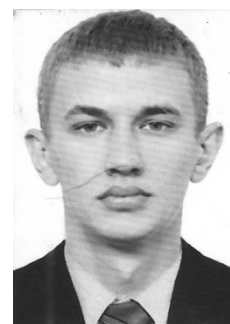


ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



УДК 004.942:631.171

Д.Н. Пирожков, Е.В. Воронов, С.А. Сорокин, Р.Н. Бачурин
D.N. Pirozhkov, Ye.V. Voronov, S.A. Sorokin, R.N. Bachurin

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

THE USE OF MODERN SOFTWARE IN AGRICULTURAL MACHINERY DESIGNING

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, сельскохозяйственная техника, проектирование, фронтальный погрузчик, программное обеспечение.

Описывает процесс создания и оптимизации конструкции фронтального погрузчика. Разработка конструкции фронтального погрузчика производится на основе технического задания. Согласно техническому заданию фронтальный погрузчик должен быть спроектирован для трактора Xingtai 244, должен обеспечивать грузоподъемность 350 кг, должен иметь себестоимость ниже зарубежных аналогов, а по надежности и прочности превосходить зарубежный продукт. Твёрдотельная трехмерная модель фронтального погрузчика была создана в программе Компас-3D V16. Расчеты производились в программе APM WinMachine. Первым этапом проектирования было создание эскиза с учетом габаритов и конструктивных особенностей трактора. Второй этап проектирования – создание конструкции фронтального подъемника с учетом максимальной высоты подъема и определения центра тяжести всей машины для исключения опрокидывания. Следующий этап – инженерные расчеты на прочность, жесткость и устойчивость. После создания первого варианта конструкции был проведен анализ факторов, влияющих на её массу. Всего было выделено 11 факторов. Из 11 факторов были выбраны 3, наиболее значимых и влияющих на параметры фронтального погрузчика: расположение точки крепления гидроцилиндра стрелы, положение узла копира на стреле, положение рычага на полураме. Был проведен трехфакторный вычислительный эксперимент. Получено уравнение регрессии второго порядка. По

уравнению регрессии произведена оптимизация массы погрузчика. В результате оптимизации масса конструкции, в сравнении с первоначальной, уменьшена на 16,5%. Расхождение между массой погрузчика, определяемой по уравнению регрессии, и массой модели составляет 2%. Этот факт указывает на хорошую точность уравнения регрессии и доказывает работоспособность методики по усовершенствованию конструкции погрузчика.

Keywords: computer-aided design system, agricultural machinery, designing, front-end loader, software.

The process of designing and improving a front-end loader is discussed. The design of the front-end loader is based on technical specifications. According to the technical specifications, the front-end loader should be designed for the Xingtai 244 tractor. The loader should ensure the elevating capacity of 350 kg. The prime cost of loader should be lower than that of foreign analogues, but reliability and strength should exceed the foreign products. Solid-state three-dimensional model of the front-end loader was developed using the Kompas-3D V16 software. The calculations were made in APM WinMachine software. The first design stage was a creation of the sketch according to the tractor design features and dimensions. The second design stage was a creation of the front-end loader construction according to maximum lifting height and determining the gravity center of the whole machine to prevent tipping. The next design stage was engineering calculations of strength, stiffness and stability. After the creation of the first design variant, the analysis of the factors affecting its mass was made. In total, 11 factors were identified. Three factors of 11 factors were

selected which were the most important ones and affecting the parameters of the front-end loader: the lift arm hydraulic cylinder attachment point location, the copier position on the lift arm, and the lever position on the half-frame. The three-factor computing experiment was conducted. The second-order regression equation was obtained. The loader mass was optimized by the re-

gression equation. The construction mass was reduced by 16.5% in comparison with the original one as an optimization result. The discrepancy between the loader mass, determined by regression equation, and the model mass is 2%. This fact indicates good accuracy of the regression equation and proves the efficiency of methods for improving the loader design.

Пирожков Дмитрий Николаевич, д.т.н., доцент, декан инженерного фак-та, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3252) 62-80-83. E-mail: mms.asau@yandex.ru.

Воронов Евгений Викторович, к.э.н., доцент, зав. каф. «Технический сервис», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. Тел.: (83166) 4-15-50. E-mail: e_voronov@list.ru.

Сорокин Сергей Анатольевич, к.т.н., доцент, каф. «Механика и инженерная графика», Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3252) 62-83-83. E-mail: Sorokin_sg@mail.ru.

Бачурин Роман Николаевич, аспирант, каф. «Механика и инженерная графика», Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3252) 62-83-83. E-mail: romass1993@mail.ru.

Pirozhkov Dmitriy Nikolayevich, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Dean, Engineering Dept., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-80-83. E-mail: mms.asau@yandex.ru.

Voronov Yevgeniy Viktorovich, Cand. Econ. Sci., Assoc. Prof., Head, Chait of Technical Service, Nizhny Novgorod State Engineering-Economic University. Ph.: (83166) 4-15-50. E-mail: e_voronov@list.ru.

Sorokin Sergey Anatolyevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-83. E-mail: Sorokin_sg@mail.ru.

Bachurin Roman Nikolayevich, post-graduate student, Altai State Agricultural University. E-mail: romass1993@mail.ru.

Введение

Наличием вычислительной техники и компьютерными технологиями в любой сфере человеческой деятельности на сегодняшний день мало кого можно удивить. Компьютер настолько прочно вошел в нашу повседневную жизнь, что трудно себе представить кабинет любого человека интеллектуального труда без этого устройства. Решение инженерных и научных задач при проектировании новой техники и технологий – именно та сфера деятельности, для которой, собственно, компьютеры и создавались. Системы автоматизированного проектирования представляют собой довольно значительный пласт современного программного обеспечения, позволяющий проводить в короткие сроки очень значительные объемы проектных работ таким образом, чтобы полученная конструкция была если не оптимальной, то близкой к оптимальной по выбранным критериям [1, 2].

Цель – создать оптимизированную конструкцию фронтального погрузчика с использованием современных САПР.

Задачи:

- 1) определить конструктивные факторы, влияющие на материалоемкость конструкции фронтального погрузчика;
- 2) провести вычислительный эксперимент и выявить оптимальные значения конструктивных факторов, обеспечивающих минимальную материалоемкость при сохранении работоспособности фронтального погрузчика.

Объекты и методы

Объектом исследования является процесс проектирования фронтального погрузчика с использованием

современных отечественных систем автоматизированного проектирования.

Предмет исследования – конструкция фронтального погрузчика грузоподъемностью 350 кг для малогабаритного трактора ХТ-244.

В работе производится разработка конструкции фронтального погрузчика на основе технического задания. В техническом задании было предложено спроектировать отечественный фронтальный погрузчик на трактор Xingtai 244 с такой конструкцией, чтобы по себестоимости и по прочностным показателям превосходила зарубежный продукт.

Первым этапом проектирования было создание эскиза (рис. 1), в котором учитывались габаритные размеры трактора, конструкция рамы, отверстия на раме, с помощью которых будет монтироваться лонжерон куна. Также необходимо найти центр тяжести, чтобы предотвратить опрокидывание трактора. При проектировании необходимо было учесть заданную заказчиком грузоподъемность куна, равную 350 кг. Дальнейшее проектирование осуществлялось с помощью программы Компас-3D V16 [2].

На следующем этапе проектирования необходимо относительно размеров трактора создать эскиз примерной конструкции всего погрузчика (рис. 2).

При этом нужно подобрать отечественные гидравлические цилиндры, которые бы обеспечивали максимальный подъем стрелы погрузчика и были доступны для приобретения.

Для уменьшения веса конструкции и смещения центра тяжести куна в сторону трактора было принято решение вместо передних копиров расположить гидравлические цилиндры, отвечающие за шарнирный поворот ковша.

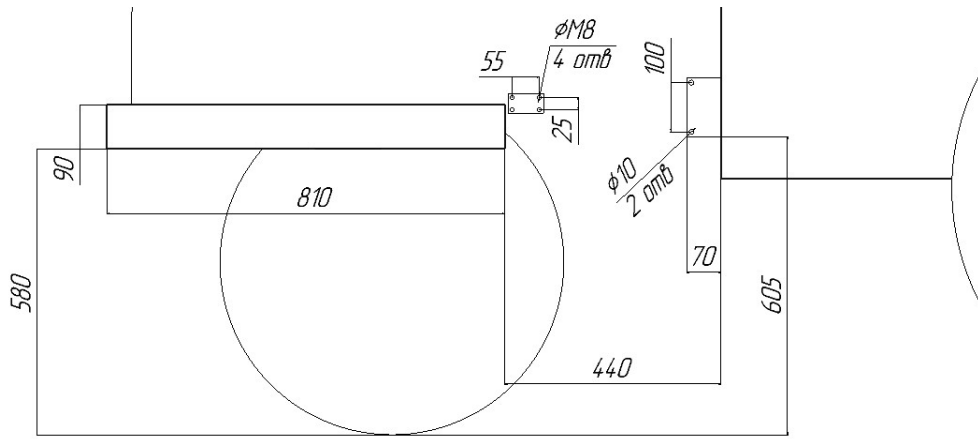


Рис. 1. Эскиз участков монтажа погрузчика

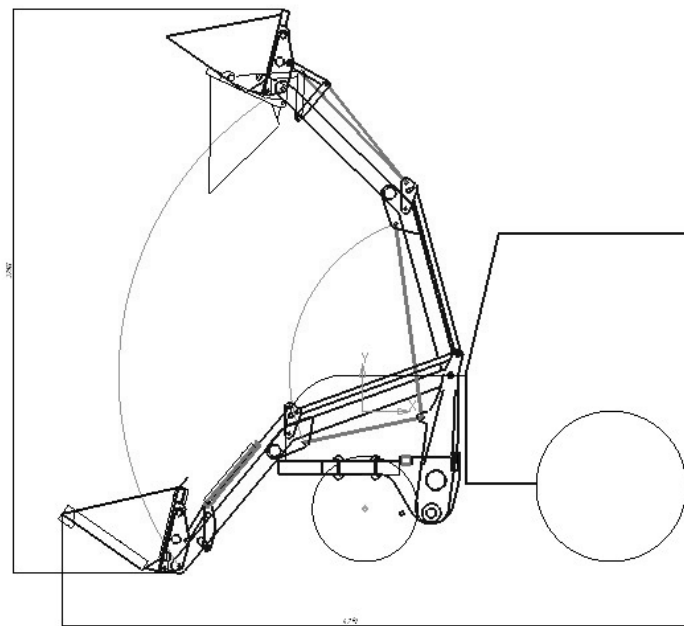


Рис. 2. Эскиз погрузчика с трактором

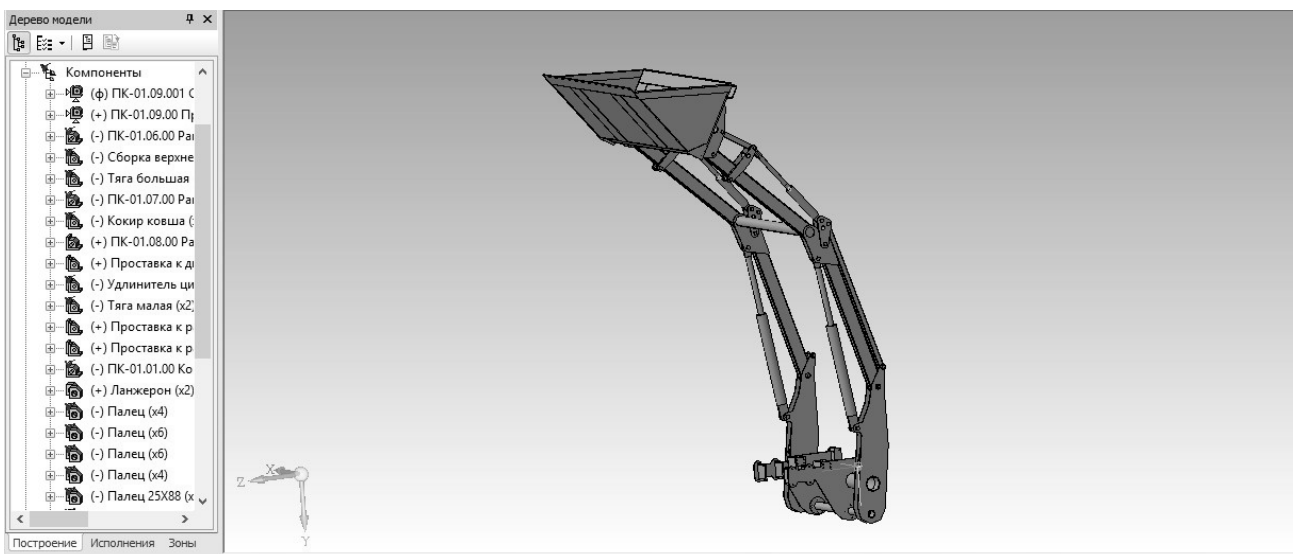


Рис. 3. Сборка фронтального погрузчика с деревом моделей ее узлов

На рисунке 3 изображена сборка фронтального погрузчика для трактора ХТ-244 с деревом моделей ее узлов.

С помощью функции вычисления массо-центровочных характеристик, программы Компас 3D, найдены центры тяжести трактора, погрузчика, груза в ковше и определены условия, при которых не будет происходить опрокидывание трактора при работе погрузчика (рис. 4).

Для проведения инженерно-технических расчетов 3D модель погрузчика была импортирована в модуль APM Studio программы APM WinMachine [4]. В данном модуле определяются условия закрепления, взаимосвязь между телами, составляющими модель, моде-

лируются приложенные нагрузки и производится расчет на прочность, жесткость и устойчивость (рис. 5).

Результатами расчета являются изображения расчетной модели, по которой при помощи цветовой гаммы распределены расчетные параметры. На рисунке 6 приведен результат расчета на прочность.

Экспериментальная часть

В ходе анализа конструкции фронтального погрузчика были выявлены факторы, влияющие на металлоемкость конструкции. Все факторы можно отнести к геометрическим, то есть влияющим на конструктивные параметры деталей погрузчика.

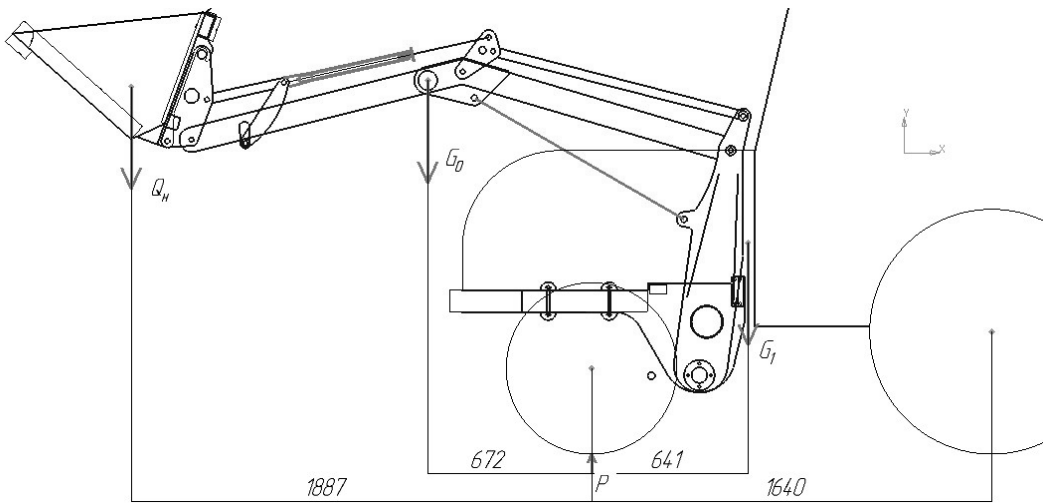


Рис. 4. Схема для определения условий, исключающих опрокидывание

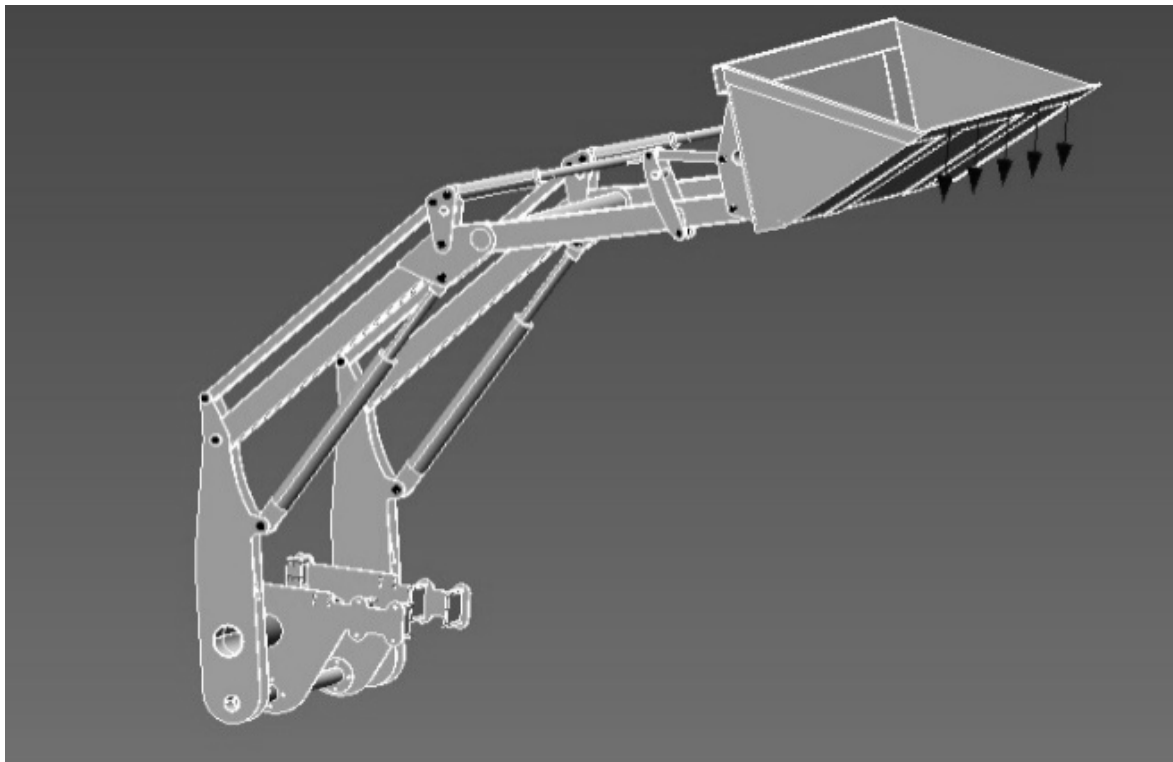


Рис. 5. Пример расчетной модели фронтального погрузчика



Рис. 6. Распределение напряжений

На основе анализа конструкции погрузчика было выделено одиннадцать факторов, оказывающих влияние на металлоемкость фронтального погрузчика (рис. 7): габаритные размеры ковша 1, размеры лонжерона 2, расположение отверстия на ковше для крепления с рычагом 3, расположение точки крепления гидроцилиндра стрелы 4, положение узла копира на стреле 5, положение рычага на полураме 6, угол между полурамами 7, расстояние между кронштейнами лонжерона 8, общая длина стрелы 9, длина полурамы 10, длина второй полурамы 11.

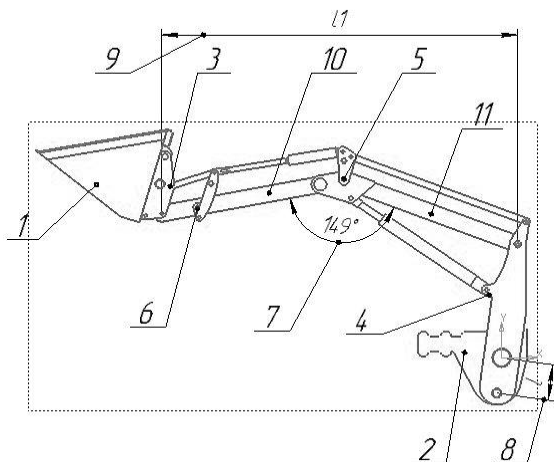


Рис. 7. Элементы конструкции погрузчика, влияющие на его металлоемкость

Из одиннадцати факторов были выбраны три, наиболее значимых и влияющих на параметры фронтального погрузчика:

- расположение точки крепления гидроцилиндра стрелы (x1);
- положение узла копира на стреле (x2);
- положение рычага на полураме (x3).

Таблица

Результаты наблюдений в эксперименте по описанию почти стационарной области

№	Факторы			Напряжения, Мпа		Масса
	x1	x2	x3	Y1	Y2	
1	-1	-1	-1	69	393,9	
2	-1,682	1	-1	103	326,5	
3	-1,682	-1	1	86	341,8	
4	-1	1	1	84	341,4	
5	0	0	0	123	343,9	
6	-1,682	-1	-1	103	341,6	
7	-1	1	-1	84	326,2	
8	-1	-1	-1	137,5	341,4	
9	-1,682	1	1	118,7	326,7	
10	-1,682	0	0	75,2	333,8	
11	1,682	0	0	48,7	333,1	
12	0	-1,682	0	93,7	378	
13	0	1,682	0	150	360	
14	0	0	-1,682	112	339	
15	0	0	1,682	108	327,7	

Для проведения экспериментальных исследований и описания зависимости массы погрузчика от выбранных конструктивных факторов уравнением регрессии второго порядка был определен метод построения плана второго порядка. Этот метод является центральным композиционным планированием второго порядка. Ядром плана служил полный факторный эксперимент типа 2^k [5, 6]. Матрица эксперимента с ре-

зультатами наблюдений представлена в таблице. При проведении наблюдений оптимизация модели производилась по массе конструкции (Y2), но также для исключения возможности разрушения элементов конструкции отслеживались и напряжения в наиболее нагруженных элементах (Y1).

Уравнение регрессии, полученное в результате эксперимента, имеющее коэффициент детерминации

$$y = 337,0166 - 48,9580 \cdot X_1 - 18,7570 \cdot X_2 - 11,2303 \cdot X_3 - 28,6468 \cdot X_{11} - 5,4013 \cdot X_{12} - 5,4746 \cdot X_{13} + 0,7617 \cdot X_{22} + 8,4625 \cdot X_{23} - 7,3645 \cdot X_{33} \quad (1)$$

Для определения оптимальных значений факторов в регрессионной модели в программе Mathcad был произведен поиск минимума массы фронтального погрузчика [7].

Результаты и их обсуждение

Минимальное значение массы, найденное с помощью уравнения регрессии, составило 282 кг. Значение массы, найденное после построения оптимизированной 3D модели фронтального погрузчика, составило 287 кг. Расхождение между массой конструкции, посчитанной с помощью Компас 3D, и массой конструкции, полученной по уравнению регрессии, составляет 2%, что доказывает адекватность полученного в результате эксперимента уравнения регрессии.

Масса базовой конструкции, получившейся при первоначальном проектировании, составляет 343,9 кг, то есть экономия материала в сравнении с первоначальными размерами погрузчика составляет 16,5%. Кроме того, напряжения в самых нагруженных элементах оптимизированной конструкции получились ниже напряжений в базовом варианте, что положительно влияет на ресурс машины, либо дает возможность дальнейшего уменьшения её массы.

Можно сделать вывод, что используемая методика оптимизации конструкции показывает хорошие результаты. Если использовать подобный способ оптимизации в серийном производстве, то можно получить значительную экономию материалов, следовательно, сократить затраты на производство.

Выводы

1. При анализе конструкции фронтального погрузчика выявлены три наиболее значимых фактора, влияющих на её материалоемкость: расположение точки крепления гидроцилиндра стрелы, положение узла копира на стреле, положение рычага на полураме.

2. Проведен вычислительный эксперимент, получено уравнение регрессии второго порядка для массы конструкции.

3. Найденны оптимальные значения факторов в уравнении регрессии, позволившие снизить массу конструкции в сравнении с базовой на 16,5% с одновременным уменьшением величины напряжений в конструкции.

Библиографический список

1. Пирожков Д.Н. Использование компьютерной техники при преподавании общеинженерных дисциплин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2002. – С. 156.
2. Фоминых А.В. Расчет колебаний машин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – № 12. – С. 35-39.
3. Система трехмерного моделирования Компас 3D. – Режим доступа: ascon.ru: сервер URL <https://machinery.ascon.ru/software/developers/items/?prpid=7> (дата обращения 19.10.17).
4. Научно-технический центр «АПМ» – Режим доступа: apm.ru: сервер научно-технического центра «АПМ»: URL <http://apm.ru/?PHPSESSID=fgj5h1srl0hho5khbs6gp2f6e5> (дата обращения 19.10.17.)
5. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.
6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука; Главная редакция физико-математической литературы, 1969. – 576 с.
7. Федоренко И.Я., Морозова С.В. Оптимизация и принятие решений в агроинженерных задачах. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2012. – 232 с.

References

1. Pirozhkov D.N. Ispolzovanie kompyuternoy tekhniki pri prepodavanii obshcheinzhenernykh distsiplin // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2002. – № 2. – S. 156.
2. Fominykh A.V. Raschet kolebaniy mashin // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva. – 2006. – № 12. – S. 35-39.
3. Sistema trekhmernogo modelirovaniya Kompas 3D // ascon.ru: server URL <https://machinery.ascon.ru/software/developers/items/?prpid=7> (data obrashcheniya 19.10.17).
4. Nauchno-tekhnicheskij tsentr «APM» // apm.ru: server nauchno-tekhnicheskogo tsentra «APM»: URL <http://apm.ru/?PHPSESSID=fgj5h1srl0hho5khbs6gp2f6e5> (data obrashcheniya 19.10.17.).
5. Melnikov S.V. Planirovanie eksperimenta v issledovaniyakh selskokhozyaystvennykh protsessov. – L.: Kolos, 1980. – 168 s.
6. Venttsel E.S. Teoriya veroyatnostey. – M.: Nauka, 1969. – 576 s.
7. Fedorenko I.Ya., Morozova S.V. Optimizatsiya i prinyatie resheniy v agroinzhenernykh zadachakh. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2012. – 232 s.

