

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Горбунов В.П.<sup>1</sup>, Тюшкевич В.В.<sup>2</sup>

- 1) Брестский государственный технический университет;  
г. Брест, Республика Беларусь
- 2) ООО «Машиностроительное предприятие «Компо»;  
г. Брест, Республика Беларусь

Современное технологическое оборудование должно обладать высокой надежностью работы, что обеспечивается рядом мер, применяемых на стадиях проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации оборудования. В этой связи, актуальным является решение проблемы прогнозирования технического ресурса машин и конструктивных элементов на стадии проектирования, для назначения обоснованного графика технического обслуживания (ТО) и времени межремонтного периода.

Целью данной работы является разработка рекомендаций по назначению графика технического обслуживания и ремонта технологического оборудования пищевых производств.

В качестве объекта исследования принят привод шприца вакуумного, двухвинтового для наполнения колбасных оболочек фаршем. Лимитирующим элементом конструкции для назначения времени технического обслуживания являются опорные втулки в решетке винтов вытеснителя, которые выполняют функцию подшипников скольжения и изготавливаются из композиционных материалов на основе фторопласта [1]. В процессе работы втулки подвергаются сильному износу и требуют замены при достижении предельного размера изношенной поверхности, согласно техническим условиям изготовителя  $\varnothing 20,2$  мм (начальный размер  $20^{+0,04}$  мм) [2]. Существующая система технического обслуживания шприца предусматривает принудительную замену втулок, что не всегда позволяет полностью использовать их ресурс. Назначение обоснованного оптимального ресурса позволит сократить количество и объем работ при ТО, сократит затраты на их проведение и увеличит производительность работы оборудования.

На этапе проектирования с целью выбора оптимальной конструкции узла или детали оборудования проводятся испытания в среде САПР. В этой связи создается виртуальная модель узла (детали), моделируются необходимые нагрузки, проверяется конструкция на жесткость, прочность, деформации.

В этой связи на начальном этапе исследования для анализа напряжений была создана трехмерная модель опорной втулки (рисунок 1), назначен материал - композиция фторопласта Ф4К15М5. Анализ проводился в среде САПР компьютерной программы Autodesk Inventor 2015. После назначения материала были заданы опоры детали. В нашем случае для шнека используется один вид опоры – защемление, так как наша опорная втулка вкручивается в решетку, которая неподвижно устанавливается в корпус вытеснителя шприца. При созда-

нии условий воздействия внешних сил на опорную втулку учитываем, что данная втулка является подшипником скольжения и опорой шнека (масса шнека составляет 8 кг). Один конец шнека находится в зацеплении с раздаточной коробкой, второй на опорной втулке [3], следовательно, нагрузка распределена на оба конца шнека. Однако в начале вращения шнека при подаче фарша в зону вытеснения, затем в зону наполнения фарша в оболочку происходит выравнивание шнека вдоль оси корпуса, то есть до запуска вся нагрузка была на одну сторону втулки, а во время работы стала равномерно распределяться по опорной поверхности втулки. Приложим радиальные нагрузки, создаваемые шейками шнеков, к центру опорной поверхности втулки. На рисунке 2 показан вектор силы, накладываемый на геометрию модели. Векторные компоненты меняют направление от положительного до отрицательного значения вдоль координаты  $Y$  и величину от минимального значения нагрузки в статике до максимального с учетом увеличения нагрузки при начале работы.

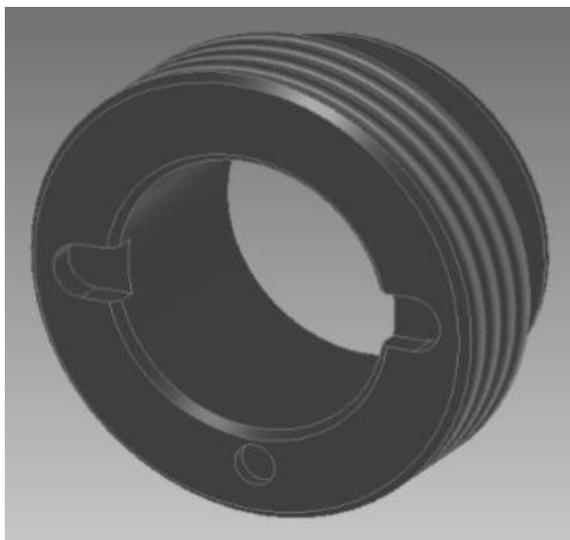


Рисунок 1 – Модель опорной втулки

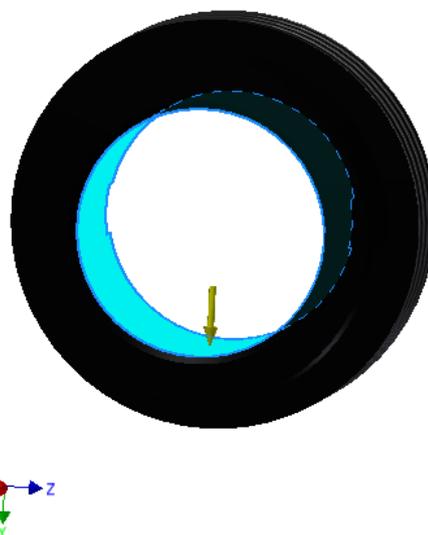


Рисунок 2 –Схема приложения нагрузки

Далее используем статистический анализ условий структурной нагрузки. Были рассмотрены напряжения в направлении осей координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .

После создания сетки на модели для отображения относительно элементов геометрии был запущен процесс моделирования, в результате чего получены следующие результаты:

- напряжение по Мизесу;
- 1-е основное напряжение;
- 3-е основное напряжение;
- смещение;
- коэффициент запаса по прочности;
- напряжения, смещения и деформации по осям.

Полученные данные сохраняем в отчете программы. Данные по характерным параметрам напряжений предоставлены на рисунках 3-4. Полученные результаты расчетов показали, что деформации и соответствующие смещения в наибольшей степени проявляются в направлении координаты  $Y$ .

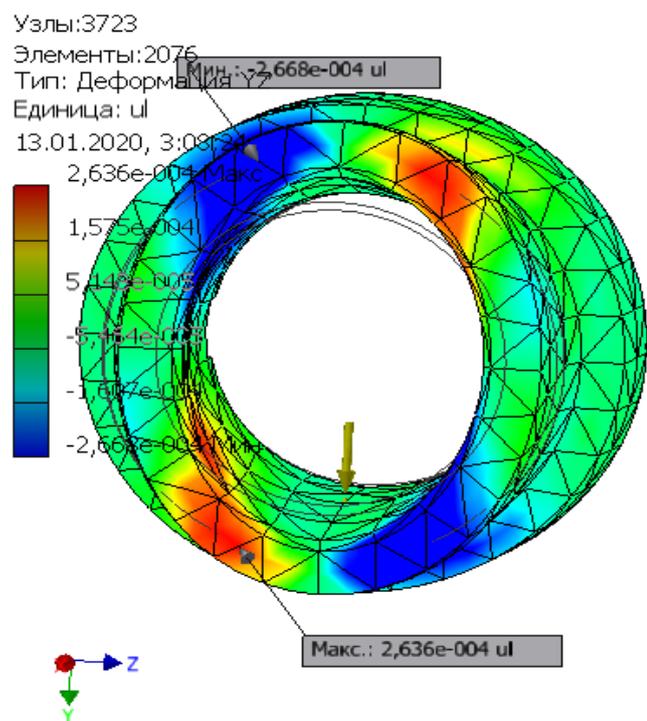
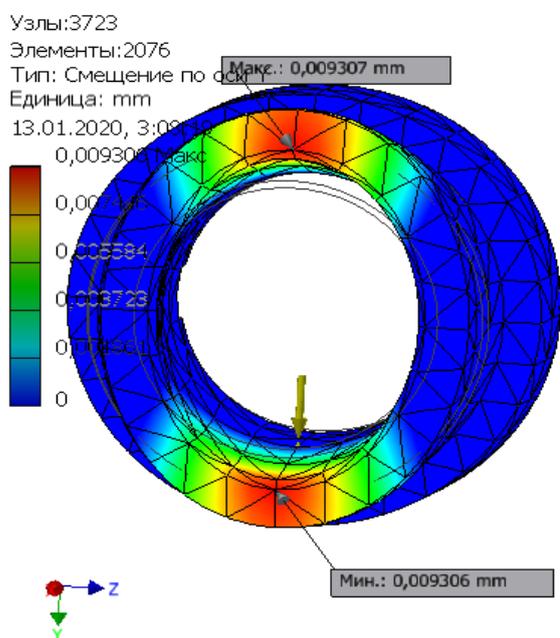
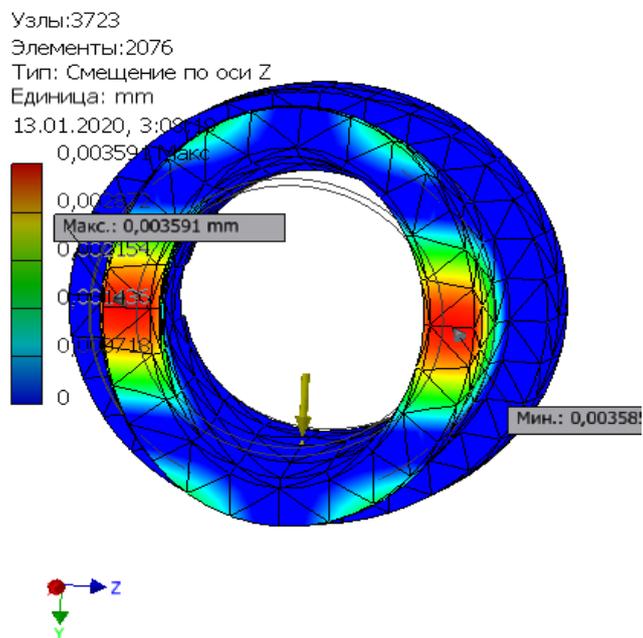


Рисунок 3 – Деформация втулки вдоль осей координат YZ



а)



б)

Рисунок 4 – Смещения вдоль осей координат : а - координата Z, б – координата Y

Результаты компьютерного анализа напряжений представлены в таблице.

<b>Наименование</b>	<b>Минимальная</b>	<b>Максимальная</b>
Объем	6736,59 мм <sup>3</sup>	
Масса	0,00641323 кг	
Напряжение по Мизесу	0,00788425 МПа	0,752817 МПа
1-ое основное напряжение	-0,42723 МПа	0,527324 МПа
3-е основное напряжение	-1,06362 МПа	0,209685 МПа
Смещение	0 мм	0,00945379 мм
Коэфф. запаса прочности	15 бр	15 бр
Напряжение XX	-0,649323 МПа	0,373117 МПа
Напряжение XY	-0,318701 МПа	0,301863 МПа
Напряжение XZ	-0,172224 МПа	0,172983 МПа
Напряжение YY	-0,877098 МПа	0,305186 МПа
Напряжение YZ	-0,174591 МПа	0,172489 МПа
Напряжение ZZ	-0,533299 МПа	0,448868 МПа
Смещение по оси X	-0,00137145 мм	0,0022625 мм
Смещение по оси Y	-0,00930722 мм	0,00930607 мм
Смещение по оси Z	-0,00358511 мм	0,00359056 мм
Эквивалентная деформация	0,00000810957 бр	0,000779119 бр
1-ая основная деформация	0,000000983971 бр	0,000497024 бр
3-я основная деформация	-0,000821677 бр	-0,00000324817 бр
Деформация XX	-0,000464846 бр	0,000392957 бр
Деформация XY	-0,000486973 бр	0,000461244 бр
Деформация XZ	-0,000263157 бр	0,000264317 бр
Деформация YY	-0,000727426 бр	0,00028662 бр
Деформация YZ	-0,000266773 бр	0,000263561 бр
Деформация ZZ	-0,000137011 бр	0,000497024 бр

Результаты моделирования показали, что размеры отверстия втулки при рассматриваемых условиях не выходят за допустимые значения, деформация и смещения вдоль осей координат не выходят за пределы допуска 0,2 мм.

Аналогично можно определить давление, максимальную величину удельного давления на выбранной грани (рабочей поверхности) в условиях равномерного или параболического распределения нагрузки.

При необходимости замены материала втулки, то есть использования более прочного, термо- и износостойкого материала моделирование повторяется после изменения параметра программы «Материал».

Сбор статистических данных, полученных в процессе эксплуатации, позволил определить исходные параметры для математического моделирования величины износа втулки [4], а также провести проверку данной модели на жизнеспособность. Так значения наработки до предельного состояния для опорных втулок определяется скоростью их изнашивания. Полученные статистические данные по результатам производственных испытаний показали, что при средней скорости изнашивания равной 0,00125 мм/час значение среднего срока службы данных втулок при допустимых величинах зазора составит, с учетом максимального смещения от максимальной нагрузки вдоль координаты Y, 160 часов. Данное значение может служить минимальной величиной ресурса, закладываемой в график технического обслуживания привода шприца.

**Выводы:** В результате моделирования получены изменения размеров опорной втулки под воздействием нагрузок, проведен анализ деформаций опорных втулок, смещения осей шнеков, что приводит к увеличению их биения. Используя априорную информацию по износостойкости рассматриваемых материалов втулки можно рекомендовать графики технического обслуживания шприцов исходя из режима их работы. Также даны рекомендации по использованию полученной информации для назначения технических требований к конструкции при проектировании и прогнозирования состояния данного оборудования в процессе эксплуатации

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ивашов, В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности: учеб. Пособие, в 2-х ч. Ч. 2 / Ивашов В.И. СПб: ГИОРД, 2003. – 464с.

2. Горбунов В.П., Тюшкевич В.В. Назначение оптимального ресурса технологического оборудования // Новые технологии и материалы, автоматизация производства: Сборник статей междунар. науч.-техн. конф. /г. Брест, (20-21 октября 2022 г.) – Брест, 2022. – С.57 – 61.

3. Горбунов В.П., Тюшкевич В.В. Ресурсные испытания технологического оборудования пищевой промышленности // Новые технологии и материалы, автоматизация производства: Сборник статей междунар. науч.-техн. конф. / г. Брест, (29-30 сентября 2021 г.) – Брест, 2021. – С.41 – 45.

4. Горбунов В.П., Тюшкевич В.В. Прогнозирования ресурса технологического оборудования в зависимости от скорости изнашивания // Новые технологии и материалы, автоматизация производства: Сборник статей междунар. науч.-техн. конф. /г. Брест, (29–30 сентября 2021 г.) – Брест, 2021. – С.45 – 49.