cooling bitumen tanks moving on the complex unloading and storage of bitumen, as well as laboratory research.

Keywords: heat transfer, heat transfer coefficient, convection equation, heat transfer coefficient, temperature.

Tytar Serhii S. — Cand. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Thermal Power Stations and Energysaving Technologies;

Zaitsev Dmytro V. — M. S. of the Chair of Thermal Power Stations and Energysaving Technologies, e-mail: dimasyz@mail.ru

С. С. Титар¹
Д. В. Зайцев¹

Транспортировка вязких продуктов переработки нефти

¹Одесский национальный политехнический университет

Представлен комплекс мероприятий по транспортировке, выгрузке и хранению жидких, вязких продуктов на примере нефтяного битума. Наиболее сложным вопросом является определение параметров битума, который охлаждается при транспортировке. Были рассмотрены две возможные физические модели теплообмена битума с окружающей средой. В дальнейшем необходимо провести натурные наблюдения охлаждения битума при движении цистерн на комплексе выгрузки и хранения битума, а также лабораторные исследования.

Ключевые слова: теплообмен, коэффициент теплопередачи, конвекция, уравнение, Навье–Стокса, коэффициент теплоотдачи, температура.

Титар Сергей Семенович — канд. техн. наук, профессор кафедры тепловых электрических станций и энергосберегающих технологий.

Дмитрий Владимирович Зайцев — магистр, e-mail: dimasyz@mail.ru