

УДК 62-752+62-755

В.В. Гончаров, доц., канд. физ.-мат. наук, Г.Б. Филимонихин, проф., д-р техн. наук
Кировоградский национальный технический университет

3D модель для исследования динамики центробежной соковыжималки с шаровым автобаланси́ром

Создана 3D модель центробежной соковыжималки с цилиндрическим ситом и шаровым автобаланси́ром для ее уравнивания на ходу в САПР SolidWorks. С использованием модуля Cosmos Motion проведена обработка, наладка и тестирование модели. Модель предназначена для исследования динамики машины, проведения виртуальных многофакторных экспериментов.

центробежная соковыжималка, динамика, компьютерное моделирование, автобаланси́р, дисбаланс, вибрации, уравнивание

В.В. Гончаров, Г.Б. Філімоніхін
Кіровоградський національний технічний університет

3D модель для дослідження динаміки відцентрової соковижималки з кульовим автобаланси́ром

Створена 3D модель відцентрової соковижималки з циліндричним ситом і кульовим автобаланси́ром для її зрівноваження на ходу в САПР SolidWorks. З використанням модуля Cosmos Motion проведено обробку, налагодження і тестування моделі. Модель призначена для дослідження динаміки машини, проведення віртуальних багатofакторних експериментів.

відцентрова соковижималка, динаміка, комп'ютерне моделювання, автобаланси́р, дисбаланс, вібрації, зрівноваження

Введение. В процессе работы электрических центробежных соковыжималок (соковыжималок) с цилиндрическим фильтром-ситом (ситом) [1,2], выпускаемых в соответствии с ДСТУ 3141-95 (ГОСТ 18199-95) и рассчитанных на непрерывную переработку большого количества сырья, отжатая масса (мезга) неравномерно распределяется по ситю, вследствие чего возникает значительный дисбаланс и появляются вибрации корпуса соковыжималки. Последнее приводит к снижению производительности соковыжималки и износу ее деталей. Поэтому целесообразно уравнивать сито на ходу, в процессе эксплуатации.

1. Анализ литературных данных и постановка проблемы. Для уравнивания на ходу быстровращающихся роторов нашли применение пассивные автобаланси́ры (автобаланси́ры) [3, 4]. Корректирующие грузы в таких устройствах (шары, ролики, маятники и т.п.) со временем сами приходят в то положение, в котором уравнивают ротор и далее вращаются с ним как одно целое, пока не начнет меняться дисбаланс или не появятся возмущения иного происхождения [3-6]. Конструктивно самыми простыми из них являются шаровые автобаланси́ры.

В работе [7] предложена модернизация широкого класса соковыжималок с цилиндрическим ситом, средней – СВСП и повышенной – СВПП производительности, отечественного и зарубежного производства. Модернизация состоит в замене серийной платформы, на которой устанавливается сито, платформой, совмещенной с шаровым автобаланси́ром.

Создание натурального стенда соковыжималки с автобалансиром и исследование на нем динамики машины (например, для нахождения оптимальных значений ее параметров) требует значительных временных и материальных затрат. Поэтому целесообразно провести исследование динамики соковыжималки с автобалансиром 3D моделированием.

В данной работе для 3D моделирования используется система автоматического проектирования SolidWorks [8, 9] и ее модуль Cosmos Motion, реализующий метод конечных элементов для моделирования динамики механических систем. Для моделирования процесса автобалансировки используется методика, разработанная и реализованная в работе [10]. Она может рассматриваться как стандартная при решении подобных задач.

2. Создание 3D модели соковыжималки

2.1. Создание 3D моделей деталей соковыжималки, объединение их в сборку. 3D модель соковыжималки создается на примере машины отечественного производства СВПП-201. На рис. 1, а показаны созданные с помощью стандартных наборов инструментов Solid Works 3D модели основных деталей соковыжималки: корпус соковыжималки 1 на четырех опорах 2; корпус автобалансира 3; нижняя крышка 4; сито 5; ротор 6; шары автобалансира 7; шар, моделирующий дисбаланс, 8; верхняя крышка 9.



а – 3D модели основных деталей соковыжималки и автобалансира; б – объединение деталей в сборку

Рисунок 1 - Компьютерная 3D модель соковыжималки с автобалансиром:

При этом:

- высота корпуса 1, геометрические размеры опор 2, сита 5, ротора 6, нижней 4 и верхней 9 крышки совпадают с соответствующими размерами СВПП-201;
- плотность каждой из моделируемых деталей выбрана такой, что ее масса равна массе соответствующей детали оригинала;
- внешние размеры корпуса автобалансира 3 совпадают с размерами серийной платформы;
- радиус беговой дорожки шаров 7 в корпусе автобалансира 3 не меньше суммы диаметра вала и диаметра шара 7 и не больше диаметра сита 5;
- высота беговой дорожки шаров 7 не превышает расстояния между нижней гранью сита 5 и верхней гранью корпуса 1;
- диаметр шаров 7 не превышает высоты беговой дорожки.

Созданные детали собираются в сборку (рис. 1, б) с использованием инструментов сопряжения - «Совпадение», «Концентричность», «Расстояние», «Параллельность» для соответствующих окружностей, поверхностей, плоскостей, осей и точек. На столе 10 с помощью инструмента сопряжения «Совпадение», дважды примененном к окружностям, фиксируется начальное положение корпуса соковыжималки 1. В корпусе 1 соковыжималки с помощью инструмента сопряжения «Совпадение» (совпадение окружностей) фиксируется начальное положение ротора 6. С помощью инструмента сопряжения «Концентричность», дважды примененном к цилиндрическим поверхностям, на корпусе соковыжималки 1 закреплена нижняя крышка 4 и на вал ротора 6 насажен корпус автобалансира 3. На корпус автобалансира 3 с помощью инструментов сопряжения «Концентричность» (для цилиндрических поверхностей) и «Совпадения» (для окружностей) закреплено сито 5. На внутренней боковой грани сита 5 с помощью инструмента сопряжения «Расстояние» (от точки до плоскости и от точки до оси) на определенном расстоянии от верхней кромки сита закреплен шар 8, моделирующий дисбаланс. В середину корпуса автобалансира 3 с помощью инструмента «Расстояние» (от точки до оси и от точки до плоскости) установлены шары автобалансира 7 таким образом, что они касаются боковой и верхней граней корпуса автобалансира 3. На нижней крышке 4 с помощью инструмента сопряжения «Совпадение» (для окружностей) и «Параллельность» (для цилиндрических поверхностей) закреплена верхняя крышка 9.

2.2. Обработка сборки модулем Cosmos Motion

Наложение кинематических связей

Неподвижные и подвижные детали. Стол 10 принят как неподвижная деталь (Ground Part), корпус 1, ротор 6 и шары автобалансира 7 – подвижные (Moving Part).

Фиксирование относительного положения деталей. Нижнюю 4 и верхнюю 9 крышки жестко присоединяем (Attach To) к корпусу соковыжималки 1, а корпус автобалансира 3, сито 5 и дисбаланс 8 - к ротору 6.

Cosmos Motion автоматически интерпретирует связи между подвижными деталями и способ их относительного движения. Каждую связь необходимо или принять или установить другую.

Движение ротора. Оставляем связь типа петля (Revolute Joint) ротора 6 с корпусом 1, которая дает возможность свободно вращаться ротору вокруг его продольной оси. Закон изменения угловой скорости вращения ротора моделируем трапецеидальной функцией: на участке разбега (первые 2 с) скорость возрастает от 0 до крейсерской скорости 3000 об/мин; на участке крейсерского движения она постоянна; на участке выбега (последние 10 с) - убывает от 3000 об/мин до 0.

Движение шаров. Возможны различные подходы к моделированию движения шаров в корпусе автобалансира. Мы используем усовершенствованный подход работы [10], обеспечивающий высокую скорость расчетов и достаточно точное моделирование процесса автобалансировки. Оставляем связи, интерпретированные Cosmos Motion (расстояние от точки до оси и до плоскости), которые дают возможность двигаться шарам 7 внутри корпуса автобалансира 3 по беговой дорожке, касаясь дна корпуса автобалансира. Шары в начальном положении касаются беговой дорожки.

Добавление силовых взаимодействий между телами системы

Моделирование опор. Силовое воздействие каждой из четырех упруго-вязких опор 2 корпуса соковыжималки 1 моделируется с использованием инструмента «Втулка» («Bushing»). При этом предварительно удалены связи (совпадение окружностей) фиксирующие положение корпуса 1 относительно стола 10.

Моделирование сил вязкого сопротивления, препятствующих относительному движению шаров. В работе [11] для каждого шара данные силы моделируются с помощью двух поступательных демпферов (Translational Damper) с линейными

характеристиками. Демпферы связывают центры шаров с неподвижными относительно корпуса автобалансира точками, расположенными диаметрально противоположно на траектории движения центров шаров.

В данной работе силы вязкости моделируются с использованием инструмента «Втулка» («Bushing») с изотропными свойствами.

Моделирование дисбаланса сита. Дисбаланс сита смоделирован с помощью шара малого радиуса 8 (рис. 1, а), жестко закрепленного на боковой грани сита. При этом можно изменять как массу шара 8, так и его расстояние до верхней кромки сита.

3. Выбор критериев качества работы автобалансира

Критериями качества работы автобалансира выбраны:

- модуль остаточного виброускорения (m/c^2) точки D на горизонтальной поверхности верхней крышки (см. рис. 1, б) в случае фиксированного дисбаланса;
- время (c), в течение которого движение модели соковыжималки устанавливается - шары приходят в автобалансирующее положение и становятся неподвижными относительно сита;
- среднее интегральное (за время работы модели соковыжималки) модуля виброускорения (m/c^2) точки D на горизонтальной поверхности верхней крышки в случае изменения дисбаланса в процессе работы модели соковыжималки.

Числовые значения критериев определяются: с графика модуля виброускорения; с графика угла между шарами в двухшаровом автобалансире; интегрированием по времени модуля виброускорения и т.д. Графики, табличные значения величин модуля виброускорения, углов между шарами и др. выдает Cosmos Motion при моделировании динамики соковыжималки.

4. Наладка и тестирование модели

4.1. Идентификация параметров модели и ее наладка

Выбираем параметры инструмента «Втулка» («Bushing») для опор корпуса:

- начальное напряжение опор (Force) вертикальное и оно уравнивает силу тяжести модели соковыжималки;
- силы упругого и вязкого сопротивления имеют поступательные свойства (Translational Properties) и изотропны (Isotropic);
- значение линейного коэффициента упругости (Stiffnes) принято равным жесткости одной опоры натурной соковыжималки, найденной экспериментальным путем по «проседанию» корпуса от тестовой вертикальной нагрузки;
- значение коэффициента вязкости (Damping) такое, что при тестовом отклонении корпуса от положения равновесия его колебания затухают за минимальное время (находится методом последовательных проб).

Выбираем параметры инструмента «Втулка» («Bushing») для шаров:

- постоянные силы (Force) и моменты (Torque), а также коэффициент задающий упругий момент (Stiffness в Torsional Properties) принимаются равными нулю;
- коэффициент, задающий линейные упругие силы (Stiffness в Translational Properties) принимается равным 10000 (Н/мм), а - линейные вязкие силы (Damping в Translational Properties) – 3 (Н сек/мм) (такие силы удерживают шар на беговой дорожке);
- величина коэффициента, задающего момент вязкого сопротивления (Damping в Torsional Properties) подбирается такой, что в вертикально расположенном корпусе автобалансира шар при тестовом отклонении от положения равновесия возвращается в него за минимальное время (находится методом последовательных проб).

Выбираем параметры моделирования («Options»):

- а) в меню «World» устанавливаем направление действия силы тяжести (Direction) – параллельно оси вала ротора от ротора к столу;
- б) в меню «Simulation» задаем общее время процесса моделирования (Duration)

T и количество кадров или шагов моделирования K (Number of Frames).

Рассмотрим некоторые соотношения между T и K .

Для исследования переходных процессов рекомендуется принимать $K = k \cdot v \cdot T$, где $v = 50 \text{ c}^{-1}$ - частота вращения ротора на крейсерской скорости, k - натуральное число, задающее число равномерно распределенных замеров изучаемых величин на одном обороте. При $k \geq 10$ по полученным данным можно строить синусоидальные зависимости.

Для моделирования стробоскопического эффекта, используемого при изучении относительного движения шаров, следует рассматривать частный случай - $K = v \cdot T$ ($k = 1$). При этом:

- на каждом обороте производится один замер изучаемых величин при одном и том же угловом положении ротора;

- время проведения эксперимента уменьшается в k раз.

Для исследования установившихся режимов движения рекомендуется принимать $K = T \cdot N / (1 + 1/k)$ или $K = T \cdot N / (1 - 1/k)$. При этом:

- на каждых k оборотах для изучаемых величин производится k равномерно распределенных по окружности замеров - по одному на каждом обороте;

- по полученным замерам при $k \geq 10$ можно строить синусоидальные зависимости

- время проведения эксперимента может даже уменьшиться по сравнению с предыдущим случаем.

4.2. Тестирование модели. Проверяем работоспособность модели соковыжималки на простых тестах, качественные результаты которых известны.

Тест 1. При отсутствии дисбаланса. В этом случае автобалансировка должна всегда наступать и шары в автобалансире должны расположиться таким образом, чтобы не создавать дисбаланс - два шара должны занять диаметрально противоположные положения, три - образовать правильный треугольник, а четыре - прямоугольник.

Результаты тестирования для разного количества шаров показаны на рис. 2, а-в.

Тест 2. При наличии дисбаланса. Тест проводится при двух шарах в автобалансире. При увеличении массы дисбаланса должна увеличиваться балансирующая емкость, используемая автобалансиrom для его уравнивания и поэтому шары в автобалансире должны сближаться, выстраиваясь напротив дисбаланса.

На рис. 3 показаны положения двух шаров (4,2 гр) при наступлении автобалансировки в зависимости от массы m_s дисбаланса (темный шар) - $m_s = 2,5 \text{ гр}$ (рис. 3, а); $m_s = 3,0 \text{ гр}$ (рис. 5, б); $m_s = 3,5 \text{ гр}$ (рис. 3, в).

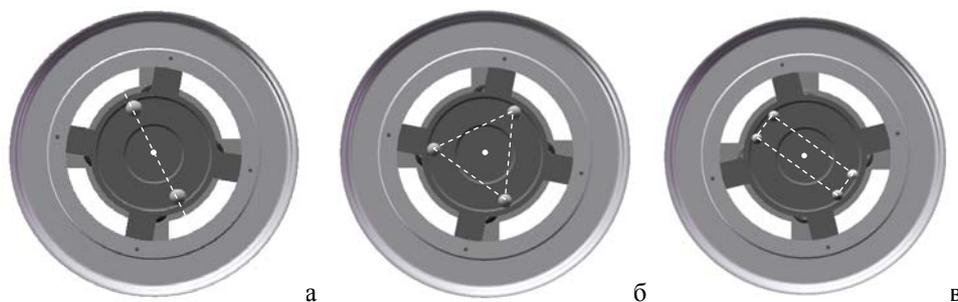


Рисунок 2 - Автобалансирующие положения шаров при отсутствии дисбаланса и разном количестве шаров в автобалансире



Рисунок 3 - Автобалансирующие положения шаров в двухшаровом автобалансиере в зависимости от массы m_s дисбаланса

Следует отметить, что примененный подход к моделированию процесса автобалансировки обеспечил большую скорость расчетов, позволяющую проводить за короткий промежуток времени большое число виртуальных экспериментов. При этом созданная модель достаточно точно моделирует процесс автобалансировки – процессы разгона и выбега ротора и шаров, приход шаров в автобалансирующее положение, реакцию шаров на дисбаланс и т.д.

Выводы.

1. Используемая методика 3D моделирования динамики центробежной соковыжималки с автобалансиром обеспечивает высокую скорость расчетов и может рассматриваться как стандартная при моделировании процесса автобалансировки в различных роторных системах.

2. Созданная 3D модель центробежной соковыжималки с автобалансиром работоспособна и ее основные параметры соответствуют модернизированной соковыжималке отечественного производства СВПП-201.

3. С помощью созданной 3D модели можно проводить полнофакторные и многофакторные эксперименты, в частности – 2-х и 3-х уровневые, для поиска оптимальных значений параметров 3D модели и модернизированной соковыжималки.

Список литературы

1. Летаев Д.А. Бытовые электроприборы для кухни. Справ. пособие. – Москва: Легпромбытиздат, 1992. – 96 с.
2. Партала О.Н. Справочник по ремонту бытовых электроприборов. - СПб: Наука и техника, 2010. – 400 с.
3. Гусаров А.А. Автобалансирующие устройства прямого действия / Гусаров А.А. – М.: Наука, 2002. – 119 с.
4. Філімоніхін Г.Б. Зрівноваження і віброзахист роторів автобалансирами з твердими коригувальними вантажами / Філімоніхін Г.Б. – Кіровоград: КНТУ, 2004. – 352 с.
5. Нестеренко В.П. Автоматическая балансировка роторов приборов и машин со многими степенями свободы. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1985. – 84 с.
6. Rodrigues, D.J.; Champneys, A.R.; Friswell, M.I.; Wilson, R.E. Automatic two-plane balancing for rigid rotors. International Journal of Non-Linear Mechanics vol. 43 issue 6 July, 2008. – p. 527-541.
7. Пат. 77192 України, МПК G01M 1/32 Електрична центрифужна напівавтоматична соковыжималка / Філімоніхін Г.Б., Гончаров В.В.; заявник та патентовласник Кіровоградський нац. техн. університет. – № u201203340; заявл. 20.03.2012; опубл. 11.02.2013, Бюл.№3.
8. Коваленко О.В. Числове моделювання процесу зрівноваження кульовими автобалансирами дисків ручних шліфувальних машин / О.В. Коваленко, Г.Б. Філімоніхін // Вісник гірничого університету. – 2009, №10. – С. 72–77.
9. Алямовский А.А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 784 с.
10. Kuang-Hua Chang. Motion Simulation and Mechanism Design with COSMOSMotion 2007. Paperback: 142 pages. Publisher: Schroff Development Corporation (July 14, 2008). ISBN–10: 1585034827.
11. Гончаров В.В. 3D моделирование динамики центробежной соковыжималки с шаровым автобалансиром / В.В. Гончаров, Г.Б. Филимонихин // “Технологічний аудит та резерви виробництва”, 2013, т.6, №. 1 (14).- С. 15–18.

Valeriy Goncharov, Gennady Filimonikhin

Kirovograd national technical university

3D model to study the dynamics of the centrifugal juicer with ball autobalancing

In the process of work of electric centrifugal juicers (juicers) with the cylindrical sieve the pulp is distributed non-uniformly on a sieve which causing a significant imbalance and vibration of machine case.

To balance these juicers on the go in the operation the authors propose their modernization which consists in replacing the standard platform for mounting the sieve by platform combined with ball auto-balancer.

In order to study the process of balancing by auto-balancer of juicer's cylindrical sieve created its 3D model with using the CAD system SolidWorks and its module Cosmos Motion. The simulation was performed in a technique that can be adopted as the standard for modeling process-balancing in rotor systems. It includes the steps of:

- 1) creation of models of details of a juicer in SolidWorks;
- 2) union of details in assembly;
- 3) kinematic and power processing of assembly by the Cosmos Motion module;
- 4) choice of criteria of quality of operation of the auto-balancer and juicer (the value of the module of residual acceleration of the case, time of onset of auto-balancing etc.);
- 5) adjustment of the model (the values of its parameters are selected in maximum accordance with the real machine);
- 6) the choice of model parameters;
- 7) test of the model of elementary tasks, the results of which are known or can be easily interpreted.

The model of a juicer created by the offered technique is efficient and provides high speed of calculations. Its key parameters correspond to a natural juicer with the ball-type auto-balancer. By means of the created model it is possible to make fully - factorial and multiple-factorial experiments, in particular – with 2-levels, 3-levels, for search of optimum values of parameters of a juicer with the auto-balancer.

centrifugal juicer, dynamics, computer modeling, auto-balancer, imbalance, vibrations, balancing

Отримано 23.11.13

УДК 631.331.5

В.П.Горобей, канд. техн. наук

Науково-виробниче об'єднання «Селта» Національного наукового центру «Інститут механізації і електрифікації сільського господарства» НААН

М.А.Литвиненко, д-р с.-г. наук, акад. НААН

Селекційно-генетичний інститут – національний центр насіннізнавства та сортовивчення НААН

Дослідження експериментальної селекційної сівалки СЦН-10 в польових умовах

Приведено конструкційні схеми селекційної сівалки СЦН-10 та комбінованого дводискового сошника та якісні показники роботи сівалки.

сівалка, селекція, етап, розсадник, порційний висівний апарат, комбінований сошник, агроформи
В.П.Горобей, канд.т ехн. наук

Научно-производственное объединение «Селта» Національного наукового центра «Інститут механізації і електрифікації сільського господарства» НААН

Н.А.Литвиненко доктор с.-г. наук, академик НААН,

Селекційно-генетичний інститут- національний центр семеноведення і сортоизучения НААН

Исследования экспериментальной селекционной сеялки СЦН-10 в полевых условиях