НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
www.srjournal.ru

Борисов В. И. Моделирование условий эксплуатации мешалок резервуаров и емкостей технологического назначения средствами системы SolidWorks [Электронный ресурс] / В. И. Борисов, В. О. Зайцев // Научное обозрение: электрон. журн. – 2018. – № 3. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Систем. требования: Pentium III, процессор с тактовой частотой 800 Мгц; 128 Мб; 10 Мб; Windows XP/Vista/7/8/10; Acrobat 6 x.

ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016
Научное обозрение. Раздел II. Наука и практика. 2018. №3. ID 133

Борисов Виталий Иванович
кандидат технических наук, доцент, кафедра механизации переработки сельскохозяйственной продукции, Институт механики и энергетики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва»
v.i.borisov22@mail.ru

Зайцев Владислав Олегович
студент, Институт механики и энергетики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва»
vladislav-zaitcev15515@yandex.ru

УДК 004.942:637.022

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕШАЛОК РЕЗЕРВУАРОВ И ЕМКОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ СРЕДСТВАМИ СИСТЕМЫ SOLIDWORKS

В статье описывается процесс поэтапного расчета и обоснования конструктивно-геометрических характеристик мешалки лопастного типа, применяемой в резервуарах и емкостях технологического назначения в условиях ее эксплуатации. Расчет осуществлялся моделированием в системе инженерного анализа SolidWorks методом конечных элементов.

Ключевые слова: резервуар, конструкция, мешалка, модернизация, расчет, моделирование, система, модель, свойства, параметры, сетка, эпюра.

Любое пищевое производство невозможно представить без использования в них емкостей и резервуаров различного назначения [1–3], которые в настоящее время выпускаются промышленностью в большом количестве. Современные конструкции от выпускаемых ранее отличаются усовершенствованными устройствами автоматики и управления процессами, обеспечения безопасности

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
www.srjournal.ru

Борисов В. И. Моделирование условий эксплуатации мешалок резервуаров и емкостей технологического назначения средствами системы SolidWorks [Электронный ресурс] / В. И. Борисов, В. О. Зайцев // Научное обозрение: электрон. журн. – 2018. – № 3. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Систем. требования: Pentium III, процессор с тактовой частотой 800 Мгц; 128 Мб; 10 Мб; Windows XP/Vista/7/8/10; Acrobat 6 x.

ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016
Научное обозрение. Раздел II. Наука и практика. 2018. №3. ID 133

и удобства обслуживания. При этом все конструктивные элементы, непосредственно влияющие на работу оборудования, не претерпели серьезных изменений.

Наиболее распространенная конструкция технологического резервуара представляет собой трехстенный цилиндрический сосуд с эллиптическим, коническим или наклонным днищем [1–3]. Внутренняя емкость является рабочей, контактирует с продуктом и изготавливается из нержавеющей стали. Между внутренней и средней стенкой находится пространство для подачи тепло- или хладоносителя – пароводяная рубашка. Пространство между средней и наружной стенками заполнено теплоизоляционным материалом. Перемешивание продукта осуществляется мешалками преимущественно лопастного типа.

Основным способом повышения эффективности работы резервуаров и емкостей [3–4] является интенсификация процесса теплообмена между хладоносителем и продуктом с целью ускорения технологического процесса, что в свою очередь достигается усовершенствованием конструкций перемешивающих устройств.

Любое изменение конструктивно-геометрических характеристик, вызванных модернизацией или совершенствованием конструкций резервуаров и емкостей, предполагает их прочностной расчет с определением основных физико-механических характеристик. Выполнение данного вида расчета аналитическими методами вызывает затруднения и требует значительных временных ресурсов.

В последнее время широкое распространение получили методы численного моделирования, которые позволяют существенно сократить стоимость и сроки создания новых конструкций различных машин и аппаратов, в том числе отдельных узлов и механизмов. Наиболее важным инструментом этих исследований многие инженеры считают метод конечных элементов.

В настоящее время существует ряд специализированных программных продуктов для анализа методом конечных элементов, так называемые *CAE* – системы или системы компьютерного инженерного анализа [5–6]. Данные системы, используемые для анализа и оценки функциональных свойств проектируемых узлов и деталей, охватывают широкий круг задач моделирования напряженно-деформированного состояния конструкций. Отлично зарекомендовавшей себя системой инженерного анализа считается система *SolidWorks*.

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
www.srjournal.ru

Борисов В. И. Моделирование условий эксплуатации мешалок резервуаров и емкостей технологического назначения средствами системы SolidWorks [Электронный ресурс] / В. И. Борисов, В. О. Зайцев // Научное обозрение: электрон. журн. – 2018. – № 3. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Систем. требования: Pentium III, процессор с тактовой частотой 800 Мгц; 128 Мб; 10 Мб; Windows XP/Vista/7/8/10; Acrobat 6 x.

ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016
Научное обозрение. Раздел II. Наука и практика. 2018. №3. ID 133

С целью оценки работоспособности мешалки и обоснования ее конструктивно-геометрических характеристик проведено численное исследование влияния различных нагрузок на элементы конструкций деталей устройства. В качестве образца принята наиболее распространенная и унифицированная мешалка лопастного типа резервуара Р4-ОТН-2.

Для проверочного расчета на прочность и обоснования основных геометрических размеров устройства применен вычислительный комплекс *SolidWorks Simulation*, основанный на методе конечных элементов и имеющий большое количество моделей, описывающих механические свойства материалов нагружаемых деталей.

Мешалка резервуара представляет собой сборочный узел, состоящий из четырех деталей: собственно мешалки, вала и двух штифтов, обеспечивающих соединение указанных деталей. В качестве материала деталей из библиотеки *SolidWorks Materials* выбрана отожженная нержавеющая сталь AISI 321, являющаяся аналогом российской нержавеющей стали 12Х18Н10Т ГОСТы 2590-2006, 7417-75 и 7350-77, широко применяемой в качестве материала для емкостного, теплообменного оборудования пищевой промышленности. Механическое поведение деталей сборочного узла определяется линейным, упругим, изотропным типом модели указанного материала. Отожженная нержавеющая сталь AISI 321 имеет следующие физико-механические характеристики [6]:

– предел текучести – $2{,}34422 \cdot 10^8$ Н/м^2;
– предел прочности при растяжении – $6{,}2 \cdot 10^8$ Н/м^2;
– модуль упругости – $1{,}93 \cdot 10^{11}$ Н/м^2;
– коэффициент Пуассона – 0,27;
– массовая плотность – 8000 кг/м^3;
– коэффициент теплового расширения – $1{,}7 \cdot 10^5$ 1/К.

Для реализации указанных выше целей в программном комплексе *SolidWorks* построена твердотельная модель сборочного узла мешалки резервуара, представленная на рисунке 1.

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
www.srjournal.ru

Борисов В. И. Моделирование условий эксплуатации мешалок резервуаров и емкостей технологического назначения средствами системы SolidWorks [Электронный ресурс] / В. И. Борисов, В. О. Зайцев // Научное обозрение: электрон. журн. – 2018. – № 3. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Систем. требования: Pentium III, процессор с тактовой частотой 800 Мгц; 128 Мб; 10 Мб; Windows XP/Vista/7/8/10; Acrobat 6 x.

ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016
Научное обозрение. Раздел II. Наука и практика. 2018. №3. ID 133

Рис. 1. Твердотельная модель сборочного узла мешалки резервуара в *SolidWorks*

В качестве креплений и нагрузок (рис. 2), действующих на элементы конструкций сборочного узла мешалки, представлены следующие параметры и значения [1]:

– зафиксированный шарнир (наружная поверхность вала и подпятника);

– зафиксированная геометрия (торцевая поверхность подпятника);

– давление, оказываемое столбом смеси, находящемся в резервуаре, на поверхности лопасти мешалки: $p=\rho \cdot g \cdot h=1033{,}3 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}4=14200$ Н/м^2 (где h – высота столба смеси, h=1,4 м);

– центробежная сила, выраженная через угловую скорость: $\omega=2\pi \cdot n=2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}933=5{,}9$ рад/с;

– вращающий момент: T=22,4 Н·м.

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
www.srjournal.ru

Борисов В. И. Моделирование условий эксплуатации мешалок резервуаров и емкостей технологического назначения средствами системы SolidWorks [Электронный ресурс] / В. И. Борисов, В. О. Зайцев // Научное обозрение: электрон. журн. – 2018. – № 3. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Систем. требования: Pentium III, процессор с тактовой частотой 800 Мгц; 128 Мб; 10 Мб; Windows XP/Vista/7/8/10; Acrobat 6 x.

ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016
Научное обозрение. Раздел II. Наука и практика. 2018. №3. ID 133

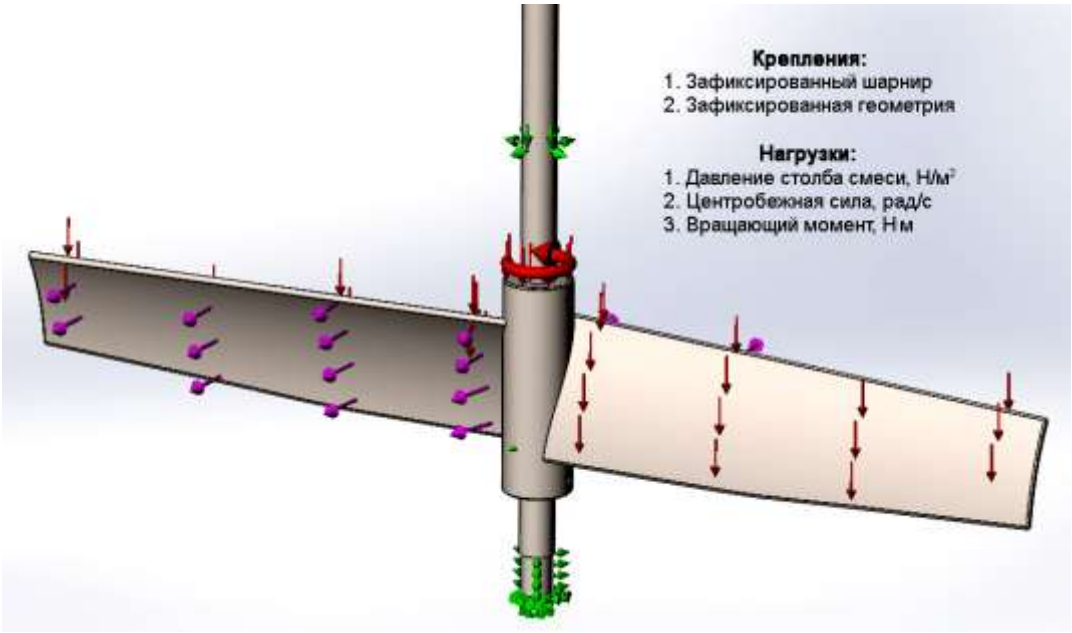

Рис. 2. Схема креплений и нагрузок на твердотельную модель сборочного узла мешалки резервуара в *SolidWorks Simulation*

Твердотельные модели сборочного узла мешалки с помощью сеточного генератора на основе кривизны были разбиты соответственно на 56235 узлов и 30256 конечных элементов (рис. 3), что обеспечило достаточную точность вычислений. Максимальная размер элемента составил 30,2258 мм, минимальный – 6,04517 мм.

По результатам расчета были построены эпюры напряжений по Мизесу, абсолютных перемещений и запаса прочности, представленные на рисунках 4–6.

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
www.srjournal.ru

Борисов В. И. Моделирование условий эксплуатации мешалок резервуаров и емкостей технологического назначения средствами системы SolidWorks [Электронный ресурс] / В. И. Борисов, В. О. Зайцев // Научное обозрение: электрон. журн. – 2018. – № 3. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Систем. требования: Pentium III, процессор с тактовой частотой 800 Мгц; 128 Мб; 10 Мб; Windows XP/Vista/7/8/10; Acrobat 6 x.

ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016
Научное обозрение. Раздел II. Наука и практика. 2018. №3. ID 133

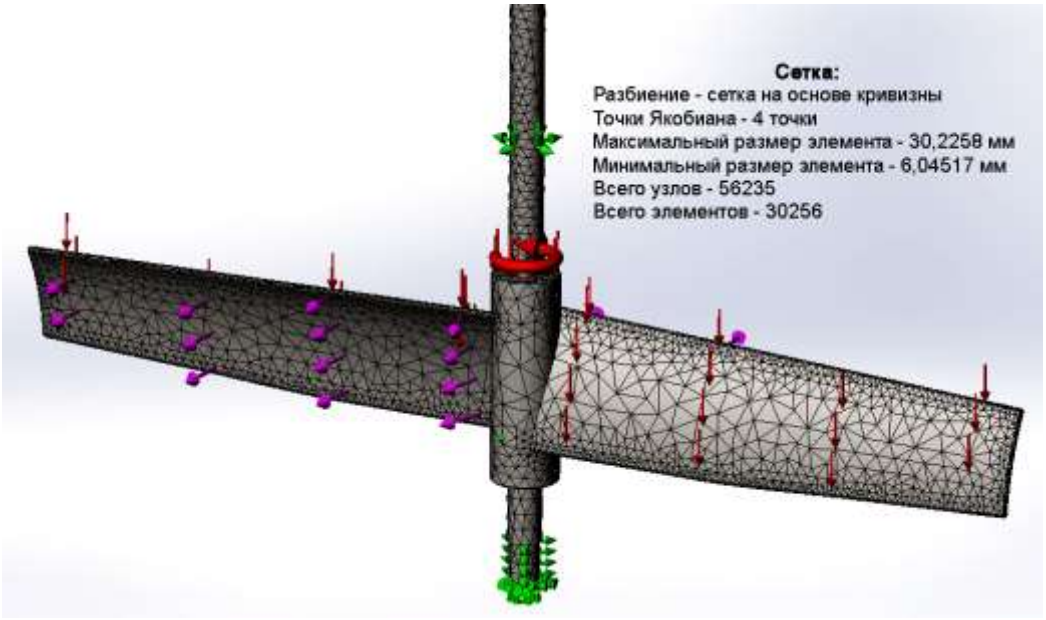

Рис. 3. Сетка конечных элементов твердотельной модели сборочного узла мешалки резервуара в *SolidWorks Simulation*

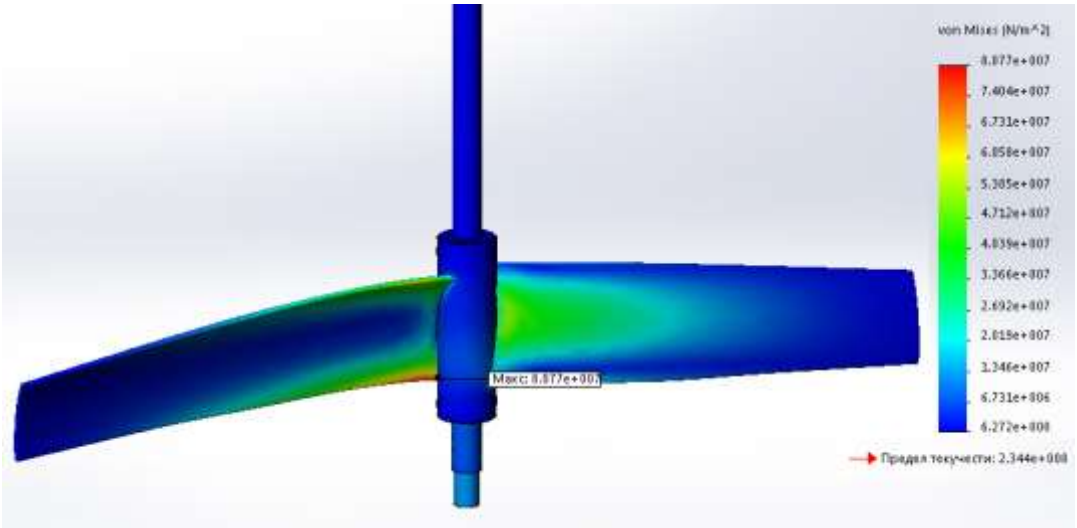

Рис. 4. Эпюра напряжений твердотельной модели сборочного узла мешалки резервуара в *SolidWorks Simulation*

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
www.srjournal.ru

Борисов В. И. Моделирование условий эксплуатации мешалок резервуаров и емкостей технологического назначения средствами системы SolidWorks [Электронный ресурс] / В. И. Борисов, В. О. Зайцев // Научное обозрение: электрон. журн. – 2018. – № 3. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Систем. требования: Pentium III, процессор с тактовой частотой 800 Мгц; 128 Мб; 10 Мб; Windows XP/Vista/7/8/10; Acrobat 6 x.

ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016
Научное обозрение. Раздел II. Наука и практика. 2018. №3. ID 133

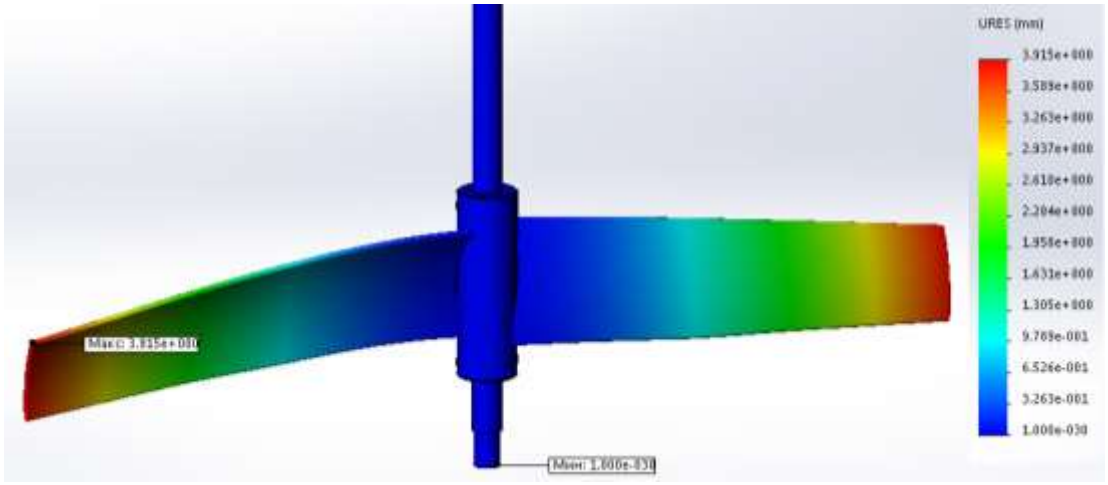

Рис. 5. Эпюра перемещений твердотельной модели сборочного узла мешалки резервуара в *SolidWorks Simulation*

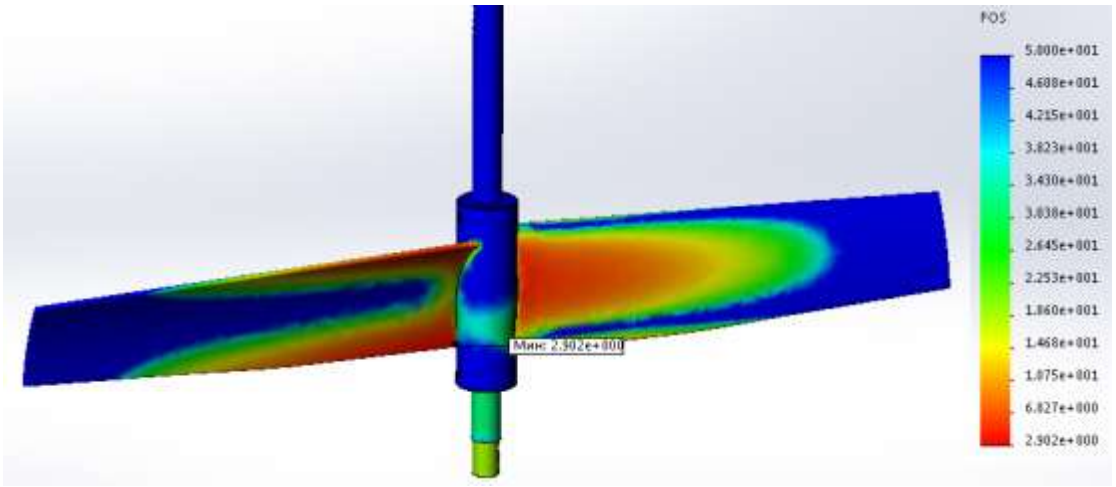

Рис. 6. Эпюра запаса прочности твердотельной модели сборочного узла мешалки резервуара в *SolidWorks Simulation*

Из расчетов следует, что наиболее нагруженным элементом сборочного узла является лопасть мешалки в месте ее примыкания к втулке. Как видно из эпюры напряжений (рис. 4) указанное место примыкания лопасти к втулке мешалки является зоной концентраций напряжений, чье максимальное значение достигает $8{,}077 \cdot 10^7$ Н/м^2. Однако, минимальный коэффициент запаса прочности (рис. 4) составляет величину 2,902. Следовательно, условие прочности выполняется, а рассматриваемый сборочный узел с заданными конструктивно-геометрическим характеристиками является работоспособным.

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
www.srjournal.ru

Борисов В. И. Моделирование условий эксплуатации мешалок резервуаров и емкостей технологического назначения средствами системы SolidWorks [Электронный ресурс] / В. И. Борисов, В. О. Зайцев // Научное обозрение: электрон. журн. – 2018. – № 3. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Систем. требования: Pentium III, процессор с тактовой частотой 800 Мгц; 128 Мб; 10 Мб; Windows XP/Vista/7/8/10; Acrobat 6 x.

ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016
Научное обозрение. Раздел II. Наука и практика. 2018. №3. ID 133

Список использованных источников

1. Курочкин А. А. Оборудование и автоматизация перерабатывающих производств: учеб. для студ. вузов. М.: КолосС, 2007. 591 с.

2. Березин М. А., Борисов В. И., Борисов В. С. Оборудование для переработки молока и производства молочных продуктов. Саранск: Мордовия-Экспо, 2011. 92 с.

3. Борисов В. С., Борисов В. И. Современное оборудование для охлаждения молока // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем: труды междунар. науч.-техн. конф. Саранск: [б. и.], 2007. С. 369–373.

4. Березин М. А., Истихин С. В., Слепцов Р. Ю. Расширение технологических возможностей резервуаров для производства кисломолочных продуктов // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем: материалы Всерос. науч.-техн. конф. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2009. С. 404–408.

5. Что такое CAD, CAM, CAE – технологии? [Электронный ресурс]: сайт о системах автоматизированного проектирования. URL: http://www.procae.ru/articles/15-other/10-what-is-it.html (дата обращения: 20.05.2018).

6. Что такое SolidWorks [Электронный ресурс]: сайт о системах автоматизированного проектирования. URL: http://www.procae.ru/articles/19-cads-program/22-solidworks-what-it-is.html (дата обращения: 20.05.2018).

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
www.srjournal.ru

Борисов В. И. Моделирование условий эксплуатации мешалок резервуаров и емкостей технологического назначения средствами системы SolidWorks [Электронный ресурс] / В. И. Борисов, В. О. Зайцев // Научное обозрение: электрон. журн. – 2018. – № 3. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Систем. требования: Pentium III, процессор с тактовой частотой 800 Мгц; 128 Мб; 10 Мб; Windows XP/Vista/7/8/10; Acrobat 6 x.

ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016
Научное обозрение. Раздел II. Наука и практика. 2018. №3. ID 133

Borisov Vitaly
PhD in Engineering sciences, Associate Professor, Department of Mechanization of Processing of Agricultural Products, Institute of Mechanics and Power Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «National Research Ogarev Mordovia State University»

Zaitsev Vladislav
student, Institute of Mechanics and Power Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «National Research Ogarev Mordovia State University»

THE OPERATING CONDITIONS MODELING OF THE RESERVOIRS AND TANKS MIXERS FOR TECHNOLOGICAL APPLICATION THROUGH THE SOLIDWORKS SYSTEM

The article describes the process of step-by-step calculation and argumentation of the structural and geometric characteristics of the blade-type mixer used in reservoirs and tanks for technological purposes under its operation. The calculation was carried out by simulation in SolidWorks system by finite element method.

Key words: reservoir, construction, mixer, modernization, calculation, modeling, system, model, properties, parameters, grid, epure.

© АНО СНОЛД «Партнёр», 2018
© Борисов В. И., 2018
© Зайцев В. О., 2018

Учредитель и издатель журнала:
Автономная некоммерческая организация содействие научно-образовательной и литературной деятельности «Партнёр»
ОГРН 1161300050130 ИНН/КПП 1328012707/132801001

Адрес редакции:
430027, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Ульянова, д.22 Д, пом.1
тел./факс: (8342) 32-47-56; тел. общ.: +79271931888;
E-mail: redactor@anopartner.ru

НАУЧНОЕ ОБОЗРЕНИЕ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
www.srjournal.ru

Борисов В. И. Моделирование условий эксплуатации мешалок резервуаров и емкостей технологического назначения средствами системы SolidWorks [Электронный ресурс] / В. И. Борисов, В. О. Зайцев // Научное обозрение: электрон. журн. – 2018. – № 3. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Систем. требования: Pentium III, процессор с тактовой частотой 800 Мгц; 128 Мб; 10 Мб; Windows XP/Vista/7/8/10; Acrobat 6 x.

ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016
Научное обозрение. Раздел II. Наука и практика. 2018. №3. ID 133

О журнале

✓ Журнал имеет государственную регистрацию СМИ и ему присвоен международный стандартный серийный номер ISSN.

✓ Материалы журнала включаются в библиографическую базу данных научных публикаций российских учёных Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

✓ Журнал является официальным изданием. Ссылки на него учитываются так же, как и на печатный труд.

✓ Редакция осуществляет рецензирование всех поступающих материалов, соответствующих тематике издания, с целью их экспертной оценки.

✓ Журнал выходит на компакт-дисках. Обязательный экземпляр каждого выпуска проходит регистрацию в Научно-техническом центре «Информрегистр».

✓ Журнал находится в свободном доступе в сети Интернет по адресу: **www.srjournal.ru**. Пользователи могут бесплатно читать, загружать, копировать, распространять, использовать в образовательном процессе все статьи.

Прием заявок на публикацию статей и текстов статей, оплата статей осуществляется через функционал Личного кабинета сайта издательства "Партнёр" (www.anopartner.ru) и не требует посещения офиса.