



СНИЖЕНИЕ МЕТАЛЛОЕМКОСТИ ДЕТАЛЕЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН НА ОСНОВЕ ИХ ПРОЧНОСТНОГО АНАЛИЗА В СРЕДЕ APM FEM

В. М. Даценко

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

E-mail: dachenko-vita1@mail.ru

Получена 09 апреля 2019; принята 24 мая 2019.

Аннотация. В работе рассматривается вопрос соответствия результатов, полученных при прочностных расчетах с использованием систем автоматизированного проектирования, традиционным методикам, изложенным в учебной литературе, на примере траверсы крюковой подвески мостового крана грузоподъемностью 20 т. Предложена возможность оптимизации конструктивных параметров деталей строительных машин на основе их прочностного анализа. Сопоставление результатов прочностных расчетов, выполненных в среде APM FEM и традиционных методик проектирования, показал возможность оптимизации детали путем снижения ее металлоёмкости без ухудшения эксплуатационных показателей и надежности. В частности для траверсы крюковой подвески при незначительном увеличении напряжений и уменьшении запаса прочности удалось снизить металлоемкость более чем на 40 %. Однако, несмотря на то, что при прочностном анализе с применением APM FEM, в обоих случаях расчеты велись до достижения их сходимости в пределах 7...10 %, нельзя сказать, что он гарантирует 100%-ю адекватность полученных результатов, с целью их установления необходимы экспериментальные исследования.

Ключевые слова: прочностной анализ, система автоматизированного проектирования, напряжения, коэффициент запаса, крюковая подвеска, траверса.

ЗНИЖЕННЯ МЕТАЛОЄМНОСТІ ДЕТАЛЕЙ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН НА ОСНОВІ ЇХ АНАЛІЗУ НА МІЦНІСТЬ В СЕРЕДОВИЩІ APM FEM

В. М. Даценко

ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,

2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 286123.

E-mail: dachenko-vita1@mail.ru

Отримана 09 квітня 2019; прийнята 24 травень 2019.

Анотація. У роботі розглядається питання відповідності результатів, отриманих при міцнісних розрахунках з використанням систем автоматизованого проектування, традиційним методикам, викладеним у навчальній літературі, на прикладі траверси гакової підвіски мостового крана вантажопідйомністю 20 т. Запропоновано можливість оптимізації конструктивних параметрів деталей будівельних машин на основі їх міцнісного аналізу. Зіставлення результатів розрахунків міцності, виконаних в середовищі APM FEM і традиційних методик проектування, показав можливість оптимізації деталі шляхом зниження її металоємності без погіршення експлуатаційних показників і надійності. Зокрема для траверси гакової підвіски при незначному збільшенні напруження і зменшенні запасу міцності вдалося знизити металоємність більш ніж на 40 %. Однак, незважаючи на те, що при аналізі на міцність із застосуванням APM FEM в обох випадках розрахунки велися до досягнення їх збіжності в межах 5...10 %, можна сказати, що він гарантує 100%-у адекватність отриманих результатів, з метою їх встановлення необхідні експериментальні дослідження.

Ключові слова: аналіз на міцність, система автоматизованого проектування, напруження, коефіцієнт запасу, гакова підвіска, траверса.

A REDUCTION OF METAL CONSUMPTION OF CONSTRUCTION MACHINE PARTS BASED ON THEIR STRENGTH ANALYSIS IN APM FEM ENVIRONMENT

Vitaly Datsenko

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 286123.

E-mail: dacenko-vita1@mail.ru

Received 09 April 2019; accepted 24 May 2019.

Abstract. The paper discusses the issue of compliance of the results obtained in the strength calculations using computer-aided design systems, traditional techniques described in the educational literature, for example, traverse hook suspension bridge crane with a capacity of 20 tons. The possibility of optimizing the design parameters of parts of construction machines, based on their strength analysis. Comparison of the results of strength calculations performed in the APM FEM environment and traditional design techniques showed the possibility of optimizing the part by reducing its metal consumption without deteriorating its performance and reliability. In particular, for the traverse of the hook suspension with a slight increase in stresses and a decrease in the safety margin, it was possible to reduce the metal intensity by more than 40 %. However, despite the fact that in the strength analysis using APM FEM, in both cases, the calculations were carried out before reaching their convergence within 5...10 %, it cannot be said that it guarantees 100 % adequacy of the obtained results, in order to establish them experimental studies.

Keywords: strength analysis, computer-aided design, stress, safety factor, hook suspension, traverse.

Формулировка проблемы

Современное проектирование машиностроительного направления немислимо без применения систем автоматизированного проектирования (САПР) в общем и применения программных комплексов трехмерного твердотельного моделирования в частности. Однако полученные результаты расчетов с использованием САПР не всегда совпадают с традиционными методиками, изложенными в учебной и справочной литературе. Исследование соответствия результатов прочностных расчетов, выполненных с использованием систем автоматизированного проектирования, традиционным методикам является важнейшей задачей, решение которой позволит проводить оптимизацию конструктивных параметров деталей и узлов машин путем снижения их металлоемкости и, как следствие, себестоимости изготовления без ухудшения эксплуатационных характеристик.

Анализ последних исследований и публикаций

В целях проведения исследования соответствия прочностных расчетов с использованием систем автоматизированного проектирования традиционным методикам необходимо задаться какой-либо деталью. В качестве примера была выбрана траверса крюковой подвески мостового крана грузоподъемностью 20 т. Траверса выбрана из условий простоты традиционной методики расчета изложенной в учебной литературе по проектированию грузоподъемных машин [1–3], а также литературе по деталям машин [4, 5].

Траверсу рассчитывают на изгиб при допущении, что действующие на неё силы сосредоточенные. Помимо этого, считают, что перерезывающие силы незначительно влияют на изгибающий момент. Как правило, траверса изготавливается из стали 45 ГОСТ 1050-88 [1].

На основании расчетов по вышеуказанным методикам была выполнена 3-мерная твердотельная

модель траверсы (рис. 1), основными параметрами которой являются: диаметр цапф под опорные подшипники 85 мм, внешний диаметр поверхности под упорный подшипник 195 мм, высота 126 мм и диаметр отверстия под крюк 75 мм.

Цель

Обосновать необходимость применения систем автоматизированного проектирования на стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по оптимизации деталей строительных и коммунальных машин.

Основной материал

Получив основные параметры траверсы, был выполнен анализ ее прочностных характеристик в одной из наиболее распространенных систем прочностного конечно-элементного анализа – Компас-3D APM FEM. В состав APM FEM входят инструменты подготовки деталей и сборок к расчёту, задания граничных условий и нагрузок, а также встроенные генераторы конечно-элементной сетки (как с постоянным, так и с переменным шагом) и постпроцессор. Этот функциональный набор позволяет смоделировать твердотельный объект и комплексно проанализировать поведение расчётной модели при различных воздействиях с учетом статики, собственных частот, устойчивости и теплового нагружения [6–8].

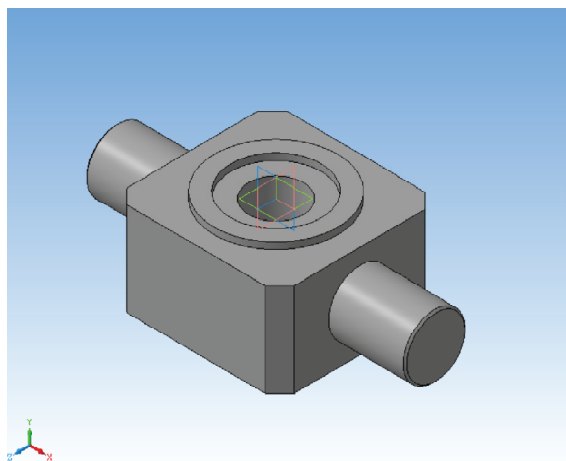


Рисунок 1. Модель траверсы крюковой подвески.

В результате проведения прочностного анализа были получены карты распределений напряжений (рис. 2) и коэффициента запаса (рис. 3). Как видно из полученных результатов, напряжение не превышает 25 МПа, при коэффициенте запаса не менее 11. Исходя из этого, можно сделать вывод о целесообразности снижения металлоемкости детали путем снятия металла с мало нагруженных поверхностей.

В результате работ по оптимизации конструкции траверсы, путем уменьшения ее металлоёмкости, получены следующие результаты (рис. 4–6).

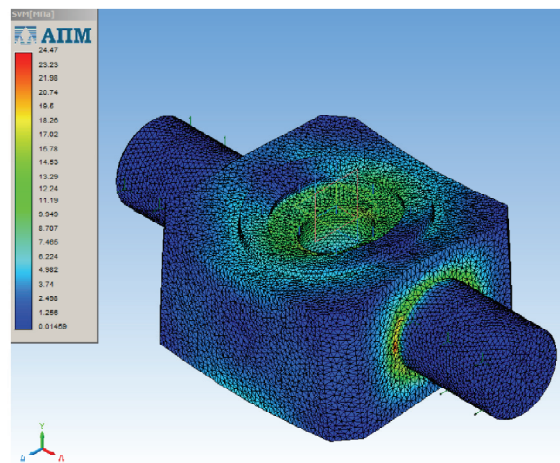


Рисунок 2. Карта распределений напряжений, действующих в траверсе.

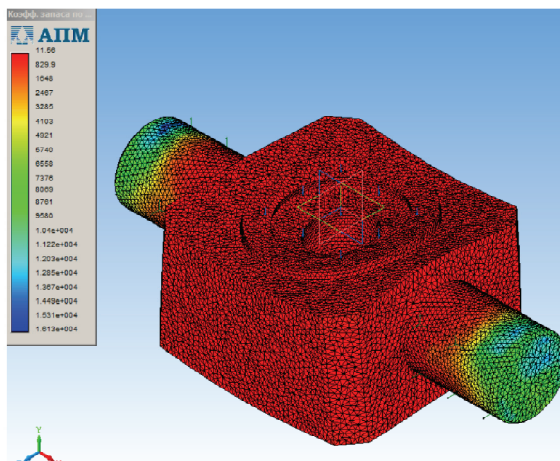


Рисунок 3. Карта коэффициента запаса.

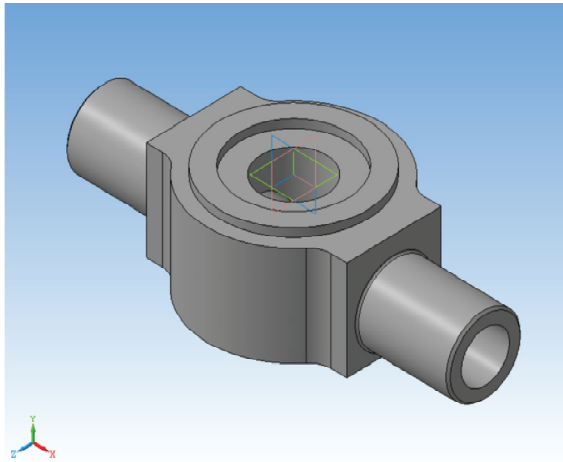


Рисунок 4. Оптимизированная модель траверсы крюковой подвески.

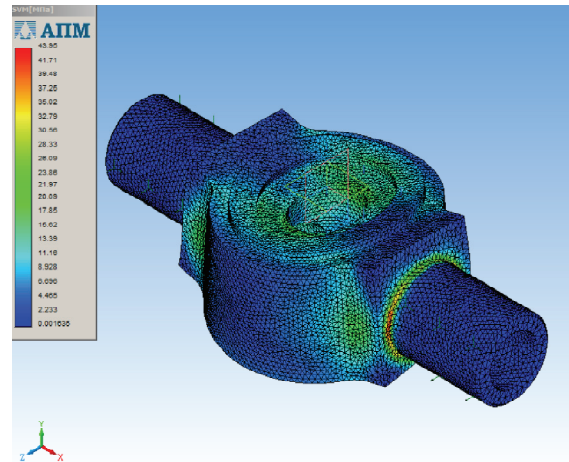


Рисунок 5. Карта распределений напряжений, действующих в траверсе.

В данном случае напряжение не превышает 44 МПа, при коэффициенте запаса не менее 6,8. Что является не критичными изменениями, которые могли бы повлиять на надежность данного элемента.

Сравнительный анализ параметров МЦХ моделей (рис. 7) показывает снижение металлоёмкости с 54 кг практически до 30 кг, что является весьма значительным показателем.

Несмотря на то, что при прочностном анализе с применением APM FEM в обоих случаях, расчеты велись до достижения их сходимости в пределах 5...10 %, нельзя сказать, что он гарантирует 100%-ю адекватность полученных результатов, с целью их установления необходимы экспериментальные исследования.

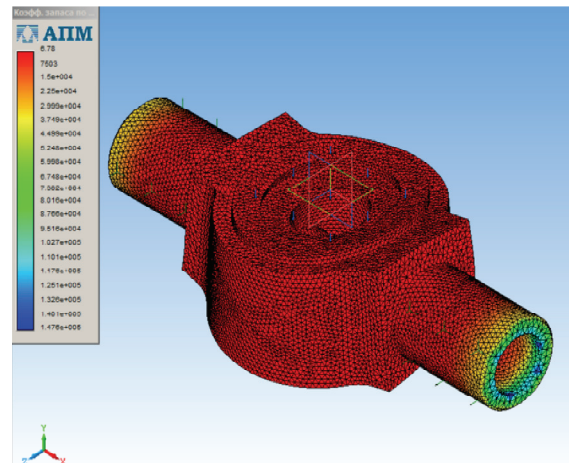


Рисунок 6. Карта распределений напряжений, действующих в траверсе.

<p>а) Информация</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Файл Редактор</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Травесра</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Заданные параметры</td> </tr> <tr> <td>Материал</td> <td>Сталь 45 ГОСТ 1050-88</td> </tr> <tr> <td>Плотность материала</td> <td>Ro = 0.007820 г/мм3</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Расчетные параметры</td> </tr> <tr> <td>Масса</td> <td>M = 54755.590015 г</td> </tr> <tr> <td>Площадь</td> <td>S = 291567.557714 мм2</td> </tr> <tr> <td>Объем</td> <td>V = 7001993.608033 мм3</td> </tr> <tr> <td>Центр масс</td> <td>Xc = 0.000000 мм</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Yc = -62.265369 мм</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Zc = 0.000000 мм</td> </tr> </tbody> </table>	Файл Редактор		Травесра		Заданные параметры		Материал	Сталь 45 ГОСТ 1050-88	Плотность материала	Ro = 0.007820 г/мм3	Расчетные параметры		Масса	M = 54755.590015 г	Площадь	S = 291567.557714 мм2	Объем	V = 7001993.608033 мм3	Центр масс	Xc = 0.000000 мм		Yc = -62.265369 мм		Zc = 0.000000 мм	<p>б) Информация</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Файл Редактор</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Травесра</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Заданные параметры</td> </tr> <tr> <td>Материал</td> <td>Сталь 45 ГОСТ 1050-88</td> </tr> <tr> <td>Плотность материала</td> <td>Ro = 0.007820 г/мм3</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Расчетные параметры</td> </tr> <tr> <td>Масса</td> <td>M = 30185.321501 г</td> </tr> <tr> <td>Площадь</td> <td>S = 287679.882197 мм2</td> </tr> <tr> <td>Объем</td> <td>V = 3860015.537176 мм3</td> </tr> <tr> <td>Центр масс</td> <td>Xc = 0.001290 мм</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Yc = -54.274408 мм</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Zc = 0.000324 мм</td> </tr> </tbody> </table>	Файл Редактор		Травесра		Заданные параметры		Материал	Сталь 45 ГОСТ 1050-88	Плотность материала	Ro = 0.007820 г/мм3	Расчетные параметры		Масса	M = 30185.321501 г	Площадь	S = 287679.882197 мм2	Объем	V = 3860015.537176 мм3	Центр масс	Xc = 0.001290 мм		Yc = -54.274408 мм		Zc = 0.000324 мм
Файл Редактор																																																	
Травесра																																																	
Заданные параметры																																																	
Материал	Сталь 45 ГОСТ 1050-88																																																
Плотность материала	Ro = 0.007820 г/мм3																																																
Расчетные параметры																																																	
Масса	M = 54755.590015 г																																																
Площадь	S = 291567.557714 мм2																																																
Объем	V = 7001993.608033 мм3																																																
Центр масс	Xc = 0.000000 мм																																																
	Yc = -62.265369 мм																																																
	Zc = 0.000000 мм																																																
Файл Редактор																																																	
Травесра																																																	
Заданные параметры																																																	
Материал	Сталь 45 ГОСТ 1050-88																																																
Плотность материала	Ro = 0.007820 г/мм3																																																
Расчетные параметры																																																	
Масса	M = 30185.321501 г																																																
Площадь	S = 287679.882197 мм2																																																
Объем	V = 3860015.537176 мм3																																																
Центр масс	Xc = 0.001290 мм																																																
	Yc = -54.274408 мм																																																
	Zc = 0.000324 мм																																																

Рисунок 7. Сравнительный анализ параметров МЦХ моделей: а) модель, построенная на основании традиционной методики расчета; б) модель, выполненная на основе прочностного анализа APM FEM.

Выводы

1. Применение САПР является безальтернативным путем конструкторской деятельности современных машиностроительных предприятий.
2. Сопоставление результатов прочностных расчетов выполненных в среде APM FEM и традиционных методик проектирования показал

возможность оптимизации детали путем снижения ее металлоёмкости без ухудшения эксплуатационных показателей и надежности.

3. Необходима дальнейшая работа в данной области, включающая в себя экспериментальные исследования, с целью подтверждения адекватности результатов, полученных с помощью CAD систем.

Литература

1. Иванченко, Ф. К. Конструкция и расчет подъемно-транспортных машин [Текст] / Ф. К. Иванченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев : Выща школа. Головное издательство, 1988. – 424 с.
2. Кирнев, А. Д. Строительные краны и грузоподъемные механизмы : справочник [Текст] / А. Д. Кирнев, Г. В. Несветаев. – Ростов-н/Д : Феникс, 2013. – 672 с.
3. Федотов, П. И. Подъемно-транспортные машины [Текст] : учебник / П. И. Федотов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство АСВ, 2015. – 200 с.
4. Курмаз, Л. В. Детали машин. Проектирование [Текст] : учеб. пособие / Л. В. Курмаз, А. Т. Скойбеда. – Минск : Технопринт, 2001. – 290 с.
5. Ануриев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. Том 1 [Текст] / В. И. Ануриев; ред. И. Н. Жесткова. – 9-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2006. – 928 с.
6. Горелов, В. Н. Принципы построения 3D-моделей корпусных деталей в системе КОМПАС-3D [Текст] / В. Н. Горелов, И. А. Кокорев // МТО-13. 2013. Т. 1. С. 321–324.
7. Кравчук, В. С. Сопротивление деформированию и разрушению поверхностно-упрочненных деталей машин и элементов конструкции [Текст] / В. С. Кравчук, Абу Айаш Юсеф, А. В. Кравчук. – Одесса : Астропринт, 2000. – 160 с.
8. Дудак, Н. С. Прочностной конечно-элементный экспресс-анализ [Текст] / Н. С. Дудак, А. Ж. Касенов, Р. Б. Муканов [и др.] // Материалы Международной науч. конф-ции молодых ученых, магистр., студ. и школьников «XVI Сатпаевские чтения». Т. 16. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова, 2016. – С. 47–54.
9. Винеvская, Н. Ю. Современные возможности программы для проектирования «КОМПАС-3D V-15» [Текст] / Н. Ю. Винеvская, Н. В. Польшакова // Современные инновации в науке и технике : сб. научных трудов 4-ой Международной научно-практ. конф. : в 4-х томах ; (17 апреля 2014 г., г. Курск). Отв. ред. А. А. Горохов. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2014. – С. 203–204.

References

1. Ivanchenko, F. K. Construction and calculation of hoisting-and-transport machines [Text] / F. K. Ivanchenko. – 2nd ed., Pererab. and add. – K. : Higher school. The main publishing house, 1988. – 424 p. (in Russian)
2. Kirnev, A. D. Construction cranes and lifting mechanisms [Text] : a handbook / A. D. Kirnev, G. V. Nesvetaev. – Rostov-on-N/D : Phoenix, 2013. – 672 p. (in Russian)
3. Fedotov, P. I. Hoisting-and-transport machines [Text] : textbook / P. I. Fedotov. – 2nd ed., Pererab. and add. – M. : ACB Publishing House, 2015. – 200 p. (in Russian)
4. Kurmaz, L. V. Machine parts. Designing [Text] : studies allowance / L. V. Kurmaz, A. T. Skoybeda. – Minsk : Technoprint, 2001. – 290 p. (in Russian)
5. Anurev, V. I. Reference Designer-Mechanical Engineer. Volume 1 [Text] / V. I. Anurev; ed. I. N. Zhestkova. – 9th ed., Pererab. and add. – M. : Mashinostroenie, 2006. – 928 p. (in Russian)
6. Gorelov, V. N. Principles of construction of 3D models of body parts in the COMPASS-3D system [Text] / V. N. Gorelov, I. A. Kokorev // MTO-13. 2013. Vol. 1. P. 321–324. (in Russian)
7. Kravchuk, V. S. Resistance to the deformation and destruction of surface-hardened machine parts and structural elements [Text] / V. S. Kravchuk, Abu Ayash Yousef, A. V. Kravchuk. – Odessa : Astroprint, 2000. – 160 p. (in Russian)
8. Strength end-element rapid analysis [Text] / N. S. Dudak, A. Zh. Kasenov, R. B. Mukanov [et al.] // XVI Satpayev readings : materials of the International Scientific Conf. of Young Scientists, undergraduates, students and schoolchildren. Vol. 16. – Pavlodar : PSU named S. Toraigyrov, 2016. – P. 47–54. (in Russian)
9. Vinevskaya, N. Yu. Modern possibilities of the program for designing «КОМПАС-3D V-15» [Text] / N. Yu. Vinevskaya, N. V. Polshakova // Modern innovations in science and technology : collec. of scient. works 4-oh International Scientific and Practic. Conf. : in 4 volumes; (April 17, 2014, Kursk). Ed. ed. A. A. Gorokhov. – Kursk : University Book, CJSC, 2014. – P. 203–204.

10. Исаметова, М. Е. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния запорной арматуры для нефтегазовой промышленности [Текст] / М. Е. Исаметова, В. В. Ялфимов // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2017. № 1(100). С. 34–40.
11. Котов, В. В. Система прочностного анализа АРМФЕМ металлоконструкций в Компас-3D [Текст] / В. В. Котов, А. А. Кузнецов, Р. А. Сергиенко // Инновационные технологии в науке и образовании (ИТНО-2017) : мат. V Междунар. научно-практ. конф. (Дивноморское, 11–15 сентября 2017 г.) / редкол. Д. В. Рудой [и др.]; Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-н/Д : ООО «ДГТУ-Принт», 2017. – С. 515–517.
12. Robust design of quartz crystal microbalance using finite element and taguchi method [Text] / D. H. Wu, Y. J. Tsai, Y. T. Yen // Sensors and Actuators B: Chemical. 2003. Vol. 92, № 3. P. 337–344.
13. Basaran C. Closed form vs. Finite element analysis of laminated stacks – part 1 – theory and formulation [Text] / Basaran C., Zhao Y. // Finite Elements in Analysis and Design. 1999. Vol. 32, № 3. С. 163–179.
10. Isametova, M. Ye. Computer modeling of the stress-strain state of valves for the oil and gas industry [Text] / M. Ye. Isametova, V. V. Yalfimov // In: *Proceeding of the Kazakh Academy of Transport and Communications. M. Tynyshpayev*. 2017. № 1(100). P. 34–40. (in Russian)
11. System of strength analysis of APMFEM metal structures in Compass-3D [Text] / V. V. Kotov, A. A. Kuznetsov, R. A. Sergienko // Innovative technologies in science and education (ITNO-2017) : Proceedings of the V International Scientific Pract. Conf. (Divnomorskoe, September 11–15, 2017) / Editorial. D. V. Rudoy [et al.]; Don State tech. un-t–Rostov-on-Don/D : DGTU-Print LLC, 2017. – P. 515–517. (in Russian)
12. Robust design of quartz crystal microbalance using finite element and taguchi method [Text] / D. H. Wu, Y. J. Tsai, Y. T. Yen // In: Sensors and Actuators B : Chemical. 2003. Vol. 92, № 3. P. 337–344.
13. Basaran, C. Closed form vs. Finite element analysis of laminated stacks – part 1 – theory and formulation [Text] / C. Basaran, Y. Zhao // In: *Finite Elements in Analysis and Design*. 1999. Vol. 32, № 3. P. 163–179.

Даценко Виталий Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации и сервиса автомобилей, технологических машин и оборудования ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: современные тенденции развития средств механизации сбора, транспортировки и переработки твердых бытовых отходов, системы автоматизированного проектирования машин.

Даценко Віталій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів, технологічних машин і устаткування ГОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: сучасні тенденції розвитку засобів механізації збору, транспортування та переробки твердих побутових відходів, системи автоматизованого проектування машин.

Datsenko Vitaly – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technical Operation and Service of Cars, Technological Machines and Equipment Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: current trends in the development of mechanization of collection, transportation and processing of solid waste, CAD systems.