

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-101-107

*Юдин К.А., Погосбеков А.А

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: kyudin@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИВОДНОГО УЗЛА СМЕСИТЕЛЯ С ДВУНАПРАВЛЕННЫМ ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА МАТЕРИАЛ

Аннотация. Рассматриваются смесители периодического действия. Представлена целесообразность разработки смесителей нового типа. Особенности движения материала в смесителе позволяют говорить о наличии элементов гироскопического эффекта. Вращение смесительной камеры осуществляется посредством ременной, цепной и конической передачи. Возникающее сложное пространственное движение частиц материала можно регулировать частотным преобразователем и подбором соответствующих зубчатых колес или с применением ременной передачи привода. Представлен алгоритм моделирования приводного узла смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал. Рассматриваются особенности приводного узла и его компоненты. Задачей является построение модели деформации приводного узла смесителя. Для анализа работы приводного узла смесителя используем метод конечных элементов (МКЭ). Проведены машинные эксперименты, реализующие усталостные расчеты приводного узла с исследованием в среде SolidWorks Simulation. Получены результаты статического анализа работы приводного узла при определении деформации, статического анализа работы приводного узла при определении напряжения при варьировании крутящего момента. Представлен вариант статического анализа при использовании ремённой передачи вместо зубчатой. Показана практическая реализация приводного узла смесителя в металле. Сделаны выводы по моделированию.

Ключевые слова: смеситель периодического действия, вращение камеры относительно двух взаимно перпендикулярных осей, автоматизация проектирования, приводной узел.

Введение. В современных условиях внедрение каких-либо инновационных видов оборудования предполагает предварительное исследование и апробации с помощью основ математического моделирования и соответствующего современного софта. Значительная ресурсная потребность при перемешивании материалов и разнообразие сфер применения требуют создания инновационных объектов, одним из примеров которых является смеситель с двунаправленным вращательным воздействием на материал [1].

Инновационный подход требует тщательно подходить к особенностям конструкции смесителя, с подтверждением и проверкой всех узлов предлагаемого объекта.

Основная часть. Предлагаемая патентно-чистая конструкция смесителя претерпела изменения, однако важнейшие элементы остались прежними. Двунаправленное вращательное воздействие на смешиваемый материал в смесителе со сферической смесительной камерой реализуется вращением водила с камерой относительно горизонтальной оси и собственно камеры относительно второй оси, перпендикулярной первой [2, 3, 4]. Компьютерная реализация конической передачи, используемой в конструкции, была приведена ранее [5]. Нами предлагается исследовать многоцикловую усталость приводного узла

смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал.

Конструкция предлагаемого смесителя предполагает наличие нескольких базовых узлов (сборочных единиц), существенно влияющих на его работу. Сложное двунаправленное вращательное воздействие на материал в смесительной камере сферической формы получается при правильном конструировании, в частности, приводного узла смесителя. Задачей является построение модели деформации приводного узла смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал. Приводной узел состоит из следующих элементов: ступица звездочки, пыльник, вал, четыре втулки, цапфа рамки приводная, корпус, четыре гайки, колесо приводное, стакан, две шпонки.

На начальной стадии необходимо моделирование каждой детали сборки. Для каждой детали следует выбрать материал. Например, для колеса зубчатого выбираем сталь 45 ГОСТ1050-94. Затем реализуется процедура компоновки приводного узла из указанных деталей. Реализация компоновки проходит по определенным правилам. Например, можно использовать инструмент Посадка с натягом.

Усталостный расчет системы, например, вал-фланец с натягом под действием нагрузки перемещенного направления предполагает наличие

расчетной модели, диаграммы перемещений, напряжений и т.д. Можно реализовать восемь статических исследований.

Для анализа работы приводного узла смесителя используем популярный метод решения краевых задач в моделировании и САПР - метод конечных элементов (МКЭ).

Преимущества метода:

- 1) доступность;
- 2) применимость для задач с произвольной формой области решений;
- 3) возможность создать на основе метода высококачественные программы для ПК.

В МКЭ исходная область определения разбивается с помощью сетки, в общем случае неравномерной на отдельные подобласти – конечные элементы, т.е. искомая непрерывная функция представляется кусочно-непрерывной, определенной на множестве конечных элементов. Аппроксимация может задаваться произвольным образом, но чаще для этого используют полиномы для обеспечения непрерывности искомой функции в узлах на границах элементов.

В двумерной области определения функции конечные элементы - треугольники или четырехугольники с прямо- и криволинейными границами. Для трехмерных областей конечные элементы выступают в форме тетраэдров и параллелепипедов.

От качества разбиения области на конечные элементы зависит точность получаемых результатов. Разбиение области на элементы обычно начинают от ее границы с целью наиболее точной аппроксимации формы границы, затем производится разбиение внутренних областей.

В качестве аппроксимации функции элементов используют полиномы:

- а) симплекс-элементы (содержат константы A_0 и линейные члены $A(1)$);
- б) комплекс-элементы (кроме линейных членов содержат члены более высоких степеней);
- в) мультиплекс-элементы.

В общем, алгоритм проектирования приводного узла в среде SolidWorks выглядит следующим образом:

- 1) моделирование каждой детали сборки,
- 2) компоновка сборки,
- 3) активация подпрограммы Simulation,
- 4) создание нового статического исследования,
- 5) закрепление стакана неподвижно,
- 6) определение направления силы тяжести и наложение вращающего момента на зубчатое колесо или шкив клиноременной передачи,
- 7) нанесение сетки,

- 8) запуск исследования,
- 9) получение результатов.

Нагрузку можно имитировать силой, действующей в окружном направлении. Для этого необходимо создать ось. Используемые конечные элементы сетки воспроизводят с достаточным качеством напряженно-деформированное состояние в зоне контакта. Плотность сетки подбирается так, чтобы обеспечить корректное описание деформированного состояния в целом.

Входной информацией для усталостного расчета должно быть несколько статических расчетов, описывающих состояние системы с различными значениями вращательного момента, взаимного расположения компонентов сборочной единицы и т.д. В этом случае можно говорить об изменении положения сборочной единицы, сопровождая это приложением силы тяжести в соответствующем направлении. Для усталостного исследования выбираем, например, статическое с нанесением сетки на выбранный узел.

Среди свойств системы, определяющих несущую способность под нагрузкой, можно выделить окружное перемещение относительно общей оси вала. Кроме того, интересно провести исследование отклика соединения на изменение крутящего момента. Зададимся значением крутящего момента 10 Нм.

Модель, позволяющая это осуществить, показана на рис. 1. В качестве конечных элементов выступают треугольники.

Результаты статического анализа предполагают дополнительную визуализацию - создание так называемой «легенды», которая в многоцветном режиме показывает спектр значений деформации от максимального до минимального значений.

Покажем результат статического анализа работы приводного узла при определении деформации на рис. 2. при значении крутящего момента 10 Нм. Результат содержит дерево построений, многоцветный исследуемый узел и «легенду».

Как следует из рисунка, максимальные значения (красный цвет «легенды») можно увидеть на валу (величина составляет 0.005208 в эквивалентном напряжении).

Следующим этапом статического анализа работы приводного узла при определении напряжения является сравнение значений при изменении крутящего момента (например, 10 КН·м и 20 КН·м). Двухкратный прирост крутящего момента позволяет говорить о вариативности степени заполнения материалом смесительной камеры сферической формы.

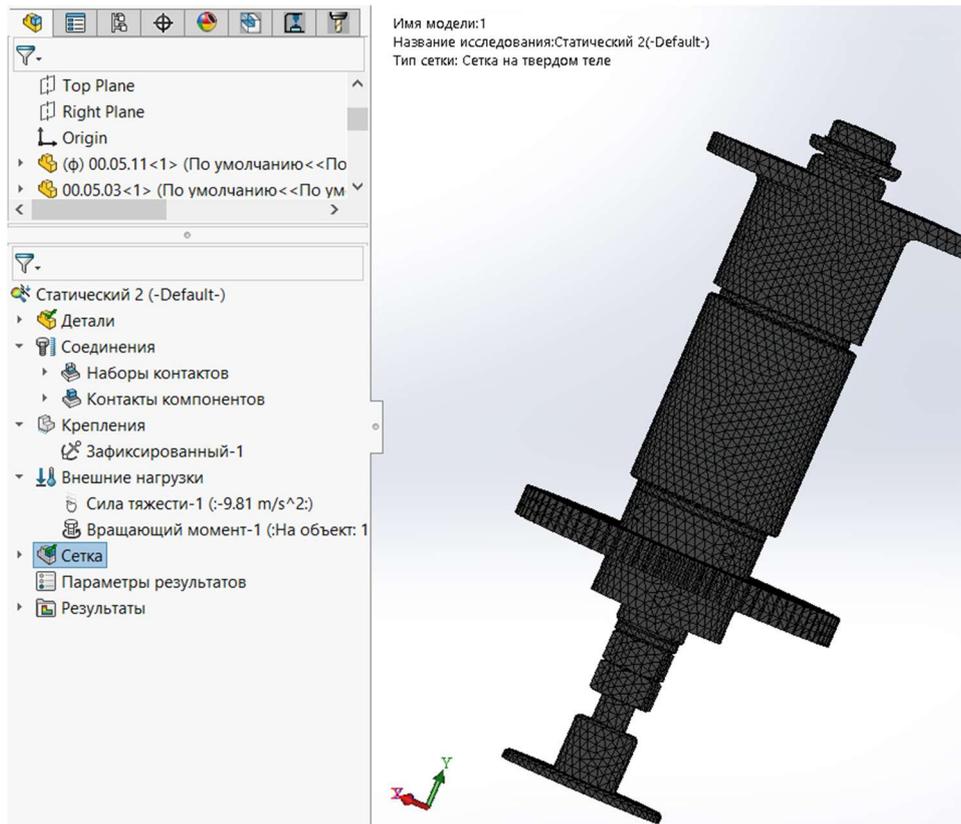


Рис. 1. Нанесение сетки на приводной узел

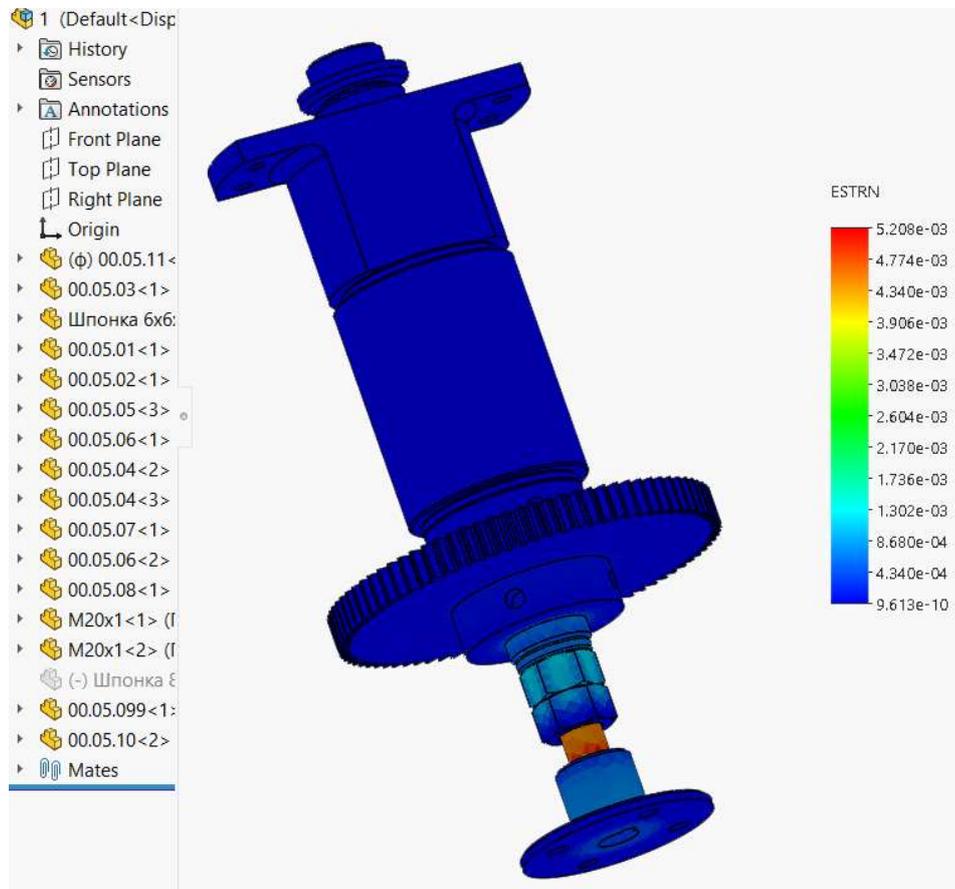


Рис. 2. Результат статического анализа работы приводного узла при определении деформации

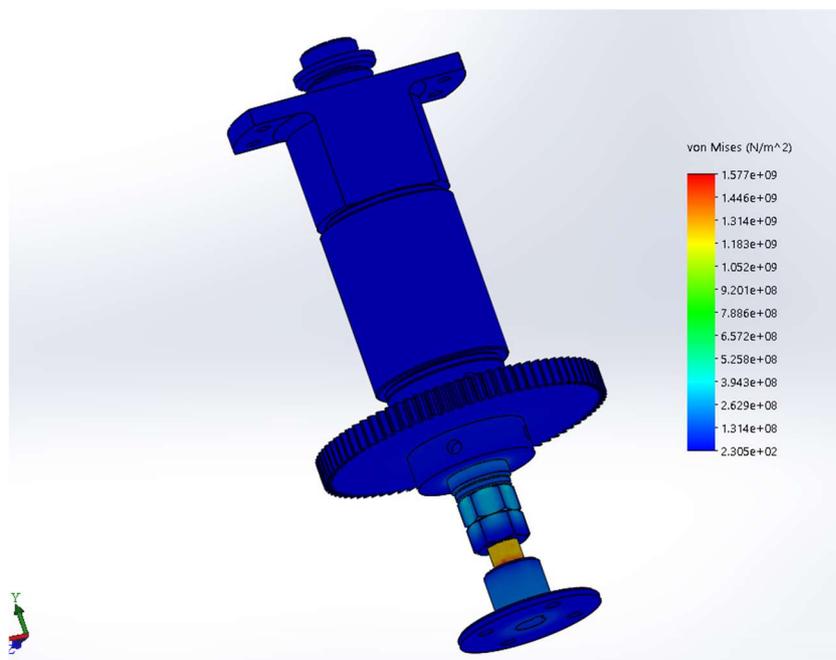


Рис. 3. Результат статического анализа работы приводного узла при определении напряжения

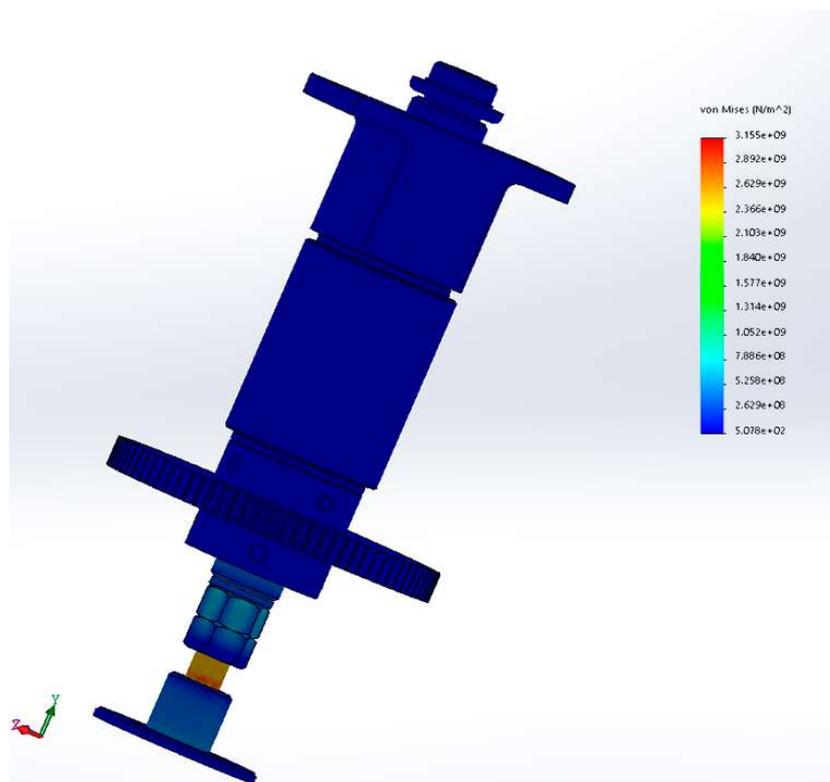


Рис. 4. Результат статического анализа работы приводного узла при определении напряжения

Получим концентрацию напряжений по краю канавки на границах вала и смежных компонентов. Полученные пиковые значения $1.577 \cdot 10^9$ Н/м² и $3.155 \cdot 10^9$ Н/м² позволят делать рекомендации по выбору материала для вала и смежных компонентов (например, для вала Ст3пс3-II ГОСТ 535-88).

Кроме того, для подбора наиболее рациональной конструкции предлагаемого смесителя можно заменить цилиндрическую зубчатую передачу на клиноременную передачу.

Выбор ременной передачи для приводного узла смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал обеспечивает простое бесступенчатое варьирование частоты вращения водила с помощью частотного преобразователя, упрощает конструкцию и снижает материалоемкость. Все это подтверждает экономическую целесообразность применения такой передачи.

Традиционные расчеты включают проекторочный расчет для выбранного поперечного

сечения ремня, расчет нагрузочной способности ременной передачи, расчет силовых параметров передачи и т.д. На рис. 5 представлен результат

статического анализа работы приводного узла с ременной передачей при заданном крутящем моменте, равном 20 кН·м.

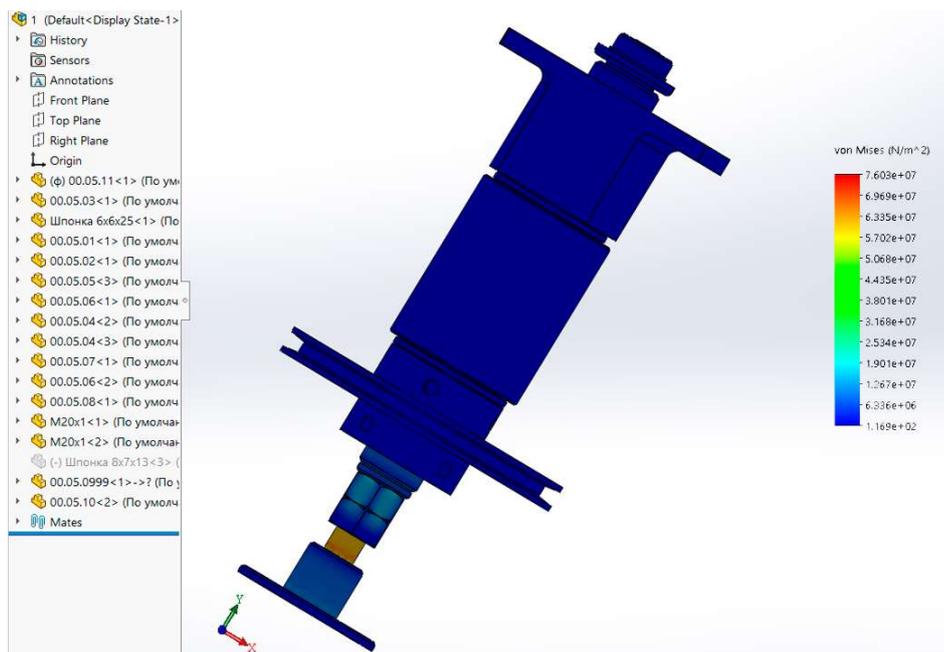


Рис. 5. Результат статического анализа работы приводного узла с ременной передачей при определении напряжения (20 кН·м)

Полученное пиковое значение составляет $7.604 \cdot 10^7$ Н·м², что меньше значения, полученного для цилиндрической зубчатой передачи ($3.155 \cdot 10^9$ Н/м²) при той же величине напряжения 20 кН·м.

На рисунке 6 представлена практическая реализация описываемого приводного узла смесителя (ременная передача).



Рис. 6. Практическая реализация описываемого приводного узла смесителя (ременная передача)

Аналогичные действия могут быть реализованы для всех сборочных единиц смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал.

Особенность конструкции предлагаемого смесителя позволяет говорить о его применимости в малотоннажных производствах.

В качестве варианта практического применения смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на смешиваемый материал может выступить смеситель, установленный на

подвижном портале, используемый при производстве газосиликатных изделий. Кроме того, предлагается применение смесителя при производстве сухих строительных смесей или для линий лакокраски.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юдин К.А., Дегтярь А.Н., Харин Н.П. Моделирование двунаправленного вращатель-

ного воздействия на материал в сферической смесительной камере // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 5. С. 126–132.

2. Пат. №193687 Российская Федерация, МПК7B01 F9/02. Устройство для перемешивания материалов / К.А. Юдин, И.А. Семикопенко, Ю.М. Фадин, А.С. Костин; заявитель и патентообладатель ФГБОУВО БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2019124456; заявл. 30.07.2019; опубл. 12.11.19, Бюл. № 32. 4 с.

3. Пат. №174442 Российская Федерация, МПК7B01 F9/02. Устройство для перемешивания материалов / К.А. Юдин, И.А. Семикопенко, Ю.М. Фадин; заявитель и патентообладатель ФГБОУВО БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2017112567; заявл. 12.04.2017; опубл. 13.10.17, Бюл. № 29. 4 с.

4. Пат. №188718 Российская Федерация, МПК7B01 F9/02. Устройство для перемешивания материалов / К.А. Юдин, И.А. Семикопенко, Ю.М. Фадин, А.С. Костин; заявитель и патентообладатель ФГБОУВО БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2019100388; заявл. 09.01.2019; опубл. 22.04.19, Бюл. № 12. 4 с.

5. Юдин К.А., Харин Н.П. Особенности моделирования конической передачи для смесителя с двунаправленным вращательным воздействием

на материал // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 3. С. 149–154.

6. Yudin K.A., Degtyar A.N., Stovpenko A.S. Movement of materials in gyroscopic-type mixer // Proceedings of the International Conference "Actual Issues of Mechanical Engineering" 2017 (AIME 2017) <http://www.atlantipress.com/proceedings/aime-17/articles> Pp. 909–913.

7. Юдин К.А., Хахалев П.А., Дегтярь А.Н. Динамика движения загрузки материала в смесительной камере при двунаправленном вращательном воздействии // Строительные и дорожные машины. 2018. №7. С. 20–24.

8. Yudin K.A., Kushev L.A., Savkin I.N., Negrin A.N. Modeling mixers gyroscopic type/Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. 17 (8): 1125–1129.

9. Yudin K.A., Khakhalev P.A. Simulation of a mixer with a bidirectional rotational effect on material // Journal of Physics: Conference Series Proceedings of The International Conference Information Technologies in Business and Industry IOP Publishing <https://iopscience.iop.org/volume/1742-6596/1333>

10. Киркач Н.Ф., Баласанян Р.А. Расчет и проектирование деталей машин. Харьков.: Основа, 1991. 276 с.

Информация об авторах

Юдин Константин Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. E-mail: kyudin@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Погосбеков Артём Анатольевич, бакалавр кафедры механического оборудования. E-mail: ryssak13@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 30.01.2020

© Юдин К.А., Погосбеков А.А., 2020

***Yudin K. A., Pogosbekov A.A.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: kyudin@mail.ru*

FEATURES OF MODELING THE DRIVE UNIT OF THE MIXER WITH BIDIRECTIONAL ROTATIONAL IMPACT ON THE MATERIAL

Abstract. Periodical mixers are considered. The expediency of developing a new type of mixer is presented. Features of the material movement in the mixer allow to speak about the presence of elements of a gyroscopic effect. The mixing chamber is rotated by means of belt, chain and conical transmission. The resulting complex spatial movement of material particles can be controlled by a frequency Converter and the selection of appropriate gears or using a belt drive. An algorithm for modeling the drive unit of a mixer with a bidirectional rotational effect on the material is presented. The features of the drive unit and its components are considered. The task is to build a model of deformation of the drive unit of the mixer. The finite element method (FEM) for the drive unit of the mixer is used. Machine experiments are performed that implement fatigue calculations of the drive unit with a study in the SolidWorks Simulation environment. The results of

static analysis of the drive unit operation in determining the deformation, static analysis of the drive unit operation in determining the voltage with varying torque are obtained. A variant of static analysis is presented when using a belt drive instead of a gear drive. The practical implementation of the mixer drive unit in metal is shown. Conclusions on modeling are made.

Keywords: *periodical mixer, rotation of the chamber relative to two mutually perpendicular axes, design automation, drive unit.*

REFERENCES

1. Yudin K.A., Degtyar A.N., Kharin N.P. Modelling of bi-directional rotary impact on the material in a spherical mixing chamber [Modelirovanie dvunapravlennoogo vrashchatel'nogo vozdeystviya na material v sfericheskoy smesitel'noj kamere]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No 5. Pp. 126–132. (rus)
2. Yudin K.A., Semikopenko I.A., Fadin Y.M., Kostin A.S. A device for mixing materials. Patent RF, no 193687, 2019.
3. Yudin K.A., Semikopenko I.A., Fadin Y.M. A device for mixing materials. Patent RF, no 17444, 2017.
4. Yudin K.A., Semikopenko I.A., Fadin Y. M., Kostin A.S. A device for mixing materials. Patent RF, no 188718, 2019.
5. Yudin K.A., Kharin N.P. Features modeling of a bevel gear for a mixer with bi-directional rotational impact on the material [Osobennosti modelirovanie konicheskoy peredachi dlya smesitelya s dvunapravlennym vrashchatel'nym vozdeystviem na material]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 3. Pp. 149–154. (rus)
6. Yudin K.A., Degtyar A.N., Stovpenko A.S. Movement of materials in gyroscopic-type mixer. Proceedings of the International Conference "Actual Issues of Mechanical Engineering" 2017 (AIME 2017).
7. Yudin K.A., Degtyar A.N., Khakhalev P.A. The dynamics of the movement of the loading of material in the mixing chamber with a bi-directional rotational impact Construction and road building machinery 2018. No. 7. Pp. 20–24 (rus)
8. Yudin K.A., Kushev L.A., Savkin I.N., Negrin A.N. Modeling mixers gyroscopic type/Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. 17 (8). Pp. 1125–1129.
9. Yudin K.A., Khakhalev P.A. Simulation of a mixer with a bidirectional rotational effect on material. Journal of Physics: Conference Series Proceedings of The International. Conference Information Technologies in Business and Industry IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/volume/1742-6596/1333>
10. Kirkach N.F., Balasarian R.A. Calculation and design of machine parts. [Raschet i proektirovanie detalej mashin]. Kharkov: Foundation, 1991. 276 p. (rus)

Information about the authors

Yudin, Konstantin A. PhD, Assistant professor. E-mail: kyudin@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Pogobekov, Artem A. Bachelor student. E-mail: ryssak13@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 30.01.2020

Для цитирования:

Юдин К.А., Погосбеков А.А., Особенности моделирования приводного узла смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С.101–107. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-101-107

For citation:

Yudin K.A., Pogobekov A.A. Features of modeling the drive unit of the mixer with bidirectional rotational impact on the material. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 101–107. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-101-107