

УДК 621.829

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМЕРЗАННЯ НАСИПНИХ ВАНТАЖІВ У НАПІВВАГОНАХ

Кандидати техн. наук Є.В. Романович, Г.М. Афанасов, магістр Нагієв Гіснат Іттіфаг огли

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЕРЗАЕМОСТИ НАСЫПНЫХ ГРУЗОВ В
ПОЛУВАГОНАХ**

Кандидаты техн. наук Е.В. Романович, Г.М.Афанасов, магистр Нагиев Гиснат Иттифаг оглы

STUDY OF BULK FREEZING IN GONDOLAS

E. Romanovich, G Afanasov, G Nagiev

Наведені в роботі дослідження дають змогу вирішувати багато питань, які пов'язані з організацією перевезень та розвантаження змерзлих насипних вантажів. Ці дослідження дають можливість встановлювати параметри змерзання вантажу, які необхідні для інженерних розрахунків при визначенні засобів профілактики, розігріву, дроблення змерзлих вантажів у залізничних вагонах при їх перевезенні в умовах України в зимовий період (в умовах низьких температур).

Ключові слова: насипний вантаж, напіввагон, змерзлий насипний вантаж, теплофізичні характеристики, примерзання, промерзання, змерзання.

Представленные в работе исследования позволяют решать многие вопросы, которые связаны с организацией перевозок и разгрузки смерзшихся насыпных грузов. Эти исследования дают возможность устанавливать параметры смерзания груза, которые необходимы для инженерных расчетов при определении средств профилактики, разогрева, дробления смерзшихся грузов в железнодорожных вагонах при их перевозке в условиях Украины в зимний период (в условиях низких температур).

Ключевые слова: насыпной груз, полувагон, смерзшийся насыпной груз, теплофизические характеристики, примерзание, промерзание, смерзание.

More than 50 % of goods transported by rail through Ukraine is a bulk cargo. All bulk cargo in the cold season coming on businesses, usually in the frozen state, which requires spending large amounts of energy and time to discharge.

Are given in the study could solve many issues related to transportation and unloading frozen bulk cargoes. These studies make it possible to set parameters freezing goods that are necessary for engineering

calculations in determining the means of prevention, heating, crushing frozen goods in wagons during their transportation conditions in Ukraine in winter (low temperature).

Keywords: *bulk cargo wagon, frozen bulk cargo, thermal characteristics, freezing of, freezing, freezing together.*

Вступ. Більше 50 % вантажів, що перевозяться залізницею по Україні є насипні вантажі. При плюсових температурах транспортування насипних вантажів не викликає особливих труднощів. У холодну пору року насипні вантажі, що надходять на підприємства, як правило, перебувають у змерзломому стані. В цьому випадку необхідне відновлення їх сипкості [1, 2, 5, 8-10]. Відновлення сипкості мерзлих насипних вантажів можливе шляхом розігріву, але цей спосіб потребує великої кількості енергії. Також після розігріву вантаж з кузова напіввагона треба негайно розвантажити для запобігання його зворотному примерзанню до кузова. Цей спосіб є ефективним для великих підприємств, які обладнані вагоноперекидачами, і тому процес розвантаження забирає лічені хвилини. Для підприємств, які не мають засобів швидкого розвантаження напіввагонів, доцільно використовувати механічні засоби відновлення сипкості, до яких належать, у першу чергу, різноманітні розпушувачі. Всі відомі пристрої для розпушування мерзлих насипних вантажів не є ефективними в умовах повного промерзання вантажу в кузові напіввагона.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Проблема транспортування насипних вантажів залізницею в умовах низьких температур є актуальною. Вона може бути вирішена такими способами [1, 2, 9]:

- підготовка вантажів у процесі збагачення, що запобігає їх змерзання;
- використання засобів профілактики від примерзання та змерзання;
- відновлення сипкості насипних вантажів, які надійшли під розвантаження;
- проведення організаційних заходів.

Вибір оптимального варіанта залежить від теплофізичних властивостей вантажів, виду рухомого кладу, обсягів перевезень та оснащення розвантажувальних фронтів у пунктах розвантаження. Ці фактори безпосередньо впливають на ефективність

перевезення та розвантаження насипних вантажів в умовах низьких температур.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню процесів перевезення насипних вантажів при низьких температурах присвячені роботи [1-6]. Встановлено, що процес промерзання насипних вантажів пов'язаний з переносом вологи і тепла (теплофізичними характеристиками). Теплофізичні характеристики насипних вантажів визначають інтенсивність переносу енергії та речовини, характер формування полів вологості і температури, це у свою чергу визначає параметри змерзання або розігріву мерзлих вантажів. Подальше вивчення теплофізичних властивостей насипних вантажів пов'язано з більш глибокими дослідженнями фізико-механічних та фізико-хімічних параметрів насипних вантажів з більшою їх номенклатурою.

Визначення мети та задачі дослідження. Дана робота присвячена дослідженню процесу змерзання насипних вантажів у кузовах напіввагонів в умовах України.

Основна частина досліджень. У процесі змерзання вантажу в напіввагоні взаємодіють три різні матеріали: насипний вантаж, напіввагон, навколишнє середовище. Теплообмін між цими матеріальними середовищами проходить при взаємодії сонячної радіації, вібрації, безперервних змін температури шляхом теплопровідності, конвекції та випромінювання.

В існуючих напіввагонах висота засипки вантажу h завжди менша за ширину вагона b , тобто $h < b$, а ширина вагона менша за його довжину l , тоді

$$h < b < l, \quad (1)$$

Вантаж у напіввагоні має форму паралелепіпеда, на поверхні якого діють рівні умови.

Для визначення меж розділу між талою і мерзлою зоною необхідно визначити форму талого ядра. Проведені дослідження геометричних форм талого ядра на великих і малих моделях [1, 2], а також у залізничних вагонах показали, що в поперечному перерізі

тале ядро має форму прямокутника з заокругленими кутами. На всіх стадіях промерзання контур ближче до прямокутника, ніж до еліпса. Характерні форми талого ядра наведені на рис. 1.

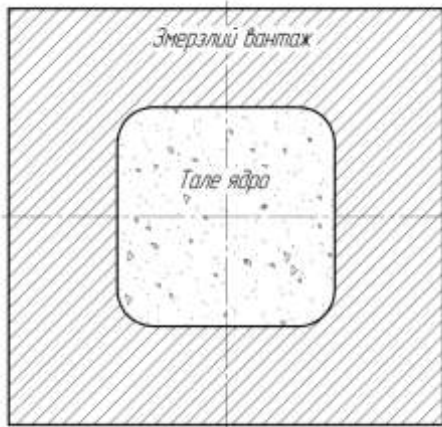


Рис. 1. Характерні форми талого ядра

Визначення геометричної форми талого ядра дали змогу зробити припущення, що процес змерзання паралелепіпеда можна зобразити як змерзання трьох простих геометричних фігур (рис. 2), які і складають його: необмеженої пластини, необмеженого стержня і куба. Таким чином, процес промерзання проходить вздовж малої осі. Тоді зі сторони будь-якої поверхні глибина промерзання не може бути більшою половини висоти засипки. При цьому центральна частина паралелепіпеда буде мати межу розділу із зовнішнім середовищем тільки через верхню і нижню поверхні, що є характерним для промерзання необмеженої пластини. Другою геометричною фігурою є квадратний стержень необмеженої довжини. Його промерзання діє з чотирьох сторін: з боків, зверху та знизу. Третя геометрична фігура є куб із стороною, яка дорівнює висоті засипки. Його промерзання відбувається із шести сторін.

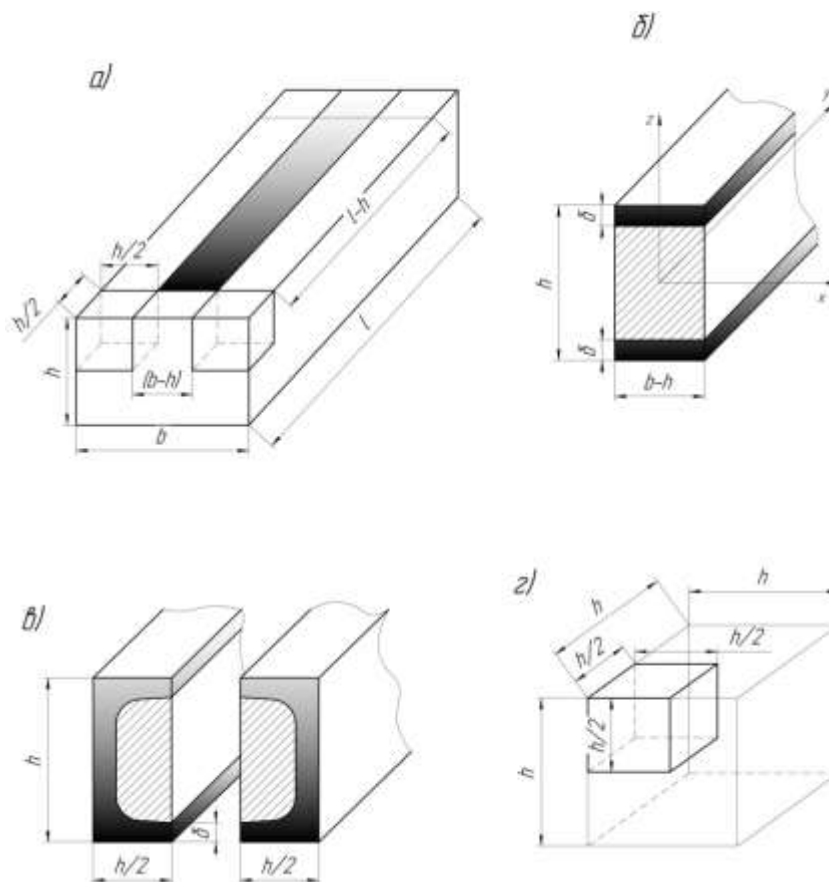


Рис. 2. Поділ паралелепіпеда, що змерзається, на три геометричні фігури

Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання

Перейдемо для визначення товщини змерзлого шару вантажу.

З урахуванням факторів, які діють на процеси змерзання, загальна кількість тепла Q ,

$$Q = Q_p + Q_{віб} - Q_{охол}^{6а2} - Q_{охол}^{6ан} - Q_{зм} - Q_{пром}, \quad (2)$$

де Q_p – тепло, що надходить до вантажу за рахунок сонячної радіації;

$Q_{віб}$ – тепло, що надходить до вантажу за рахунок вібрації вагона і вантажу;

$Q_{охол}^{6а2}$ – тепло, що віддається вантажем при охолодженні зовнішніх поверхонь вагона до температури зовнішнього повітря;

$Q_{охол}^{6ан}$ – охолодження шару талого вантажу перед фронтом промерзання;

$Q_{зм}$ – віддача тепла при промерзанні через змерзлий шар вантажу;

$Q_{пром}$ – віддача температури вантажем після охолодження його центру до температури змерзання.

Тепло, що надходить до вантажу за рахунок сонячної радіації, визначаємо за формулою

$$Q_p = q_p \cdot F \cdot \sum \tau, \quad (3)$$

де q_p – питома тепло, що надходить від сонячної радіації на 1 м² поверхні вантажу;

F – площа поверхні вантажу;

$\sum \tau$ – сумарна тривалість світлого часу за період від початку завантаження до початку розвантаження або відновлення сипкості.

При русі вагона посилюється конвективний теплообмін за рахунок великих швидкостей турбулентних потоків повітря. Вагон піддається дії вібрації, яка за рахунок коливань часток вантажу збільшує ентальпію. Збільшення ентальпії вантажу від вібрації за рахунок переходу енергії в теплову визначають за формулою

$$Q_{віб} = 0,15 \cdot \frac{\tau_{рух}}{\tau_{заг}} \cdot Q_{заг}, \quad (4)$$

отримана за рахунок сонячної радіації, вібрації вагона та віддана вантажем при охолодженні, змерзанні і подальшому промерзанні, може бути виражена формулою

де $\tau_{рух}$ – час транспортування вантажу;

$\tau_{заг}$ – загальний час від завантаження до розвантаження;

$Q_{заг}$ – загальна кількість тепла, що віддається вантажем за рахунок кондукції від початку завантаження до початку відновлення сипкості.

Згідно із дослідженнями [1, 2, 5] тепло, що отримується вантажем за рахунок сонячної радіації Q_p і вібрації $Q_{віб}$, складає у сумі 3-8% загальної віддачі тепла вантажем при змерзанні. Втрати тепла вантажем при охолодженні $Q_{охол}^{6а2}$ перед фронтом промерзання також складає 3-8% загальної віддачі тепла при змерзанні. Віддачею тепла на нагрів цільнометалевого вагона $Q_{охол}^{6ан}$ можна знехтувати. Тоді формулу (2) можна записати в такому вигляді:

$$Q = -(Q_{зм} - Q_{пром}). \quad (5)$$

Розрахунок змерзання вантажів можна обмежити змерзанням шару вантажу $Q_{зм}$, прийнявши талу зону безградієнтною, і подальшим охолодженням змерзлого шару після завершення фазових переходів у центрі вантажу. Однак необхідно враховувати коефіцієнт конвективного обміну ($K_g^t = 1,1$).

Промерзлий шар вантажу на останній стадії можна розглядати як однорідну стінку товщиною δ , яка має постійний коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{зм}$. На зовнішніх поверхнях стінок, днища вагона і поверхні вантажу постійна температура t_k .

Втрати тепла поверхнею вантажу через змерзлу стінку можна визначити за формулою

$$Q_{зм} = \left(\frac{\lambda_{зм}}{\delta} \right) \cdot (t_n - t_3) \cdot \tau_{зм}. \quad (6)$$

З іншого боку, кількість тепла $Q_{зм}$ можна визначити за рахунок теплообміну змерзлого шару вантажу:

$$Q_{зм} = \frac{\delta \cdot [C_T \cdot (t_n - t_3) + 2 \cdot C_\phi \cdot (W_c - W_\phi) + C_{зм} \cdot (t_n - t_3)]}{2}, \quad (7)$$

де C_T , $C_{зм}$ – відповідно об'ємна теплоємність талого та змерзлого вантажу;

t_n, t_3 – відповідно початкова температура і температура змерзання вантажу;

C_ϕ – теплота фазових переходів;

W_c – сумарна вологість вантажу;

W_ϕ – безпечна у співвідношенні змерзання вологість.

Тоді визначаємо розрахункову товщину змерзлого шару вантажу при кондуктивному теплообміні:

$$\delta_0 = K_6^t \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda_{зм} \cdot (t_n - t_3) \cdot \tau_{зм}}{C_T \cdot (t_n - t_3) + C_\phi \cdot (W_c - W_\phi) + C_{зм} \cdot (t_n - t_3)}}. \quad (8)$$

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Провівши аналіз робіт видатних вчених, визначено основні параметри змерзлих вантажів у напіввагонах, до яких, у першу чергу, належать теплофізичні характеристики.

Наведені в роботі результати дають можливість встановлювати параметри

змерзання вантажу, які необхідні для інженерних розрахунків при визначенні засобів профілактики, розігріву, дроблення змерзлих вантажів у залізничних вагонах при їх перевезенні в умовах України в зимовий період (в умовах низьких температур).

Список використаних джерел

1. Лепнев, М.И. Грузы и мороз [Текст] / М.И. Лепнев, Э.П. Северинова. – М.: Транспорт, 1988. – 143 с.
2. Лепнев, М.И. Разогрев смерзшихся грузов на установках с инфракрасными излучателями [Текст] / М. И. Лепнев, В. И. Потапов. – Л.: Стройиздат, 1979. - 95 с.
3. Иванов, Н.С. Тепломассоперенос в мерзлых горных породах [Текст] / Н.С. Иванов. – М.: Наука, 1969. – 240 с.
4. Иванов, Н.С. Моделирование тепловых процессов в горных породах [Текст] / Н.С. Иванов. – М.: Наука, 1972. – 138 с.
5. Иванов, Н.С. Теплофизические свойства насыпных грузов [Текст] / Н.С. Иванов, А.В. Степанов, П.И. Филиппов. – Новосибирск: Наука, 1974. – 55 с.
6. Иванов, Н.С. Теплофизические свойства мерзлых горных пород [Текст] / Н.С. Иванов, Р.И. Гаврильев. – М.: Наука, 1965. – 71с.
7. Бровка, Г.П. Расчет температурных полей с фазовыми переходами вода-лед в спектре температур [Текст] / Г.П. Бровка, С.Н. Иванов // ИФЖ. – 2004. – Т.77. – № 6.
8. Матасов, С.Ф. Борьба со смерзаемостью при перевозке по железным дорогам [Текст] / С.Ф. Матасов, Л.М. Куртунов, А.С. Хорунжий. – М.: Металлургия, 1974. – 248 с.
9. Кожевников, Н.Н. Прогнозирование процессов промерзания в сыпучих материалах при железнодорожных перевозках [Текст] / Н.Н. Кожевников, В.И. Попов. – Новосибирск: Наука, 1978. – 104 с.

Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання

10. Перевозка смерзаючихся грузів [Текст] / И.И. Батраков, Ю.А. Носков [и др.]; под ред. Ю.А. Носкова. – М.: Транспорт, 1988. –208 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор М.П. Ремарчук

Романович Євген Валентинович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел: 730-10-72.

Афанасов Георгій Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел: 730-10-72.

Нагієв Гісмаєт Іттіфаєв огли, магістр кафедри будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин Української державної академії залізничного транспорту. Тел: (063) 596-56-32.

Rovanovich Evgeniy candidate of technical sciences, associate professor, department of construction, travel and cargo handling machines, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-72.

E-mail: kafspprm2@rambler.ru.

Afanasov Georgiy candidate of technical sciences, associate professor, department of construction, travel and cargo handling machines, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-72.

E-mail: kafspprm2@rambler.ru.

Nagiev Gismat masrer's student, department of construction, travel and cargo handling machines, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel.: (063) 596-56-32.