УДК 66.023

ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗОНЫ ПИТАНИЯ ОДНОЧЕРВЯЧНОЙ МАШИНЫ НА ФИЛЬТРУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ НАПОРНОЙ ЗОНЫ

М.М. Григорьева, А.А. Татарников

Томский политехнический университет
E-mail: grigoryeva@tpu.ru

Проведены исследования влияния производительности зоны питания и геометрических размеров одночервячной машины на фильтрующую способность напорной зоны при экструзии эластомерных материалов. Установлена связь между режимом питания, геометрическими размерами и производительностью напорной зоны одночервячной машины.

Ключевые слова:
Стабильность производительности, одночервячная машина, фильтрующая способность, напорная зона, буферная зона, режим питания, геометрические размеры, динамические характеристики.

Key words:
Stability of efficiency, single screw machine, filtering property, pressure zone, buffer zone, feeding mode, geometries, dynamic characteristics.

Начиная с работ Д.Ф. Карлея, Р.А. Штруба, Р.С. Маллоука, Д.М. Мак-Келви и К. Дженсона, опубликованных в 1953 г., началась интенсивная разработка математических моделей производительности напорной зоны в стационарном режиме. Предполагалось, что питание напорной зоны постоянно и не зависит от времени. С тех пор по настоящее время было разработано более 60 различных математических моделей разной степени сложности [1]. Однако особенностью переработки эластомерных материалов на одночервячных машинах является наличие в канале червяка буферной зоны, характерной особенностью которой является то, что она не полностью заполнена перерабатываемым материалом. Длину нарезной части червяка можно условно разделить на три функциональных зоны: зону питания, буферную и напорную зоны. Косвенным подтверждением наличия буферной зоны является независимость производительности червячной машины от противодавления со стороны формующего инструмента. Этот факт подтвержден целым рядом экспериментальных исследований. Прямой эксперимент, проведенный R. Brzoskowski при переработке резиновых смесей, показал, что часть канала червяка между зоной питания и напорной зоной заполнена не полностью, а перерабатываемый материал в ней движется отдельными сегментами разного размера [2]. Эксперименты, проведенные Д.Б. Горбуновым [3] с применением модельной среды, в качестве которой использовалось тесто, также подтвердил наличие буферной зоны и неравномерность ее заполнения перерабатываемым материалом (рис. 1).

Рис. 1. *Сечение канала червяка с условным делением на функциональные зоны*

Таким образом, из проведенных исследований следует, что напорная зона питается не непрерывно, а дискретно. Поэтому производительность напорной зоны во времени изменяется. Причем при достижении отдельным сегментом перерабатываемого материала напорной зоны производительность повышается, а в промежутке между подачей сегментов – уменьшается. Это в конечном итоге сказывается на геометрических размерах изготовляемого изделия. Снижение колебаний производительности позволит стабилизировать геометрические размеры продукции, а, значит, повысить ее качество и снизить себестоимость.

Таким образом, возникает задача математического описания нестационарного режима работы напорной зоны. В нестационарном режиме работы напорная зона является своеобразным фильтром, характеристики которого зависят от геометрических размеров канала червяка, длины напорной зоны, а также режима питания.

Для обобщения полученных результатов будем использовать безразмерные характеристики как геометрических размеров, так и режима питания. Это отношения:

- ширины винтового канала к диаметру червяка w/D;
- глубины нарезки к диаметру червяка h/D;
- ширины гребня по оси червяка к диаметру e/D;
- объемной производительности к максимальному теоретическому значению объемной производительности $q=Q/Q_{\max}$ (безразмерное значение производительности одночервячной машины).

Известно, что временную характеристику напорной зоны можно описать передаточной функцией апериодического звена n-го порядка с запаздыванием [4]:

$$W(p)=\frac{q_{zad}}{(Tp+1)^n}e^{-p\tau},$$

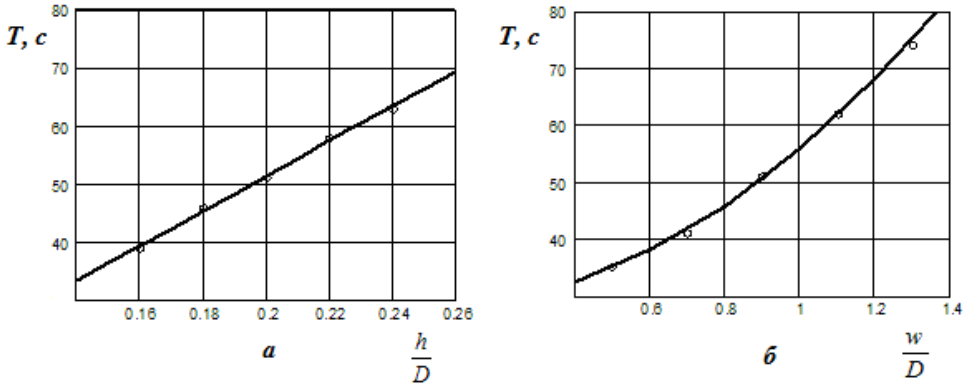

Рис. 2. *Влияние геометрических параметров червяка на постоянную времени*

где τ – время запаздывания; T – постоянная времени; q_{zad} – заданное значение производительности; n – порядок апериодического звена; p – оператор Лапласа.

Для количественной оценки фильтрующей способности напорной зоны необходимо определить значение постоянной времени T, которая определяется по переходной характеристике одночервячной машины методом Круг-Мининой в точке, соответствующей $0{,}632q_{zad}$. Проведены исследования влияния геометрических и технологических параметров на фильтрующую способность напорной зоны.

Исследовано влияние геометрических размеров одночервячной машины на фильтрующую способность напорной зоны. На рис. 2, *а*, видно, что постоянная времени T, характеризующая фильтрующую способность напорной зоны, линейно возрастает с увеличением отношения глубины нарезки к диаметру червяка. Однако зависимость постоянной времени от отношения ширины винтового канала к диаметру червяка является квадратичной (рис. 2, *б*).

Исследования влияния заданного значения безразмерной производительности q_{zad} на фильтрующую способность напорной зоны одночервячной машины показали, что при увеличении значения q_{zad} от 0,2 до 0,8, порядок n передаточной функции, которой описывается ее переходная характеристика, увеличивается с 1-го до 6-го. Полученные переходные характеристики приведены на рис. 3.

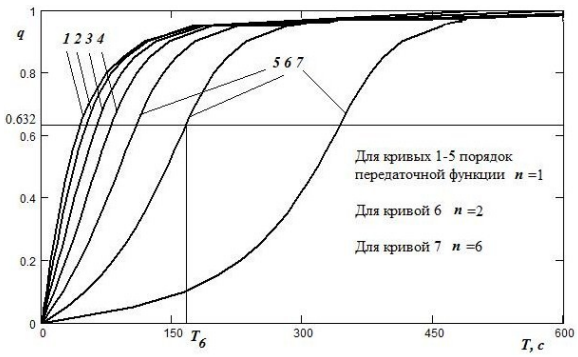

Рис. 3. *Переходные характеристики одночервячных машин при различных* q_{zad}

Зависимость значения постоянной времени и порядка передаточной функции одночервячной машины от значения заданной производительности приведены на рис. 4 и 5.

Увеличение порядка передаточной функции объясняется тем, что при увеличении q_{zad} увеличивается длина напорной зоны одночервячной машины, а буферной – уменьшается. При этом повышается фильтрующая способность напорной зоны и, следовательно, качество готовых изделий [5].

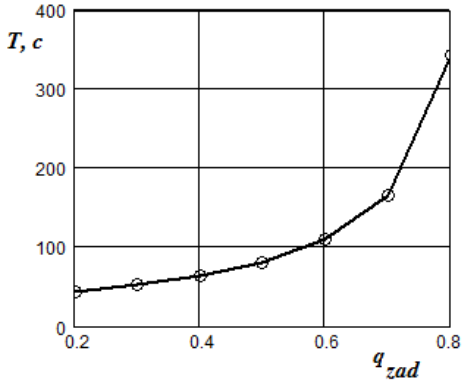

Рис. 4. *Зависимость значения постоянной времени от значения заданной производительности*

Существует зависимость технологического процесса от наличия за экструдером вулканизационной камеры. Так, при изготовлении заготовок автомобильных покрышек процесс экструзии отделен от процесса вулканизации. В связи с этим, задачей шинной промышленности является максимизация производительности экструдера. Для решения этой задачи постоянно оптимизируется конструкция червяка – предусматриваются специализированные зоны червяка, используется переменная глубина нарезки и т. д.

При производстве кабелей процесс нанесения изоляционной оболочки неразрывно связан с процессом ее вулканизации, поэтому задачей кабельной промышленности является поддержание производительности экструдера на заданном уровне.

Для решения обеих задач нужно установить связь между режимом питания одночервячной машины и производительностью напорной зоны. Такая связь необходима для того, чтобы по технологическому режиму работы напорной зоны определять режим работы зоны питания и наоборот.

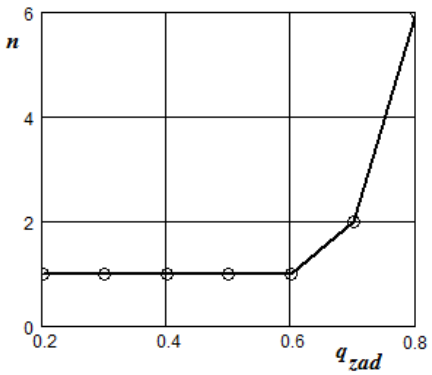

Рис. 5. *Зависимость порядка передаточной функции одночервячной машины от заданного значения безразмерной производительности*

Теоретическую максимальную производительность червячной машины можно вычислить по формуле, однако, наличие буферной зоны не позволяет достичь этого значения производительности:

$$Q_{\max} = 0,5k\pi DN\cos\varphi\ hwF_dE_k,\ \text{м}^3/\text{с},$$

где k – число заходов червяка; D – диаметр червяка; N – частота вращения червяка; φ, h – угол и глубина нарезки; w – ширина винтового канала; F_d, E_k – коэффициенты, учитывающие тормозящее влияние стенок канала червяка и уменьшение сечения за счет скруглений у основания гребней.

Для определения «реальной» максимальной производительности необходимо перейти от абсолютных значений к безразмерным, что позволит получить «универсальные» переходные характеристики как для промышленных одночервячных машин больших диаметров, так и для лабораторных установок малых диаметров.

После преобразования получим

$$Q_{\max} = 0,5k\pi D^3N\frac{h}{D}\frac{w}{D}\cos\varphi F_dE_k,\ \text{м}^3/\text{с}.$$

Объемная производительность одночервячной машины равна

$$Q = K_n^vN,\ \text{м}^3/\text{с},$$

где K_n^v – коэффициент пропорциональности между объемной производительностью одночервячной машины и частотой вращения червяка, равный тангенсу угла наклона характеристики производительности одночервячной машины и зависящий от режима питания (рис. 6).

Учитывая сказанное выше, величина безразмерной производительности напорной зоны будет равна

$$q = \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{2(K_n^v/D^3)}{k\pi\frac{h}{D}\frac{w}{D}\cos\varphi\ F_dE_k}.$$

Отсюда и из рис. 6 следует, что производительность напорной зоны зависит от режима питания, определяемого величиной K_n^v/D^3, и не зависит от частоты вращения червяка, гидравлического сопротивления формующего инструмента и реологических свойств резиновой смеси. При максимальной производительности зоны питания, т. е. при $K_{n,\max}^v$, величина q будет максимальной [6].

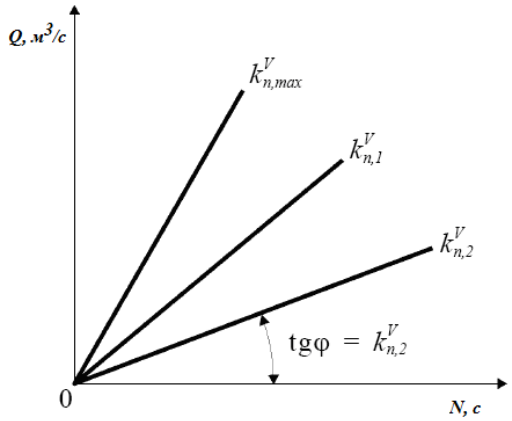

Рис. 6. *Характеристики объемной производительности червячной машины в зависимости от частоты вращения червяка и значения K_n^v*

Такой режим работы одночервячной машины используется в шинной промышленности. Что касается кабельной промышленности, то здесь необходимо поддерживать заданное значение безразмерной производительности напорной зоны q_{zad}, т. к. на одной и той же одночервячной машине изготавливают кабели с различными габаритами. В этом случае, зная заданное значение q_{zad}, можно определить режим питания одночервячной машины.

Обзор литературы [7, 8] и анализ геометрических размеров одночервячных машин показал, что практически реализуемое значение q_{zad} не превышает 0,5, а, значит, динамическую характеристику одночервячной машины можно описать передаточной функцией апериодического звена первого порядка с запаздыванием:

$$W(p) = \frac{q_{zad}}{(Tp+1)}\cdot e^{-p\tau}.$$

Выводы

1. Проведены исследования влияния производительности зоны питания и геометрических размеров одночервячной машины на фильтрующую способность напорной зоны при экструзии эластомерных материалов.
2. Установлена связь между режимом питания, геометрическими размерами и производительностью напорной зоны.
3. Показано, что производительность напорной зоны зависит от режима питания одночервячной машины и не зависит от частоты вращения червяка, гидравлического сопротивления формующего инструмента и реологических свойств резиновой смеси.
4. Произведена оценка зависимости фильтрующей способности напорной зоны от геометрических размеров червяка и заданного значения безразмерной производительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Татарников А.А., Любашевская В.Г., Волошенко А.В. Особенности процесса экструзии резиновых смесей в одночервячных машинах. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1989. – 100 с.
2. Brzoskowski R. et al. Experimental study of the flow characteristics of rubber compounding extruder screws // Rubber. Chem. and Technol. – 1986. – V. 59. – № 4. – P. 634–650.
3. Григорьева М.М., Горбунов Д.Б., Татарников А.А. Квазистационарный режим процесса экструзии эластомерных материалов на одночервячных машинах // Вестник МИТХТ им. М.В. Ломоносова. – 2008. – № 1. – С. 75–78.
4. Татарников А.А., Горбунов Д.Б. Аналитический расчет динамических характеристик одночервячной машины с коническим каналом червяка при переработке резиновой смеси // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 5. – С. 141–145.
5. Григорьева М.М. Влияние производительности одночервячной машины на ее фильтрующую способность // Современные техника и технологии: Труды XIV Междунар. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск. 24-28 марта 2008. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – Т. 1. – С. 356–358.
6. Буртелов Л.В. Математическое моделирование процесса экструзии псевдопластичных сред на одночервячных машинах на примере резиновой смеси: Дис. ... к.т.н.: 05.17.08. – Томск, 2006. – 236 с.
7. Губер Ф.Б., Тамаркин В.Б., Говша А.Г. Проблемы оптимизации процессов шприцевания в промышленности РТИ: Тематический обзор. – Серия: Производство резинотехнических изделий – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1981. – 76 с.
8. Ким В.С.-Х., Самойлов В.А., Прищепов В.Б., Порчхидзе Г.Д. Анализ работы зоны загрузки одношнекового экструдера // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2002. – № 4. – С. 6–9.

Поступила 26.01.2009 г.

УДК 62-523.8

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ ЗА СЧЕТ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПРОДОЛЬНОЙ ПОДАЧИ

Д.А. Кононенко

Московский государственный институт путей сообщения
E-mail: d.kononenko@systemcompany.ru

Установлены факторы образования погрешностей обработки из-за упругого перемещения технологической системы токарного станка. Предложена блок-схема системы адаптивного управления технологическим процессом токарной обработки, позволяющая повысить качество деталей за счет регулирования величины продольной подачи. Приведен расчет диапазона параметра регулирования для станка модели 16А20.

Ключевые слова:
Упругие перемещения, адаптивная система, управление продольной подачей, качество изделий, токарная обработка.

Key words:
Elastic movements, adaptive system, longitudinal feed control, quality of product, turning.

Анализ номенклатуры изделий ряда отраслей промышленности позволил установить, что около половины всех деталей составляют валы (более 40 %), диски, втулки, тонкостенные цилиндры, кольца, т. е. тела вращения, изготавливаемые из легированных высокопрочных сталей и сплавов [1]. Кроме того, широко используются различного рода приспособления, механизмы, прецизионный и специальный инструмент, которые тоже могут быть отнесены к классу нежестких деталей типа тел вращения, несмотря на различное функциональное назначение и конструктивные отличия.

Нежесткие детали, как правило, могут быть объединены в одну группу по общим классификационным признакам – форме (тела вращения) и методу обработки (точение).

От точности исполнения токарной операции зависит выполнение последующих операций и результаты обработки в целом, а в ряде случаев токарные операции являются окончательным видом обработки. Решение задачи обеспечения требуемого качества затрудняется тем, что в процессе обработки сама деталь, инструмент и узлы станка, находясь в относительном движении, представляют собой сложную динамическую технологическую систему, поведение которой без целевых исследований заранее определить практически невозможно. Малая собственная жесткость или низкая жесткость по отношению к жесткости узлов, возможность возникновения при определенных условиях вибрации, наличие в процессе обработки множество возмущающих и дестабилизирующих процесс обработки факторов – все это приводит к необходимости поиска новых методов управления и технологических способов обеспечения заданной точности и качества обработки.

К одному из основных путей повышения производительности токарной относится ужесточение