

О. В. ЯВТУШЕНКО, В. М. ПРОЦЕНКО, А. В. ЯВТУШЕНКО

РОЗРАХУНОК ПРИЙМАЛЬНОГО ВАЛУ ГОРИЗОНТАЛЬНО-КУВАЛЬНОЇ МАШИНИ НА МІЦНІСТЬ І ДЕФОРМАЦІЮ У ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ AUTOCAD MECHANICAL

У процесі вивчення дисциплін «Обладнання ковальсько-штампувальних цехів», «Обладнання цехів обробки металів тиском» тощо, однією з головних задач є оволодіння студентами здатністю математичного моделювання складальних одиниць обладнання з виконанням необхідних розрахунків і наступною розробкою технічної документації, застосовуючи одночасно сучасні комп'ютерні технології. Це дозволяє всебічно вивчати поведінку частин обладнання у процесі їх розробки, аналізувати геометрію, виконувати інженерні розрахунки з отриманням фотореалістичних зображень. Розглянуто можливості геометричного моделювання привідного валу горизонтально-кувальної машини і виконання розрахунків на міцність і деформацію в програмному комплексі AutoCAD Mechanical 2018. На першому етапі розв'язання задачі за схемою валу із зазначеними розмірами, (або за компоновальним кресленням) виконують 2D модель валу за допомогою генератора валів AutoCAD Mechanical. На другому етапі за допомогою діалогового вікна «Розрахунок валу» виконують розрахунок. Вихідними даними для розрахунків валу є момент крутіння на валу та сили, що діють на вал у вертикальній і горизонтальній площинах під час роботи горизонтально-кувальної машини. Генератор валів автоматично обчислює реакції опор і будує епюри згинальних моментів і напружень. Розрахунок на міцність виконують відповідно до німецького стандарту DIN 743. Побудовано розрахункову схему й епюри згинального моменту і напружень валу. Визначено небезпечний перетин і коефіцієнти запасу статичної міцності і міцності на втому в цьому перетині. Використання генераторів компонентів і розрахункових модулів програмного комплексу AutoCAD Mechanical 2018 дозволяє автоматизувати багато стандартних проектних завдань, виконувати розрахунки відповідно до міжнародних стандартів DIN або ANSI і значно скоротити час виконання розрахунків на міцність і деформацію. Порівняння результатів, одержаних програмним комплексом AutoCAD Mechanical 2018 з даними науково-технічних джерел свідчать про їх відповідність. Показано що програмний комплекс AutoCAD Mechanical 2018 може бути використаний для розрахунків елементів приводу горизонтально-кувальної машини.

Ключові слова: привід ГKM, вал, міцність, деформація, генератор, шестерня, перетин.

А. В. ЯВТУШЕНКО, В. М. ПРОЦЕНКО, А. В. ЯВТУШЕНКО

РАСЧЕТ ПРИВОДНОГО ВАЛА ГОРИЗОНТАЛЬНО-КОВОЧНОЙ МАШИНЫ НА ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАЦИЮ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ AUTOCAD MECHANICAL

В процессе изучения дисциплин «Оборудование кузнечно-штамповочных цехов», «Оборудования цехов обработки металлов давлением» и т. п., одной из главных задач является овладение студентами способностью математического моделирования сборочных единиц оборудования с выполнением необходимых расчетов и последующей разработкой технической документации, применяя одновременно современные компьютерные технологии. Это позволяет всесторонне изучать поведение частей оборудования в процессе их разработки, анализировать геометрию, выполнять инженерные расчеты с получением фотореалистических изображений. Рассмотрены возможности геометрического моделирования приводного вала горизонтально-ковочной машины и выполнения расчетов на прочность и деформацию в программном комплексе AutoCAD Mechanical 2018. На первом этапе решения задачи по схеме вала с указанием размеров (или по компоновочному чертежу) выполняют 2D модель вала с помощью генератора валов AutoCAD Mechanical. На втором этапе с помощью диалогового окна «Расчет вала» выполняют расчет. Исходными данными для расчетов вала является крутящий момент на валу и силы, которые действуют на вал в вертикальной и горизонтальной плоскостях во время работы горизонтально-ковочной машины. Генератор валов автоматически вычисляет реакции опор и строит эпюры изгибающих моментов и напряжений. Расчет на прочность выполняется в соответствии с немецким стандартом DIN 743. Построена расчетная схема и эпюры изгибающего момента и напряжений вала. Определено опасное сечение и коэффициенты запаса статической прочности и прочности на усталость в этом сечении. Использование генераторов компонентов и расчетных модулей программного комплекса AutoCAD Mechanical позволяет автоматизировать много стандартных проектных заданий, выполнять расчеты в соответствии с международными стандартами DIN или ANSI и значительно сократить время выполнения расчетов на прочность и деформацию. Сравнение результатов, полученных программным комплексом AutoCAD Mechanical с данными научно-технической литературы свидетельствует об их соответствии. Показано что программный комплекс AutoCAD Mechanical может быть использован для расчетов элементов привода горизонтально-ковочной машины.

Ключевые слова: привод ГKM, вал, прочность, деформация, генератор, шестерня, сечение.

O. V. JAVTOUSHENKO, V. M. PROTSENKO, A. V. JAVTOUSHENKO

CALCULATION OF THE POWER SHAFT OF THE UPSETTING MACHINE ON STRENGTH AND DEFORMATION IN PROGRAMM COMPLEX AUTOCAD MECHANICAL

During studying disciplines «Equipment forge– punching departments», «Equipment of departments of plastic metal working » the item, one of the main tasks is mastering by students by ability of mathematical modelling of assembly unit of the equipment with accomplishment of necessary calculations and the subsequent development of the engineering specifications, applying simultaneously modern computer production engineering. It allows to study comprehensively behaviour of parts of the equipment during their development, to analyze geometry, to carry out engineering calculations with reception of photorealistic images. Opportunities of geometrical modelling of a power shaft of the upsetting machine and accomplishment of strength analysis and deformation in program complex AutoCAD Mechanical 2018 are observed. At the first stage of the solution of a problem under the circuit design of the shaft with the direction of sizes (or under the layout drawing) carry out 2D model of the shaft by means of the oscillator of shafts AutoCAD Mechanical. At the second stage by means of a dialogue window «Calculation of the shaft» carry out calculation. Initial data for calculations of the shaft is the twisting moment on the shaft and forces which act on the shaft in vertical and horizontal planes during work of the upsetting machine. The oscillator of shafts automatically computes reactions at the supports and builds orthographic epures of bending moments and pressure. The strength analysis is carried out according to German standard DIN 743. The design and circuit of an orthographic epure of a bending moment and pressure of the shaft is built. Definitely dangerous cross-section and factors of a stock of static strength and strength on fatigue in this cross-section. Use of oscillators of components and design modules of program complex AutoCAD Mechanical allows to automate many standard detailed designs, to carry out calculations according to international standards DIN or ANSI and considerably to devote out a time of accomplishment of strength analysis and deformation. Comparison of the results gained by program complex AutoCAD Mechanical with data of the scientific and technical literature testifies to their conformity. Be shown that program complex AutoCAD Mechanical can it is used for calculations of elements of a motive of the upsetting machine.

Keywords: drive GKM, the shaft, strength, deformation, the oscillator, a sprocket, cross-section.

Вступ. У процесі вивчення дисциплін «Обладнання ковальсько-штампувальних цехів», «Обладнання цехів обробки металів тиском» тощо, однією з головних задач є оволодіння студентами здатністю математичного моделювання складальних одиниць обладнання з виконанням необхідних розрахунків і наступною розробкою технічної документації, застосовуючи одночасно сучасні комп'ютерні технології. Це дозволяє всебічно вивчати поведінку частин обладнання у процесі їх розробки, аналізувати геометрію, виконувати інженерні розрахунки з отриманням фотореалістичних зображень.

Питання автоматизації комп'ютерного моделювання присвячено значну кількість робіт [1-4]. Розглядаються можливості автоматизації графічного моделювання у програмних комплексах «КОМПАС-3D», «AutoCAD Mechanical», «Autodesk Inventor», «ABAQUS» тощо, що надають інструменти проектування на основі правил і засобів автоматизації, що прискорюють процес і дозволяють користувачам концентруватися на реалізації проектного задуму. На базі функціональних вимог до виробу системи САПР автоматично створюють інтелектуальні компоненти, надаючи можливість економити час проектувальника та здійснювати перевірку моделей без випробування дослідних зразків.

Дані, що наведено у літературі, в основному відносяться до моделювання валів редукторів, важелів, кулачків та інших деталей машин.

Постановка задачі. Метою даної роботи є розрахунок і проектування приводу кривошипних пресів, а саме приймального валу горизонтально-кувальної машини (ГКМ) у програмному комплексі AutoCAD Mechanical 2018 [5].

У роботі [6] наведено креслення приймального валу ГКМ-1250, у роботах [6, 7] – приклад розрахунку приймального валу ГКМ зусиллям 12,5 МН з наступними початковими даними:

Номінальне зусилля P_n , МН	– 12,5;
Приведене плече тертя крутильного моменту m_k^H , мм	– 52,4;
Передатне відношення, зубчатої передачі i_z	– 6,15;
Число зубів шестерні m_n	– 14;
Нормальний модуль зачеплення m_n , мм	– 26;
Вага муфти-маховика G, H	– 71500;
Матеріал валу	– сталь 40ХН.

На рис. 1 наведено креслення валу з розмірами. Схожі вали застосовуються в блоках клітей на сучасних неперервних дрібносортих і дровових станах (консольні вали) [8].

Під дією крутильного моменту $M_{кр}$, ваги муфти-маховика G (справа на рис. 1) і зусиллю на малій шестерні P_n (зліва на рис. 1) в приймальному валу виникають напруження крутіння і вигину. Небезпечним перетином приймального валу зазвичай буває перетин, що знаходиться посередині найближчої

до шестерні опори (підшипника), тобто у перетині А на рис. 1.

Напруження крутіння у вказаному небезпечному перетині розраховують по формулі [7]:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{0,2 \cdot d^3}, \quad (1)$$

де d – діаметр небезпечного перетину, мм.

Максимальні напруження вигину розраховують по формулі:

$$\sigma = \frac{M_{згин}}{0,1 \cdot d^3}, \quad (2)$$

де $M_{згин}$ – максимальний згинальний момент, кН·м.

Сумарне (еквівалентне) напруження в небезпечному перетині валу визначають по формулі:

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}. \quad (3)$$

Потім перевіряють виконання умови міцності:

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma_{екв}}, \quad (4)$$

де, n – коефіцієнт запасу по статичній міцності;

σ_T – границя текучості матеріалу валу, МПа.

Методи дослідження. Створимо розрахункову модель (рис. 1) і виконаємо розрахунок на міцність і деформацію приймального валу ГКМ, використовуючи вищевказані вихідні дані.

На першому етапі розв'язання задачі за схемою валу із зазначенням розмірів на рис. 1 (або за компоувальним кресленням) виконують 2D модель валу за допомогою генератора валів AutoCAD Mechanical.

На другому етапі за допомогою діалогового вікна «Розрахунок валу» (рис. 2 а) виконують розрахунок. Вихідними даними для розрахунків валу є момент крутіння на валку та сили, що діють на вал у вертикальній і горизонтальній площинах під час роботи ГКМ [7].

Генератор валів автоматично обчислює реакції опор і буде епюри згинальних моментів і напружень. Розрахунок на міцність виконують відповідно до німецького стандарту DIN 743 (рис. 2 б).

Матеріал валу – вуглецева сталь з підвищеним вмістом хрому та марганцю 40 ХН, що має границю текучості $\sigma_T = 650$ МПа і межу міцності $\sigma_T = 820$ МПа.

Результати досліджень. Результати розрахунків реакцій опор, згинальних моментів і напружень приймального валу ГКМ наведено на рис. 1. За отриманими епюрами визначають небезпечні перетини валу – А. За необхідності уточнюють геометрію валу. Одночасно генератор валів автоматично перераховує всі дані. На завершальному етапі виконують робоче креслення валу. У табл. 1 наведено результати розрахунків приймального валу ГКМ в AutoCAD Mechanical.

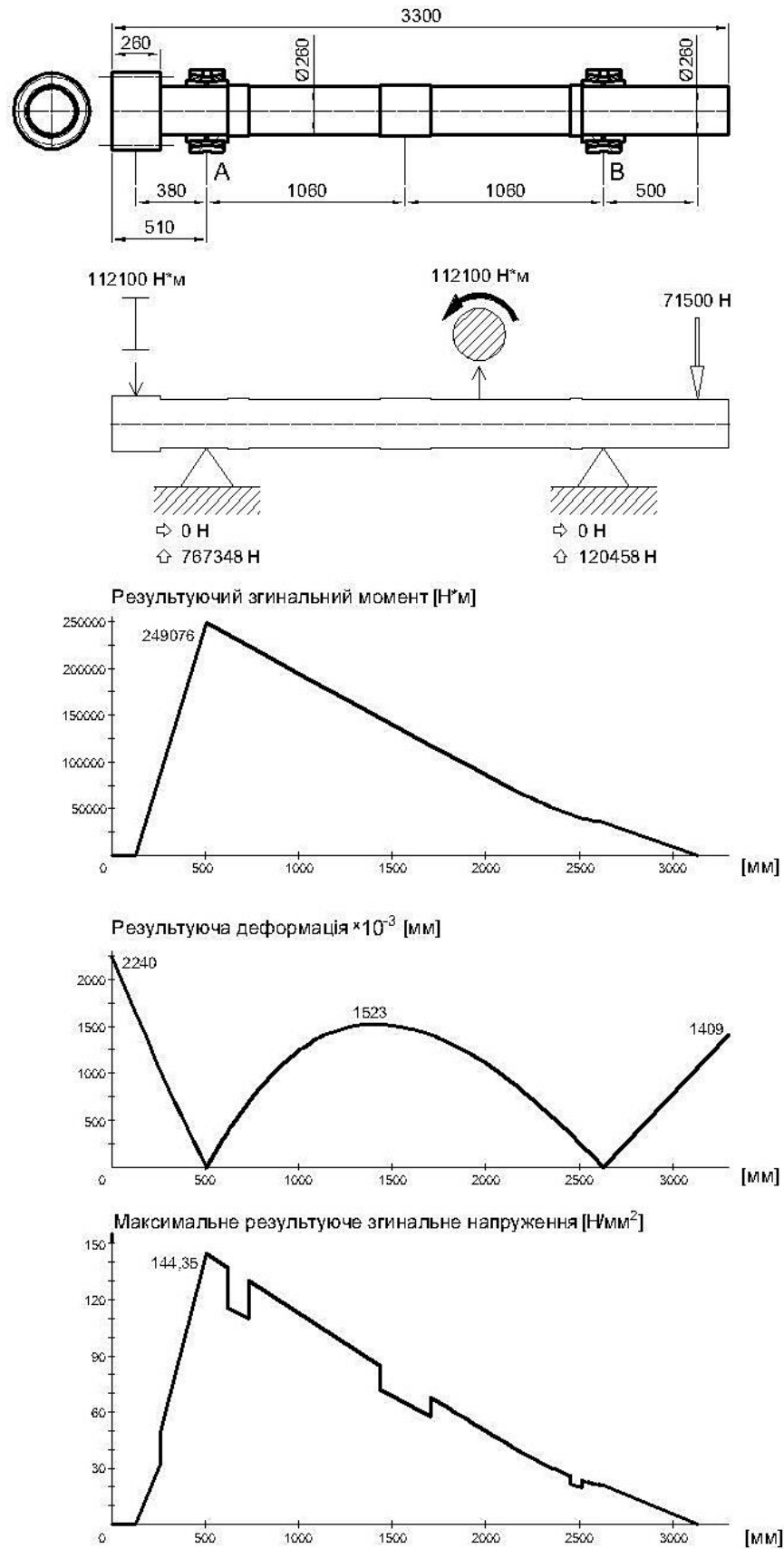
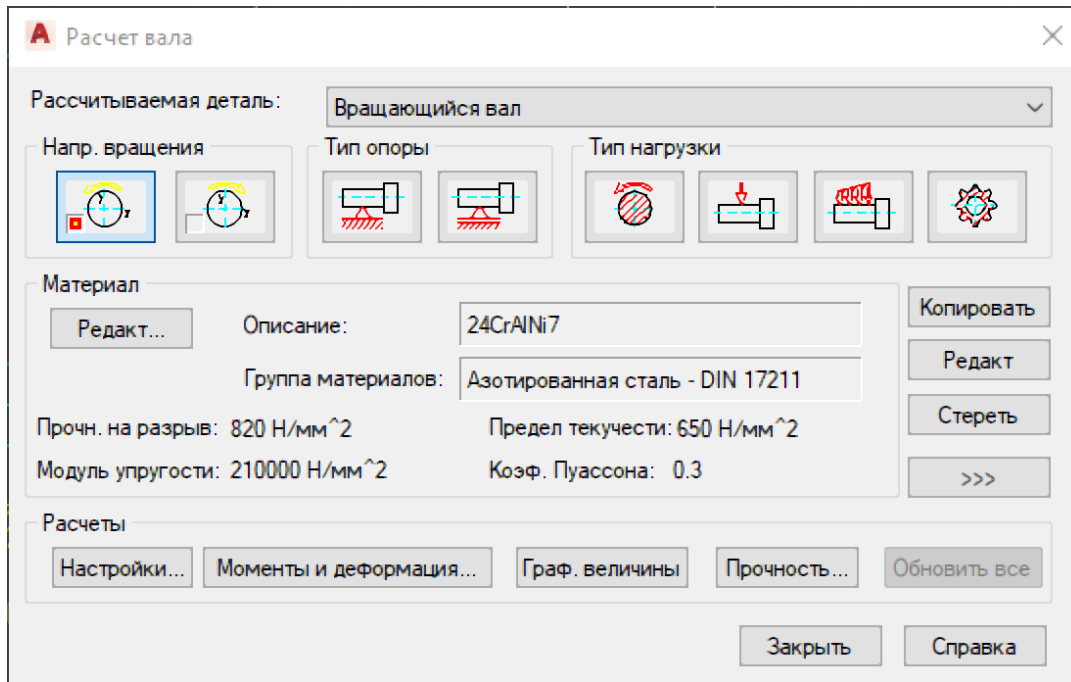
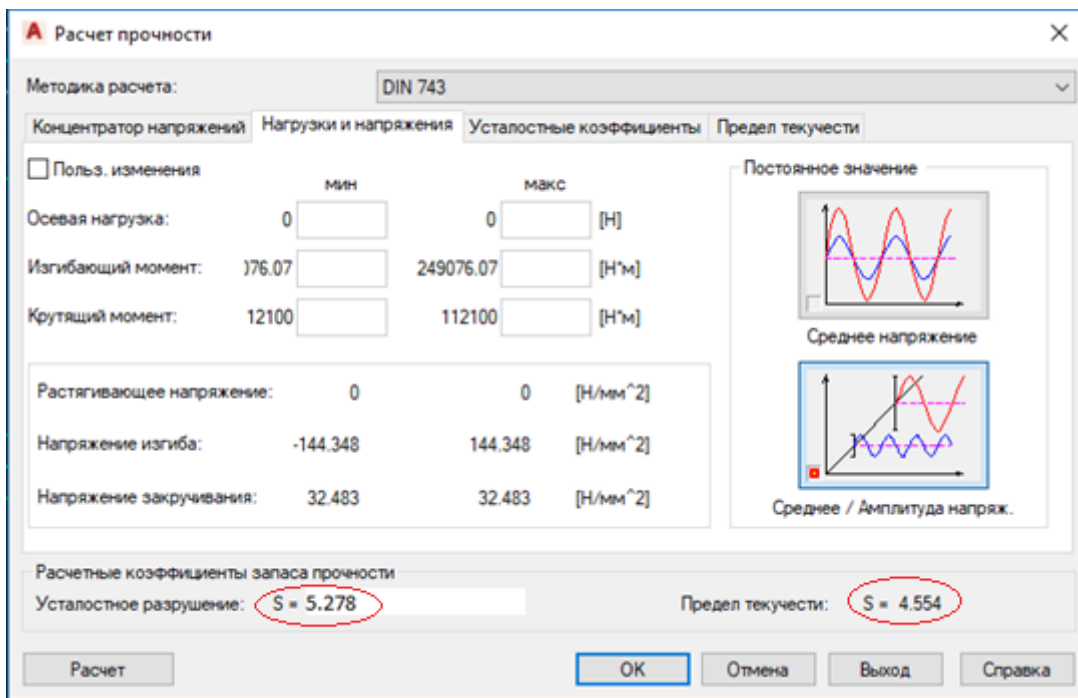


Рис. 1 – Розрахункова схема, епюри згинальних моментів і напружень приймального валу ГKM



а



б

Рис. 2 – Діалогові вікна: а – «Розрахунок валу» і б – «Розрахунок міцності» AutoCAD Mechanical

Таблиця 1 – Результати розрахунків приймального валу ГМК в AutoCAD Mechanical

Границя текучості, Н/мм ²	650
Модуль Юнга, Н/мм ²	210000
Матеріал	сталь 40ХН
Максимальний результуючий вигин, мм	2,24
у точці, мм	0
Максимальний результуючий згинальний момент, Н·м	249076
у точці, мм	510
Максимальний крутильний момент, Н·м	112100
у точці, мм	260
Максимальний кут закручування, град.	0,536
у точці, мм	0
Максимальне напруження закручування, Н/мм ²	32,483
у точці, мм	260
Максимальне осьове напруження, Н/мм ²	0
у точці, мм	0
Максимальне результуюче згинальне напруження, Н/мм ²	144,35
у точці, мм	510
Коефіцієнт запасу по статичній міцності	4,6
у точці, мм	510
Приведений коефіцієнт запасу міцності на витривалість	5,3
у точці, мм	510

Порівнюючи дані, отримані в AutoCAD Mechanical, можна перекоонатися, що вони в основному співпадають з розрахунковими даними робіт [6, 7]. Відмінність приведеного коефіцієнту запасу міцності при розрахунку на витривалість 5,3 в AutoCAD Mechanical і 6,9 в роботі [7] пояснюється відмінністю коефіцієнтів концентрації напружень, зниженні міцності, масштабного фактору тощо у застосованих методиках.

Програмний комплекс AutoCAD Mechanical має можливість враховувати під час розрахунків міцності значну кількість концентраторів напружень, різноманітних коефіцієнтів, меж міцності, плинності та втоми при симетричних і несиметричних циклах згину і крутіння, стану поверхні матеріалу тощо, що дозволяє виконувати розрахунки на міцність досить швидко та з великою точністю.

Слід зазначити, що розрахунки напружень в AutoCAD Mechanical мають більш точні значення, оскільки враховують усі зміни діаметра валу, на відміну від розрахунків, в яких вал розглядається, як балка [6, 7].

Висновки. Використання генераторів компонентів і розрахункових модулів програмного комплексу AutoCAD Mechanical 2018 дозволяє автоматизувати багато

стандартних проектних завдань, виконувати розрахунки відповідно до міжнародних стандартів DIN або ANSI і значно скоротити час виконання розрахунків на міцність і деформацію. Порівняння результатів, одержаних програмним комплексом AutoCAD Mechanical 2018 з даними науково-технічних джерел [6, 7] свідчать про їх відповідність. Показано що програмний комплекс AutoCAD Mechanical 2018 може бути використаний для розрахунків елементів приводу ГМК.

Список літератури

- Цепин М.А. Использование специализированных программ при разработке технологических процессов обработки металлов давлением. *Цветные металлы*. 2007. № 5. С. 98-101.
- Большаков В.П., Бочков А.Л. *Основы 3D-моделирования. Изучаем работу в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor*. Санкт-Петербург: Питер, 2013. 304 с.
- Грицына Н.И. Проектирование деталей машин с использованием генераторов компонентов и расчетных модулей AutodeskInventor. *Вестник ХНАДУ*. 2015. Вып. 69. С. 13-18.
- Боровик П.В. *Теоретичні дослідження процесів обробки металів тиском на основі методу скінченних елементів*. Алчевськ: ДонДТУ, 2012. 170 с.
- Федорченков А.П., Кимаев А.М. *AutoCAD Mechanical. Практическое руководство*. Москва: ТехБук, 2004. 688 с.
- Кожевников В.Я., Ксенжук И.Г., Худяков И.И. *Горизонтально-ковочные машины*. Москва: Mashgiz, 1960. 240 с.
- Явтушенко О.В., Глебенко А.В., Васильченко Т.О. *Проектування та розрахунок кривошипних пресів. Курсове проектування. Навчальний посібник*. Запоріжжя: ЗНТУ, 2012. 448 с.
- Кузьменко А.Г. *Мелкосортные станы. Состояние, проблемы, перспективы*. Москва: Металлургия, 1996. 368 с.

References (transliterated)

- Tsepyin M.A. Yspol'zovanye spetsyalyzirovannykh prohramm pry razrabotke tekhnolohycheskykh protsessov obrabotky metallov davlenyem. *Tsvetnye metally*. 2007. No 5. P. 98-101.
- Bol'shakov V.P., Bochkov A.L. *Osnovy 3D-modelyrovaniya. Yzuchaem rabotu v AutoCAD, KOMPAS-3D, SolidWorks, Inventor*. Sankt-Peterburh: Pyter, 2013. 304 p.
- Hrytsyna N.Y. Proektyrovanye detalej mashyn s yspol'zovanyem heneratorov komponentov y raschetnykh modulej AutodeskInventor. *Vestnyk KhNADU*. 2015. Vyp. 69. P. 13-18.
- Borovyk P.V. *Teoretychni doslidzhennia protsesiv obrobky metaliv tyskom na osnovi metodu skinchennykh elementiv*. Alchevs'k: DonDTU, 2012. 170 p.
- Fedorchenkov A.P., Kymaev A.M. *AutoCAD Mechanical. Praktycheskoe rukovodstvo*. Moskva: TekhBuk, 2004. 688 p.
- Kozhevnykov V.Ya., Ksenzhuk Y.H., Khudiakov Y.Y. *Horyzontal'no-kovochnye mashyny*. Moskva: Mashhyz, 1960. 240 p.
- Yavtushenko O.V., Hlebenko A.V., Vasy'l'chenko T.O. *Proektuvannia ta rozrakhunok kryvoshypnykh presiv. Kursove proektuvannia. Navchal'nyj posibnyk*. Zaporizhzhia: ZNTU, 2012. 448 p.
- Kuz'menko A.H. *Melkosortnye stany. Sostoianye, problemy, perspektyvy*. Moskva: Metallurhiya, 1996. 368 p.

Поступила (received) 01.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Явтушенко Олександр Вікторович (Явтушенко Александр Викторович, Javtoushenko Alexandr) – завідувач кафедри «Обробки металів тиском», доктор технічних наук, професор. Запорізька державна інженерна академія, телефон 050-773-29-44, E-mail: ayav2017@gmail.com.

Проценко Віктор Максимович (Проценко Виктор Максимович, Protsenko Victor) – доцент кафедри «Обробки металів тиском», кандидат технічних наук, старший науковий співробітник. Запорізька державна інженерна академія, телефон 066-876-16-85. E-mail: protsenkovm@yahoo.com.

Явтушенко Анна Володимирівна (Явтушенко Анна Владимировна, Javtoushenko Anna) доцент кафедри «Обробки металів тиском», кандидат технічних наук. Запорізький національний технічний університет, телефон 0505648727. E-mail: annajav@gmail.com.