

60. Hayaloglu, P. (2015). The impact of developments in the logistics sector on economic growth: the case of OECD countries. *International journal of economics and financial issues*, Vol. 5, 2, P. 523-530 [in English].
61. Taniguchi, E., Thompson, R.G. & Yamada, T. (2016). New opportunities and challenges for city logistics. *Transportation research procedia*, 12, 112-125 [in English].
62. Trade logistics the global economy. *wb-lpi-media.s3.amazonaws.com*. Retrieved from [https://wb-lpi-media.s3.amazonaws.com/LPI\\_Report\\_2016.pdf](https://wb-lpi-media.s3.amazonaws.com/LPI_Report_2016.pdf) [in English].

**Artem Holovaty**, post-graduate

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Improving the Efficiency of the Machine-building Enterprise on the Basis of Logistics-Oriented**

On the basis of a typical machine-building enterprise the problem of increasing the efficiency of its operation using a logistics-oriented approach is considered.

The basic processes of production activity within the limits of the concrete machine-building enterprise on which production, production-sales or supplier-production-sales systems are allocated are defined. The issues of creating a logistics system at the enterprise and its logistics management in the logistics environment, taking into account the factors of macro-, meso- and micro-environment. Based on the logistics-oriented approach, the structure of the enterprise is built, its logistics mission at each stage of production and economic activity is determined. Within the cybernetic approach, the link of the logistics system is presented as a certain element of the transformation of material and information flows.

The vector equation of this transformation taking into account the set of characteristic vectors is offered. It is shown that the set of logistics actions is implemented in the supply, production or sales areas. Criteria for effective logistics management are defined. Their implementation is given on the example of the minimum total logistics costs and the maximum profit from all logistics activities. The formalization of the task of effective logistics management at a machine-building enterprise to minimize overall logistics costs is considered.

**machine-building enterprise, logistic action, logistic management system, production, criterion of efficiency of functioning, logistically-directed approach**

*Одержано (Received) 20.01.2022*

*Прорецензовано (Reviewed) 03.02.2022*

*Прийнято до друку (Approved) 31.03.2022*

**УДК 621.863.2**

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).1.86-97](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).1.86-97)

**Г. Д. Портнов**, доц., канд. техн. наук, **А.А. Тихий**, доц., канд. техн. наук,

**В.В. Дарієнко**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Пукалов**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*  
*e-mail: budkom999@gmail.com*

## **Підвищення ефективності конструкції кованого дворогого гака**

Запропоноване вдосконалення вантажних дворогих гаків ГОСТ 6628-73, яке теоретично дозволяє зменшити масу на 7% при збереженні експлуатаційних властивостей. Проведено аналіз впливу форми кованого дворогого гака на його ефективність. Побудована модель для вивчення напружено – деформованого стану кранового гака в умовах максимального навантаження, придатна до утворення конфігурацій номерів гака. Визначені найменш навантажені елементи моделі за допомогою візуалізації розподілених напружень.

**вантажний гак, конфігурація моделі, твердотіла модель, напружено – деформований стан**

**Постановка проблеми.** Гаки, однорогі та дворогі - найбільш поширені вантажозахоплюючі пристрої у кранах загального призначення. Дворогі гаки ГОСТ 6628-73 за формою і експлуатаційними показниками (співвідношення вантажопідйомності і власної ваги), відрізняються від кранових гаків, які виконані за стандартами DIN [1 - 5]. Вплив форми кованого однорогого гака на його ефективність представлено в роботі [10]. Теоретичні розрахунки гаків, як криволінійного бруса не дають можливості отримання однозначних рішень щодо форми робочих поверхонь. Сучасні програми моделювання твердотільних об'єктів дозволяють провести аналіз конструкцій, виконаних за схемою криволінійного бруса з точністю більшою, ніж та, що дозволена теоретичним розрахунком [14, 15]. Це дає можливість суттєво поліпшити ефективність використання матеріалу гака шляхом виключення із конструкції малонавантажених ділянок.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Актуальність проблеми підвищення ефективності конструкції кованого дворогого гака обґрунтована в роботах [8, 10].

Дворогі гаки ГОСТ 6628-73 за формою і експлуатаційними показниками (співвідношення вантажопідйомності і власної ваги), відрізняються від кранових гаків, які виконані за стандартами DIN [1 - 5] (рис. 1).

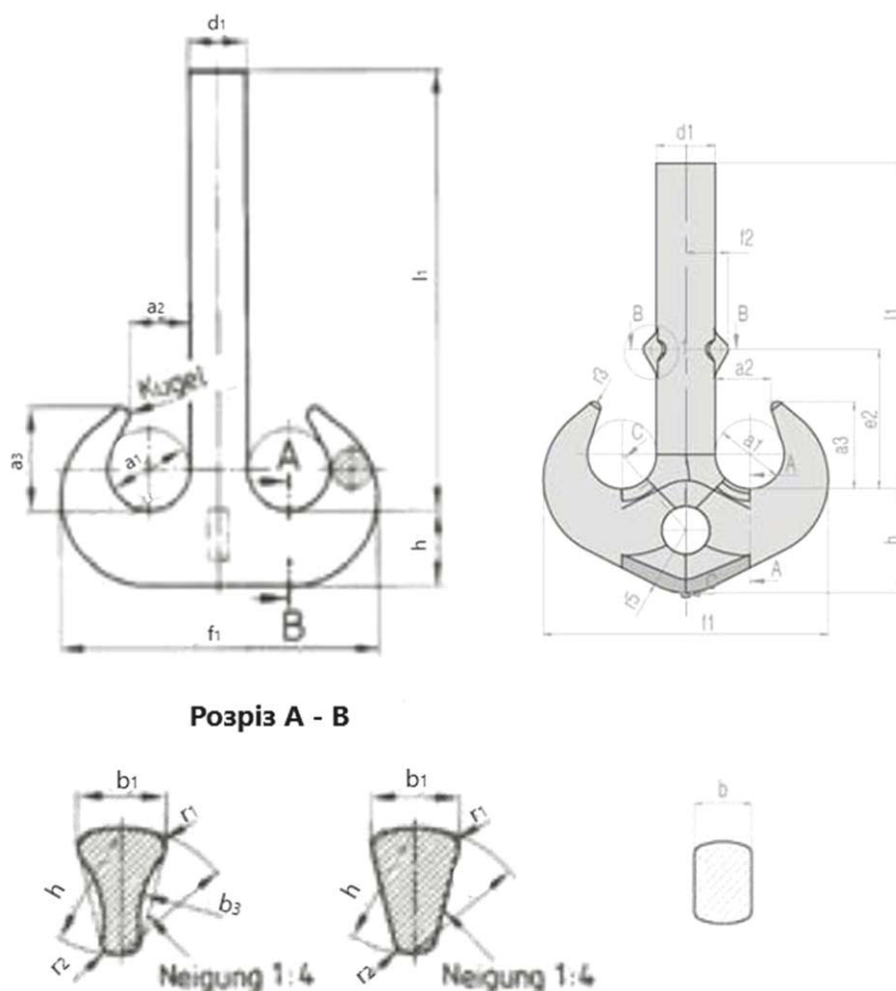


Рисунок 1 – Конструкція і розміри гаків типа RS, RSN, RF, RFN DIN 15402

Джерело: [4]

Порівняння світових стандартів дворогих гаків [2, 4, 5] показує суттєву відмінність ефективності витрати матеріалу при однакових класах і групах класифікації.

У дослідженні [6, 7, 9] обґрунтована можливість вдосконалення конструкції однорогого кранового гака за рахунок зміни форми перерізу окремих частин. Представлена методика дослідження була використана при інженерному аналізі дворогого гака.

**Постановка завдання.** Проведення аналізу дворогих кованих кранових гаків ГОСТ 6628-73 [2] з метою підвищення ефективності їх конструкції.

#### Виклад основного матеріалу.

Для вивчення напружено – деформованого стану кранового гака в умовах максимального навантаження в програмі SolidWorks побудована модель, придатна до утворення конфігурацій номерів гака за ГОСТ 6628-73 (рис. 2).

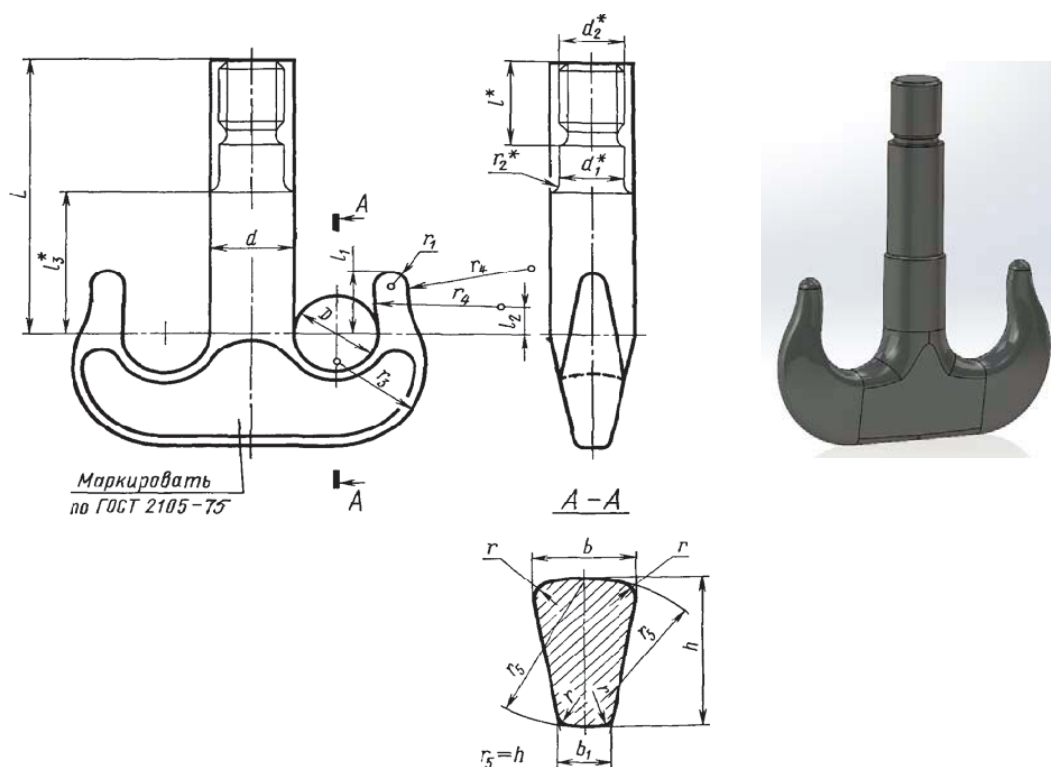


Рисунок 2 – Конструкція і розміри моделі заготовки гака ГОСТ 6628-73

Джерело: [2]

Усі конфігурації моделі геометрично подібні (рис. 3).

Відповідно до теорії геометричної подібності співвідношення об'єму (маси  $M$ ) моделі до його характерного розміру  $D$ :

$$M \sim D^3, \quad (1)$$

де  $D$  – характерний розмір (рис. 1);

$M$  – маса гака.

Ступенева залежність лінії тренду відповідає співвідношенню (1):  $y = 5E-05X^{2,8848}$  з великим ступенем достовірності  $R^2 = 0,9962$ .

Висновки щодо однієї моделі параметричного ряду конфігурацій можуть бути розповсюджені на будь яку модель цього ряду.

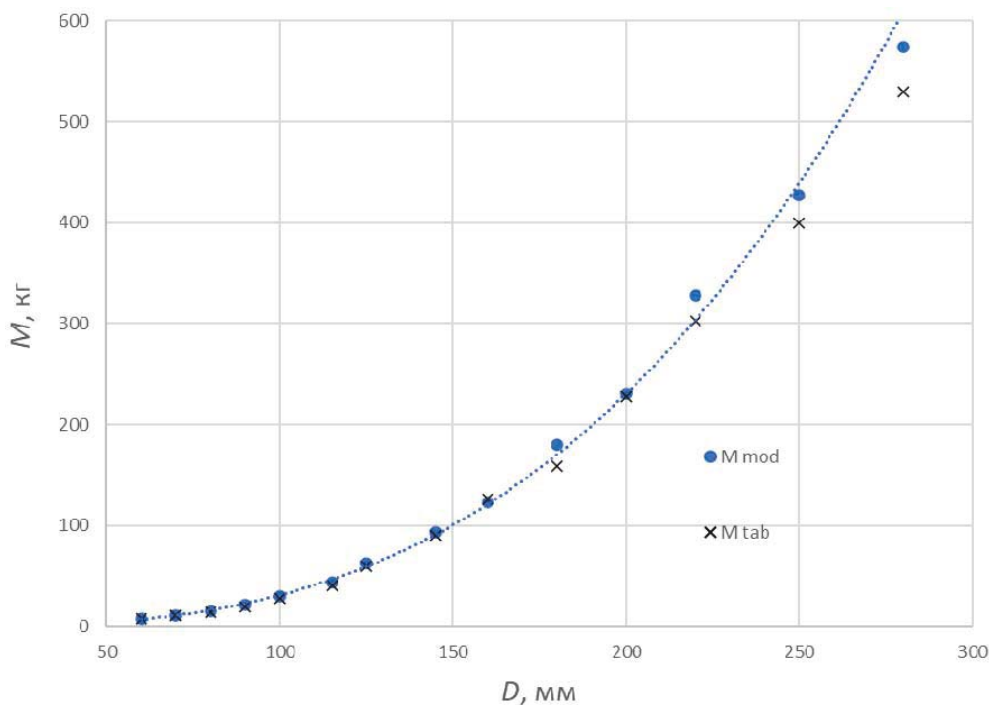


Рисунок 3 – Зв'язок маси гаків з діаметром зіву  $D$  ( $M_{mod}$  - маса моделей;  
 $M_{tab}$  - маса гаків за таблицею ГОСТ 6628-73)

Джерело: розроблено авторами

Напружено-деформований стан моделей визначався за допомогою додатку Solidworks Simulation, «Статичний аналіз» [11, 12].

Для проведення дослідження обрана модель гака №14 ГОСТ 6628-73.

Маса моделі  $M = 574,26$  кг.

Матеріал деталі - "Проста вуглецева сталь" (бібліотека матеріалів solidworks materials). Тип моделі матеріалу: лінійний, ізотропний, пружний.

$\sigma_T = 202,6$  МПа (по Mises).

Критерієм для діаграми коефіцієнта запасу міцності використано критерій максимальне напруження по Mises [13,16].

Усі налаштування програми приймаються за замовчуванням, крім параметрів кінцево – елементної сітки.

Як результати розрахунку розглянуті наступні діаграми:

- напруження vonMises;
- переміщення сумарне (результуюче);
- деформація еквівалентна;
- коефіцієнт запасу міцності (FOS).

Напружено-деформований стан моделей визначався для двох варіантів навантаження.

1. №1. Навантаження на обидва роги гака розподіляється рівномірно. На кожен ріг діє навантаження від  $G/2$ , спрямоване під кутом  $\alpha = 45^\circ$  згідно з (рис. 4). Значення  $G$  обиралися з Додатку ГОСТ 6628-73 для машин і механізмів з машинним приводом з тяжким режимом роботи.

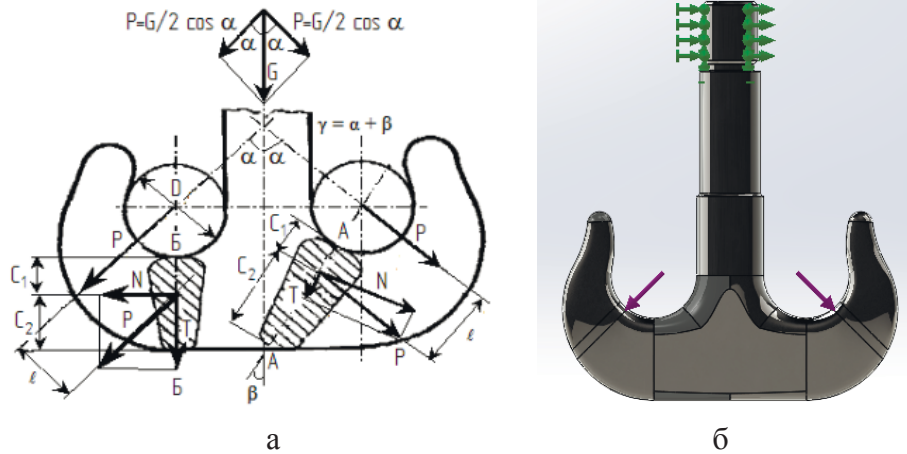


Рисунок 4 – Розрахункова схема гака (а); зовнішнє навантаження «на об'єкт» від зусилля  $P$  (б) з зафіксованим кріпленням хвостовика

Джерело: [7]

2. №2. Вантаж підвішений на один рiг (рис. 4). Значення вантажу  $G/2$ , де  $\beta$  - кут нахилу гака, що визначається графічно (на одній вертикалі розташовують центр кола навантаженого зiва гака i центр повороту обойми (точка перетину осей блокув i хвостовика). В додатку Solidworks Simulation, «Статичний аналіз» розрахункова схема з зафіксованим кріпленням хвостовика за торці тимчасово утвореної бобишки приймає вигляд, показаний на рис. 5, б.

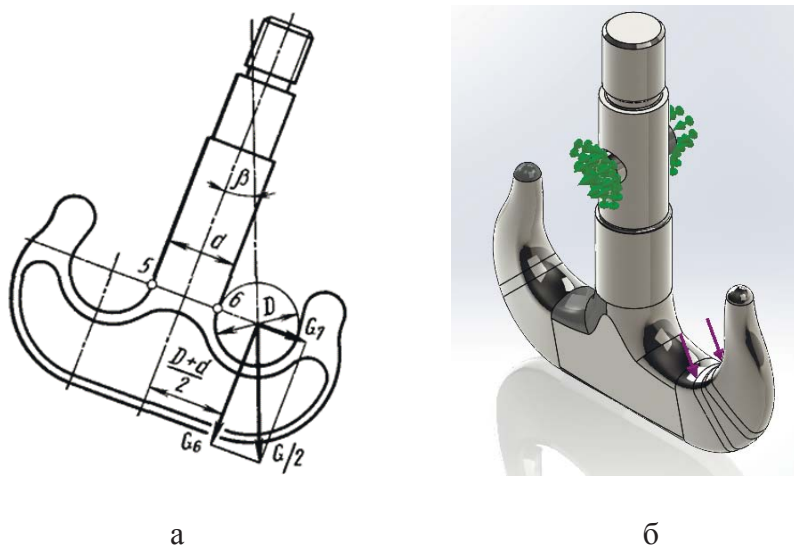


Рисунок 5 – Розрахункова схема гака (а); зовнішнє навантаження «на об'єкт» від зусилля  $G/2$  (б) з зафіксованим кріпленням бобишки хвостовика

Джерело: [7]

Визначення найменш навантажених елементів моделі виконується візуалізацією розподілених напружень з використанням інструмента «Design Insight» (рис. 6).

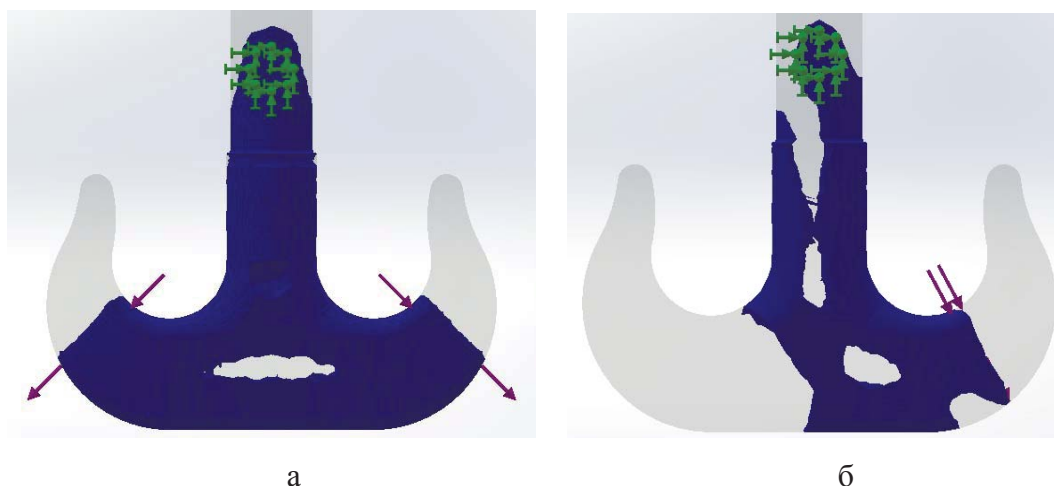


Рисунок 6 – Візуалізація розподілення напружень елементів моделі при навантаженні за схемою рис. 4 (а); за схемою рис. 5 (б)

*Джерело: розроблено авторами*

Досвід експлуатації стандартизованих гаків визначив ергономічність поверхонь виробів, які контактують зі стропильним обладнанням. Таким чином контури гаків змінам не підлягають.

Геометричні співвідношення розмірів перерізу гаків, а також нарізної частини можна вважати визначеними теоретично і експериментально як оптимальні.

Обґрунтованим є видалення частини матеріалу середньої частини гака.

Абрис отвору визначався експериментальним шляхом з міркувань технологічності виконання (рис.7).

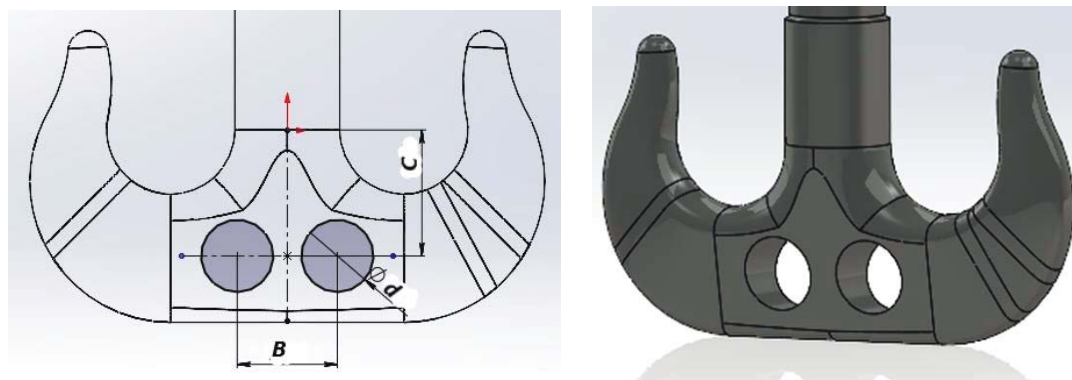


Рисунок 7 – Параметри отворів в моделі гака

*Джерело: розроблено авторами*

Оптимізації параметрів отвору виконувалася за допомогою «Дослідження проектування» SolidWorks Simulation.

Завданням «Дослідження проектування» є обрання параметрів отвору, що забезпечує мінімальну металоемність конструкції при збереженні міцності і жорсткості. Критерієм міцності приймався коефіцієнт запасу міцності  $K$  (за межею текучості

матеріалу). Вважалося допустимим зниження значення  $K$  знов розробленої моделі на 5% від  $K$  моделі гака ГОСТ 6628-73 при схемі навантаження №1 (рис. 3).

Інформація про сітку твердого тіла моделі представлена в табл. 1.

Таблиця 1 – Інформація про сітку моделі

Тип сітки	Сітка на твердому тілі
Використане розбиття:	Сітка на основі змішаної кривизни
Точки Якобіана для сітки високої якості	16
Максимальний розмір елемента	81,9578 мм
Мінімальний розмір елемента	16,3916 мм
Якість сітки	Висока

Виконання отвору в моделі змінює співвідношення жорсткості її елементів, що призводить до зміни картини навантаження. Процес обрання форми отвору має ітераційний характер. Вибірка показників напружено – деформованого стану моделі гака №14 ГОСТ 6628-73 з отворами при обох варіантах навантаження представлено зведеними діаграмами рис. 8 і рис. 9.

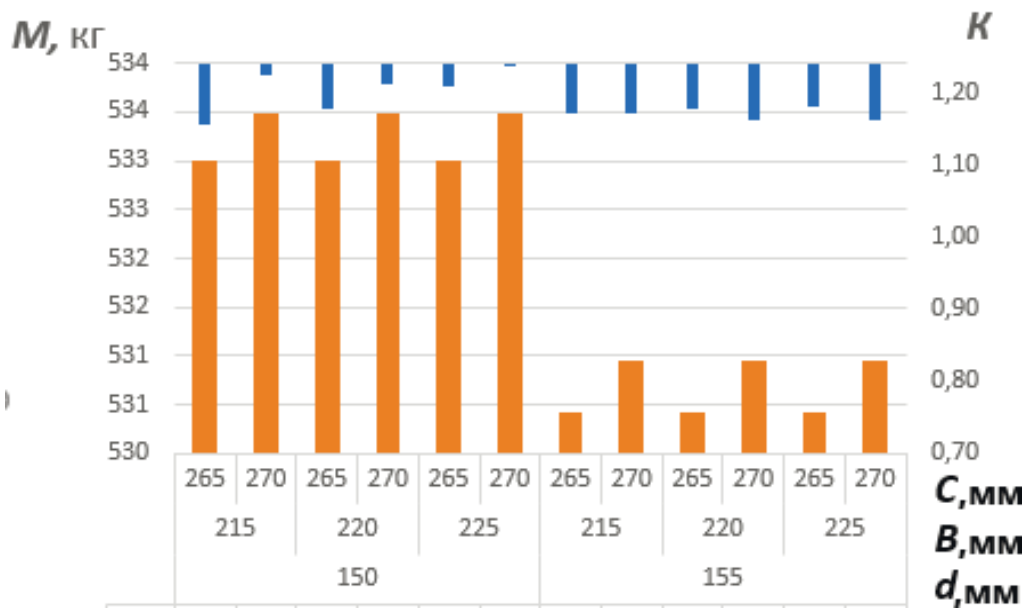


Рисунок 8 – Діаграма зв'язків коефіцієнта запасу міцності  $K$  і маси моделі  $M$  з параметрами отворів (рис.7) при схемі навантаження №1 (рис. 4)

Джерело: розроблено автором

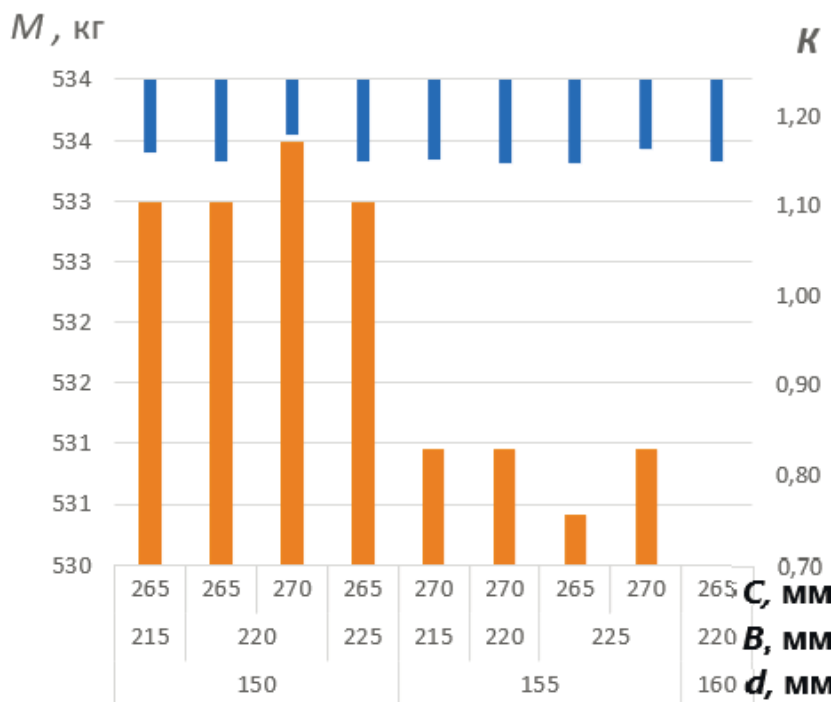


Рисунок 9 – Діаграма зв'язків коефіцієнта запасу міцності  $K$  і маси моделі  $M$  з параметрами отворів (рис. 7) при схемі навантаження №2 (рис. 5)

Джерело: розроблено автором

На основі результатів зіп'явлення діаграм рис. 8 і рис.9 приймаємо параметри отворів (рис. 7) з прийнятними полями допусків згідно даних табл. 2, мм.

Таблиця 2 – Параметри отворів моделі (рис. 7)

$d$		$B$		$C$	
Номінал	Граничне відхилення	Номінал	Граничне відхилення	Номінал	Граничне відхилення
155	+0 -5	225	+0 -10	265	-0 +5

На рис. 10, 11 представлено розподілення напружень в елементах моделі при різних варіантах навантажень з позначенням мінімального значення коефіцієнту запасу міцності  $K$ .

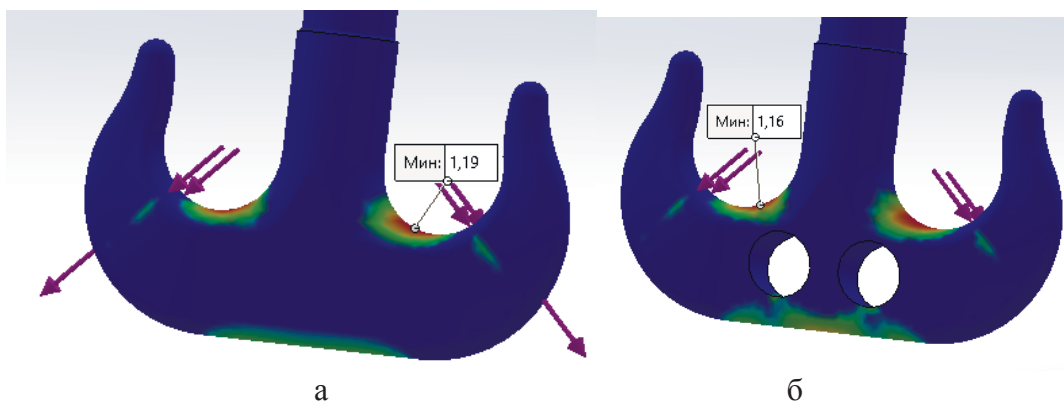


Рисунок 10 – Розподілення напружень в елементах моделі при схемі навантаження №1 (рис. 4)

а – модель гака №14 ГОСТ 6628-73, б - модель гака №14 ГОСТ 6628-73 з отворами

Джерело: розроблено авторами

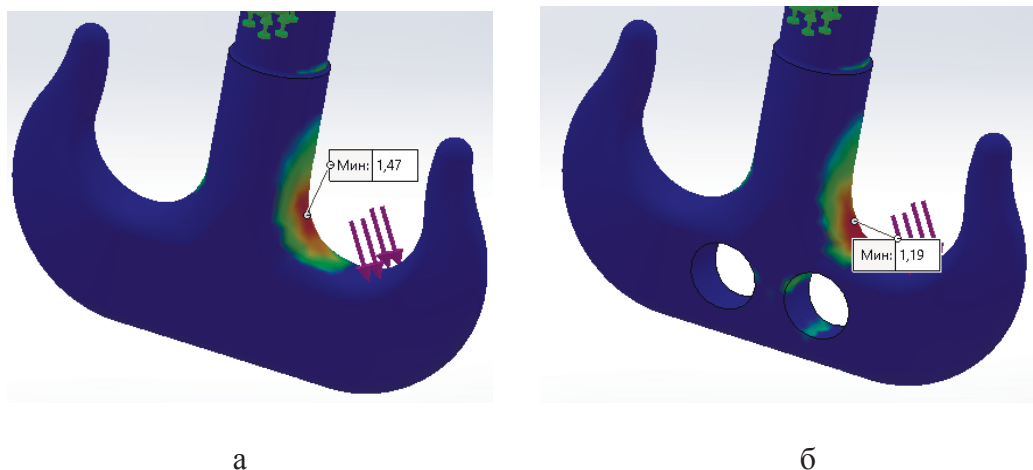


Рисунок 11 – Розподілення напружень в елементах моделі при схемі навантаження №2 (рис. 5)

а – модель гака №14 ГОСТ 6628-73, б - модель гака №14 ГОСТ 6628-73 з отворами

*Джерело: розроблено авторами*

В таблиці 3 представлені показники напружено-деформованого стану моделей гака №14 ГОСТ 6628-73 без отворів і з отворами (табл. 2) при різних схемах навантаження.

Таблиця 3 – Показники напружено-деформованого стану моделей

Показник	Схема навантаження №1 (рис. 3)		Схема навантаження №2 (рис. 4)	
	Гак №14 ГОСТ 6628-73	Гак №14 ГОСТ 6628-73 з отворами	Гак №14 ГОСТ 6628-73	Гак №14 ГОСТ 6628-73 з отворами
Напруження Von Mises, кг/см <sup>2</sup> Критерій : Макс. моделі	1885	1937	1531	1896
Результуюче статичне переміщення, мм Критерій : Макс. моделі	0,72	0,76	1,29	1,49
Еквівалентна деформація Критерій : Макс. моделі	0,001	0,001	0,001	0,001
Запас міцності Критерій : Мін. моделі	1,19	1,16	1,47	1,19

*Джерело: розроблено авторами*

При розробці конструкторської документації на дворогий гак з отворами слід враховувати співвідношення параметрів отворів за табл. 3 з характерним розміром зіву гака D (рис. 1).

**Висновки.** Утворення отворів в гаках ГОСТ 6628-73 дозволяє зменшити масу на 7% без зменшення його експлуатаційних властивостей. Виконання отвору в моделі змінює співвідношення жорсткості її елементів, що призводить до зміни картини навантаження. Процес обрання форми отвору має ітераційний характер.

Представлено розподілення напружень в елементах моделі при різних варіантах навантажень з позначенням мінімального значення коефіцієнту запасу міцності  $K$ . При розробці конструкторської документації на дворогий гак з отворами слід враховувати співвідношення параметрів отворів з характерним розміром зів гака.

## Список літератури

1. ГОСТ 2105-75. Крюки кованые и штампованные. Технические условия [Чинний від 1976-01-01]. Москва, 1975. 7 с. (Информационные данные).
2. ГОСТ 6628-73. Крюки двурогие. Заготовки. Типы. Конструкции и размеры. [Чинний від 1975-01-01]. Москва, 1973. 8 с. (Информационные данные).
3. DIN 15400/06.90 Lasthaken für Hebezeuge; Mechanische Eigenschaften, Werkstoffe, Tragfähigkeiten und vorhandene Spannungen (DIN 15400/06.90 Грузовые крюки для подъемных устройств. Механические свойства, материалы, грузоподъемности и действительные напряжения). [Чинний від 1990-06-01]. 1990. 9 с.
4. DIN 15402/11.88 Teil 1 Lasthaken für Hebezeuge; Doppelhaken; Rohteile (DIN 15402/11.88 Часть 1 Грузовые крюки для подъемных устройств. Двурогие крюки. Заготовки).
5. DIN 15402/09.83 Teil 2 Lasthaken für Hebezeuge; Doppelhaken; Fertigteile mit Gewindschaft (DIN 15402/09.83 Часть 2. Грузовые крюки для подъемных устройств. Двурогие крюки. Обработанные детали с резьбовым хвостовиком).
6. Александров М. П. Колобов Л. Н., Лобов Н. А. и др. Грузоподъемные машины. М.: Машиностроение, 1986. 399 с.
7. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 448 с.
8. Григоров О.В., Сердюков Э.И., Степочкин Л.М. О возможности применения в Украине кованых (штампованных) крюков, изготавливаемых по европейским стандартам. *Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр.* 2007. Вып. 38. С. 1–7.
9. Шаповалов Л.А. Моделирование в задачах механики элементов конструкций: М.: Машиностроение, 1990. 288 с.
10. Портнов Г. Д., Тихий А.А., Дарієнко В.В. Вплив форми кованого однорогого гака на його ефективність *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*, 2021, вип. 4(35). DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4\(35\).127-133](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4(35).127-133)
11. Delcam. Delcam PowerShape : веб-сайт URL: <http://www.delcam.nl/products/powershape/powershape.htm>. (дата звернення: 22.02.2022).
12. Delcam. Delcam PowerMill : веб-сайт URL: <http://www.delcam.nl/products/powermill/powermill.htm>. (дата звернення: 23.02.2022).
13. Roland Modela (3D Plotter) MDX-20 : User's Manual. Roland DG Corporation, 2000. 70 с.
14. Wasty, T.M., Noor A.K. Modeling and sensitivity analysis of multibody systems using new solid, shell and beam elements . *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. Vol. 138, Issues 1-4, 1 December 1996. P. 187-211.
15. Manfred, Hiller. Modeling, simulation and control design for large and heavy manipulators, *Journal of Robotics and Autonomous Systems*. 1996 . 19. PP. 167-177.
16. Mathematical modeling of process moving cargo by overhead crane / V. Shcherbakov, M. Korytov, R. Sukharev, E. Volf . *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vols. 701-702. Pp. 715-720.

## Referencis

1. Kryuki kovanyye i shtampovannyye. Tekhnicheskiye usloviya [Forged and stamped hooks. Specifications], (1975). GOST 2105-75 from 01 January 1976. Moskva [in Russian].
2. Kryuki dvurogiye. Zagotovki. Tipy. Konstruktsii i razmery [The hooks are two-horned. Blanks Types. Designs and dimensions], (1973). GOST 6627-73 from 01 January 1975. Moskva [in Russian].

3. Lasthaken für Hebezeuge; Mechanische Eigenschaften, Werkstoffe, Tragfähigkeiten und vorhandene Spannungen [Load hooks for hoists; Mechanical properties, materials, load capacities and existing stresses], (1990). DIN 15400/06.90 from 01 June 1990. Berlin [in German].
4. DIN 15402/11.88 Teil 1 Lasthaken für Hebezeuge; Doppelhaken; Rohteile [Load hooks for lifting devices. Double hooks. blanks]. (1988). (DIN 15402/11.88. from 01 November 1988. Berlin [in German].
5. DIN 15402/09.83 Teil 2 Lasthaken für Hebezeuge; Doppelhaken; Fertigteile mit Gewindenschaft [Load hooks for lifting devices. Double hooks. Machined parts with threaded shank], (1983). (DIN 15402/09.83 from 01 September 1983. Berlin [in German].
6. Aleksandrov M. P. Kolobov L. N. Lobov N. A. (1986). Gruzopod'yemnyye mashiny [Lifting machines]. Mashinostroyeniye - Mechanical engineering, 399 p. [in Russian].
7. Aliamovskiy A. A. (2012). SolidWorks Simulation. Kak reshat' prakticheskiye zadachi [SolidWorks Simulation. How to solve practical problems]. BKHV-Peterburg, 448 p. [in Russian].
8. Grigorov O.V., Serdyukov E.I., Stepochkin L.M. (2007). O vozmozhnosti primeneniya v Ukraine kovanykh (shtampovanykh) kryukov, izgotavlivayemykh po yevropeyskim standartam [On the possibility of using in Ukraine forged (stamped) hooks manufactured according to European standards]. Vestnik KHNADU: sb. nauch. tr - Bulletin of KhNADU: collection of scientific papers, 38, 1-7 [in Russian].
9. Shapovalov L.A.(1990). Modelirovaniye v zadachakh mekhaniki elementov konstruktсий [Modeling in the problems of mechanics of structural elements]. Mashinostroyeniye - Mechanical engineering, 288 p. [in Russian].
10. Portnov, H. D. , Tykhyi, A.A, Darienko, V.V. & Pukalov, V.V. (2021). Vplyv formy kovanoho odnorohoho haka na yoho efektyvnist [Influence of forged unicorn hook shape on its efficiency]. Tsentralnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical sciences, 4(35), 127-133 [in Ukrainian].
11. Delcam. Delcam PowerShape. [www.delcam.ni](http://www.delcam.ni). Retrieved from <http://www.delcam.ni/products/powershape-/powershape.htm> [in English].
12. Delcam. Delcam PowerMill : web site. Retrieved from <http://www.delcam.ni/products/powermill/powermill.htm> [in English].
13. Roland Modela (3D Plotter) MDX-20. (2000) : User's Manual. Roland DG Corporation, 70 [in English].
14. Wasty, T.M.& Noor, A.K. (1996). Modeling and sensitivity analysis of multibody systems using new solid, shell and beam elements . Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 138, 187-211 [in English].
15. Manfred, Hiller. (1996). Modeling, simulation and control design for large and heavy manipulators. Journal of Robotics and Autonomous Systems, 19, 167-177. [in English]
16. Shcherbakov, V., Korytov, M., Sukharev, R. & Volf, E. (2015). Mathematical modeling of process moving cargo by overhead crane . Applied Mechanics and Materials, 701, 715-720 [in English].

**Gennadii Portnov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Andrii Tykhyi**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Viktor Darienko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Viktor Pukalov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.  
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

### Improving the Efficiency of the Forged Two-horned Hook Design

An improvement of standard cargo two-horned hooks is proposed, which theoretically allows to reduce the weight by 7% while maintaining performance. The analysis of influence of the form of the forged two-horned hook on its efficiency is carried out. The model for studying the stress - strain state of the crane hook under conditions of maximum load, suitable for the formation of configurations of hook numbers. The modeling of solid objects is carried out, which allows to analyze the structures made according to the scheme of the curved beam with an accuracy greater than that allowed by the theoretical calculation. The least loaded elements of the model are determined by visualization of distributed stresses. Comparison of world standards of two-horned hooks shows a significant difference in material efficiency with the same classes and groups of classification.

To study the stress - strain state of the crane hook under conditions of maximum load in the program SolidWorks built a model suitable for the formation of hook configurations. The stress-strain state of the models was determined for two load variants. The load on both hooks of the hook is distributed evenly and the load is suspended on one horn. Experience in the operation of standardized hooks has determined the ergonomics of the surfaces of products in contact with the rafter equipment.

The geometric ratios of the cross-sectional dimensions of the hooks, as well as the threaded part can be considered determined theoretically and experimentally as optimal. It is reasonable to remove part of the material of the middle part of the hook. The strength criterion was the coefficient of safety margin. It is acceptable to reduce the value of K of the newly developed model by 5% of the K model of the hook.

Making a hole in the model changes the ratio of the stiffness of its elements, which leads to a change in the load pattern. The process of choosing the shape of the hole is iterative. The stress distribution in the elements of the model at different load variants with the indication of the minimum value of the safety factor  $K$  is presented. When developing design documentation for a two-horned hook with holes should take into account the ratio of the parameters of the holes with the characteristic size of the throat.

**load hook, model configuration, solid model, stress - strain state**

*Одержано (Received) 02.03.2022*

*Прорецензовано (Reviewed) 10.03 .2022*

*Прийнято до друку (Approved) 31.03.2022*