МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 677.494.675:536.495

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ УСТРОЙСТВ ДОЗИРОВАНИЯ ПРЯДИЛЬНЫХ МАШИН НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДАЧИ ПОЛИМЕРНЫХ РАСТВОРОВ

© 2012 г. ***Н.Ф. Никитенко*, Д.В. Миньков**, О.М. Башкиров**, В.В. Долгих**, Е.Б.Седин****

*Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)

**НПО «ОРИОН ВДМ», г. Новочеркасск

*South-Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute)

**NPO «ORION VDM» (Novocherkassk)

Выполнен анализ технологического процесса производства химических волокон с точки зрения обеспечения надежности и требуемого ресурса работы прядильных машин. Определен ряд параметров, влияющих на долговечность механизмов и устройств прядильных машин. Показано, что одной из основных причин малых сроков является низкая износостойкость деталей их механизмов, работающих в высоковязких агрессивных полимерных растворах. Предложена математическая модель прогнозирования выхода параметров устройств за предельное состояние, основанная на использовании измеряемой характеристики подачи прядильного раствора насосом-дозатором. На основе системного подхода предложены и сформулированы направления и ряд задач по решению проблемы повышения долговечности оборудования в производстве химических волокон.

Ключевые слова: надежность; долговечность; насосы-дозаторы; полимерные растворы; износ; характеристика подачи; торцевые зазоры.

In article the analysis of synthetic fibres manufacture' s technological process for maintenance of reliability and a demanded resource of spinning equipment is made. The parameters influencing durability of mechanisms and devices of spinning equipment is defined. It is shown that one of principal causes of small terms of their operation is low wear resistance of details and the mechanisms working in chemically aggressive polymeric solutions with high viscosity. The mathematical model for forecasting of devices parameters an exit upon the limiting level, based on use of the measured characteristic of a spinning solution giving by the dosing out pump is offered. On the basis of the system approach the directions and problems on a solution of the task for increase of the equiment' s durability in synthetic fibres manufacture are formulated.

Keywords: reliability; the durability; dosing out pumps; polymeric solutions; deterioration; the giving characteristic; fase backlashes.

Современный этап развития химического машиностроения характеризуется рядом особенностей, среди которых, одной из основных, является появление и увеличение числа высокоагрессивных технологических сред с высоким уровнем разрушительного действия на механизмы машин из-за интенсивного коррозионно-механического и водородного изнашивания их деталей. Эта особенность технологических сред является причиной существенного снижения срока службы и функциональной работоспособности механизмов и устройств прядильных машин, перерабатывающих высоковязкие агрессивные полимерные растворы в производстве арамидных волокон типа СВМ, Армос, Русар, Артек и др. химических волокон [1].

Указанные механизмы и устройства отличаются весьма низкой надежностью и долговечностью, что значительно снижает качество изготавливаемого химического волокна и эффективность его промышленного производства в целом. Например, по данным, приведенным в [2], при формовании химических волокон из соляно-кислых растворов ароматического полиамида (АПА) в диметилацетамиде (ДМАА), в течение 10 – 20 суток происходит выход из строя шестеренных дозирующих насосов типа НШ (далее насосов-дозаторов). При этом снижается подача раствора к фильере, что приводит к выпуску бракованной продукции. Поэтому повышение надежности оборудования прядильных машин, в том числе насосов-дозаторов, работоспособных в течение 1 года и более, является задачей, решаемой только с помощью системного подхода к устройству элементов машин и к вопросам влияния характеристик технологических сред на их долговечность.

Целью настоящей работы является анализ проблемы повышения долговечности механизмов и устройств прядильных машин для формования арамидных волокон по мокрому способу, определение и обоснование путей её решения. Технологический процесс производства химических волокон, как правило, включает три стадии (рис. 1). Первой стадией является получение прядильного раствора из исходных реагентов. На этой стадии в реакторе проводится синтез полимера в растворителе (в результате поликонденсации мономеров) и раствор, в зависимости от времени введения и количества введенных реагентов, приобретает вязкотекучее состояние и определенные реологические характеристики. Затем прядильный раствор подвергается фильтрации и обезвоздушиванию. На первой стадии, с целью придания волокну определенных свойств, в прядильный раствор могут вводиться различные добавки.

Вторая стадия (формование волокна) заключается в том, что приготовленный на первой стадии раствор с помощью насосов-дозаторов продавливается после фильтра через отверстия фильеры в виде тонких струек (филаментов). Затем из этих струек при осаждении полимера из раствора образуются бесконечные элементарные нити. Вид и форма этих нитей зависит от назначения волокна, размеров и числа отверстий в фильере (от одного до нескольких тысяч). На третьей стадии проводится вытяжка, отмывка и сушка волокон [3, 4].

Формование волокон является важнейшим этапом производства химических волокон, характеристики которого определяют в известной мере качество и потребительские свойства готовой нити. В процессе формования волокна приобретают определенный комплекс физико-механических показателей, которые можно варьировать в довольно широких пределах, изменяя как условия формования, так и реологические и температурные характеристики прядильного раствора. Однако, с точки зрения надежности оборудования, определяющим показателем качества процесса формования является стабильная работа насосов-дозаторов прядильных машин. Неравномерность выходной расходной характеристики насоса – подачи раствора $Q_ф$ в единицу времени, например, для насосов типа 11НШ-3ИС, составляет ±1,5 %. С метрологической точки зрения такое значение неравномерности подачи свойственно точным приборам, выполняющим функции калибраторов расхода жидкости.

Указанные выше особенности технологического процесса определяют необходимость повышения требований к эффективности и качеству производимой продукции. Одним из основных показателей качества изделий (объектов), необходимого для поддержания его в работоспособном состоянии, является надежность. Надежность – обобщенный (комплексный) параметр, включающий в себя такой показатель, как долговечность – свойство изделия сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Основным показателем долговечности изделия являются срок службы и ресурс [5]. Согласно ГОСТ 27.003-90, ресурс в качестве показателя долговечности используется для изделий, в которых основным процессом, определяющим переход в предельное состояние, является изнашивание. Потеря работоспособности механизмом может быть связана с поломкой или износом составляющих деталей и узлов и (или) с влиянием на работоспособность (в том числе и на износ) условий эксплуатации, параметров среды и характеристик технологического объекта (машины, процесса), составной частью которого является его механизм.

Эффективные методы прочностных расчетов и конструкционные материалы, используемые при проектировании элементов и устройств машин и приборов, обеспечивают относительно небольшой удельный вес отказов изделий из-за поломок: примерно от 1 до 10 % [6, 7]. Причиной снижения ресурса и выхода машин и механизмов из строя в подавляющем числе случаев является изнашивание функциональных поверхностей их деталей в процессе эксплуатации (рис. 2).

Одна из основных причин – деструктивное влияние технологического объекта (процесса) и среды, в которой находится устройство. Эта причина возникает вследствие низкой износостойкости материалов, применяемых в конструкциях изделий, не учитывающих тех особых условий и среды, в которых предстоит эксплуатировать изделия. При этом отметим, что в данном случае выход механизма из строя понимается в расширительном смысле, т.е. не только прекращение его работы, но и изменение функциональных характеристик в пределах, превышающих предельно допустимые нормы.

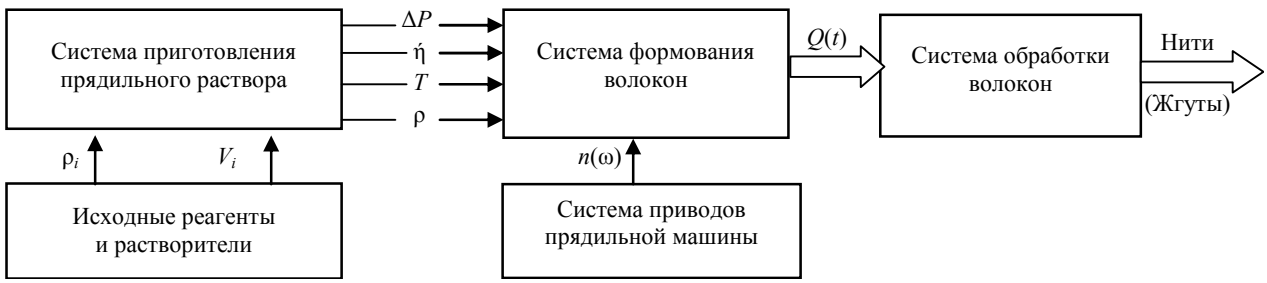


Рис. 1. Общая структурная схема технологического процесса производства химических волокон: ΔP – перепад давлений; ρ_i , V_i – плотности и объемы исходных реагентов и растворителей; $Q(t)$ – подача прядильного раствора; $n(\omega)$ – частота вращения привода; ή, T – вязкость, температура раствора

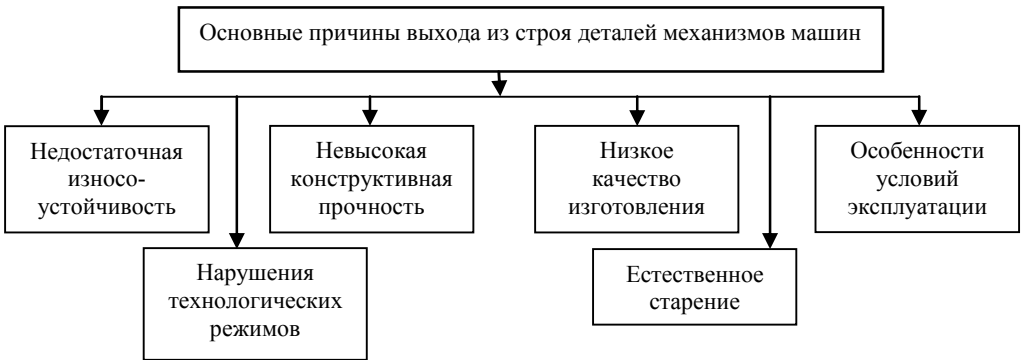


Рис. 2. Основные причины снижения долговечности деталей и механизмов машин и оборудования

Долговечность дозирующего насоса в общем случае можно представить выражением $D = T[(Q_н \pm \Delta Q) - -\Sigma Q_{yi}] = F\{F_k [k_i, \beta_i, \ldots, k_n, \beta_n,], F_e [k_s, \beta_s, \ldots, k_p, \beta_p,]\}$, где $T[(Q_н \pm \Delta Q) - \Sigma Q_{yi}]$ – временная зависимость, определяемая сроком выхода номинального значения $Q_н$ расходной характеристики (подачи) насоса за пределы её допуска $\pm\Delta Q$ вследствие износа деталей и возникновения суммарных утечек различного рода ΣQ_{yi}; $F_k [k_i, \beta_i, \ldots, k_n, \beta_n]$ – зависимость расходной характеристики насоса с присоединенным фильтр-фильерным комплектом от его конструктивных (внутренних) параметров k_i и весов влияния β_i i-го параметра на подачу и утечки дозируемого прядильного раствора; $i = 1, 2, \ldots, n_0$; $F_e [k_s, \beta_s, \ldots, k_p, \beta_p]$ – зависимость расходной характеристики насоса с присоединенным фильтр-фильерным комплектом от его эксплуатационных (внешних) параметров k_s и веса влияния β_s s-го параметра на подачу и утечки дозируемого прядильного раствора; $s = 1, 2, \ldots, p$.

Указанные на рис. 2 причины снижения ресурса из-за изнашивания изделия являются следствием отсутствия системного подхода к их проектированию, а также неэффективной работы системы метрологического контроля качества на всех этапах жизненного цикла изделий. Зачастую качество изделия жестко контролируют на этапе его изготовления. Между тем, как показывает опыт, не менее, если не более, важными являются этап разработки (проектирования) изделия и этап его эксплуатации. Эксплуатируемое изделие (в нашем случае насос-дозатор) должно быть снабжено измерительным устройством, которое бы обеспечивало на этапе эксплуатации непрерывный измерительный контроль выхода за пределы установленного регламента показателей работы технологической процесса. Именно на этапе проектирования и даже со стадии составления технического задания на проектирование начинает формироваться качество изделия.

Каковы же основные пути повышения долговечности механизмов прядильных машин, работающих с высоковязкими агрессивными полимерными растворами? Какими бы высокими не были требования по надежности и долговечности к проектируемому изделию, предназначенному для работы в условиях агрессивных химических сред, определяющим направлением в решении этой задачи является поиск, разработка и применение новых материалов, обеспечивающих гарантированную работоспособность и долговечность работы в этих условиях. При проектировании новых изделий и оборудования это материаловедческое направление является превалирующим [8, 9].

При проектировании на основе анализа технического задания и разработанных технических предложений закладываются все основные показатели качества будущего изделия с учетом необходимого оптимального уровня качества, а также проектно-конструкторских и организационно-технологических возможностей производства. Именно системный подход к обеспечению надежности проектируемого изделия позволит обеспечить его требуемую долговечность (рис. 3). При этом целесообразно заранее оценить и задать изготовителю численные значения не только основных показателей назначения, но и показатели надежности, уровни унификации и стандартизации, применение модульной структуры конструктивного оформления, патентно-правовые и другие показатели качества.

Указанные выше рекомендации являются общими, не учитывающими специфику конкретных условий будущей работы изделия, а также возможных последствий перехода изделия в предельное состояние. Согласно ГОСТ 27.003-90, достаточно обширным классом объектов контроля качества являются изделия, переход которых в предельное состояние при применении по назначению может привести к катастрофическим последствиям. К таким изделиям, например, относятся шестеренные насосы авиационного назначения. Конечно, практически трудно гарантировать полное отсутствие отказов функционально сложного изделия. Однако, если структурная схема и конструкция проектируемого изделия допускают возможность диагностического измерительного контроля технического состояния, то введение такого контроля в структуру становится объективно необходимым и обязательным.

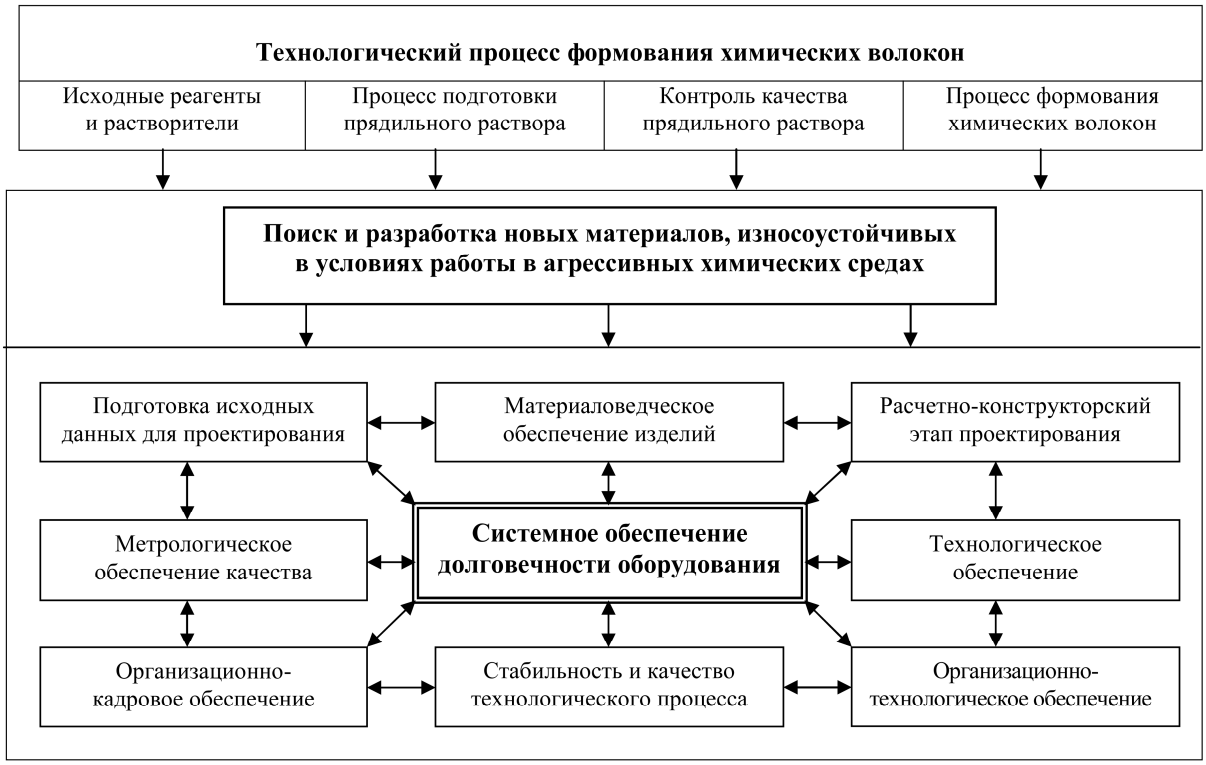


Рис. 3. Общая структурная схема системного обеспечения долговечности оборудования прядильного производства

Этот вывод является также актуальным и для оборудования, эксплуатируемого в агрессивных химических средах, в частности, в прядильных производствах химических волокон. Снижение производительности насосов-дозаторов агрессивных прядильных растворов, вследствие их быстрого изнашивания, приводит к не только к остановкам производства, материальным и финансовым потерям, но и может быть причиной разрушения композиционных материалов из-за низкого качества армирующих их волокон, что, в свою очередь, может быть причиной несанкционированных разрушений изделий специальной техники.

К числу основных конструктивных параметров насоса-дозатора растворов для формования арамидных волокон относятся:

– стойкость материалов, применяемых для изготовления деталей насосов против коррозионно-механического, водородного изнашивания и электрохимической коррозии;

– высокое качество технологической обработки поверхностей деталей, точность изготовления и сборки насоса;

– оптимальные значения торцевых и радиальных зазоров;

– стабильность работы и долговечность как самого насоса, так и его привода.

Основными эксплуатационными параметрами, влияющими на долговечность оборудования прядильной машины, являются: стойкость материалов, применяемых для изготовления деталей механизмов машины против коррозионно-механического, водородного изнашивания и электрохимической коррозии; реологические, температурные и концентрационные характеристики прядильного раствора и его однородность («чистота»).

В качестве примера рассмотрим влияние утечек на один из основных параметров системы формования химических волокон – подачу прядильного раствора $Q_{\text{ф}}$ в единицу времени дозирующим насосом типа 11НШ-3ИС. Причиной появления объемных утечек является изнашивание верхней и нижней пластин и статора насоса и, соответственно, увеличение торцевых и радиальных зазоров в насосе. Ограничимся только торцевыми утечками $Q_{\text{т.у}}$ из-за сравнительной малости влияния радиальных утечек на общую производительность насоса [6].

Фактическая подача в единицу времени $Q_{\text{ф}}$ прядильного раствора постоянной вязкости η дозирующим насосом шестеренного типа определяется выражением [3, 4]:

$$Q_{\text{ф}} = Q_{\text{т}} - Q_{\text{т.у}} = \Delta P/[\,\eta\,(R_1^{\text{г}} + R_2^{\text{г}})], \qquad (1)$$

где $Q_{\text{т}}$ – теоретическое значение подачи раствора в единицу времени; $Q_{\text{т.у}}$ – объемные торцевые утечки раствора; ΔP – перепад давлений между нагнетающим выходом дозирующего насоса и фильерным входом; η – динамическая вязкость дозируемого раствора; $R_1^{\text{г}}$, $R_2^{\text{г}}$ – гидравлические сопротивления фильтра.

Теоретическое значение подачи $Q_{\text{Т}}$ зависит от конструктивных параметров насоса-дозатора и скорости привода. Для насосов шестеренного типа это значение определяется выражением [7], л/мин:

$$Q_{\text{т}} = \pi A(D_e - A)bn10^{-6}, \qquad (2)$$

где $A = mz$ – расстояние между центрами шестерен насоса; $D_e = m(z+2)$ –диаметр окружности головок (выступов); b – ширина шестерен; m – модуль зубчатого зацепления; n – частота вращения ротора насоса, мин$^{-1}$; z – число зубьев шестерни.

Для насоса-дозатора 11НШ-3ИС указанные выше параметры имеют следующие значения: m = 1; z = 28; b = 16,8 мм; n = 20 мин$^{-1}$; A = 28 мм; D_e = 30 мм. Для этих значений номинальная подача данного типа насоса, вычисленная согласно выражения (2), составляет 0,0591 л/мин или 2,954 см^3/об. Для расчета объемных утечек по торцевым зазорам $Q_{т.у}$ используем соотношение [7]:

$$Q_{т.у} = [\Delta P_{нг}\ \delta_т^3\ (\beta_{нг} + \beta_{вс})] /[12\,\eta \ln(R_1/r_1], \quad (3)$$

где $\Delta P_{нг} = P_{нг} - P_{вс}$ – перепад давлений как разность между давлением нагнетания на выходе насоса $P_{нг}$ и давлением всасывания $P_{вс}$ на входе насоса; $(\beta_{нг} + \beta_{вс})$ – сумма угловых размеров рабочих камер всасывания (входа) и нагнетания (выход) насоса; $\delta_т$ – торцевой зазор; R_1/r_1 – отношение радиуса окружности впадин к радиусу внутренней границы торцевого зазора.

С учетом соотношений (2) и (3) выражение (1) можно представить в виде:

$$Q_ф = Q_т - Q_{т.у} = Q_г\, n - \Delta P_{нг}\,\delta_т^3 =$$

$$=(P_{нг} - P_{фл})/[\,\eta\,(R_1^г + R_2^г)], \quad (4)$$

где $Q_г$ – подача раствора, определяемая геометрическими параметрами конструкции насоса; $A_0 = (\beta_{нг} + \beta_{вс})]/[12\,\eta \ln(R_1/r_1]$ – постоянный коэффициент (для данной конструкции насоса), зависящий от вязкости η дозируемого раствора; $P_{нг} - P_{фл} = \Delta P_{пр}$ – противодавление (разность между давлением на выходе насоса $P_{нг}$ и давлением на выходе фильтра $P_{фл}$).

Выражение (4) представляет собой упрощенную математическую модель, которую можно использовать для измеряемой диагностической оценки работоспособности насосов-дозаторов прядильной машины. Из этого выражения следует, что для определенной конструкции насоса-дозатора его выходная характеристика (подача раствора в единицу времени) зависит от ряда конструкционных и технологических параметров: скорости привода n; перепада давления нагнетания насоса $\Delta P_{нг}$; величины торцевого зазора $\delta_т$; вязкости η дозируемой жидкости; противодавления $\Delta P_{пр} = P_{нг} - P_{фл}$.

Последний параметр определяется значениями гидравлических сопротивлений $R_1^г$ и $R_2^г$ фильтрующего слоя [4]. При засорении фильтра эти сопротивления увеличиваются, и для их компенсации и стабилизации подачи раствора насос-дозатор должен увеличить давление нагнетания $P_{нг}$.

При оценке надежности и долговечности работы насоса-дозатора весьма важной является информация о степени влияния на его выходную характеристику износа деталей, находящихся в трибологическом контакте в особо вязкой агрессивной среде.

На рис. 4 приведены зависимости изменения объема торцевых утечек $Q_{т.у}$ от торцевого зазора и объемного КПД η_0 при различных значениях противодавления $\Delta P_{нг}$. Характеристики рассчитаны для насоса 11НШ-3ИС при следующих параметрах математической модели (4): $Q_т$ = 59,1 см^3/мин; n = 20 об/мин; η = 50 Па·с; $A_0 = 1{,}0468 \cdot 10^4$ см^2/(Н·мин).

Как следует из рис. 4, предельное состояние насоса-дозатора, т.е. выход фактического снижения подачи раствора $Q_ф$ за интервал 1,5 % , достигается при износе по торцевому зазору $\delta_т$, равному 92 мкм, и противодавлении $\Delta P_{пр}$ = 10 кгс/см². При увеличении противодавления вследствие различных технологических причин (изменение вязкости, температуры раствора, засорения фильтра и др.) предельное значение торцевого зазора при $\Delta P_{пр}$ = 20 кгс/см² уменьшается до 72 мкм.

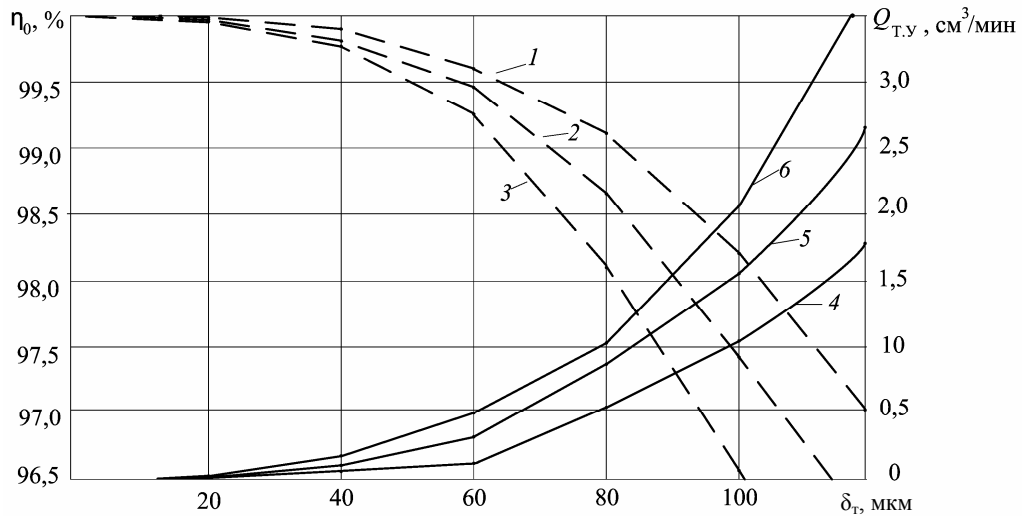


Рис. 4. Зависимости КПД η_0 (кривые *1 – 3*) и объема торцевых утечек $Q_{т.у}$ (кривые *4 – 6*) от величины износа по торцевому зазору $\delta_т$ насоса-дозатора при различных значениях противодавления $\Delta P_{пр}$: *1*, *4* – 10 кгс/см²; *2*, *5* – 15 кгс/см²; *3*, *6* – 20 кгс/см²

Таким образом, оснащение насосов-дозаторов прядильных машин устройствами измерительного контроля подачи раствора является важным направлением решения задачи повышения надежности оборудования и эффективности производства.

Кардинальным направлением решения проблемы повышения качества продукции прядильных производств является его глубокая модернизация или создание как новых прядильных машин, так и технологического процесса в целом, в том числе: оснащение современным оборудованием; усовершенствование системы контроля физико-химических и реологических характеристик прядильных растворов, исходя из их неньютоновского характера истечения; оснащения оборудования устройствами измерения диагностических параметров формования, например контроля подачи раствора, давления на входах в фильеры, для своевременного (прогнозного) установления момента появления неравномерности плотности формируемой нити и предотвращения возможного брака и простоя прядильных машин. Для обеспечения долговечности по этим параметрам необходимо проведение ряда организационно-технологических и материаловедческих работ.

Таким образом, анализ проблемы повышения долговечности оборудования прядильного производства и путей ее решения позволяет сделать следующие выводы:

1. Долговечность работы оборудования в производстве химических волокон типа СВМ, Армос, Русар, Артек определяется специфическими особенностями прядильных растворов, являющихся:

а) химически агрессивными средами с достаточно высокой концентрацией ионов водорода H^+ и ионов Cl^-, что приводит к коррозионно-механическому, водородному изнашиванию и электрохимической коррозии деталей насосов-дозаторов и, что важно, к быстрому изнашиванию деталей присоединенного к насосу фильтровально-фильерного комплекта;

б) вязкоупругими полимерными средами с неньютоновской характеристикой истечения, реологические свойства которых зависят от температуры раствора и от градиента скорости продавливания насосом-дозатором прядильного раствора через фильтр-фильерный комплект.

2. Указанные выше особенности прядильных растворов приводят к появлению комплекса причин снижения работоспособности технологического оборудования прядильных производств по выпуску арамидных волокон, связанных с проектированием, изготовлением и эксплуатацией этого оборудования, в том числе:

– внутренние причины – быстрое изнашивание деталей оборудования вследствие применения в конструкциях материалов с низкой устойчивостью к агрессивным средам;

– внешние причины – нестабильность технологического процесса производства арамидных волокон и нитей, в частности неконтролируемые изменения реологических, температурных и других характеристик прядильного раствора, определяющих требуемое качество и стабильность исходного полимерного продукта.

3. Сложный, многоплановый характер проблемы определяет необходимость и целесообразность системного подхода к решению проблемы повышения долговечности оборудования, используемого в технологическом процессе производства химических волокон, на всех стадиях жизненного цикла этого оборудования.

4. Одними из основных направлений решения проблемы повышения долговечности оборудования в производстве арамидных волокон и нитей являются:

а) разработка, исследование и внедрение новых износостойких материалов, покрытий и изделий, предназначенных для работы в агрессивных солянокислых средах [1, 9, 10];

б) разработка на основе системного подхода уточненной расчетно-аналитической модели процесса формования химического волокна, учитывающей влияние на долговечность оборудования внутренних факторов (материалы и конструкция насосов-дозаторов и присоединенной системы «фильтр – фильера») и внешних факторов («чистота», реология и температура прядильного раствора, повышение стабильности и достоверности контроля технологических параметров, учет неньютоновского характера истечения растворов) [11];

в) разработка и исследование методов обеспечения долговечности оборудования прядильных производств (на примере насосов-дозаторов): материаловедческого, технологического, организационно-технологического, метрологического, в том числе оснащение прядильных машин измерительными преобразователями-расходомерами и другими приборами.

5. Повышение надежности и долговечности оборудования в производстве химических волокон связано с необходимостью создания и внедрения комплексной системы обеспечения качества на всех этапах жизненного цикла основных узлов и механизмов этого оборудования.

Литература

1. Некоторые вопросы повышения долговечности узлов трения оборудования предприятий, выпускающих новые химические волокна / Д.В. Миньков [и др.] // Трибология – машиностроению. Науч.-техн. конф. с участием иностранных специалистов, посвящённая 70-летию института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН., 1-2 октября 2008 года. М. [Электронный ресурс] URL: http://imash.ru/conf/tribo/progtr.doc

2. *Гвоздев В.В., Матвеев В.С.* Повышение точности дозирования агрессивных растворов полимеров // Хим. волокна, 1982. С. 49 – 51.

3. *Зябицкий А.* Теоретические основы формования волокон: пер. с англ. М., 1970. 504 с.
4. *Юркевич В.В., Пакшвер А.Б.* Технология производства химических волокон. М., 1987. 304 с.
5. *Сергеев А.Г., Крохин В.В.* Метрология: учеб. пособие для вузов. М., 2001. 408 с.
6. *Рыбкин Е.А., Усов А.А.* Шестеренные насосы для металлорежущих станков. М., 1960. 187 с.
7. *Чиняев И.А.* Роторные насосы (справочное пособие). М., 1969. 216 с.
8. Новые направления в повышении качества параарамидных волокон отечественных производителей / Д.В. Миньков [и др.] // Хим. волокна. 2006. № 1. С. 21 – 23.
9. Основные направления разработки композиционных материалов для оборудования предприятий, выпускающих новые химические волокна / Д.В. Миньков [и др.] // Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов (ТПКММ) : тр. 5-й междунар. конф. 24–27 апреля 2007 г. Москва. М., 2007. С. 795 – 801.
10. Пат. RU № 2423620 РФ. МПК F04C2/08 / Дозирующий шестеренный насос / Д.В. Миньков [и др.] // заявитель и патентообладатель ООО НПП «Орион ВДМ». №2009136109/06; опубл. 10/07/2011.
11. Моделирование реологических характеристик полимерных растворов / Д.В. Миньков [и др.] // Мат. методы в технике и технологиях–ММТТ–22 : сб. тр. XXII Междунар. науч. конф. : в 10 т. Т. 9. Секция 10. Псков, 2009. С. 70 – 72.

Поступила в редакцию ***12 января 2012 г.***

Никитенко Николай Федорович – д-р техн. наук, профессор, кафедра «Информационные и измерительные системы и технологии», Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт). Тел. 8(863 52)4-98-65. E-mail: nikitnf@mail.ru

Миньков Дмитрий Васильевич – канд. техн. наук, директор – главный конструктор научно-производственного объединения «Орион ВДМ», г. Новочеркасск.

Башкиров Олег Михайлович – зам. директора по новым технологиям научно-производственного объединения «Орион ВДМ», г. Новочеркасск. Тел. 8(8635)26-79-71.

Долгих Владимир Васильевич – канд. техн. наук, доцент, начальник лаборатории научно-производственного объединения «Орион ВДМ», г. Новочеркасск.

Седин Евгений Борисович – аспирант, Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт). Тел. 8(863) 52-6-74-60.

Nikitenko Nikolay Fyodorovich – Doctor of Technical Sciences, professor, department «Information and Measuring Systems and Technjljgies», South-Russia State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute). Ph. (8635)2-55-2-14. E-mail: nikitnf@mail.ru

Min`kov Dmitriy Vasilievich – Candidate of Technical Sciences, head- designer of Scientific and Production Association «Orion VDM», Novocherkassk.

Bashkirov Oleg Michailovich – assistant head by new technologys of Scientific and Production Association «Orion VDM», Novocherkassk. Ph. (8635)26-79-71.

Dolgikh Vladimir Vasilyevich – Candidate of Technical Sciences, assistant professor, head of the Laboratory of Scientific and Production Association «Orion VDM», Novocherkassk.

Sedin Evgeney Borisovich – post-graduate student, South Russian State Technical University (Novocherkassk Politechnic Institute).