УДК 677.025 : 519. 86

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ТРИКОТАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Науменко А. А.

Первичным качеством любой системы является устойчивость. Она объединяет ряд свойств, таких как стойкость к воздействию внешних факторов, стабильность, надежность и т. п. /1/. В трикотажном производстве, как и в любой другой сфере, состояние технологических систем не остается неизменным. Любой их параметр есть функция времени. В связи с этим вопрос о существовании среди возможных состояний системы стационарных и тем более устойчивых представляет не только теоретический, но и практический интерес, позволяя иначе подходить к задачам проектирования и оптимизации технологических систем.

С наиболее общих позиций вязальный цех представляет собой динамическую технологическую систему, в которой работники, машины и сырье находятся в непрерывном взаимодействии. Введем функцию B(t), описывающую изменение во времени объема сырья, переработанного технологической системой к моменту времени t. Данную функцию можно рассматривать как сумму двух функций:

$$B(t) = V(t) + Q(t) \tag{1}$$

где V(t) - масса сортной продукции, Q(t) - масса образовавшихся отходов. Соотношение (1) фактически является математическим выражением баланса сырья в технологическом процессе. По аналогии, как показатель работы единицы технологического оборудования, введем функцию b(t), описывающую массу сортной продукции, полученной на одной вязальной машине к моменту времени t. В качестве параметров технологической системы примем численность машин и обслуживающего персонала (в дальнейшем - работниц). Обозначим через N количество установленного, а через X(t) - количество работающего оборудования в цехе. При этом $X(t) \leq N$ всегда. Численность работниц в цехе введем как величину M. Отметим, что соотношение (1) дает основания рассматривать затраты труда работниц как сумму двух составляющих: соотнесенной с сортной продукцией и связанной с возникающими отходами. Тогда и величину M можно представить суммой пары условных компонент. Одну из них обозначим через Y(t) и назовем численностью работниц, занятых производительным трудом. Вторую, обусловленную появлением отходов и отражающую количество непроизводительного труда работниц, затрачиваемого на устранение последствий ситуаций, в которых появляются отходы, обозначим через $Y^*(t)$. Величина Y(t) по сути дела соотносится с величиной M так же, как значения функции X(t) - с величиной N. Как принципиальный момент отметим, что значения X(t) и Y(t) выражаются действительными числами, тогда как M и N - только целыми.

Построим теперь выражение для функции Q(t), описывающей изменение отходов при вязании. Обратимся к понятийному аппарату теории вероятностей и введем случайное событие Q - появление отходов и случайные события C, M, P, связанные с образованием отходов по причинам, обусловленным соответственно качеством сырья, техническим состоянием вязального оборудования и действиями работницы. Так как данные случайные события совместны, то вероятность образования отходов p(Q), используя теоремы сложения и умножения вероятностей, можно записать в таком виде:

$$p(Q)=p(C)+p(M)+p(P)+p(C)p(M)+p(C)p(P)+p(M)p(P)+p(C)p(M)p(P),$$

где p(C), p(M), p(P) - вероятности образования отходов по причинам, связанным с каждой из трех названных выше групп причин. Принимая во внимание относительную малость тройного произведения вероятностей в последнем слагаемом правой части можно использовать приближенное равенство:

$$p(Q)=p(C)+p(M)+p(P)+p(C)\,p(M)+p(C)\,p(P)+p(M)\,p(P) \qquad (2)$$

По отношению к любой из введенных вероятностей есть основания утверждать, что она прямо пропорциональна величине соответствующего фактора. Так вероят-ность p(C) тем выше, чем больше масса сырья, взаимодействовавшего с рабочими органами вязальных машин. Вероятности p(M) и p(P) возрастают при увеличении соответственно численностей оборудования и работниц. Отсюда ясно, что выражение (2) можно рассматривать как модель математической структуры функции, описывающей влияние всех возможных причин на величину отходов Q при вязании. Введенные функции B(t), V(t), Q(t), b(t), X(t), Y(t) являются еще и непрерывными, а также гладкими, что дает основания считать их дифференцируемыми по времени. Из (1) имеем: $dB/dt = dV/dt + dQ/dt$ (3)

Выразим производные, входящие в (3), через показатели и параметры технологической системы. Учитывая, что $V(t)=b(t)X(t)$, приходим к равенству:

$$dV(t)/dt= b(t)dX(t)/dt + X(t)db(t)/dt \qquad (4)$$

Аппроксимируем теперь функцию Q(t), описывающую массу отходов образующихся в момент времени t, уравнением со структурой, аналогичной структуре соотношения (2). Предварительно пронормируем входящие в него функции Q(t), B(t), b(t), X(t), Y(t) путем деления их на соответствующие наибольшие значения. Тогда каждая переменная окажется заключенной в интервал [0;1], также как и вероятность одноименного случайного события. Для того, чтобы не вводить новый набор буквенных обозначений, везде в дальнейшем функции Q(t), B(t), b(t), X(t), Y(t) по умолчанию будем рассматривать как нормированные. Итак, введем аппроксимирующую форму для Q(t) в виде неполного полинома второй степени с постоянными безразмерными коэффициентами k_i (обозначения аргумента функций B,Q,X,Y для упрощения записи уравнений опущены):

$$Q=k_1B + k_2X + k_3Y + k_4BX + k_5XY + k_6BY \qquad (5)$$

После дифференцирования Q по t получаем:

$$dQ/dt=k_1dB/dt+k_2dX/dt+k_3dY/dt+k_4BdX/dt+k_4XdB/dt+k_5XdY/dt+k_5YdX/dt+k_6BdY/dt+ +k_6YdB/dt \qquad (6)$$

Выражая из (4) dX/dt и с учетом (3) и (6), приходим к уравнению

$$dX/dt = A[(1 - k_1 - k_4X - k_9Y)\,dB/dt - (k_3 + k_5X + k_6B)\,dY/dt - X\,db/dt, \qquad (7)$$

где $A=b+k_2+k_4B+k_5Y$.

Для численности Y работниц, занятых производительным трудом, можно написать, что $Y=f\,(Q,X,b)$. В качестве простейшей, но подходящей по технологическому смыслу модели этой функции, можно использовать линейную комбинацию трех функций в правой его части, т.е.:

$$Y = -k_7\,Q + k_8X + k_9\,b \qquad (8)$$

Знак минус перед первым слагаемым в правой части (8) соответствует логике связи Q и Y: рост уровня отходов снижает численность работниц, занятых производительным трудом. Дифференцируя (8) по t и учитывая (7), приходим к уравнению:

$$dY/dt= -D[(k_7k_1+k_7k_4X+k_7k_6Y)dB/dt+ k_7k_2+k_7k_4B+k_7k_5Y-k_8dX/dt- k_9db/dt,$$

где $D=[1 +k_7(k_3 + k_5X + k_6B)]^{-1}$ (9)

Уравнения (7) и (9) образуют математическую модель технологической системы в трикотажном цехе. Дополним их условиями: $Y<X$ и $0<Q<qB$ при $q \in [0.01...0.02]$. Изменение во времени объема переработанного сырья B опишем линейной функцией в виде: $B=Gt$, где G - производительность технологической системы. Выясним теперь, существует ли стационарное состояние моделируемой технологической системы, производительность которой G остается постоянной, а объем переработанного сырья зависит лишь от времени.

Известно, что в стационарных точках первые производные по времени от фазовых переменных равны нулю. Поэтому для отыскания координат таких точек приравняем правые части уравнений (7) и (9) к нулю. Используя равенства dB/dt=G и db/dt=g, где g – производительность единицы вязального оборудования, получим систему двух алгебраических уравнений с двумя неизвестными. Из уравнения (7):

$$(g/G - k_4)\,X + k_6 Y = 1 - k_1. \qquad (10)$$

Из уравнения (9):

$$k_4 X + k_6 Y = k_9 g/k_7 G - k_1 \qquad (11)$$

Объединяем (10) и (11) в систему и решаем ее. В итоге получаем:

$$X_s = G/g - k_9/k_7; \qquad Y_s = k_6^{-1}\,(k_9 g/\,k_7 G - k_1 - k_4 X_s)$$

Вводя величину $k = k_3/k_1$ и выражая G/g через k окончательно имеем:

$$X_s = G/g - k_9/k_7; \qquad Y_s = k_6^{-1}\,[k\,/\,(k + X_s) - k_1 - k_4 X_s] \qquad (12)$$

Таким образом, стационарное состояние технологической системы, описываемой системой уравнений (7) и (9), существует.

Оценку устойчивости осуществим с помощью фазового портрета технологической системы. Образующие его фазовые траектории будем строить методом конечных разностей. Конечно-разностные уравнения для вычисления координат точек фазовых траекторий имеют вид

$X_i = X_{i-1} + \Delta X_i$, $Y_i = Y_{i-1} + \Delta Y_i$, где i - номер шага, а ΔX_i и ΔY_i - приращения фазовых переменных при переходе от (i-1)-го к i-му значению за время Δt. Для программирования на ПЭВМ составлены следующие формулы:

$$A_i = 1/(g\,i\,\Delta t + k_2 + k_4 G\,i\,\Delta t + k_5 Y_i); \quad a_i = (1 - k_1 - k_4 X_i - k_6 Y_i)G; \quad b_i = k_3 + k_5 X_i + k_6 G\,i\,\Delta t;$$

$$c_i = k_7 G(k_1 + k_4 X_i + k_6 Y_i); \quad d_i = k_7(k_2 + k_4 G\,i\,\Delta t + k_5 Y_i + k_8/k_7); \quad D_i = 1/(1 + k_7 b_i);$$

$$\Delta X_i = (1/(1/A_i - b_i d_i D_i))(a_i + b_i c_i D_i - b_i D k_9 g - X_i g)\Delta t; \quad \Delta Y_i = (-D_i c_i - D_i d_i + \Delta X_i + k_9 g D_i)\Delta t.$$

В качестве примера на рис. 1 представлен фазовый портрет технологической системы на базе двухцилиндровых круглочулочных автоматов типа 2АН -14, производящей мужские носки из х/б пряжи11.8 текс х 2 в условиях Витебского ОАО «КИМ». Вид и направление фазовых кривых, а также способ их приближения к стационарной точке позволяют отнести ее к типу, называемому ассимптотически устойчивым узлом.

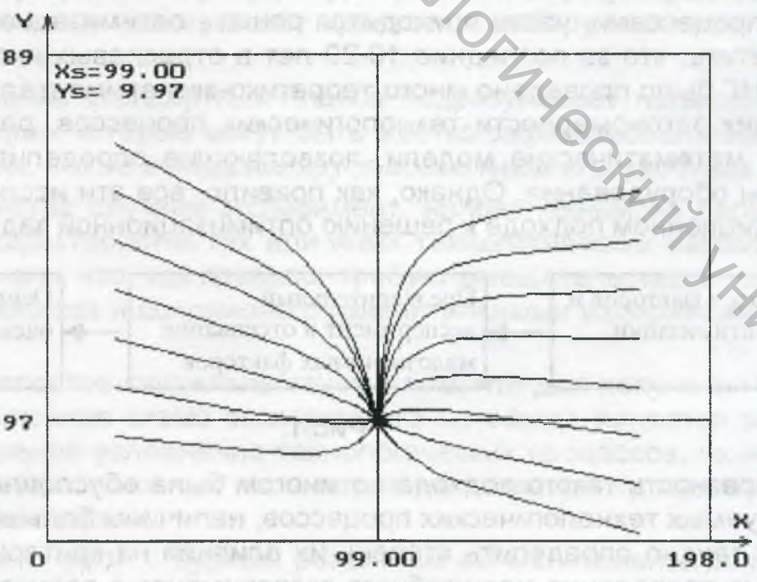

Рис. 1. Фазовый портрет устойчивой технологической системы в круглочулочном производстве в виде семейства фазовых траекторий, направленных от начальных точек к стационарной точке. Система реализована на базе двухцилиндровых авто-

матов типа 2АН-14 с теоретической производительностью 150 изд./см при выработке мужских носков арт. 9с1260 разм. 27 в условиях Витебского ОАО «КИМ».

Рис. 1 показывает, что из различных начальных состояний технологическая система стремится перейти в состояние со значениями фазовых переменных X_s и Y_s. Этот факт, свидетельствуя об устойчивости технологических систем рассматриваемого класса, имеет и прямое практическое значение. Он указывают на существование оптимальных значений численности работающего оборудования X (т.е. размеров технологической системы), а также нормы обслуживания $H_м$. В представленном примере оптимальные с позиций устойчивости значения параметров технологической системы составляют: $X \approx 100$ автоматов, $H_м \approx 10$ автоматов.

Построенная модель может быть использована при проектировании новых и оценке устойчивости существующих технологических систем в трикотажном производстве с целью совершенствования их организации, а также поиска скрытых резервов эффективности.

Литература

1. Надежность и эффективность в технике: Справочник: в 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдуевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1986. – Т.1.: Методология. Организация. Терминология / Под ред. А.И. Рембезы. – 224 с.

УДК 677.02:681.3:519.22

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Литовский С.М.

Современные технологические процессы текстильной промышленности отличаются избыточной сложностью и интенсивностью, высоким уровнем автоматизации. В этих условиях особую важность приобретает проблема рационального управления такими процессами, часто приходится решать оптимизационные задачи. Необходимо отметить, что за последние 10-20 лет в отраслевых институтах и текстильных вузах СНГ было проведено много теоретико-экспериментальных исследований, раскрывающих закономерности технологических процессов, разработаны экспериментальные математические модели, позволяющие определить оптимальные режимы работы оборудования. Однако, как правило, все эти исследования базировались на традиционном подходе к решению оптимизационной задачи (рис.1).

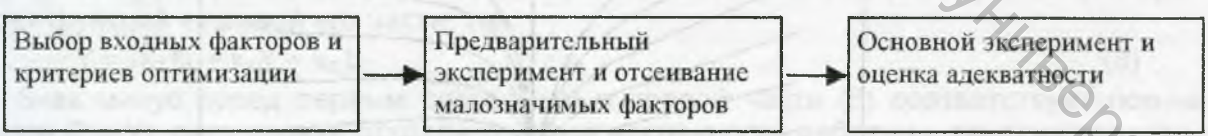

Рис.1.

Целесообразность такого подхода во многом была обусловлена именно сложностью исследуемых технологических процессов, наличием большого числа факторов, для которых трудно определить степень их влияния на критерий оптимизации, необходимостью проведения масштабного эксперимента в производственных условиях. Можно констатировать, что в большинстве случаев адекватность моделей, получаемых при таком подходе, была достаточной для принятия оптимальных технологических и управленческих решений. Вместе с тем, анализ научных публикаций и