

УДК 621.878.6

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНЬ У ЗАДНІЙ СТІНЦІ КОВША СКРЕПЕРА

**Л.А. Хмара, проф., д.т.н., М.А. Спільник, асист.,
Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія
будівництва та архітектури», м. Дніпропетровськ**

***Анотація.** Досліджено конструктивні рішення задніх стінок скрепера. Проведені дослідження виконано у CAD Solid Works Simulation напруженого стану задньої стінки та поляризаційно-оптичним методом при моделюванні процесу розвантаження ковша. Запропонована нова конструкція задньої стінки скрепера відрізняється більш рівномірним розподілом напружень, знижує загальне напруження на 30–40 % при розташуванні гідроциліндра у співвідношенні $H_4 / H_{3C} = 0,5$.*

***Ключові слова:** скрепер, задня стінка, розвантаження, дослідження, напружений стан.*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗАДНЕЙ СТЕНКЕ КОВША СКРЕПЕРА

**Л.А. Хмара, проф., д.т.н., М.А. Спильник, ассистент,
Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная
академия строительства и архитектуры», г. Днепропетровск**

***Аннотация.** Исследованы конструктивные решения задних стенок скрепера. Проведенные исследования выполнены в CAD Solid Works Simulation напряженного состояния задней стенки и поляризационно-оптическим методом при моделировании процесса разгрузки ковша. Предложенная новая конструкция задней стенки скрепера отличается более равномерным распределением напряжений, снижает общее напряжение на 30–40 % при расположении гидроцилиндра в соотношении $H_4 / H_{3C} = 0,5$.*

***Ключевые слова:** скрепер, задняя стенка, разгрузка, исследования, напряженное состояние.*

THE DETERMINATION OF REAR WALL STRESSES OF THE SCRAPER BOWL

**L. Khmara, Prof., Dr., Eng. Sc., M. Spilnik, Assistant,
Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipropetrovsk**

***Abstract.** The article is devoted to investigating the design concepts of the rear walls of the scraper. The research has been performed in CAD Solid Works Simulation of the stress state of the rear wall and using polarization-optical method for modelling the process of bowl unloading. The new suggested design of the rear wall of the scraper has more uniform stress distribution and it reduces the overall stress by 30-40% under the location of the hydraulic cylinder at a ratio of $H_4 / H_{3C} = 0,5$.*

***Key words:** scraper, rear wall, unloading, research, stress state.*

Вступ

Сучасні вимоги до металоконструкції будівельних і дорожніх машин повинні відповідати потребам міцності й економічності. Збільшення потужності, зміна форм робочих

органів для зменшення металоємності конструкції, заміна більш дешевими за вартістю матеріалами без втрат несучої властивості та інших фізико-механічних характеристик є особливо актуальними [1].

Аналіз публікацій

Самохідний скрепер із завантаженням за рахунок сили тяги і розвантаження примусовим способом є найбільш простою і надійною в роботі землерийно-транспортною машиною. Аналізуючи конструкційні особливості вдосконалення ковша скрепера, слід відзначити тенденцію, спрямовану на підвищення ефективності заповнення ковша [2–5]. При цьому не розглядається проблема з розвантаження ґрунту з ковша скрепера, що також вимагає додаткових енерговитрат. Підвищення ефективності процесу вивантаження можна досягти за рахунок вдосконалення форми елементів ковша, конструкції [6–9].

Мета і постановка задачі

Метою роботи є визначення напружень, які виникають на задніх стінках ковша скрепера у процесі розвантаження в умовах зміни висоти кріплення приводу гідроциліндра.

Задля досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити моделі та провести експериментальні дослідження з навантаження моделей задніх стінок ковша скрепера в умовах зміни висоти кріплення приводу гідроциліндра;
- визначити раціональні параметри задньої стінки ковша скрепера.

Дослідження конструктивних рішень задніх стінок скрепера

За основу взято фізичну модель самохідного скрепера ДЗ-357 [2]. Кріплення приводу задньої стінки ковша скрепера змінювалось за її висотою

$$\left(\frac{H_1}{H_{3c}} = 0,06; \frac{H_2}{H_{3c}} = 0,2; \frac{H_3}{H_{3c}} = 0,35; \right.$$

$\left. \frac{H_4}{H_{3c}} = 0,5 \right)$ (рис. 1), де H_1, H_2, H_3, H_4 – висота кріплення гідроциліндра до задньої стінки; H_{3c} – висота задньої стінки.

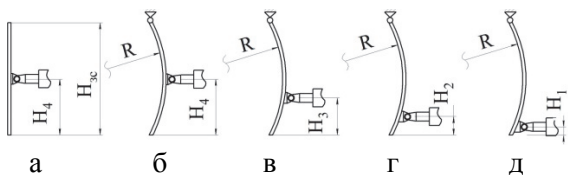


Рис. 1. Моделі задніх стінок ковша скрепера: а – традиційна задня стінка; б, в, г, д – задні стінки ковшів скрепера з напівкруглим днищем

Визначення раціональних геометричних форм металоконструкції робочого обладнання будівельних і дорожніх машин на основі показників міцності із застосуванням програмного забезпечення CAD Solid Works Simulation є на сьогодні актуальним. Для проведення досліджень на міцність у системі CAD Solid Works Simulation були задані початкові умови: розміри задніх стінок – $L = 90$ мм (довжина стінки); $B = 9$ мм (ширина стінки); для ковша скрепера із задньою маятниковою стінкою $L = 90$ мм; $B = 9$ мм; $R = 61$ мм (радіус задньої маятнкової стінки); матеріал – легована сталь.

У системі CAD Solid Works Simulation використовується метод кінцевих елементів – чисельний метод розв’язання задач прикладної фізики. На підставі проведеного аналізу отримано епюри напружень (рис. 2, а, в, д, ж, з) і епюри деформації досліджуваних елементів (рис. 2, б, г, е, и, л).

Отримані епюри показують, що найменше напруження виникає на задній стінці

$$\frac{H_4}{H_{3c}} = 0,5 \quad (192886 \text{ Н/м}^2) \quad (\text{рис. 2, в}). \text{ Однак,}$$

аналізуючи епюри деформації досліджуваних елементів (рис. 2, г, е, ж, и) задньої маятнкової стінки в умовах зміни місця прикладання зусиль гідроциліндра, встановлено, що найменші деформації виникають при розташуванні гідроциліндра $\frac{H_4}{H_{3c}} = 0,5$ (табл. 1).

Таблиця 1 Результати статистичного дослідження у CAD Solid Works Simulation

Тип задньої стінки	Напруження, Н/м ²		Деформація, мм	
	min	max	min	max
$T_{\text{рад}}$	24,4757	94758,4	0	4,00042
$\frac{H_1}{H_{3c}} = 0,06$	0	202462	0	5,14015
$\frac{H_2}{H_{3c}} = 0,2;$	0	111403	0	9,42388
$\frac{H_3}{H_{3c}} = 0,35$	0	133232	0	5,37323
$\frac{H_4}{H_{3c}} = 0,5$	0	192886	0	1,28361

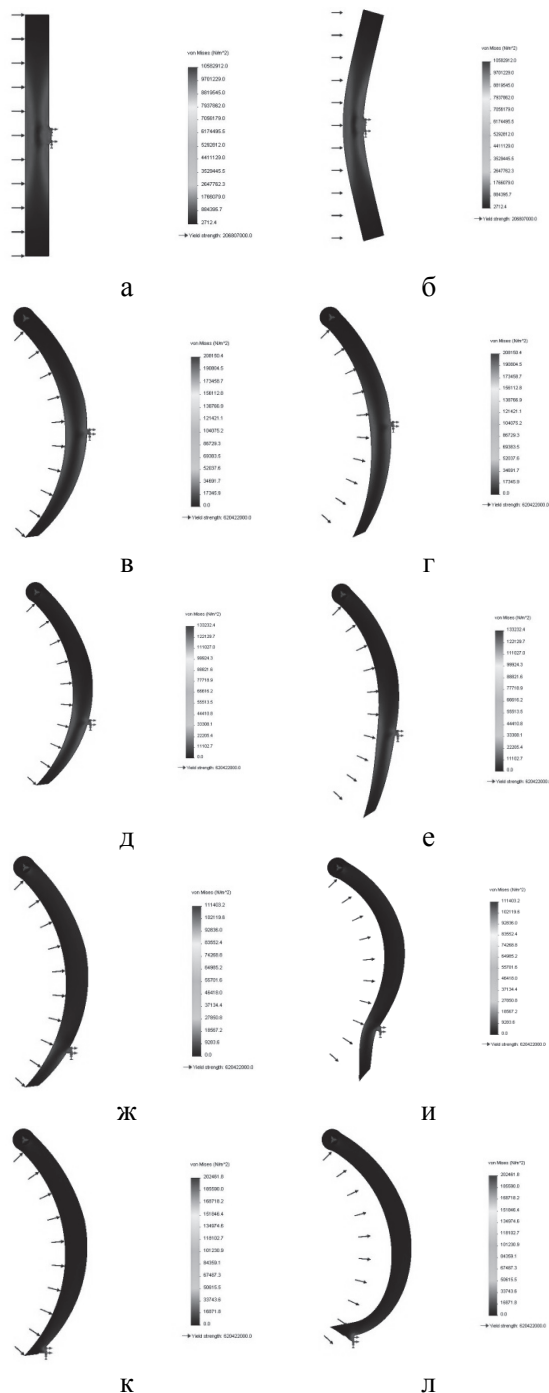


Рис. 2. Епюри напружень і деформацій, які виникають на задніх стінках ковша скрепера: а, в, д, ж, к – епюри напружень; б, г, е, и, л – деформації задніх стінок під дією навантаження; а, б – $\frac{H_4}{H_{3c}}$; в, г – $\frac{H_4}{H_{3c}}$; д, е – $\frac{H_3}{H_{3c}}$; ж, и – $\frac{H_2}{H_{3c}}$; к, л – $\frac{H_1}{H_{3c}}$

Оскільки розробники системи CAD Solid Works Simulation рекомендують перевірити результати розрахунків іншим методом, задні

стілки ковша скрепера перевірено поляризаційно-оптичним методом.

Експериментальні дослідження з навантаження моделей задніх стінок ковшів скреперів проводились з використанням методу наближеного фізичного моделювання робочих процесів землерийно-транспортних машин [3, 4]. Для моделювання робочих процесів землерийно-транспортних машин поляризаційно-оптичним методом використано прозорі низькомодульні оптично чутливі матеріали – епоксидні смоли, оргскло, ОНБ та ін.

У даній роботі використано як матеріал для моделі задніх стінок затверділу епоксидну смолу марки ЕД-16 [5]. Для моделювання ґрунтового середовища використано еластомірну композицію, яка складається з двох компонентів: олігомірного ізопренового каучуку з кінцевими гідрозидними групами марки СКІ-ГО з концентрацією гідрозидних груп 4,0 % і молекулярною масою 2000 [6].

Схему станда для дослідження напружень поляризаційно-оптичним методом наведено на рис. 3.

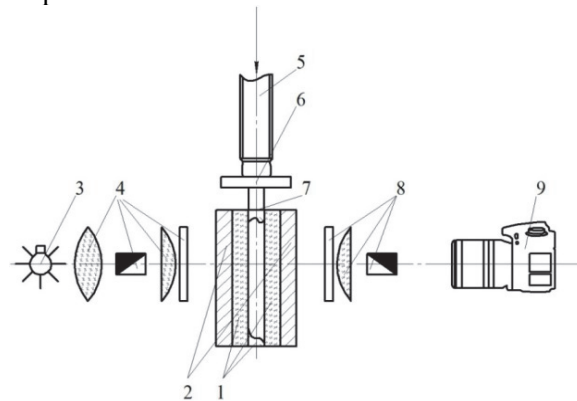


Рис. 3. Схема станда для дослідження напружень поляризаційно-оптичним методом: 1 – скляні блоки; 2 – контейнер; 3 – лампа; 4, 8 – вузли поляризатора й аналізатора ППУ-7; 5 – гвинт преса; 6 – прижимна частина преса; 7 – насадка інструмента; 9 – фотоапарат

Загальний вигляд станда з реєструючою відео- та фотоапаратурою високою роздільною здатністю показано на рис. 4.

Схеми, які показані на рис. 1, реалізовані за допомогою спеціального «прозорого» контейнера, наведеного на рис. 5.

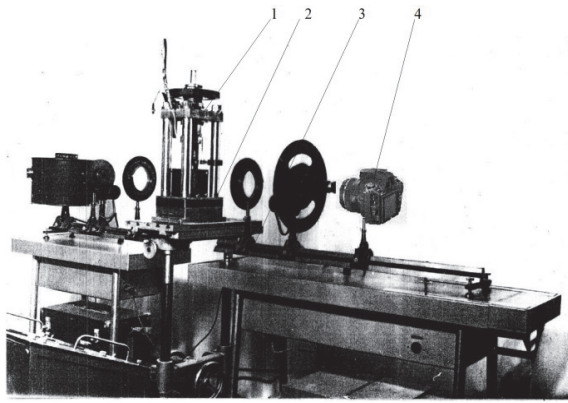


Рис. 4. Загальний вигляд станда для дослідження напружень поляризаційно-оптичним методом з реєструючою апаратурою: 1 – лабораторний прес; 2 – стіл ПС-1; 3 – поляризаційно-проекційна установка ППУ-7; 4 – кінокамера Nikon

Він складається з двох зовнішніх металевих рам, скріплених калібруючими болтами. Рами у зборі мають вигляд вікна для реєстрації картин інтерференції у прохідному світлі. Плоска модель ковша скрепера розташовувалася між скляними пластинами й обмежувалася вставкою з вікном для заповнення модельною ґрунтовою масою (гумою) і монтажу навантажувального пристрою. Шарнір задньої стінки і сама її модель також кріпилися між скляними пластинами (рис. 5).

Контейнер у зборі встановлювався на навантажувальний прес УП-8, а навантаження проводилося за допомогою реверсора, який входить до комплексу преса [7].

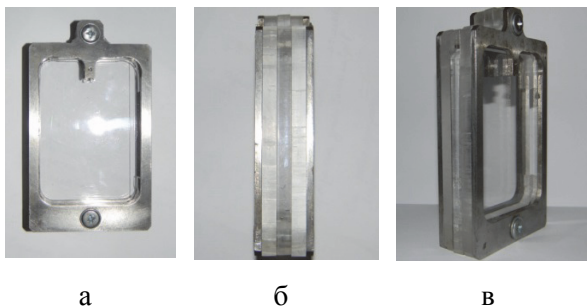


Рис. 5. «Прозорий» контейнер у зборі: а – вид спереду; б – вид збоку; в – аксонометрична проекція

Прес вводився в поле поляризаційно-проекційної установки ППУ-ДМетІ [8] за допомогою підйомного столу ПС-1 конструкції ЛДУ. Ізохром реєструвалися у монохроматичному світлі довжиною хвилі 546,1 мкм в темному полі (цілі порядки смуг) і білому полі (половинні порядки смуг). Отримана

інформація заносилась до комп'ютера і аналізувалась за максимально можливого збільшення на моніторі. Збільшене зображення дозволило провести ізолінії σ_n (ізохром) через точки найбільш розвиненого оптичного ефекту. Порядок ізохром встановлювали безпосереднім підрахунком зростаючого порядку ізохром за збільшення навантаження від нуля до величини, яка забезпечує максимально розвинений ефект інтерференції (перерозподіл інтенсивності світла в результаті накладення декількох світлових хвиль, супроводжується чергуванням у просторі максимумів і мінімумів інтенсивності). Розшифровка картин інтерференції проводилась за точками вільного контуру [9, 10].

Епюра напруженого стану традиційної конструкції задньої стінки (рис. 6, а) показує, що з боку дії навантаження від гідроциліндра задньої стінки отримує стиснення. Максимальні напруження стиснення спостерігаються поблизу центру прикладання навантаження.

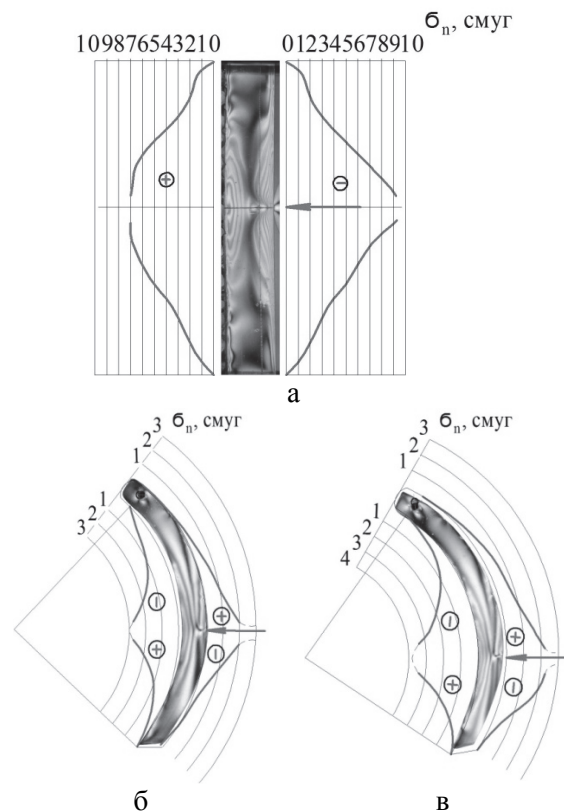


Рис. 6. Ізохром (смуги) і епюри напружень у моделях задніх стінок скрепера: а – традиційна задня стінка; б, в, г, д – задні стінки ковшів скреперів з напівкруглим днищем (початок)

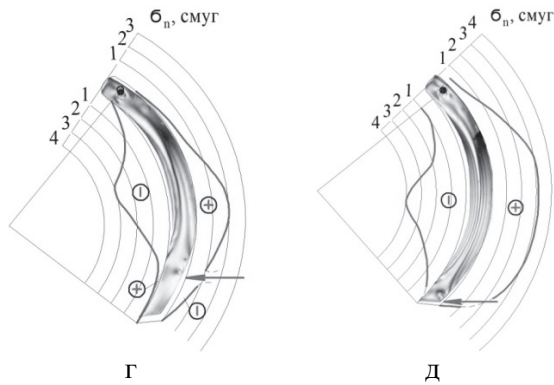


Рис. 6. Ізохромні (смуги) і епюри напружень у моделях задніх стінок скрепера: а – традиційна задня стінка; б, в, г, д – задні стінки ковшів скреперів з напівкруглим днищем (закінчення)

Сторона, яка сприймає тиск ґрунту, схильна до розтягування. Максимум знаходиться в центрі, проте величина менше в порівнянні зі стискаючими. Стискаючі досягають 10-го порядку, а розтягуючі – тільки 7-го. Такий невірноважений стан пояснюється деякою

компенсацією розтягуючих напружень за рахунок тиску ґрунту на задню стінку.

Фотограми процесу напружень на задніх стінках ковшів скреперів показані на рис. 7. Епюри напруженого стану радіусного рішення задньої стінки в умовах зміни місця прикладання зусиль гідроциліндра (рис. 6, б, в, г, д) показують відмінну картину. Стискаючі та розтягуючі напруження діють як з тильного боку стінки (з боку гідроциліндра), так і з фронтального, але їх величина є значно меншою, вони не перевищують 4-ї смуги.

Це вигідно відрізняє нову конструкцію від традиційного рішення. Слід відзначити також, що максимуми напружень стиснення і розтягування зростають зі зниженням точки прикладання зусилля гідроциліндра відносно висоти задньої стінки. Отже, найменші напруження виникають у стінці при розташуванні гідроциліндра у співвідношенні $\frac{H_4}{H_{3c}} = 0,5$ (рис. 6, б).

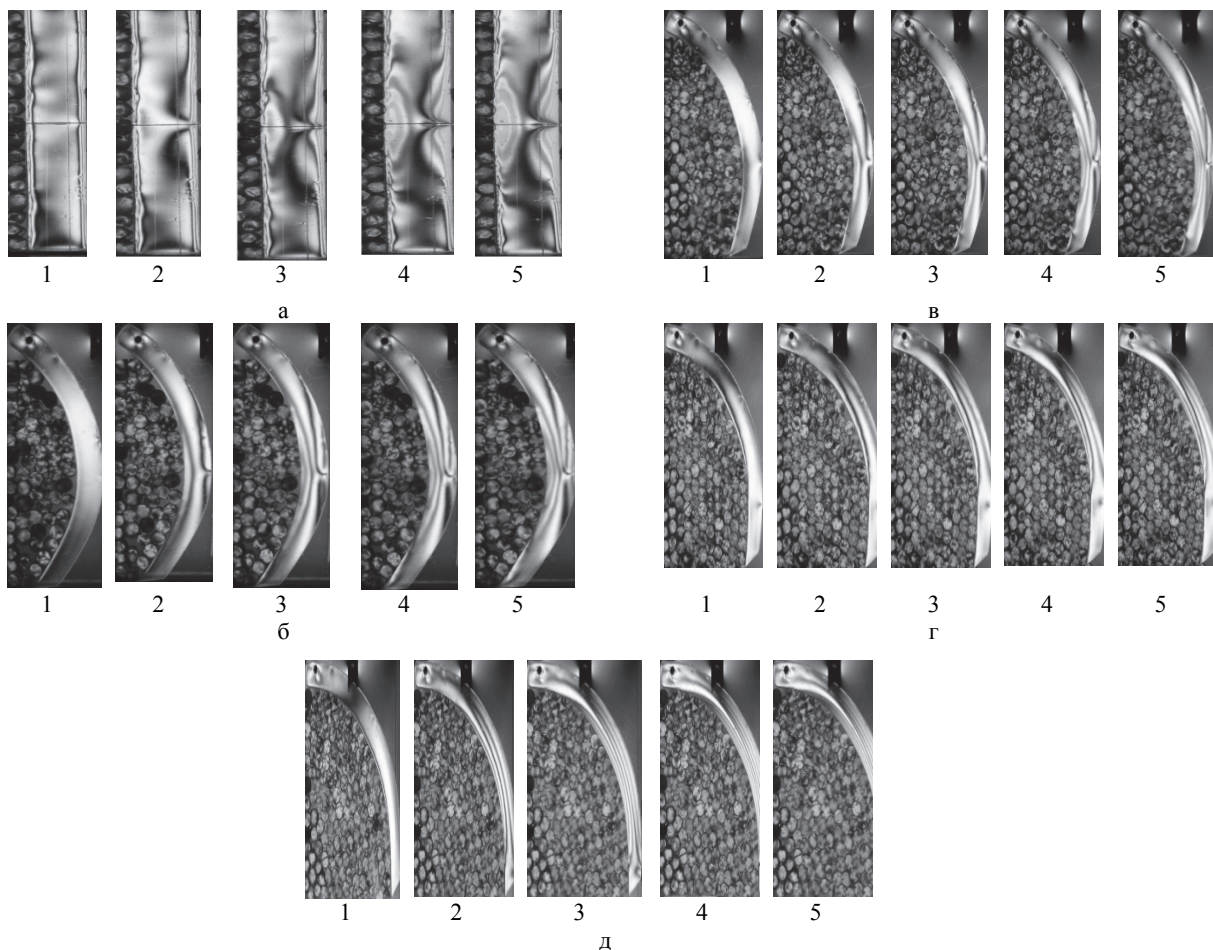


Рис. 7. Фотограми процесу виникнення напружень від навантаження на задніх стінках ковшів скреперів: а – традиційна задня стінка; б, в, г, д – задні стінки ковшів скреперів з напівкруглим днищем; 1–5 – фотограми напруження задніх стінок ковшів скреперів

Висновки

Аналіз епюр напружень у CAD Solid Works Simulation і поляризаційно-оптичним методом показав, що традиційна конструкція задньої стінки скрепера вимагає удосконалення, з точки зору оптимальної конфігурації і міцності.

Запропонована нова конструкція задньої стінки скрепера відрізняється більш рівномірним розподілом напружень, знижує загальне напруження на 30–40 % при розташуванні

гідроциліндра у співвідношенні $\frac{H_4}{H_{3c}} = 0,5$.

Література

1. Машины для земляных работ: навальный посібник / Л.А. Хмара, С.В. Кравець, В.В. Нічке та ін.; за заг. ред. проф. Хмари Л.А. та проф. Кравця С.В. – Рівне – Дніпропетровськ–Харків, 2010. – 558 с.
2. Самоходные пневмоколесные скреперы и землевозы / Д.И. Плешков, С.Ф. Маршак, Э.Г. Ронинсон и др. – М.: Машиностроение, 1971. – 268 с.
3. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.И. Баловнев. – М.: Машиностроение, 1994. – 432 с.
4. Баловнев В.И. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве / В.И. Баловнев, Л.А. Хмара. – М.: Транспорт, 1983. – 184 с.
5. Поляризационно-оптический метод исследования напряжений / Б.Б. Портнов, Н.В. Ткаченко // Оптически активный материал на основе эпоксидной смолы ЭД-6, отверждаемый метилтетрагидрофталевым ангидридом: тр. 5 Всесоюзной конференции. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1966. – С. 134–138.
6. Энциклопедия полимеров / глав. ред. В.А. Кабанов. – М.: Сов. энци. – 1977. – Т. 3. – С. 313–325.
7. А.с. 844999 СССР, МКИ G01B 11/18. Поляризационно-оптическое устройство для определения напряжений / Г.Г. Шломчак, В.П. Полухин (СССР). №2808301/25-28; заявлено 06.08.79; опубл. 07.07.81, Бюл. №25. – 2 с.
8. А.с. 844999 СССР, МКИ G01B 11/18. Поляризационно-оптическое устройство для определения напряжений / Г.Г. Шломчак, В.П. Полухин (СССР). №2808301/25-28; заявлено 06.08.79; опубл. 07.07.81, Бюл. №25. – 2 с.
9. Реокинетические исследования синтеза и свойства эластомеров изолигодиендигидридазидов и имидов ненасыщенных дикарбоновых кислот / Е.А. Дзюра, Л.М. Волченко, А.Д. Лейкин и др. // ВМСА. – 1987. – Т. 29, №6. – С. 1219–1223.
10. Шломчак Г.Г. Основы научных исследований. Теория эксперименту в обробці металів тиском: навч. посібник / Г.Г. Шломчак. – Дніпропетровськ: Пороги, 2005. – 160 с.

Рецензент: Є.С. Венцель, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 7 липня 2014 р.