

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ МОСТОВОГО КРАНА СРЕДСТВАМИ АРМ WINMACHINE

А.В. Куров

artemkurov@inbox.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрены пригодность и актуальность российских систем автоматизированного проектирования в решении инженерных задач. На примере АРМ WinMachine для выполнения моделирования конструкций из элементов смешанного типа, статического прочностного анализа, проектирования и анализа конструкции под воздействием динамических нагрузений. Для тестирования и оценки выбранного программного комплекса в качестве объекта инженерного анализа выбрана конструкция мостового крана.

Ключевые слова

Компьютерное моделирование, мостовой кран, оптимизация конструкции, статический расчет, динамический анализ, инженерный анализ, winmachine, structure3d

Поступила в редакцию 04.10.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Введение. Сегодня рынок систем автоматизированного проектирования прочно занимают зарубежные компании: Dassault Systèmes, Siemens PLM Software, Autodesk и пр. В работе над данной статьей было решено использовать их конкурента отечественного производства. Актуальность темы вызвана ограничением на закупку западных программных продуктов в России. Мостовые краны — основное грузоподъемное оборудование производственных цехов, закрытых и открытых складов (рис. 1).

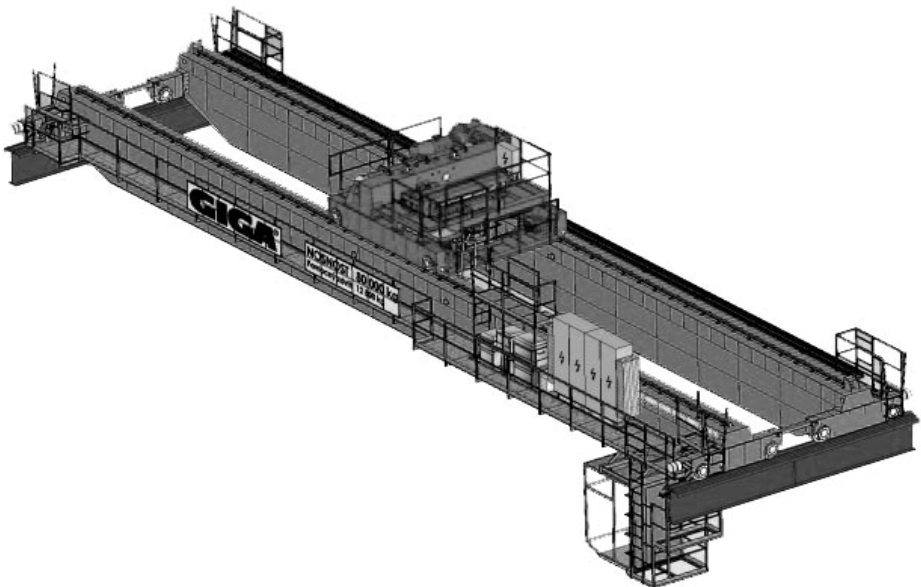


Рис. 1. Модель мостового крана

Работоспособность, надежность и безопасность эксплуатации кранов существенно зависит от качества их металлических конструкций, выполняемых в соответствии с предъявляемыми требованиями, призванными обеспечить прочность, общую и местную устойчивость конструкции, устойчивость ее отдельных элементов; статическую и динамическую жесткость; выносливость и вместе с тем минимально возможную массу. Для изготовления крановых конструкций важно обеспечить высокую технологичность производства и монтажа, в отдельных случаях необходимо соблюсти предельно допустимые размеры. Большинство этих вопросов решаются на стадии предварительного расчета и компоновки.

Постановка задачи. С помощью программного комплекса APM Structure3D, входящего в состав системы APM WinMachine, версия 13, необходимо выполнить прочностный расчет металлоконструкции мостового крана и поиск его рациональных параметров. Мостовой кран состоит из двух фактически независимых частей: моста и грузовой тележки.

Исходными данными для построения расчетных моделей грузовой тележки и моста (см. рис. 1) служат сборочные чертежи и трехмерные твердотельные модели.

Инструментарий. В настоящей работе для выполнения прочностного расчета был использован метод конечных элементов (МКЭ), который, по существу, сводится к аппроксимации сплошной среды совокупностью конечных элементов, описывающих с той или иной точностью фактическую геометрию. Для каждого элемента заданы некоторые функции формы, позволяющие определить поле перемещений внутри элемента по перемещениям в узлах, т. е. в местах стыков конечных элементов (КЭ). Взаимодействие КЭ одного с другим осуществляется только через узлы. Действующие на КЭ внешние нагрузки, такие, как сосредоточенные и распределенные силы и моменты, приводятся к его узлам.

При расчетах МКЭ в линейной постановке определяются перемещения узлов модели. Значения внутренних усилий в элементе пропорциональны перемещениям в его узлах. Коэффициентом пропорциональности выступает квадратная матрица жесткости, количество строк в которой равно числу степеней свободы элемента. Все остальные параметры КЭ, такие, как интересующие нас напряжения, поле перемещений, вычисляются на основе его узловых смещений [1–3].

Описывая возможности анализа с помощью МКЭ в APM Structure3D, можно отметить, что доступными для расчета являются следующие моменты:

- стержневые конечные элементы произвольных поперечных сечений;
- гибкие элементы односторонней и двусторонней жесткости: канаты, тросы и ванты и т. д.;
- оболочечные и пластинчатые элементы: изопараметрические первого порядка 3- и 4-узловые, а также второго порядка 6- и 8-узловые;
- твердотельные объемные конечные элементы: изопараметрические первого порядка (4-, 5-, 6-, 8-узловые) и высших порядков (10-, 13-, 15-, 20-узловые).

Исходя из геометрии мостового крана предложенного списка конечных элементов, наиболее подходящими в нашем случае являются оболочечные и пластинчатые конечные элементы первого порядка (3-, 4-узловые). Эти элементы будут использоваться далее для выполнения инженерных расчетов.

Под инженерным анализом следует понимать перечисленные ниже и реализованные в системе APM Structure3D-расчеты, а именно:

- 1) линейные решения, включающие в себя анализ напряженно-деформированного состояния;
- 2) определения коэффициентов запаса и форм потери устойчивости;
- 3) динамический анализ, включающий в себя определение частот и форм собственных колебаний и расчет вынужденных колебаний при заданном законе вынуждающей силы;
- 4) расчет усталостной прочности при нагружении периодической переменной нагрузкой и в условиях случайного внешнего нагружения.

Моделирование грузовой тележки. Почти все элементы конструкции тележки изготовлены из листового материала, поэтому для получения достоверных результатов необходимо выбрать достаточно малый шаг разбиения. Использовать твердотельную модель с малым шагом разбиения будет затруднительно для последующих расчетов из-за большого количества объемных конечных элементов. Моделирование мостовой конструкции пластинчатыми элементами (рис. 2) позволит в десятки раз уменьшить размерность решаемой задачи и значительно сократить время выполнения расчетов.

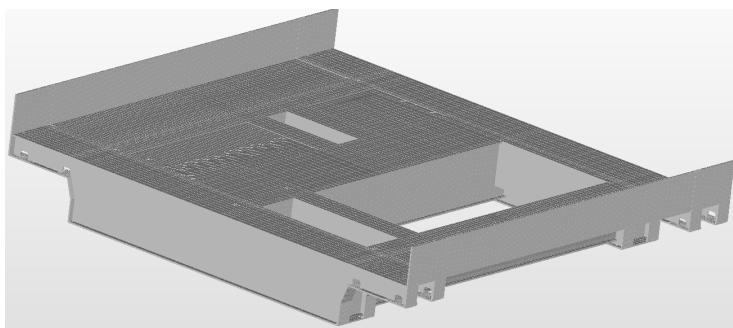


Рис. 2. Пластинчатая модель грузовой тележки

Моделирование металлоконструкции моста крана. Из-за сложности конструкции моста крана было принято решение создать модели его отдельных частей, а затем собрать их в единую модель, используя ограничения. По той же причине, что и при создании модели грузовой тележки, на замену твердотельной модели были использованы стержневые и пластинчатые конечные элементы (рис. 3).

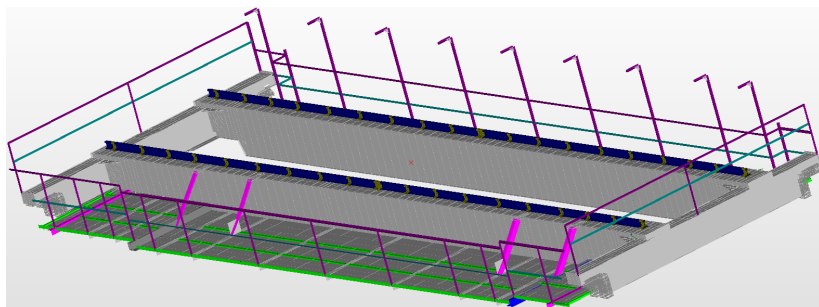


Рис. 3. Смешанная модель моста крана

Этап расчета. Прочностный расчет выполняется отдельно для грузовой тележки и моста крана. При этом результаты реакций в опорах тележки служат исходными данными для анализа металлоконструкции моста.

Согласно алгоритму МКЭ, после этапа моделирования и генерации конечно-элементной сетки необходимо задать граничные условия для рассматриваемых конструкций. Под граничными условиями следует понимать размещение опор и приложение действующих нагрузок.

Заданная в препроцессоре информация является достаточной для выполнения комплексного инженерного анализа (определение напряжений и их составляющих, определение линейных, угловых перемещений, деформаций, коэффициентов запаса по прочности и текучести материала и пр.).

Выбор рациональных параметров конструкции проведем по алгоритму (рис. 4), где окончанием процесса оптимизации будет выход из цикла с получением конструкции с минимальным весом.

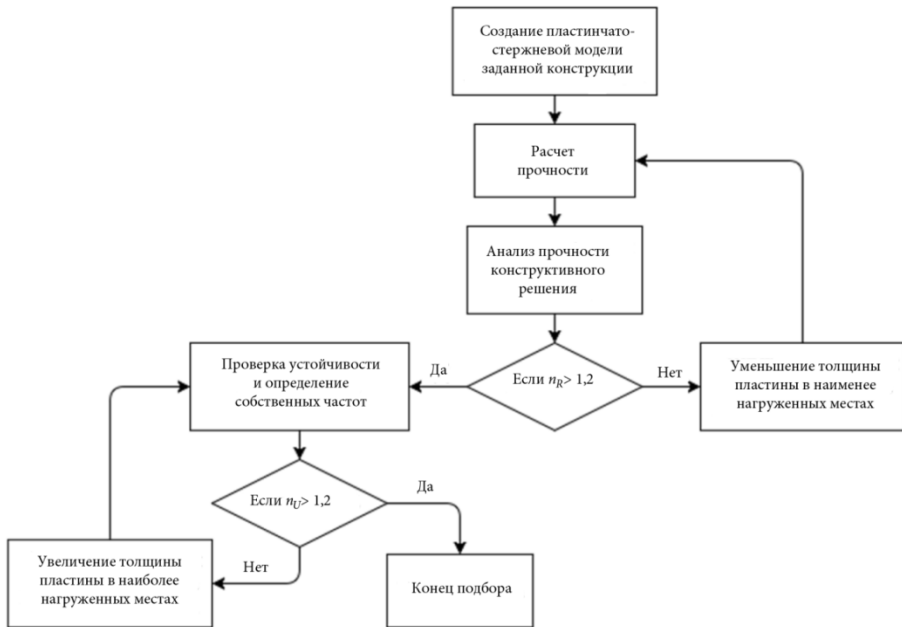


Рис. 4. Схема алгоритма подбора оптимальной толщины пластин конструкции мостового крана

Помимо прочностного анализа для выбранного конструктивного решения необходимо провести серию проверочных расчетов по устойчивости и динамике. Если динамические характеристики и параметры устойчивости окажутся неудовлетворительными, тогда геометрические размеры объекта будут определять по этим критериям.

Результаты расчета. В результате статического расчета для тележки и моста получены карты напряжений, перемещений, коэффициентов запаса по пределу прочности и текучести и др. (рис. 5, 6, 7).

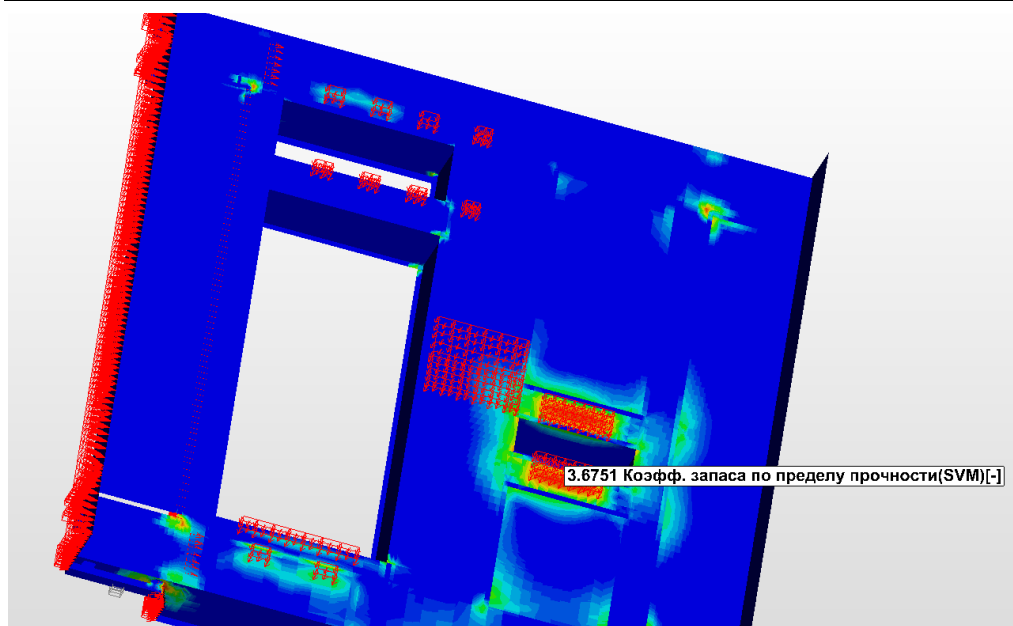


Рис. 5. Коэффициент запаса по пределу прочности тележки

Исходя из расчетов, максимальное напряжение на тележке составляет $142,0957 \text{ Н/мм}^2$, что в 3,6751 раза меньше предела прочности для стали марки СТЗСП, из которой она изготовлена.

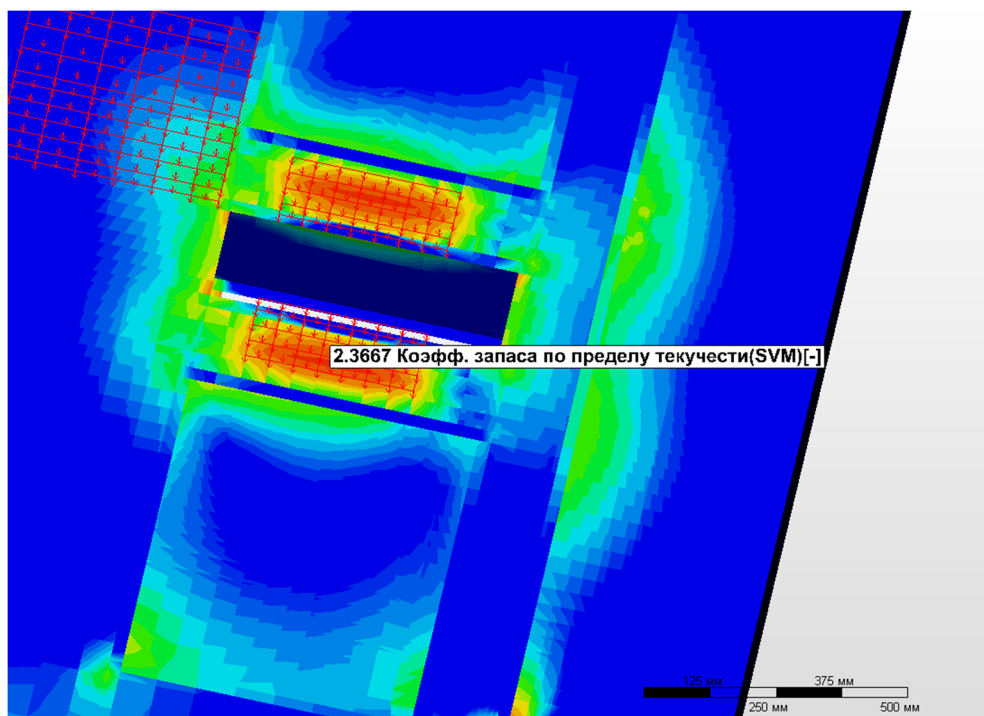


Рис. 6. Коэффициент запаса по пределу текучести тележки

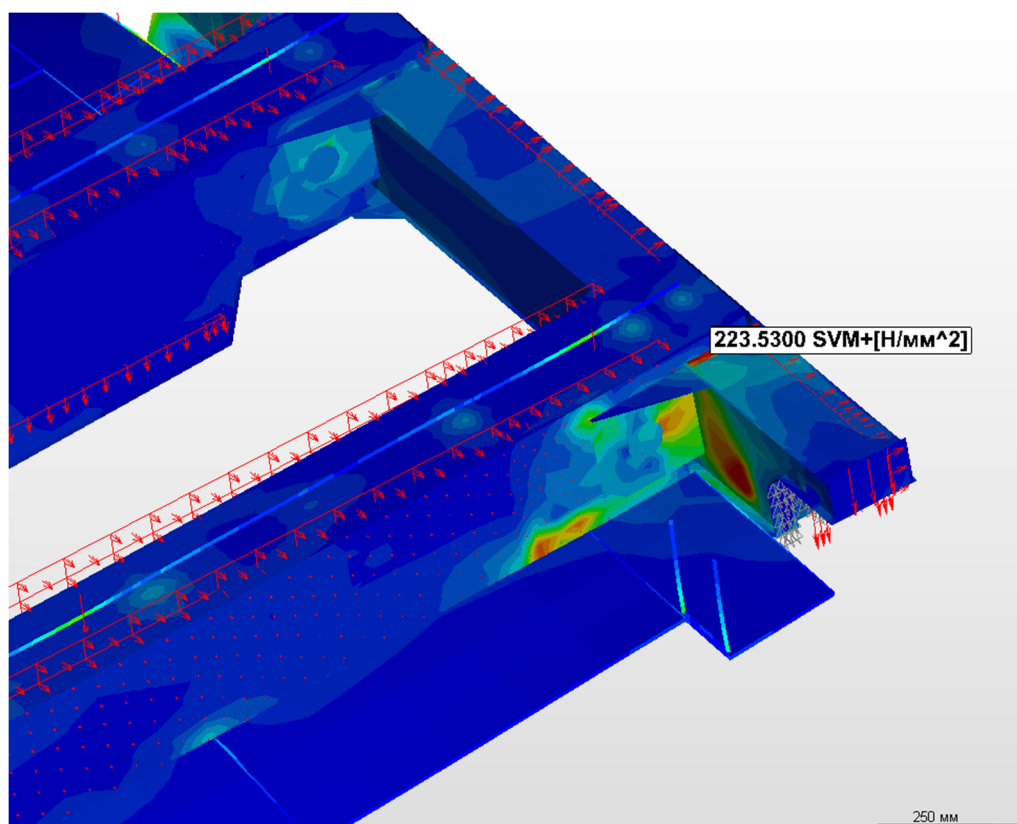


Рис. 7. Эквивалентные напряжения конструкции моста

Также важно сравнить максимальное напряжение конструкции с пределом текучести материала, из которого она изготовлена. В расчете максимальное напряжение меньше предела текучести в 2,3667 раза. Наиболее нагруженной точкой конструкции оказывается место приложения силы от висящего груза.

Из анализа результатов расчета напряжений конструкции моста следует, что наибольшие напряжения имеют место в пролетных балках, вблизи к креплению с концевыми балками (см. рис. 7). При этом максимальное расчетное напряжение составляет 223,53 Н/мм², что в 1,6 раза меньше предела текучести стали марки 09Г2С, из которой изготовлен мост.

Исходя из результатов статического анализа для данных нагрузок, можно судить о соответствии конструкции нормативам. Например, рассматриваемая конструкция должна иметь коэффициент запаса по пределу текучести $2 < \cdot$. Здесь это условие соблюдается.

Затем была рассчитана и задана динамическая нагрузка, имитирующая срыв висящего груза и его остановку через 5 м. Программа позволяет рассчитать частоты собственных колебаний, которые могут использоваться для учета резонансных явлений (рис. 8). Перед запуском динамического расчета следует рассчитать коэффициент запаса устойчивости, который в этом случае превышает 10, что свидетельствует о полной устойчивости конструкции.

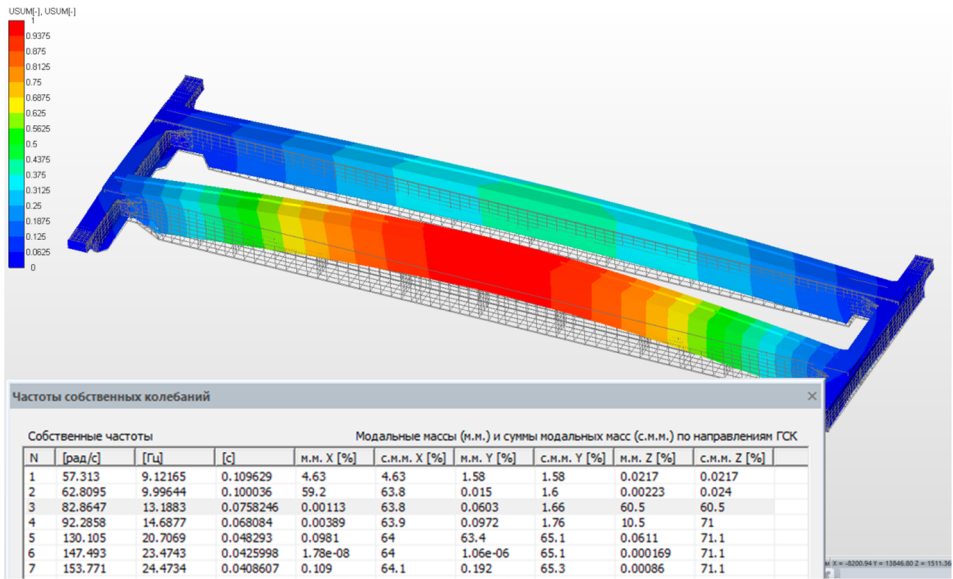


Рис. 8. Форма третьей собственной частоты

С помощью динамического расчета получаем анимацию изменения нагрузок, напряжений, коэффициентов запаса и др. По этим данным можно судить о поведении конструкции в экстремальных ситуациях и корректировать ее параметры для удовлетворения нормативных требований.

Оптимальными характеристиками материала (стоимостью, прочностью, текучестью) обладает сталь марок СтЗсп и 09Г2С, которые были использованы для настоящей конструкции. В некоторых сильно нагруженных местах была увеличена толщина пластин.

Заключение. Оптимизация конструкций способствует созданию лучших мировых образцов продукции, которая может успешно конкурировать на отечественном и мировом рынках. Это тот путь, по которому следует двигаться для повышения конкурентоспособности российского оборудования. Имеющиеся к настоящему времени ограничения на закупку западного программного обеспечения способствуют широкому использованию отечественных программных продуктов. Одним из таких импортозамещающих аналогов в области САЕ-анализа является отечественная система APM Structure3D. Она обладает всем необходимым перечнем инструментов и большими возможностями для практической реализации описанных выше задач.

Литература

[1] Замрий А.А. Проектирование и расчет методом конечных элементов в среде APM Structure3D. Москва, Изд-во АПМ, 2010, 376 с.
 [2] Зинкевич О., Чанг И. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред. Москва, Недра, 1974, 272 с.
 [3] Шелофаст В.В. Основы проектирования машин. Москва, Изд-во АПМ, 2005. 471 с.

Куров Артем Владимирович — магистрант кафедры «Основы конструирования машин», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — В.В. Шелофаст, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Основы конструирования машин», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

DESIGN AND ENGINEERING ANALYSIS OF OVERHEAD CRANE CONSTRUCTION BY MEANS OF APM WINMACHINE

A.V. Kurov

artemkurov@inbox.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Keywords

The article considers the suitability and relevance of Russian computer-aided design systems for engineering tasks solution. For the research we chose APM WinMachine to perform simulations from mixed type element constructions, static strength analysis, design and analysis of constructions under the influence of dynamic loadings. For testing and evaluation of the selected software package we chose the overhead crane as an object of engineering analysis.

Computer simulation, overhead crane, design optimization, static calculation, dynamic analysis, engineering analysis, WinMachine, structure 3d

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] Zamriy A.A. Proektirovanie i raschet metodom konechnykh elementov v srede APM Structure3D [Engineering and calculation by finite element method in APM Structure3D]. Moscow, APM publ., 2010, 376 p.
- [2] Zienkiewicz O.C., Cheung Y.K. The finite element method in continuum and structural mechanics. New York, McGraw-Hill 1967, 272 p. (Russ. ed.: Metod konechnykh elementov v teorii sooruzheniy i v mekhanike sploshnykh sred. Moscow, Nedra publ., 1974, 238 p.).
- [3] Shelofast V.V. Osnovy proektirovaniya mashin [Fundamentals of machine designing]. Moscow, APM publ., 2005, 471 p.

Kurov A.V. — Master's Degree student, Department of Machine Design Principles, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — V.V. Shelofast, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Machine Design Principles, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.