

**Анализ результатов расчетов на прочность ротора лопастного
смесителя для смешения компонентов, имеющих различные размеры и
физико-механические свойства, в программе SolidWorks**

Лозовая Светлана Юрьевна

д.т.н. профессор кафедры механического
оборудования Белгородского государственного
технологического
университета им.В.Г.Шухова

Старчик Юлия Юрьевна

к.т.н. доцент заведующая кафедрой
технических дисциплин

Филиала Белгородского государственного технологического
университета им.В.Г.Шухова в г.Новороссийске

Федоссенко Наталья Игоревна

Ст. преподаватель

Филиала Белгородского государственного технологического
университета им.В.Г.Шухова в г.Новороссийске

Мкртычев Олег Витальевич

доцент

Филиала Белгородского государственного технологического
университета им.В.Г.Шухова в г.Новороссийске

Lozovaja Svetlana Yur'evna

Professor of Department of mechanical
equipment of Belgorod state
technological

University.In. V.G.Shukhov

Starchik Yuliya Yur'evna

Ph. D. associate Professor head of the Department
technical disciplines

Branch of Belgorod state technological
University.In. V.G.Shukhov in Novorossiysk

Fedossenka Natalia Igorevna

PT. teacher

Branch of Belgorod state technological
University.In.V.G.Shukhov in Novorossiysk

Mkrtychev Oleg Vitalyevich

associate Professor

Branch of Belgorod state technological
University.In.V.G.Shukhov in Novorossiysk

Аннотация

Однородность материала, является основой требуемого качества современных строительных смесей. Предлагается новая конструкция лопастного смесителя для смешения компонентов, имеющих различные размеры и физико-механические свойства. С целью выявления максимальных и минимальных напряжений, максимального прогиба, определение характера деформаций и коэффициента запаса прочности ротора смесителя произведен расчет на прочность ротора смесителя в программе SolidWorks, по результатам которого сделаны выводы по надежности проектируемого смесителя.

Ключевые слова

Сухие строительные смеси, смеситель, деформации, коэффициента запаса прочности, ротор смесителя, крутящий момент, напряжения, запас прочности.

Abstract

The homogeneity of the material, is the basis of the required quality modern mixes. Proposed new design paddle mixer for mixing components having different sizes and physical-mechanical properties. To identify the maximum and minimum stress, maximum deflection, the determination of deformations and factor of safety of the rotor of the mixer is calculated on the strength of the mixer rotor in SolidWorks, the results of which conclusions on the reliability of the designed mixer.

Keywords

Dry mortar mixer, strain, factor of safety, the rotor of the mixer, torque, stresses, factor of safety

В настоящее время производство сухих строительных смесей в нашей стране является одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений строительной индустрии. Намечившееся в конце девяностых годов

увеличение объемов выпуска продукции на существующих предприятиях, а также создание новых заводов, не только не утратило своей позитивной динамики, но и продолжает с каждым годом увеличиваться. Именно в наши дни, модифицированные сухие смеси сложного состава: шпаклевки, выравнивающие смеси, клеи высокой степени фиксации, и т.д., получают все более широкое распространение в строительстве.

Однородность материала, является основой требуемого качества современных строительных смесей. От того, насколько равномерно отдельные компоненты будут распределены в основном объеме смеси, напрямую зависят эксплуатационные характеристики получаемого продукта. Даже небольшое отклонение содержания малых добавок, вызванное плохим их распределением, может негативно сказаться как на физико-механических, так и на технико-эксплуатационных свойствах смеси. Именно по этим причинам смесительный узел по праву считается наиболее ответственным участком завода по производству сухих строительных смесей. Соответственно, выбор смесительного оборудования, является важнейшим шагом на пути получения высококачественного продукта.

Сегодня получение некоторых видов материалов строительного назначения не возможно без использования смесительного оборудования, способного обеспечить необходимый уровень однородности смеси. В составы сухих строительных смесей входит большой ассортимент компонентов, при этом целый ряд составляющих вводится в малом количестве (0,05-0,5%), однако их влияние на формирование свойств растворных смесей и растворов чрезвычайно велико.

В строительных производствах используются, в основном, смесители периодического действия. Это объясняется тем, что, во-первых, при периодическом смешивании можно обеспечить точное соотношение между компонентами (их часто загружают в смеситель по массе), а во-вторых, при большом числе компонентов их дозирование в смеситель непрерывного действия затруднено [1].

По механике переноса смешиваемой массы внутри смесителя их можно разделить на три группы:

- 1) циркуляционные;
- 2) объемного смешивания;
- 3) диффузионного смешивания.

Подобная классификация позволяет создать единые методики расчета кинетики процесса смешивания для смесителей конструктивно различных, но с одинаковым механизмом процесса перераспределения частиц в рабочем объеме смесителей. В циркуляционных смесителях характерно движение (циркуляция) основного потока материала по замкнутому контуру различной сложности. Движение сыпучего материала по циркуляционному контуру обеспечивают либо перемешивающий орган, либо специальные транспортеры. В смесителях объемного смешивания смешиваемый материал перемещается рабочим органом хаотически по всему рабочему объему смесителя. В смесителях с диффузионным механизмом смешивания частицы отдельных компонентов под действием внешних сил начинают перераспределяться подобно молекулам при диффузии в газах. В этом случае необходимо создать разрежение в слоях смешиваемого материала путем вибрации или псевдооживления.

Мы предлагаем новую конструкцию лопастного смесителя для смешения компонентов, имеющих различные размеры и физико-механические свойства, наиболее целесообразно использовать аппараты с вертикальными перемешивающими устройствами, состоящими из вертикально расположенных стержней разной длины (рис. 1), расположенных на диске 3, закрепленном на приводном валу 4, причем стержни имеют Г-образную форму, за счет чего материал перемещается во всем объеме камеры [6].

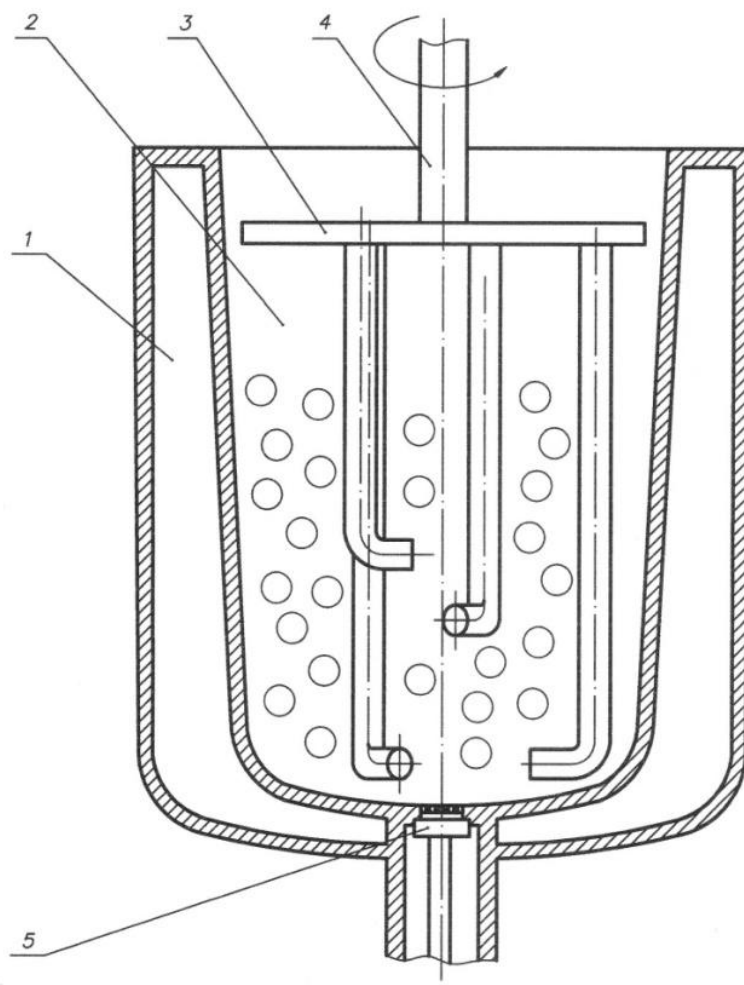


Рисунок 1 - Лопастной смеситель периодического действия

С целью выявления максимальных и минимальных напряжений, максимального прогиба, определение характера деформаций и коэффициента запаса прочности ротора смесителя произведем проектирование и расчет на прочность ротора смесителя в программе SolidWorks. Перед началом расчета необходимо идеализировать модель ротора. В процессе идеализации, убираются такие элементы модели как скругления, фаски, отверстия, диаметр которых слишком мал по отношению к площади поверхности, пазы, карманы, проточки, размеры которых также позволяют это сделать.

Для создания модели ротора смесителя, который состоит из вертикальных Г-образных лопаток разной длины, закрепленных на диске, который крепится на валу необходимо создать все необходимые детали для сборки, далее формируется трехмерное изображение сборки (рис. 2).

Исходными данными для расчета на прочность являются: разработанная модель ротора (рис. 2), характеристика материалов деталей, включённых в эту сборку; нагрузки и ограничения перемещения элементов сборки в плоскостях с учетом эксплуатации конструкции в промышленности строительных материалов.

Для расчета конструкции ротора смесителя на прочность необходимо определить силы, действующие на его элементы.

Допустимый максимальный прогиб для диска принимаем из условия:

$$f_{max} = 0,1d, \quad (1)$$

где d – диаметр диска, $d = 2R_0$.

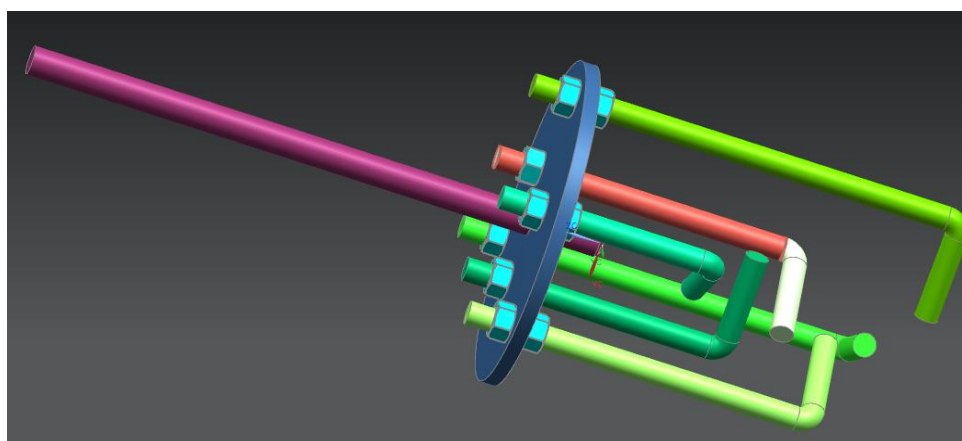


Рисунок 2 - Модель сборки ротора (повернуто на 70°)

Диск, скобы и вал в лабораторной установке изготовлены из стали Ст3 с пределом текучести $\sigma_m=160$ МПа.

$$\sigma_{-1} = 0,45\sigma_{вр}. \quad (2)$$

На детали ротора действуют 2 вида нагрузок:

1) собственный вес конструкции, равный 8,63 Н, в который входит вес скоб, вала и собственный вес диска.

2) - крутящий момент M от вращения привода.

$$M = \frac{F\omega^2}{2}, \quad (3)$$

где F – суммарная сила действующая на элементы ротора;

ω – угловая скорость вращения ротора.

Для упрощения расчетов, суммарную силу считаем по формуле:

$$F = \sqrt{F_n^{r2} + F_\tau^{r2} + F_n^{e2} + F_\tau^{e2} + F_c^2}, \quad (4)$$

где F_n^r – нормальная сила, действующая на загрузке в относительном движении;

F_τ^r – касательная сила, действующая на загрузке в относительном движении;

F_n^e – нормальная сила, действующая на загрузку в переносном движении;

F_τ^e – касательная сила, действующая на загрузку в переносном движении;

F_c – сила Кориолиса, действующая на загрузку [13,14].

Таблица 1 -Общие характеристики стали Ст 3

Плотность	7826 кг/м ³
Модуль упругости	$E = 206000$ МПа
Модуль сдвига	$G = 74000$ МПа
Химический состав	Кремний: 0,17 – 0,37; Марганец: 0,50 – 0,80; Медь: 0,25; Никель: 0,25; Сера: 0,04; Углерод: 0,32-0,40; Фосфор: 0,035; Хром: 0,25; Мышьяк: 0,08

Результаты расчета и их анализ. На приводной вал и лопатки будет действовать крутящий момент, возникающий при его вращении. Так как диск с лопатками крепятся на приводном валу, то сила тяжести будет действовать на него. К приводному валу жестко крепится диск, к которому, в свою очередь жестко крепятся лопатки, следовательно, в качестве граничных условий выбираем жесткую заделку, т.е. обеспечиваем невозможность перемещения и вращения данных элементов конструкции по всем направлениям. На основании вышеизложенного, составляем расчетную схему (рис. 3) для определения максимальных напряжений, деформаций и

реакций в узлах ротора, возникающих под действием перечисленных выше сил.

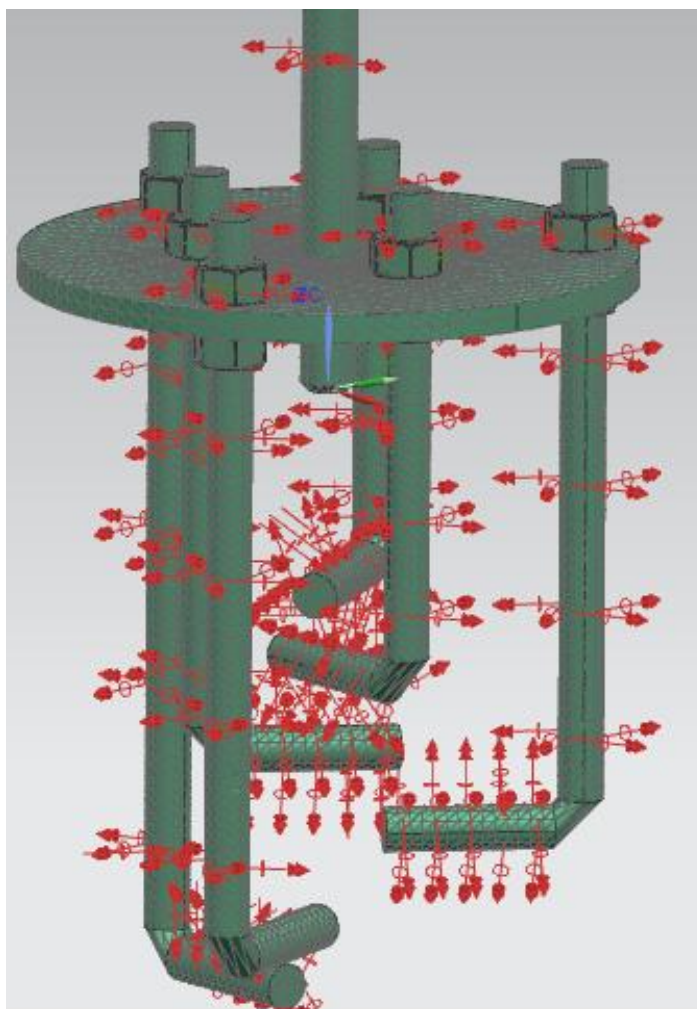


Рисунок 3 - Расчетная схема ротора

Перед тем как наносить сеть конечных элементов необходимо задать связи между моделями деталей для того, чтобы сборка работала как система, а не как набор элементов. На рассчитываемые детали наносится сетка с размером конечного элемента равным 3,8 мм, прикладываются все силы и закрепления, согласно расчетной схеме, и выполняется расчет.

Анализ узловых напряжений (рис.4) показал, что наибольшие напряжения ($2,596 \cdot 10^{-5}$ Н/мм²) возникают в месте крепления вала с диском, при этом вал работает на срез. Напряжения распределяются по периметру диска ($1,7 \cdot 10^{-5}$ до $2,2 \cdot 10^{-5}$ Н/мм²), причем максимальная нагрузка приходится на края диска напротив мест крепления лопаток, расположенных на

максимальном расстоянии от центра диска. Коэффициент запаса прочности равен $[\sigma]/\sigma_{\max}=4,85$ следовательно конструкция имеет большой запас прочности (рис. 4).

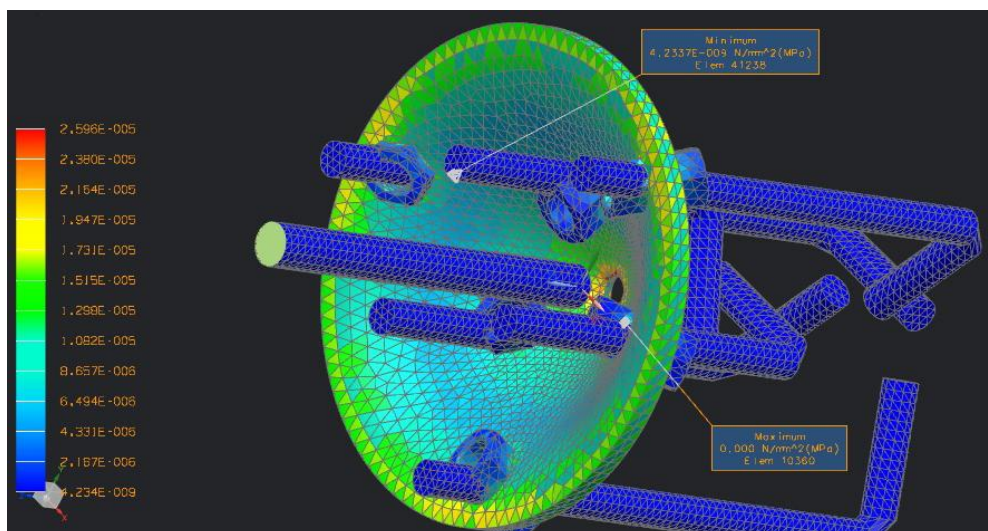


Рисунок 4 - Узловые напряжения ротора (повернуто на 80°)

Анализ узловых перемещений (рис. 5) показал, что при достижении максимальных усилий происходит деформация диска, при этом наблюдается прогиб со стороны крепления лопатки максимальной длины и выгибание диска со стороны крепления лопатки минимальной длины, что нужно учитывать при проектировании промышленных образцов. Максимальные перемещения наблюдаются в местах крепления всех лопаток и составляют $4,449 \cdot 10^{-9}$ мм (рис. 5), следовательно, конструкция ротора имеет достаточный запас жесткости, т.к. полученные максимальные перемещения не превышают 1,1 мм.

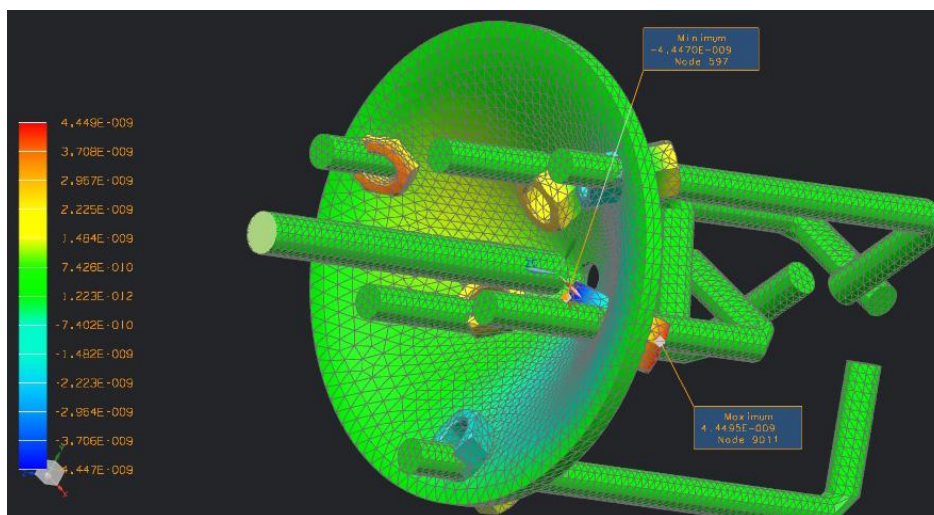


Рисунок 5 - Узловые перемещения ротора (повернуто на 80°)

В результате теоретического анализа по определению характера движения загрузки установлено, что материальная точка загрузки движется по сложной траектории, представляющей собой движение по эллипсу в наклонной плоскости, которая со временем поворачивается на некоторый угол по окружности, что обуславливает наличие ускорений a_n^r , a_τ^r , a_n^e , a_τ^e , a_c , а следовательно возникновение сил сопротивления перемещению загрузки $F_n^r, F_\tau^r, F_n^e, F_\tau^e, F_c$.

На основании анализа кинетики загрузки были получены уравнения для сил $F_n^r, F_\tau^r, F_n^e, F_\tau^e, F_c$, действующих на материальную точку и мощностей $P_n^r, P_\tau^r, P_n^e, P_\tau^e, P_c$ затрачиваемых на преодоление сил сопротивления, зависящие от геометрических параметров камеры, угловой скорости вращения ротора, удельной плотности смешиваемых материалов. С увеличением значений перечисленных геометрических и технологических параметров силы и значения мощностей увеличиваются.

Анализ графиков зависимости величин сил от числа оборотов мешалки показал что:

- нормальная сила F_n^r больше касательной силы F_τ^r , и сила F_n^e больше силы F_τ^e , это обуславливается тем, что сцепление частиц материалов смеси между собой больше сцепления частиц смеси со стенками камеры смешения;

- при увеличении числа оборотов в 5 раз силы в относительном перемещении F_n^r , F_τ^r увеличиваются примерно в 20 и 10 раз соответственно, а силы в переносном движении F_n^e и F_τ^e примерно в 4 и 2 раза, это показывает, что увеличение скорости вращения мешалки в большей степени влияет на перемещение материалов смеси в горизонтальной плоскости, чем в вертикальной;

- величины сил в относительном перемещении загрузки больше сил в переносном, это свидетельствует о том, что смешение компонентов смеси в горизонтальном направлении происходит более интенсивно, чем в вертикальном;

- величина силы Кариолиса F_c имеет большую величину, это можно объяснить тем, что частицы загрузки совершают сложное вращательное движение относительно оси O_1Y_1 по эллипсу и вся система вращается относительно оси OY , силы F_n^r и F_c суммируются и направлены к оси OY , перемещают смесь под действием силы тяжести и лопаток мешалки вниз, при этом масса загрузки выдавливает материал с противоположной стороны, что обуславливает подъем загрузки смеси по стенке камеры на величину $\Delta H = 7,5$ см при увеличении числа оборотов до 500 об/мин.

Анализ графиков зависимости мощностей затрачиваемых на преодоление сил сопротивления перемещению загрузки от числа оборотов мешалки показал, что при увеличении числа оборотов со 100 до 500 об/мин величины мощностей P_c , P_n^r , P_τ^r затрачиваемых на преодоление сил сопротивления F_c , F_n^r , F_τ^r , увеличиваются быстрее мощностей P_n^e , P_τ^e затрачиваемых на преодоление сил F_n^e , F_τ^e , это обуславливается тем, что скорости v_c , v_n^r , v_τ^r больше скоростей v_n^e , v_τ^e , что показывает на то, что перемещение смеси в горизонтальном направлении происходит быстрее, чем в вертикальном, что подтверждает правильность оценки влияния сил на перемещение загрузки и наклон смеси материалов при перемещении загрузки под влиянием мешалки.

Анализ узловых напряжений показал, что наибольшие напряжения ($2,596 \cdot 10^{-5}$ Н/мм²) возникают в месте крепления вала с диском, при этом вал работает на срез. Напряжения распределяются по периметру диска ($1,7 \cdot 10^{-5}$ до $2,2 \cdot 10^{-5}$ Н/мм²), причем максимальная нагрузка приходится на края диска напротив мест крепления лопаток, расположенных на максимальном расстоянии от центра диска.

Анализ узловых перемещений показал, что при достижении максимальных усилий происходит деформация диска в разные стороны, при этом наблюдается прогиб со стороны крепления лопатки максимальной длины и выгибание диска со стороны крепления лопатки минимальной длины, что нужно учитывать при проектировании промышленных образцов. Максимальные перемещения наблюдаются в местах крепления лопаток и составляют $4,449 \cdot 10^{-9}$ мм, следовательно, конструкция ротора имеет большой запас жесткости.

Литература

- 1 Демин О. В. Анализ работы различных видов смесителей сыпучих материалов периодического действия // Труды ТГТУ: Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн.ун-та, 2001. – Вып. 8. – С. 109–114.
- 2 Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV-12. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств / М.Б. Генералов [и др.]. М.: Машиностроение, 2004. 832 с.
- 3 Борщев В.Я. Оборудование для переработки сыпучих материалов: учебное пособие / В.Я. Борщев, Ю.И. Гусев, М.А. Промтов, А.С. Тимонин. – М. : «Издательство Машиностроение-1», 2006. – 208 с.
- 4 Медведев В.Д. Рамная мешалка // патент RU № 2014880 С1, заявка № 5008780 от 16.10.1991, зарегистрировано 30.06.1994 / В.Д. Медведев, М.П. Уманский, В.Н. Поляков, Н.Г. Цырина.
- 5 Лымарь И.А. Помольно-смесительное устройство периодического действия / И.А. Лымарь, И.А. Лымарь / Наука и молодежь в начале нового

15 Островский Г.М. Пневматический транспорт сыпучих материалов в химической промышленности / Г.М.Островский - Л.: Химия 1984. - 104 с.

Literature

1 Demin O. V. Analysis of operation of various types of bulk materials mixers of periodic action // Works of TSTU: Sat. scientific. article of young scientists and students. – Tambov: Publishing house of compromise. state technical.University press, 2001. – Vol. 8. – P. 109-114.

2 Mechanical. Encyclopedia. T. IV-12. Machines and apparatuses of chemical and petrochemical industry / M. B. Generalov [and others]. M.: Mashinostroenie, 2004. 832 p.

3 Borschev V. I. Equipment for processing of loose materials: textbook / Y. V. Borshchev, Y. I. Gusev, M. A. Promtov, A. S. Timonin. – M. : "Publishing House Engineering-1", 2006. – 208 p.

4. Medvedev V. D. Frame stirrer // patent RU No. 2014880 C1, application No. 5008780 от 16.10.1991, registered 30.06.1994 / D. V. Medvedev, P. M. Uman, V. N.. Polyakov, N. G. Carina.

5 Lymar I. A. Grinding-mixing device of periodic action / I. A. Lymar, I. A. Lymar / Science and young people at the beginning of the new century: proceedings of the III International scientific-practical conference of students, postgraduates and young scientists. / Comp. T. S. Tkachev, A. P. Hajovyuy, V. M. Uvarov. – Gubkin: SP Uvarov V. M., 2010. – P. 81-83.

6 Lozovaya S. Yu. Grinding-mixing device of periodic action // Patent for useful model RU # 98151 U1, application No. 2010121272 from 25.05.2010 registered 10.10.2010 / Lozovaya S. Yu., I. A. Lymar, I. A. lymar.

7 Lozovaya S. Yu. Grinding-mixing device of periodic action // Patent for useful model RU # 104871 U1, application No. 2010154632 from 30.12.2010, registered 27.05.2011 / Lozovaya S. Yu., I. A. Lymar, V. V. Vladimirov.

8 Lozovaya S. Yu. Grinding-mixing device of periodic action // Patent for useful model RU # 111030 U1, application No. 2011123585 from 09.06.2011 registered 10.12.2011 / Lozovaya S. Yu., I. A. Lyman, V. V. Vladimirov.

9 Rabotnov Yu. N. Mechanics of deformable solids: Proc. the allowance for high schools / Yu. Rabotnov – 2-e Izd., Rev. – M.: Science 1888. – 712 p.

10 Yablonsky A. A. Statics. Kinematics. - 5-e Izd., pererab / A. A. Yablonskii, V. N. Nikiforova, M.: Higher school, 1977. Part 1 - 368.

11 Lozovaya S. Yu. Determination of forces acting on a material point load in the grinding-mixing device of periodic action / Lozovaya S. Yu., I. A. Lyman - Bulletin of BSTU named after. V. G. Shukhov. -2012. - No. 2. S. 52-55.

12 Ellipse – Wikipedia // Wikipedia the Free encyclopedia: [portal] URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%EB%E8%EF%F1> (accessed 09.03.2011).

13 A. A. Dynamics Yablonskaya / Yablonsky A. A., Nikiforova V. M. - 5th ed. Rev., M.: Higher school, 1977. - Part 2 - 368 with

14 Halfman Dynamics, R. L. / R. L. Halfman. – M.: Nauka, 1972. – 568 p.

15 Ostrovsky G. M. Pneumatic transport of bulk materials in the chemical industry / G. M. Ostrovsky - L.: Chemistry, 1984. - 104 p.