

ТЕХНОЛОГІЇ ТА  
ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЦТВА

УДК 656.13:629.114

Ю. А. МОНАСТИРСЬКИЙ, А. С. ВІВЧАРИК

## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ КАР'ЄРНОГО АВТОСАМОСКИДУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ГАРЯЧИХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ ШЛАКІВ

Виконано теоретичні дослідження методом кінцевих елементів розподілу температурних полів в елементах конструкції кар'єрного автосамоскиду при перевезенні гарячих сталеплавильних шлаків при різних ступенях завантаження та різних порах року. Результати досліджень можуть бути використані при експлуатації спеціальної техніки, що перевозить гарячі сипучі вантажі. Розроблені заходи по зниженню негативного впливу високих температур на надійність роботи кар'єрних автосамоскидів.

**Ключові слова:** кар'єрний автосамоскид, метод кінцевих елементів, температурні поля, сталеплавильні шлаки.

Выполнены теоретические исследования методом конечных элементов распределения температурных полей в элементах конструкции карьерного автосамосвала при перевозке горячих сталеплавильных шлаков при разных степенях загрузки и разных временах года. Результаты исследований могут быть использованы при эксплуатации специальной техники, которая перевозит горячие сыпучие грузы. Разработаны мероприятия по снижению негативного влияния высоких температур на надежность работы карьерных автосамосвалов.

**Ключевые слова:** карьерный автосамосвал, метод конечных элементов, температурные поля, сталеплавильные шлаки.

The questions related to exploitation of open-pit dump tracks by the carrying capacity of 45 t on transportation of hot at a temperature to 800°C of steel-smelting slags on metallurgical productions are examined in the article.

The certainly-element model of open-pit dump tracks of BELAZ is first created by the carrying capacity of 45 t. Executed theoretical researches and distributions of the temperature fields are set in the elements of construction of open-pit dump tracks at transportation of hot steel-smelting slags at the different degrees of loading and different seasons.

As a result of undertaken theoretical studies it is set that change of temperature of slag from 400°C to 800°C and seasons (ambient temperatures are from 0°C to +20°C) influence on the temperature of platform, wheels, tires and other constituents of open-pit dump tracks by the carrying capacity of 45 t, but maximal values of temperature of heating of the marked components open-pit dump track does not exceed them workers of temperatures.

Comparison of falling of temperature shows on the ribs of inflexibility of platform, that at the different absolute values of falling of temperature, the relative to the temperature of slag falling of temperature for all calculations folds 33±0,5 %.

The results of researches can be used on during exploitation of the special technique that transports hot friable loads.

**Keywords:** open-pit dump track, finite element method, temperature fields, steel-smelting slags steelmaking slags/

**Вступ.** В Україні на всіх металургійних підприємствах працюють кар'єрні автосамоскиди на перевезенні сталеплавильних шлаків. Відносно мала кількість досить специфічних машин на окремому підприємстві обумовлює необхідність у додаткових витратах для підтримання працездатного стану машин силами автосамоскидів. Від ефективної роботи кар'єрних самоскидів залежать основні показники роботи переробного комплексу металургійного комбінату. Для прибирання шлаку з печей і транспортування його на переробку або у відвал на ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» використовують кар'єрні автосамоскиди БелАЗ вантажопідйомністю 45 т, температура шлаку становить близько 800°C. Кар'єрні самоскиди призначені для перевезення гірничої маси з температурою, що дорівнює температурі оточуючого середовища і недостатньо пристосовані для перевезень високотемпературних сипучих вантажів, тому врахування впливу температурних показників на зміни технічного стану самоскидів з наступними змінами у підходах до періодичності та обсягів робіт з технічного обслуговування, обґрунтування норм експлуатації мастильних матеріалів, на основі сучасних теоретичних досліджень, дозволить підвищити ефективності роботи кар'єрних самоскидів.

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** При перевезенні гарячих шлаків температурний режим залежить від багатьох факторів, головними з яких є температура самого вантажу, оточуючого середовища а також інтенсивність теплообміну

при русі машин. Крім зазначеного на температурний режим впливають довжина маршруту, стан дорожнього покриття, час руху автомобіля з вантажем. Слід зауважити, що ці фактори діють обопільно.

Проблема і дійсні значення температурних режимів роботи автосамоскидів в умовах перевезення гарячого шлаку майже не висвітленні, або обмежені малою кількістю статей. Серед них на особливу увагу заслуговує роботи Паранукяна В.С. та Помазкова М.В. щодо дослідження дійсних температурних режимів роботи автосамоскидів БелАЗ-7540 вантажопідйомністю 30 т в умовах доменного та сталеплавильного виробництва [1–5]. У порівнянні з умовами ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» в даному випадку машини мають в 1,5 рази меншу вантажопідйомність та температура шлаків коливається в межах 300-400°C, що практично в 2 рази менше. Питання експлуатації, технічного сервісу та надійності роботи кар'єрних автосамоскидів з гідромеханічною трансмісією в Україні практично не розглядаються, а особливо стосовно експлуатації в специфічних умовах металургійних підприємств [6–8]. Авторами раніше були виконані дослідження надійності роботи та експериментально за допомогою тепловізornoї зйомки визначені розподіли температурних полів в кар'єрних автосамоскидах вантажопідйомністю 45 т цеху технологічного транспорту ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» [9–11].

**Ціль та задачі дослідження.** Ціллю математичного моделювання являлося визначення розподілу

© Ю. А. Монастирський, А. С. Вівчарик. 2016

температурних полів по елементах конструкції кар'єрних автосамоскидів при різних температурах сталеплавильного шлаку, що перевозився, з наступним порівнянням з результатами тепловізornoї зйомки.

Першим етапом дослідження було створення геометричної моделі кар'єрного автосамоскида БЕ-ЛАЗ-7547 вантажопідйомністю 45 т (рис. 1). Модель складалася з 73 структурних елемента, 10 з яких обмежували поверхню кузова в якій знаходився гарячих шлак і до яких прикладалися початкові значення температури шлаку.

Геометрична модель була розбита у автоматизованому режимі 4202198 вузлами на 2593784 об'ємних елемента (рис.2). Мінімальний середній розмір елементів в місцях, в яких прогнозується максимальний градієнт температури склав 0,51412 см. Максимальні розміри елементів були в місцях стабільних полів температур і дорівнювалися 10,2820 см.

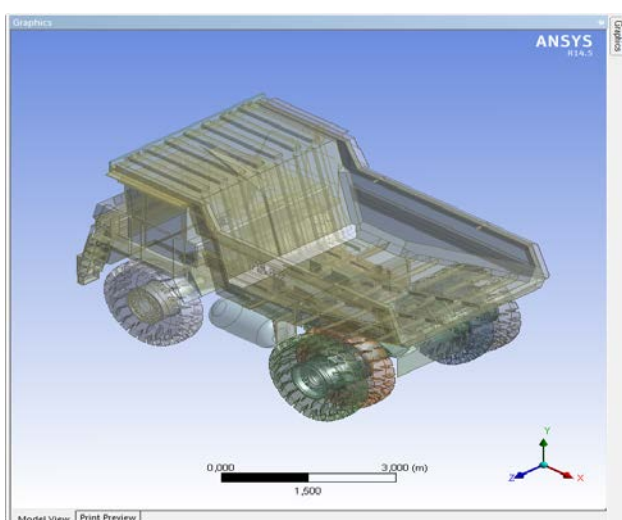


Рис. 1 – Геометрична модель кар'єрного автосамоскида БЕЛАЗ-7547 (роздруківка програми ANSYS)

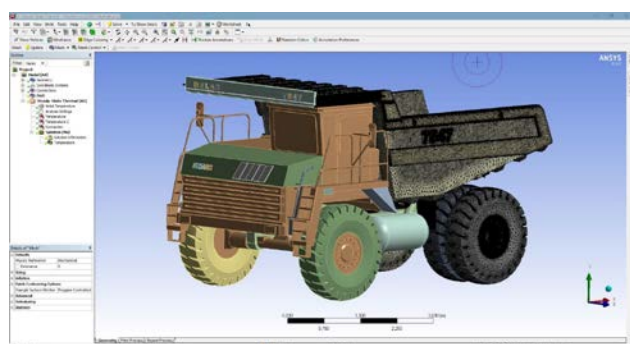


Рис. 2 – Етап розбивки геометричної моделі кар'єрного самоскиду на кінцеві елементи

Детально була опрацьована платформа (рис.3). Внутрішня поверхня платформи була розділена на 10 структурних елементів, у тому числі передній борт, два бокових борта, два елементи днища, козирок платформи та елементи з'єднання бортів з днищем. На ці елементи зверху прикладалась умова еквівалентна температурі гарячого шлаку від 400 до 800 С з кроком у 100<sup>0</sup>С. Температура зовнішнього повітря приймалася 0 (зимовий період) та +20 (літній період).

Матеріал кузова – структурована сталь, яка використовується для кузовів автосамоскидів з наступними властивостями: коефіцієнтом теплопровідності – 97206 Вт/(м·К), щільність – 7850 кг/м<sup>3</sup>, температурний коефіцієнт – 85 С<sup>-1</sup>, питома теплоємність – 462 Дж/(кг·К), коефіцієнт випромінювання – 85 Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>), тепловий опір - 1,7·10<sup>-7</sup> Ом·м.

Аналіз результатів розрахунків (рис. 3–8) показують, що найбільше падіння температури від гарячого шлаку на платформі спостерігається на козирку та бризковиках, до температури навколишнього середовища. Крайові (зліва та права) показники температурного поля на козирку відрізняються від центральних за рахунок особливості моделі (борт кузова та боковина козирка представлені однією розрахунковою частиною і тому мають температуру боковини, а не козирка. Ці значення, в наслідок великої дистанції від основних вузлів та агрегатів кар'єрного автосамоскиду, на температурні показники не впливають, ними можна нехтувати. Розподіл температури симетричний відносно продовжної осі автосамоскиду (рис. 7, б, в та 8, б, в).

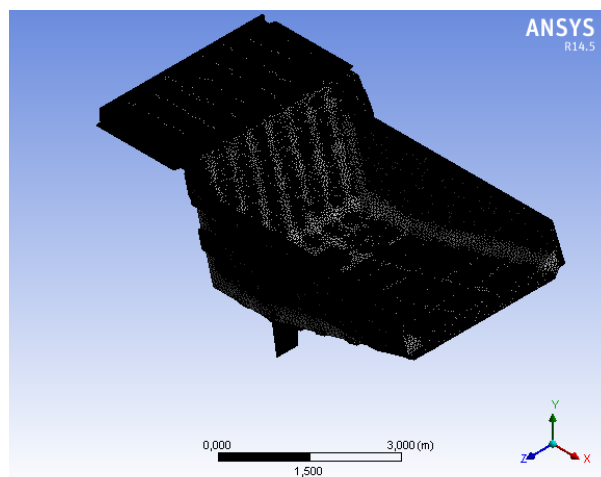


Рис. 3 – Розбивка платформи на кінцеві елементи, вид з боку

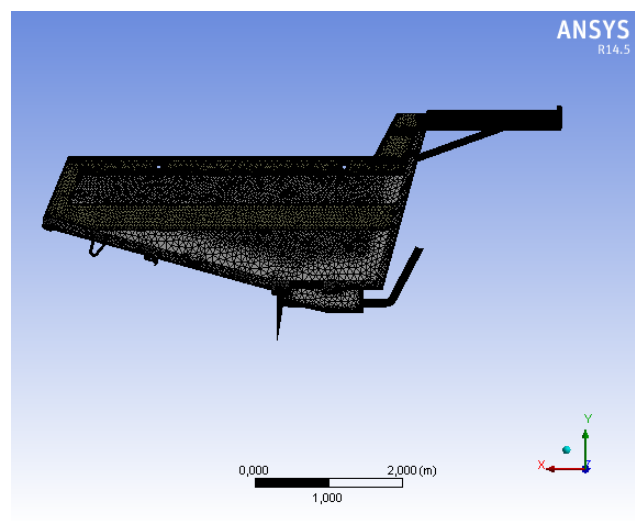


Рис. 4 – Розбивка платформи на кінцеві елементи, вид зверху

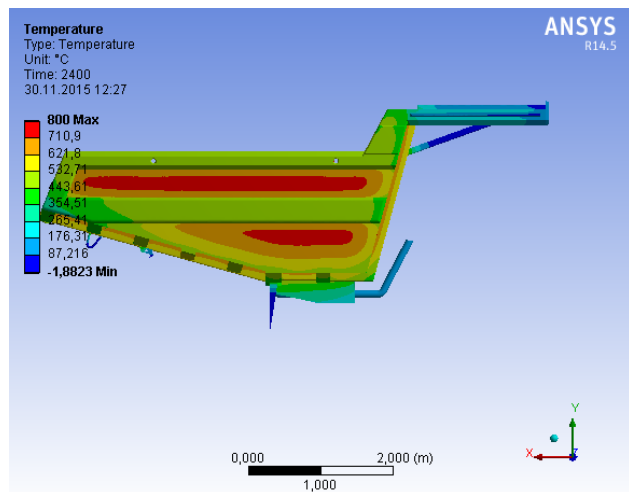
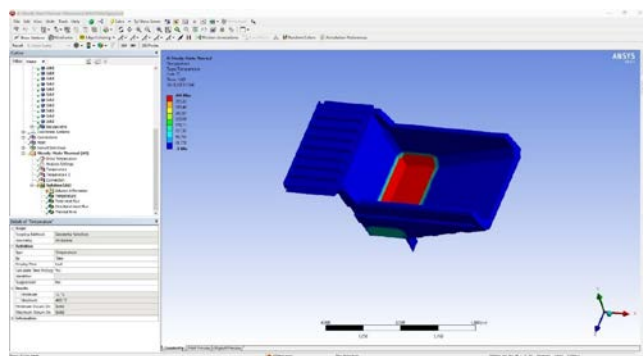
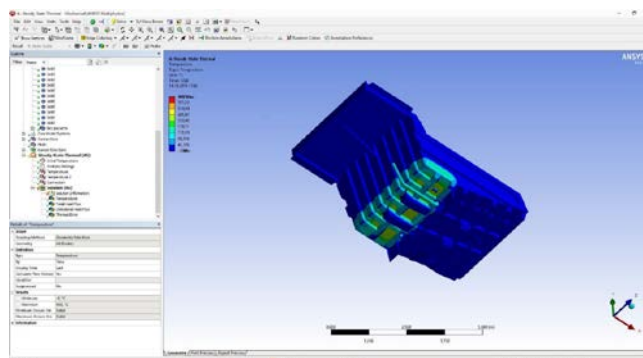


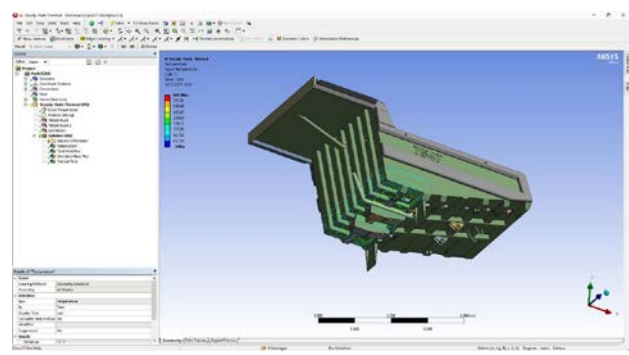
Рис. 5 – Вид з боку на розподіл температури в платформі.



а

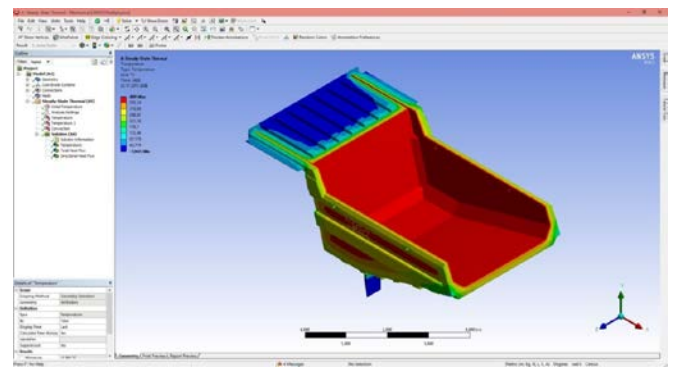


б

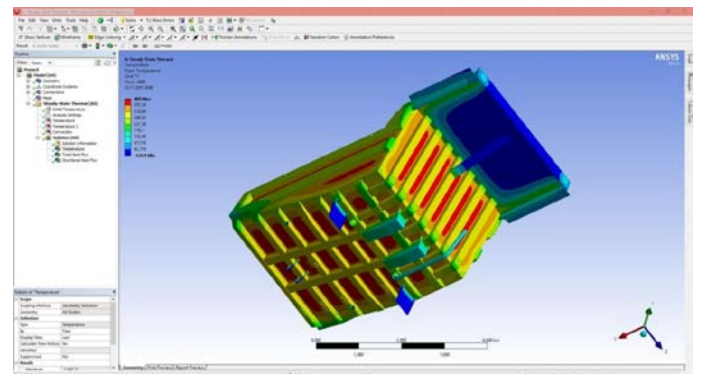


в

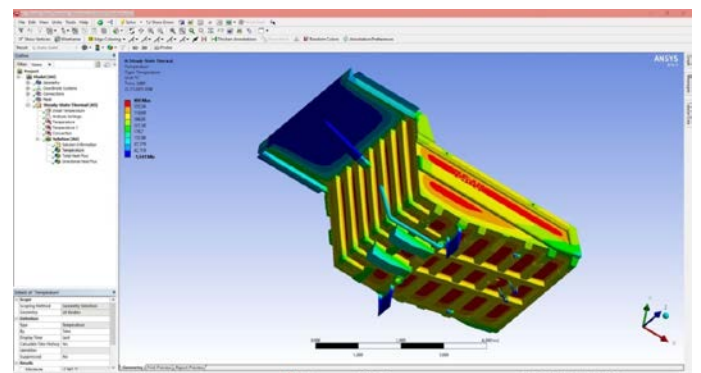
Рис. 6 – Розподіл температури в платформі при частковому завантаженні при температурі шлаку 400°C: а – вид зверху; б – вид знизу в – ізоляції на бортах та днищі



а



б



в

Рис. 7 – Розподіл температури в платформі при температурі шлаку 400°C: а – вид зверху; б – вид знизу з правого борту, в – вид знизу з лівого борту

Площини платформи зовні мають таку ж температуру, що й шлак і це цілком логічно. Порівняння падіння температури на ребрах жорсткості платформи показує, що при різних абсолютних значеннях падіння температури (рис. 9), відносно до температури шлаку падіння температури для всіх розрахунків складає  $33 \pm 0,5\%$ .

Аналіз розподілу температур в колесах та шинах машин показує, що максимальні значення не перевищують  $44^\circ\text{C}$  зимою та  $64^\circ\text{C}$  літом при температурі шлаку  $400^\circ\text{C}$ , що знаходиться в межах робочих температур, як коліс так і шин (рис. 10, 11).

Температурні поля в колесах та шинах машин при температурі шлаку  $800^\circ\text{C}$  не відрізняються від попередніх, максимальні значення не перевищують  $88^\circ\text{C}$  зимою та  $108^\circ\text{C}$  літом що також не виходить за межі робочих температур (рис. 12, 13).

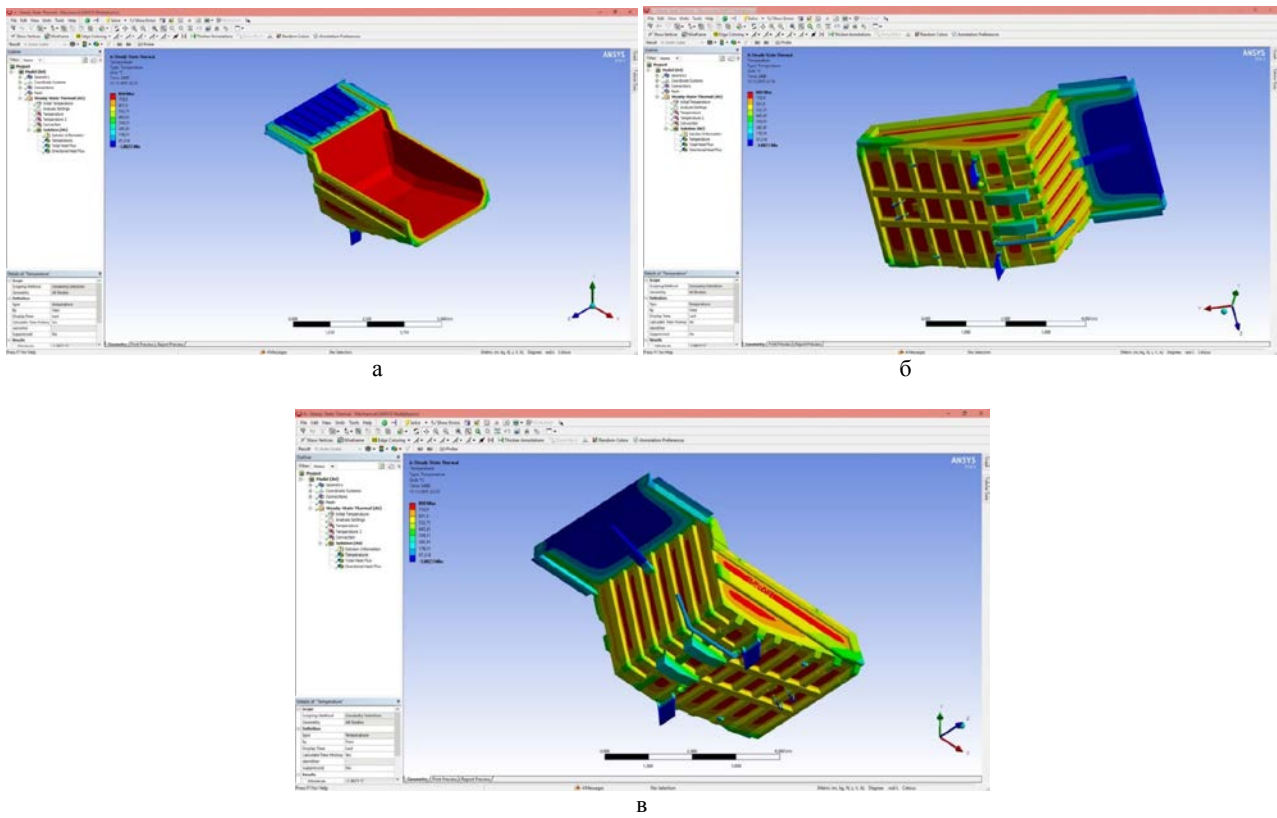


Рис. 8 – Розподіл температури в платформі при температурі шлаку 800°C: а – вид зверху; б – вид знизу з правого борту, в – вид знизу з лівого борту

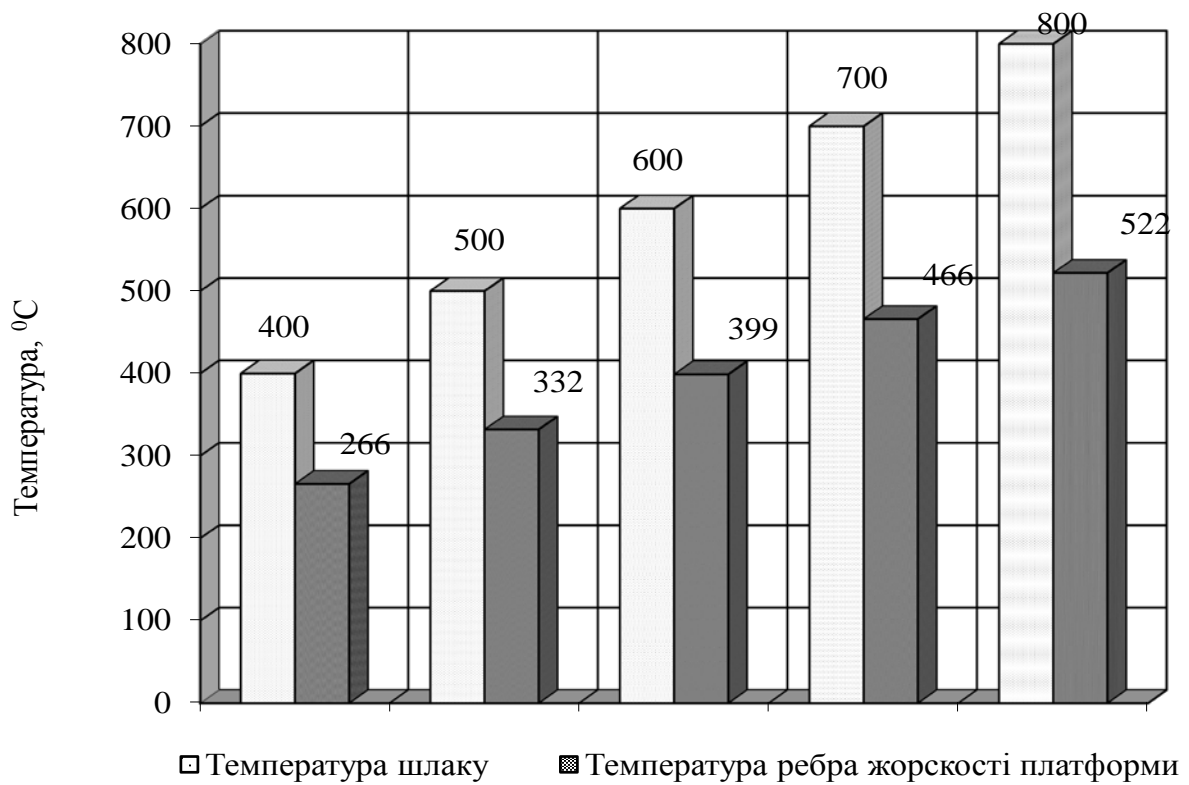


Рис. 9 – Температура шлаку та ребер жорсткості платформи



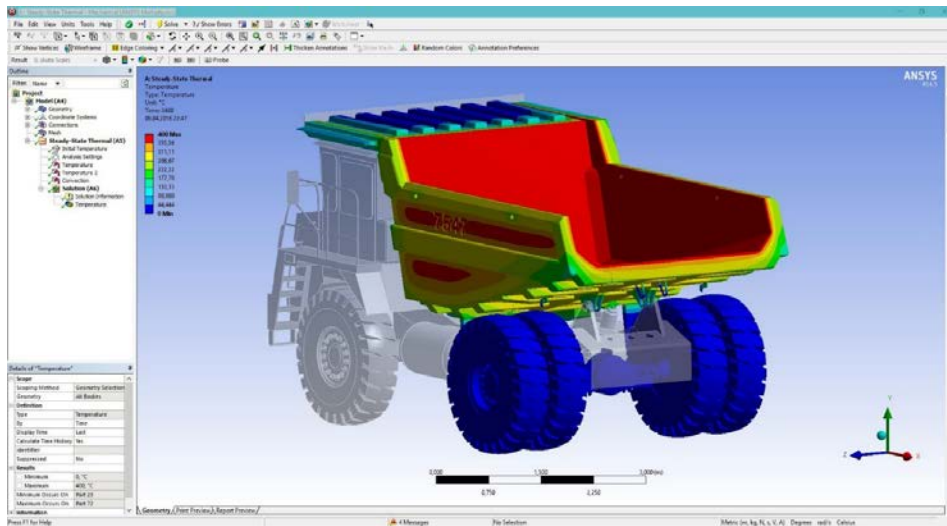


Рис. 10 – Розподіл температури в платформі, колесах і шинах зимою при температурі шлаку 400°С.

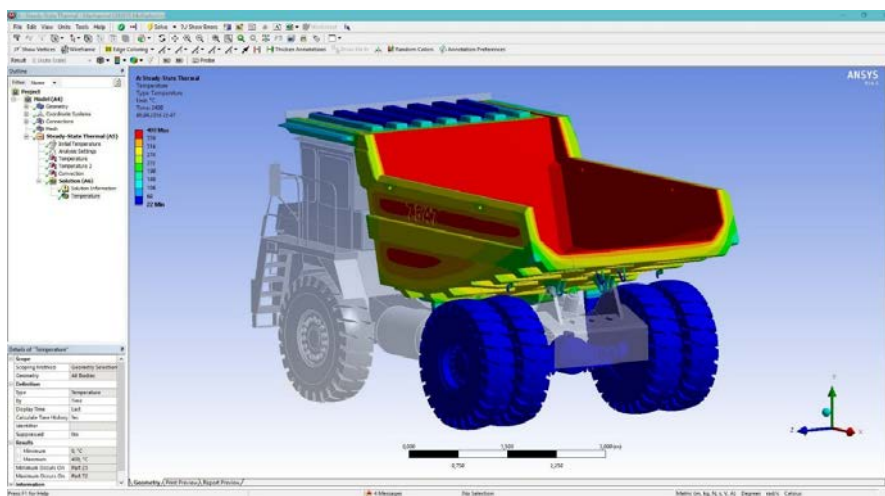


Рис. 11 – Розподіл температури в платформі, колесах і шинах літом при температурі шлаку 400°С.

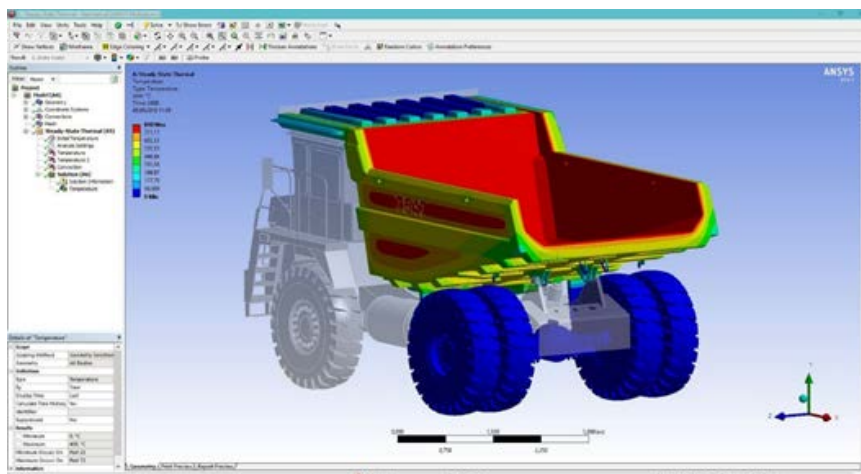


Рис. 12 – Розподіл температури в платформі, колесах і шинах зимою при температурі шлаку 800°С.

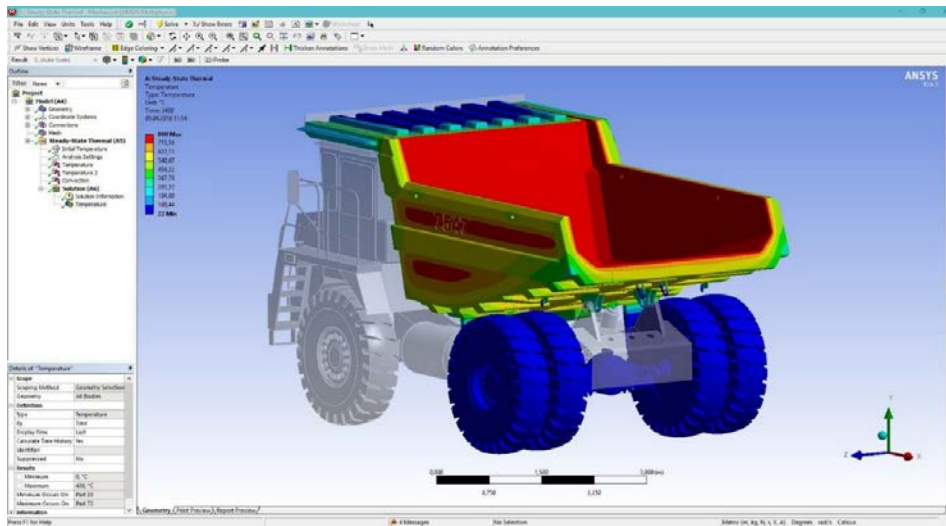


Рис. 13 – Розподіл температури в платформі, колесах і шинах літом при температурі шлаку  $800^{\circ}\text{C}$ .

**Висновки.** В результаті проведених теоретичних досліджень на кінцево-елементній моделі встановлено, що зміна температури шлаку з  $400^{\circ}\text{C}$  до  $800^{\circ}\text{C}$  та пори року (температури оточуючого середовища з  $0^{\circ}\text{C}$  до  $+20^{\circ}\text{C}$ ) впливають на температуру платформи, коліс, шин та інших складових кар’єрних автосамоскидів вантажопідйомністю 45 т, але максимальні значення температури нагріву означених компонентів кар’єрного автосамоскиду не перевищують їх робочих температур. Порівняння падіння температури на ребрах жорсткості платформи показує, що при різних абсолютних значеннях падіння температури, відносно до температури шлаку падіння температури для всіх розрахунків складає  $33\pm 0,5\%$ .

#### Список літератури:

1. Паранукян, В. Э. Повышение эффективности транспортного обслуживания сталеплавильного производства металлургических заводов [Текст] / В. Э. Паранукян, М. В. Помазков // Вестник ВНУ им. В. Даля. – 2004. – № 7 (77). – С. 36–38.
2. Паранукян, В. Э. Исследование температурного режима эксплуатации большегрузных автосамосвалов БелАЗ-7540 на технологических перевозках высокотемпературных сталеплавильных шлаков [Текст] / В. Э. Паранукян, М. В. Помазков, В. В. Ступак, Ю. В. Артамонова // Защита металлургических машин от поломок. – 2006. – № 9. – С. 110–117.
3. Паранукян, В. Э. Оценка влияния основных технических эксплуатационных показателей на срок службы большегрузных автосамосвалов БелАЗ-7540 [Текст] / В. Э. Паранукян, Ю. В. Артамонова // Вестник ПГТУ. – 2007. – № 17. – С. 189–192.
4. Помазков, М. В. Методические основы планирования технического обслуживания большегрузных автосамосвалов, эксплуатируемых в условиях металлургических предприятий [Текст] / М. В. Помазков // Защита металлургических машин от поломок. – 2008. – № 10. – С. 191–195.
5. Помазков, М. В. Совершенствование оперативного управления технологическими автоперевозками сталеплавильного производства [Текст] / М. В. Помазков // Вестник ПГТУ. – 2008. – № 18. – С. 237–240.
6. Монастирський, Ю. А. Визначення надійності роботи агрегатів гідромеханічних трансмісій кар’єрних самоскидів [Текст] / Ю. А. Монастирський, А. В. Гальченко // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – 2013. – № 142. – С. 57–60.
7. Монастирський, Ю. А. Статистичний аналіз причин виходів з ладу гідромеханічних трансмісій кар’єрних самоскидів вантажопідйомністю 30–45 т [Текст] / Ю. А. Монастирський, А. В. Гальченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – 2013. – № 30 (1003). – С. 95–99.

8. Монастирський, Ю. А. Аналіз парків кар’єрних самоскидів підприємств центральної частини України [Текст] / Ю. А. Монастирський, А. В. Гальченко, А. С. Вівчарик // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – 2014. – № 9 (1052). – С. 38–42.
9. Монастирський, Ю. А. Определение теплотерь груза и элементов кузова при перевозке горячих шлаков карьерными самосвалами БЕЛАЗ-7547 [Текст] / Ю. А. Монастирський, Е. Ю. Даниленко, А. С. Вівчарик // Качество минерального сырья. – 2014. – С. 519–523.
10. Монастирський, Ю. А. Дослідження температурних полів кар’єрних самоскидів при перевезенні гарячих сталеплавильних шлаків в зимовий період [Текст] / Ю. А. Монастирський, А. С. Вівчарик // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2015. – № 2 (219) – С. 122–125.
11. Монастирський, Ю. А. Надійність роботи агрегатів кар’єрних автосамоскидів вантажопідйомністю 45 т при перевезенні гарячих сталеплавильних шлаків [Текст] / Ю. А. Монастирський, І. В. Бондар, А. С. Вівчарик, А. В. Гальченко // Наукові нотатки. – 2016. – № 55. – С. 251–255.

#### Bibliography (transliterated):

1. Paranyakyan, V. E., Pomazkov, M. V. (2004). Povyishenie effektivnosti transportnogo obsluzhivaniya staleplavilnogo proizvodstva metallurgicheskikh zavodov. Visnik SNU im. V. Dallya, 7 (77), 36–38.
2. Paranyakyan, V. E., Pomazkov, M. V., Stupak, V. V., Artamonova, Yu. V. (2006). Issledovanie temperaturnogo rezhima ekspluatatsii bolshegruznykh avtosamosvalov BelAZ-7540 na tehnologicheskikh perevozkah vyysokotemperaturnykh staleplavilnykh shlakov. Zahist metallurgiyinykh mashin vid polomok, 9, 110–117.
3. Paranyakyan, V. E., Artamonova, Yu. V. (2007). Otsenka vliyaniya osnovnykh tehniko-ekspluatatsionnykh pokazateley na srok sluzhby bolshegruznykh avtosamosvalov BelAZ-7540. Visnik PDTU, 17, 189–192.
4. Pomazkov, M. V. (2008). Metodicheskie osnovy planirovaniya tehnicheskogo obsluzhivaniya bolshegruznykh avtosamosvalov, ekspluatiruemykh v usloviyah metallurgicheskikh predpriyatiy. Zahist metallurgiyinykh mashin vid polomok, 10, 191–195.
5. Pomazkov, M. V. (2008). Sovershenstvovanie operativnogo upravleniya tehnologicheskimi avtoperevozkami staleplavilnogo proizvodstva. Visnik PDTU, 18, 237–240.
6. Monastyrskiy, Yu. A., Halchenko, A. V. (2013). Vyznachennia nadiinosti roboty ahrehativ hidromekhanichnykh transmisiy kariernykh samskydiv. Visnyk SevNTU, 142, 57–60.
7. Monastyrskiy, Yu. A., Halchenko, A. V. (2013). Statystychniy analiz prychny vykhodiv z ladu hidromekhanichnykh transmisiy kariernykh samskydiv vantazhopyidomnosti 30–45 t. Visnyk NTU «KhPI». Seriya: Avtomobile- ta traktorobuduvannia, 30 (1003), 95–99.
8. Monastyrskiy, Yu. A., Halchenko, A. V., Vivcharyk, A. S. (2014). Analiz parkiv kariernykh samskydiv pidpriemstv tsentralnoi chastyny Ukrainy. Visnyk NTU «KhPI». Seriya:

- Avtomobile- ta traktorobuduvannya, 9 (1052), 38–42.
9. Monastyrskiy, Yu. A., Danilenko, E. Yu., Vivcharik, A. S. (2014). Opredelenie teplopoter gruzha i elementov kuzova pri perevozke goryachih shlakov karernymi samosvalami BELAZ-7547. Kachestvo mineralnogo syrya, 519–523.
10. Monastyrskiy, Yu. A., Vivcharyk, A. S. (2015). Doslidzhennia temperaturnykh poliv kariernykh samoskydiv pry perevezenni hariachykh staleplavlynykh shlakiv v zymoviy period. Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnogo universytetu im. V. Dalia, 2 (219), 122–125.
11. Monastyrskiy, Yu. A., Bondar, I. V., Vivcharyk, A. S., Halchenko, A. V. (2016). Nadiinist roboty ahrehativ kariernykh avtosamoskydiv vantazhopidomnistiu 45 t pry perevezenni hariachykh staleplavlynykh shlakiv. Naukovi notatky, 55, 251–255.

Надійшла (received) 18.02.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Теоретичні дослідження розподілу температурних полів кар'єрного автосамоскиду при перевезенні гарячих сталеплавильних шлаків/ Ю. А. Монастирський, А. С. Вівчарик// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.78–84. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.**

**Теоретические исследования распределения температурных полей карьерного автосамосвала при перевозке горячих сталеплавильных шлаков/ Ю. А. Монастырский, А. С. Вивчарык // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 78–84. Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.**

**Theoretical researches of distribution of the temperature fields of open-pit dump tracks at transportation of hot steel-smelting slags/ Yr. Monastirskiy, A. Vivcharyk //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179).– P.78 –84. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.**

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Монастирський Юрій Анатолійович** – доктор технічних наук, професор, Кафедра автомобільного транспорту, ДВНЗ «Криворізький національний університет», вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027, e-mail: [monastirskiy08@ukr.net](mailto:monastirskiy08@ukr.net).

**Вівчарик Андрій Степанович** – аспірант Кафедра автомобільного транспорту, ДВНЗ «Криворізький національний університет», вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027, e-mail: [a.vivcharyk@ukrburgas.com.ua](mailto:a.vivcharyk@ukrburgas.com.ua).

**Монастырский Юрий Анатольевич** – доктор технических наук, профессор, Кафедра автомобильного транспорта, ГВУЗ "Криворожский национальный университет", ул. Виталия Матусевича, 11, г. Кривой Рог, Украина, 50027, e-mail: [monastirskiy08@ukr.net](mailto:monastirskiy08@ukr.net).

**Вивчарык Андрей Степанович** – аспірант, Кафедра автомобильного транспорта, ГВУЗ "Криворожский национальный университет", ул. Виталия Матусевича, 11, г. Кривой Рог, Украина, 50027, e-mail: [a.vivcharyk@ukrburgas.com.ua](mailto:a.vivcharyk@ukrburgas.com.ua).

**Monastirskiy Yuriy** – Doctor of Science (PhD), Professor, Head of Automobile Facilities Department SIHE “Kryvyi Rih National University”, Vitalii Matusevych str. 11, Kryvyi Rih city, Ukraine, 50027, e-mail: [monastirskiy08@ukr.net](mailto:monastirskiy08@ukr.net).

**Vivcharyk Andrij** – graduate student of Automobile Facilities Department SIHE “Kryvyi Rih National University”, Vitalii Matusevych str. 11, Kryvyi Rih city, Ukraine, 50027, e-mail: [a.vivcharyk@ukrburgas.com.ua](mailto:a.vivcharyk@ukrburgas.com.ua).