

## МАШИНОСТРОЕНИЕ . МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 672.822.1

**О. В. Божкова**

### **РАСЧЕТ ЖЕСТКОСТИ, УСТОЙЧИВОСТИ И ПРОЧНОСТИ ШВЕЙНОЙ ИГЛЫ**

В статье на основе теории прочности, сопротивления материалов, устойчивости стержней получены формулы для инженерных расчетов швейных игл на жесткость, прочность и устойчивость.

#### **Введение**

Самым важным и самым слабым элементом швейной машины является игла. Она должна быть очень тонкой, чтобы избежать повреждения или затяжек на поверхности ткани. С другой стороны, она должна быть очень прочно закреплена, чтобы попадать на ткань в одной и той же позиции. Отклонение, которое может быть вызвано силой натяжения нити или другими причинами, должно быть сведено к минимуму, чтобы избежать нарушения процесса.

Швейные иглы могут быть как для ручного шитья, так и для швейных машин. Для обеспечения необходимого качества шва надо выполнить ряд условий. Качество шва зависит от правильно выбранного соответствия номера иглы, номера применяемых ниток и толщины сшиваемого материала. Чем толще и грубее материал, тем выше должен быть номер иглы и ниже номер используемых ниток. При неправильном выборе иглы может произойти ее поломка. Толстые швы и толстые материалы нельзя шить тонкой иглой.

Несмотря на то, что швейная игла является наиболее распространенным элементом и изготавливается не тысячами, а миллионами штук в год, она является с технологической точки зрения довольно сложной деталью, обладающей весьма серьезными технологическими особенностями. Главные технологические

особенности швейной иглы состоят в том, что они весьма противоречивы. Например, игла должна быть прочной и жесткой, но в то же время она должна быть упругой, чтобы при изгибе не сломаться. Поверхность иглы должна быть гладкой и твердой, чтобы противостоять износу при трении о ткань. А вот сердцевина иглы не должна быть слишком твердой, т.к. в этом случае она не будет достаточно упругой, чтобы противостоять изгибным напряжениям. Таким образом, игла может быть подвергнута лишь поверхностному упрочнению при условии, что сердцевина остается без изменения. Но, учитывая размеры иглы, технологически выполнить эту задачу непросто. Обычные методы упрочнения (поверхностная закалка, термообработка и т.п.) в данном случае не могут быть использованы. Здесь уже требуются специальные методы [1].

Для выбора той или иной иглы для некоторых материалов имеются рекомендации в виде различных таблиц, благодаря которым можно выбрать необходимую иглу. Однако появление новых материалов с новыми свойствами не нашло отражение в этих рекомендациях и для того, чтобы убедиться в правильности выбора иглы, целесообразно произвести расчет выбранной иглы по критериям жесткости, устойчивости и прочности.

## 1 Механизм привода швейной иглы

Кривошипно-шатунный механизм состоит из главного вала, вращающегося на двух подшипниках скольжения; кривошипа, соединенного пальцем с шатуном; поводка, связанного с одной стороны с игловодителем, а с другой стороны с ползуном, перемещающимся в направляющих.

Ползун предназначен для уменьшения нагрузки на игловодитель от кривошипа. Игольводитель, движущийся в направляющих, снабжен иглодержателем со стопорным винтом. Задачей кривошипно-шатунного механизма является преобразование вращательного движения главного вала в возвратно-поступательное движение иглы. Кривошип может быть выполнен в трех вариантах, однако во всех вариантах кривошип совершает вращательное движение и соединен со стойкой (неподвижным звеном), ползун совершает плоское или плоско-параллельное движение, являющееся комбинацией вращательного и поступательного движений [2].

Главным механизмом, обеспечивающим движение иглы, является центральный кривошипно-ползунный механизм; у него продолжительность рабочего и холостого ходов иглы одинакова. У смещенного механизма продолжительность рабочего хода иглы больше продолжительности холостого хода. С целью уменьшения нагрева иглы в процессе шитья кривошипно-шатунный механизм выполняют с верхним расположением шатуна, так как при этом средняя скорость иглы ниже, чем у механизма с нижним расположением шатуна [2].

При неправильном выборе иглы может произойти ее поломка. Поломка иглы может произойти также при неправильном положении нажимной лапки, при деформированной игле. Толстые швы и толстые материалы нельзя шить тонкой иглой. Нельзя ставить в швейную машину недоброкачественную иглу (тупую или деформированную), а также пользоваться нитками низкого качества. При тупой, деформированной или слишком тонкой игле

для данного материала может происходить пропуск стежков в шве.

## 2 Расчеты швейных игл

В качестве примера для расчета иглы по критериям жесткости, устойчивости и прочности выберем средние стандартные условия: номер иглы № 90 (по ГОСТ 7322-80). Игла изготовлена из стальной углеродистой проволоки марки ИЗ класса А по ГОСТ 5468-80. После изготовления игла подвергалась закалке до твердости по Роквеллу HRC 54-60. Для иглы № 90 диаметр лезвия будет равен 0,9 мм. Сшиваемая ткань — синтетическая ткань с водоотталкивающим покрытием.

Как известно, швейная игла состоит из колбы для закрепления ее в иглодержателе (рис. 1), лезвия, являющегося рабочей частью иглы, и острия — для прокола материала. В лезвии выполнены ушко для заправки верхней нитки, короткий желобок для образования петли и длинный желобок для предотвращения перетирания верхней нити. Основными конструктивными параметрами, обеспечивающими выполнение технологического процесса сшивания материалов, являются длина иглы и длины ее отдельных элементов. Эти же параметры входят в число исходных данных для выполнения прочностных расчетов игл.

На иглу в процессе шитья действует движущая сила  $F_{дв}$ , вызывающая при контакте с тканью силы сопротивления, равные прочности нити и силам трения волокон нити о поверхность иглы. Анализ процесса шитья свидетельствует о том, что при использовании шлифованной иглы без фаски при одной и той же величине движущей силы трение почти в два раза меньше. С учетом того, что игла касается нитей ткани с большой скоростью, то есть практически с ударом, движущая сила возрастет еще на величину силы удара, которая будет равна

$$N = \frac{C_1 C_2 v_0}{C_1 + C_2}, \quad (1)$$

где  $C_1, C_2$  – жесткость иглы и материала ткани соответственно;  $v_0$  – начальная скорость иглы.

Передаваемая энергия равна

$$A = Nvt = C_1 C_2 v_0^2 t, \quad (2)$$

где  $t$  – время удара.

Как видим, сила удара прямо пропорциональна скорости и жесткости иглы и материала ткани. При увеличении этих параметров возрастает ударная сила, а энергия находится в квадратичной зависимости от скорости. С возрастанием ударной силы и передаваемой энергии при увеличении скорости иглы резко увеличиваются силы трения.

У иглы с конусной фаской из-за больших сил трения происходит нагрев как иглы, так и материала в месте контакта, что оказывает неблагоприятное влияние на качество шва. Кроме того, чрезмерный нагрев может ухудшить качество материала в месте шва. Нить при нагреве также теряет свои свойства и может рваться. Сама игла из-за нагрева теряет прочность, в результате чего возможны поломки.

В швейных машинах для обеспечения вертикального возвратно-поступательного движения иглы предназначен привод, который состоит из электродвигателя, клиноременной передачи и кривошипно-шатунного механизма.

### 2.1 Расчет жесткости швейной иглы

Чем меньше диаметр лезвия иглы, тем меньше вероятность повреждения сшиваемых тканей. Слишком тонкая игла под действием усилия прокола может изогнуться и даже сломаться. Поэтому, чтобы удостовериться в правильности выбора номера иглы и длины ее лезвия, выполняется проверочный расчет иглы на продольный изгиб и на сжатие.

Если усилие прокола  $P$  не превышает некоторой предельной величины  $P_{кр}$ , то игла будет испытывать обычное сжатие и ее ось останется прямолинейной. Если усилие прокола  $P$  достигнет предельной величины силы  $P = P_{max} = P_{кр}$ , то может произойти деформация иглы.

Коэффициент жесткости иглы можно определить по следующей формуле [4]:

$$C_1 = \frac{ES}{l} = \frac{E}{\frac{l_1}{S_1} + \frac{l_2}{S_2} + \dots + \frac{l_n}{S_n}} \geq (3...16), \quad (3)$$

где  $E$  – модуль продольной упругости материала иглы, МПа;  $l$  – расчетная длина рабочей части стержня иглы, мм;  $l_1...l_n$  – длины отдельных участков рабочей части иглы, мм;  $S_1...S_n$  – площади сечений отдельных участков иглы, мм<sup>2</sup>.

Расчет производится для лезвия иглы. Так как колба закреплена в игловодителе, то эта часть иглы не участвует в процессе шитья и не испытывает продольных нагрузок. На рабочей части иглы, т.е. на лезвии, можно выделить три участка, отличающихся формой поперечного сечения (рис. 1): первый участок – сечение в месте ушка иглы (расстояние от вершины острия иглы 1,5 мм); второй участок – сечение в месте скола недалеко от ушка иглы (расстояние от вершины острия иглы 4 мм) и третий участок – в месте короткого и длинного желобков с двух противоположных сторон (расстояние от вершины острия иглы 8 мм).

Для определения жесткости, устойчивости и прочности иглы необходимо знать площади поперечных сечений на опасных участках (рис. 1).

Площадь поперечного сечения на первом участке, то есть в области ушка, может быть определена как площадь двух сегментов (рис. 2):

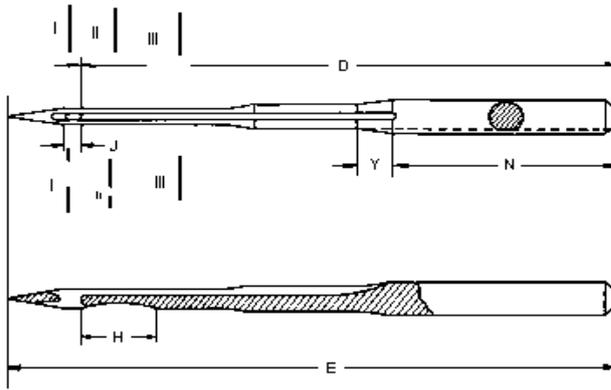


Рис. 1. Сечения швейной иглы к расчету на прочность, жесткость и устойчивость

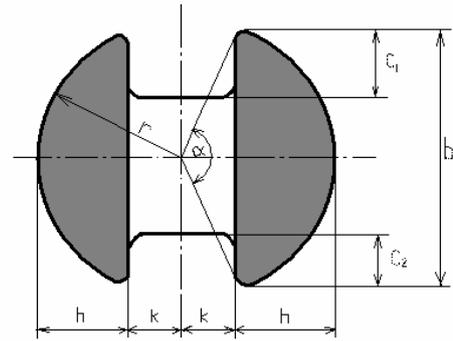


Рис. 2. Сечение швейной иглы на первом участке (увеличение x40)

$$S = 2S_{seg}, \quad (4)$$

где  $S_{seg}$  – площадь сегмента, которая определяется по формуле

$$S_{seg} = \frac{1}{2} r^2 \left( \frac{\alpha^0 \pi}{180^0} - \sin \alpha \right); \quad (5)$$

$\alpha^0$  – центральный угол, соответствующий сегменту, град.

Из рис. 2 видно:

$$k = r - h = 0,45 - 0,3 = 0,15 \text{ мм};$$

$$\frac{b}{2} = \sqrt{r^2 - k^2} = \sqrt{0,45^2 - 0,15^2} = 0,4243 \text{ мм}; b = 0,8485 \text{ мм};$$

$$\frac{\alpha^0}{2} = \arcsin \frac{b/2}{r} = \arcsin \frac{0,4243}{0,45} =$$

$$= 78,3806^0; \alpha^0 = 156,7611^0;$$

$$\sin \alpha = \sin 156,7611^0 = 0,3946;$$

$$S_{seg1} = \frac{1}{2} \cdot 0,45^2 \left( \frac{156,7611 \cdot 3,14}{180} - 0,3946 \right) = 0,2369 \text{ мм}^2.$$

Площадь сечения на первом участке равна:

$$S_1 = 2S_{seg1} = 2 \cdot 0,2369 = 0,4738 \text{ мм}^2.$$

Площадь сечения на втором участке вычисляем согласно рис. 3, в результате она будет равна:

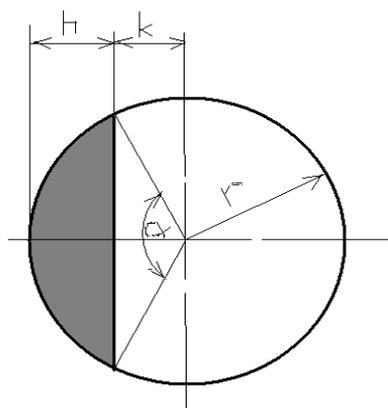
$$S_2 = \pi r^2 - S_{seg2} = 3,14 \cdot 0,45^2 - 0,0994 = 0,5365 \text{ мм}^2.$$

Площадь сечения иглы на третьем участке равна площади сечения круга без площадей двух желобков. Для упрощения расчетов будем считать площади сечений желобков в виде прямоугольников с размерами сторон, показанными на рис. 4.

Таким образом, площади сечений на трех участках иглы получились следующими:  $S_1 = 0,4738 \text{ мм}^2$ ,  $S_2 = 0,5365 \text{ мм}^2$  и  $S_3 = 0,4958 \text{ мм}^2$ . Можно видеть, что наиболее слабым сечением в игле является район в области ушка (отверстия для нитки). Вычислим моменты инерции для этих сечений иглы. Для площади в виде круга радиусом  $r$  момент инерции сечения равен

$$J = \frac{\pi r^4}{4}.$$

С учетом ослабления сечений иглы на трех участках моменты инерции будут соответственно равны:

Рис. 3. Сечение швейной иглы на втором участке (увеличение  $\times 40$ )

$$J_1 = 0,0164 \text{ мм}^4, J_2 = 0,0543 \text{ мм}^4 \text{ и } J_3 = 0,0502 \text{ мм}^4.$$

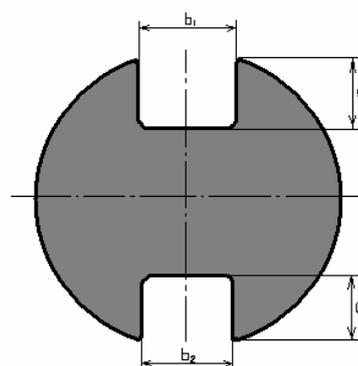
По формуле (3) определим коэффициент жесткости швейной иглы:

$$C_1 = \frac{2,1 \cdot 10^5}{\frac{6}{0,162} + \frac{9,5}{0,5365} + \frac{18,5}{0,4958}} = 2282 > (3 \dots 16).$$

Расчет показывает, что жесткость иглы достаточно высока.

Для практических инженерных расчетов при расчете жесткости иглы можно не разбивать иглу на отдельные участки и определять для каждого участка сечение и действующую силу соответственно. Принимаем наиболее слабое сечение (на участке с ушком для нити) за основное по всей длине рабочей части иглы, т.е. лезвие иглы. В этом случае расчетная формула значительно упростится, а погрешность будет совсем незначительной (всего около 1...5 %). При значении модуля упругости  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа, угле  $\alpha = 150 \dots 160^\circ$  площадь слабого сечения иглы составит  $0,4873 \text{ мм}^2$ . В этом случае формула для определения жесткости иглы примет следующий вид:

$$C_1 = \frac{0,28E \cdot d^2}{l} > (3 \dots 16). \quad (6)$$

Рис. 4. Сечение швейной иглы на третьем участке (увеличение  $\times 40$ )

## 2.2 Расчет швейной иглы на устойчивость

Игла может находиться в устойчивом и неустойчивом равновесии. Если иглу сжимать вдоль геометрической оси, постепенно увеличивая силу, то сначала она будет прямой под действием напряжений сжатия:

$$\sigma_{сж} = \frac{F}{S}, \quad (7)$$

где  $F$  – сила сжатия иглы, Н.

Затем при некоторой нагрузке  $F_{кр}$ , называемой критической, игла внезапно начнет резко изгибаться, напряжения в ней быстро возрастут, и возникнет опасность разрушения. Это явление называют потерей устойчивости [3]. При этом формы изгиба иглы могут быть разнообразными (рис. 5).

Таким образом, при одной и той же внешней нагрузке игла имеет несколько состояний равновесия, которые называют неустойчивыми. Условия неустойчивого равновесия иглы могут быть определены с помощью решения задачи Эйлера о сжатии стержня [3]. Критическая сила в этой задаче будет равна такой осевой силе, при которой игла может находиться в слегка изогнутом состоянии.

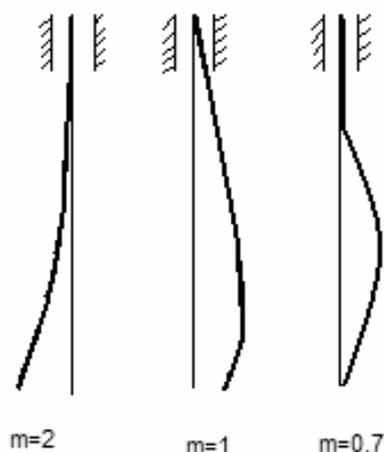


Рис. 5. Формы изгибов иглы под действием продольной нагрузки

При малых прогибах иглы можно использовать дифференциальное уравнение изогнутой оси в виде:

$$EJy'' = -M = -Fy, \quad (8)$$

где  $E$  – модуль упругости материала иглы, МПа;  $J$  – момент инерции площади сечения;  $y$  – координата центра тяжести элемента площади сечения, мм;  $M$  – момент силы инерции.

Знак «минус» в правой части равенства показывает, что момент силы стремится увеличить отрицательную кривизну упругой линии.

Уравнение (8) можно переписать в виде:

$$\frac{d^2y}{dx^2} + ky = 0, \quad (9)$$

где

$$k = \sqrt{F/EJ}. \quad (10)$$

Общее решение уравнения (9):

$$y = K_1 \sin kx + K_2 \cos kx, \quad (11)$$

где  $K_1, K_2$  – произвольные постоянные, определяемые из краевых условий:

$$\text{при } x = 0, y(0) = 0, \quad (12)$$

$$\text{при } x = l, y(l) = 0. \quad (13)$$

Из условия (12) следует, что  $K_2 = 0$ ; условие (13) может быть выполнено лишь в том случае, если

$$K_1 \sin kl = 0. \quad (14)$$

Уравнение (12) имеет два решения:  $K_1 = 0$  и  $\sin kl = 0$ .

При  $K_1 = K_2 = 0$  перемещения у тождественно равны нулю и игла сохраняет прямолинейную форму. Этот случай не удовлетворяет условиям задачи, так как рассматривается изогнутая игла. Следовательно, игла может изогнуться лишь при условии

$$\sin kl = 0 \quad (15)$$

или

$$kl = \pi n, \quad (16)$$

где  $n$  – произвольное целое число.

Из равенства (8) следует, что при малой силе  $F$ , пока величина

$$k = \sqrt{F/EJ} < \frac{\pi}{l},$$

игла будет сохранять прямолинейную форму. При

$$F = F_{кр} = \frac{\pi^2 EJ}{l^2} \quad (17)$$

игла потеряет устойчивость и изогнется. Эта сила, соответствующая  $n = 1$ , называется эйлеровой силой или первой критической силой [3]. При этом игла прогнется по полуволне синусоиды

$$y = K_1 \sin \frac{\pi \cdot x}{l}. \quad (18)$$

В (18)  $K_1$  соответствует максимальному изгибу иглы. Величина  $K_1$  может быть определена более точно из дифференциального уравнения изогнутой оси балки:

$$y = \frac{1}{EJ} \int \left( \int M_x dx + K \right) dx + D, \quad (19)$$

где  $K, D$  – произвольные постоянные, определяемые из граничных условий.

При  $n > 1$  упругая линия иглы преобразуется в кривую, включающую  $n$  полуволн. Однако эти неустойчивые формы равновесия не имеют практического значения, так как уже при  $n = 1$  игла теряет работоспособность.

Величина  $F_{кр}$  зависит от условий закрепления иглы, характера нагружения и формы сечений (моментов инерции)

иглы. В общем случае формулу Эйлера (17) можно представить в виде:

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EJ}{(\mu l)^2}, \quad (20)$$

где  $\mu$  – коэффициент приведения длины, зависящий от формы изгиба конца иглы.

Определим критическую силу  $F_{кр}$ , Н, по формуле Эйлера (20) для наиболее слабого сечения иглы (на участке с ушком):

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EJ}{(\mu l)^2} = \frac{3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,0164}{(2 \cdot 18,5)^2} = 24,8.$$

Определим величину коэффициента  $k$ , характеризующего устойчивость иглы:

$$k = \sqrt{\frac{F}{EJ}} = \sqrt{\frac{24,8}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,0164}} = 0,085 < \frac{3,14}{18,5} = 0,17.$$

Полученные формулы для расчетов швейных игл сводим в табл. 1.

Табл. 1. Формулы для инженерных расчетов швейной иглы

Вид расчета	Основная расчетная формула	Параметры
На жесткость	$C = \frac{0,28E \cdot d^2}{l} \geq (3...16)$	$d$ – диаметр лезвия иглы, мм; $E$ – модуль упругости материала иглы, для стали $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа; $l$ – длина лезвия иглы, мм
На устойчивость	$k = \sqrt{\frac{F}{0,1E \cdot d^4}} \leq \frac{\pi}{l}$	$F$ – сила прокола ткани иглой, Н; $\pi$ – число Пифагора, $\pi = 3,14$
На прочность	$\sigma_{сж} = \frac{F}{S} \leq \phi[\sigma]$	$S$ – площадь слабого сечения иглы, мм <sup>2</sup> , $S \approx 0,25d^2$ ; $\phi$ – коэффициент снижения допускаемых напряжений, выбирается в зависимости от значения $\lambda$ ; $\lambda$ – коэффициент гибкости иглы, $\lambda = \frac{\mu l}{i}, i = \sqrt{\frac{0,1d^4}{F}}$ ; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение на сжатие, $[\sigma] = 60...90$ МПа

## Заключение

По полученным формулам произведен расчет швейной иглы по критериям жесткости, прочности и устойчивости на основе теории прочности, сопротивления материалов, устойчивости стержней.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П. А. Витязь [и др.]. – Минск : Беларусь

ская наука, 1988. – 583 с.

2. **Božkova, O.** Kinematické parametre kulisového ihlového a niťového mechanizmu priemyselného šijacieho stroja / O. Božkova, O. Barborak, V. Blagodarny. – 2004. – Č. 4. – S. 61-64.

3. **Иосилевич, Г. Б.** Прикладная механика / Г. Б. Иосилевич, П. А. Лебедев, В. С. Стреляев. – М. : Машиностроение, 1985. – 576 с.

4. **Труевцев, Н. И.** Технология и оборудование текстильного производства / Н. И. Труевцев. – М. : Изд-во науч.-техн. лит-ры, 1960. – 684 с.

Белорусско-Российский университет  
Материал поступил 23.05.2006

**O. V. Bozkova**  
**Calculation toughness, stability**  
**and fortresses sewing needle**  
Belarusian-Russian University

In article on basis theories because of fortresses, toughness and stability stave have formula for engineering calculations sewing needle.

УДК 629.82

**И. А. Веренич, канд. техн. наук, доц., М. А. Тини**

## ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ГИДРОПРИВОДА

Рассматривается влияние частоты пульсаций давления и скорости потока на изменение свойств рабочей жидкости гидропривода при нестационарных режимах работы. Рабочая жидкость представлена вязко-упругой моделью с комплексной эффективной вязкостью. Приведены результаты расчета составляющих комплексной вязкости биологически разлагаемой жидкости МГ-46БР при пульсациях потока с безразмерной частотой от 0 до 5. На примере привода с дроссельным регулированием скорости вращения реверсивного гидромотора показано, что при гармонических пульсациях давления или подаче насоса эффективная вязкость рабочей жидкости при частоте пульсации ниже собственной частоты гидропривода, – это выражается действительной частью комплексной вязкости, а при высоких частотах – мнимой. Управляемое изменение вязкости рабочей жидкости дано на примере одного алгоритма и показано, что это позволяет увеличивать или снижать эффективную вязкость в требуемом диапазоне частот.

При функционировании гидроприводов и устройств гидропневмоавтоматики часто возникают нестационарные гидродинамические процессы, во время которых изменяется режим движения рабочей среды и ее свойства. Расчеты нестационарных процессов становятся в ряд определяющих при разработке новых образцов гидросистем мобильных и технологических машин. Это вызвано возраста-

нием рабочих давлений, повышением требований к энергосбережению, к режимам регулирования и аварийным режимам, которые являются существенно-нестационарными. Решению проблем гидродинамической неустойчивости, снижению потерь на гидравлическое трение и нестационарным режимам течения жидкости посвящено большое число работ, опубликованных