

УДК 621:677.024.5

СИНТЕЗ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПРИВОДА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ТКАЦКИХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СТАНКАХ

канд. техн. наук, доц. **О.Я. СЕДЕЛЬ**
(Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина)

Исследуется актуальная проблема при работе на современных ткацких станках – управление технологическим процессом. Показано, что обеспечение нормального и правильного процесса достигается путем регулирования натяжения подачи нитей основы в зону формирования тканей с помощью механизма дифференциального регулятора и датчика контроля натяжения нитей основы на станке. Представлен синтез и оптимизация параметров дифференциального привода с учетом диапазона регулируемых скоростей ведомого звена регулятора, связанного с навоем ткацкого станка.

Введение. Технологический процесс образования ткани на ткацких станках характеризуется процессом подачи нитей основы и отвода готовой ткани. Программа образования ткани определяется плотностью ткани по утку и задается механизмом товарного регулятора.

В задачу регулятора подачи нитей основы входит слежение за величиной заправочного натяжения «основа – ткань» и подача в зону формирования ткани постоянного элемента нитей основы на выработку элемента ткани за каждый оборот главного вала станка.

Существующая система регулирования натяжения и подачи нитей основы состоит из скала и кулисного механизма, которые производят лишь регулирование статической составляющей натяжения основы. Ввиду быстродействия протекающих процессов при образовании ткани существующая система, обладая большой инерционностью, не успевает следить и обрабатывать возмущения от динамических составляющих натяжения основы при прибое уточной нити к опущке ткани. Точность регулирования натяжения основы существующих систем составляет 30...35 % от заправочного уровня.

С целью увеличения точности регулирования натяжения нитей основы и процесса ткачества используется дифференциальный механизм регулирования натяжения и подачи основы, состоящий из дифференциального механизма с управляемым электродвигателем, электронного датчика контроля натяжения нитей основы и существующего червячного механизма, связанного с главным валом станка.

Основная часть. Регулирование процесса ткачества обеспечивается за счет регулирования скорости вращения червяка путем суммирования двух скоростей: скорости от главного вала станка и скорости от управляемого электродвигателя, связанного с дифференциальным механизмом. Угловая скорость главного вала станка является постоянной величиной, в то время как скорость управляемого электродвигателя, связанного с датчиком контроля натяжения основы, будет переменной величиной.

Скорость электродвигателя может увеличиваться или уменьшаться от начального значения в зависимости от изменения заправочного натяжения нитей основы. Суммирование этих двух скоростей в каждый рассматриваемый момент времени позволяет регулировать угловую скорость червяка и навоя с нитями основы и обеспечивать подачу постоянного элемента нитей с навоя по мере срабатывания основы с навоя с большего диаметра до минимального, поддерживая таким образом постоянное натяжение основы до полного сматывания нитей из навоя.

На рисунке 1 представлены структурные схемы дифференциальных механизмов, которые могут быть использованы в регуляторе подачи нитей основы.

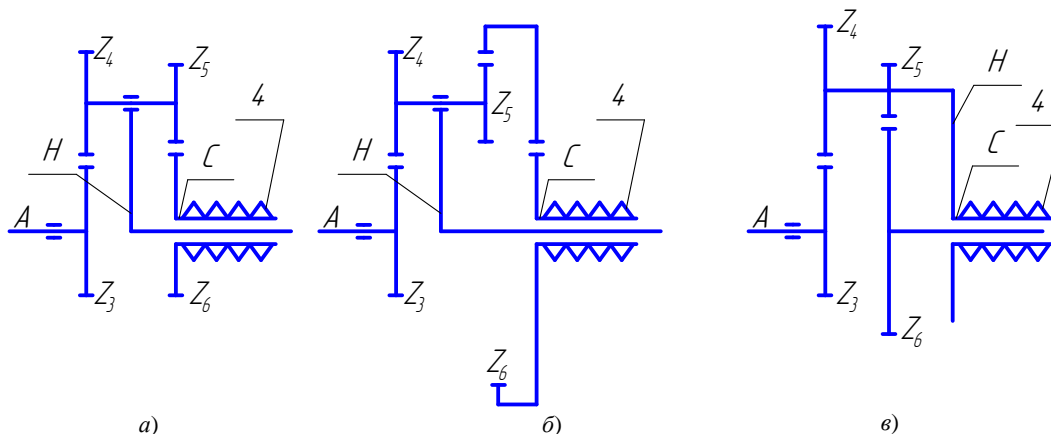


Рис. 1. Схемы дифференциальных механизмов

Обозначим центральные колёса дифференциального механизма через A и C , а водило – через H . В данных структурах дифференциальных механизмов постоянную скорость будут иметь водило H (рис. 1, а, б) или центральное колесо z_6 (рис. 1, в), которые связаны с главным валом ткацкого станка.

Учтем также, что $n_n = n_{н.в.}$, тогда скорость вращения вала C при $i_0 > 0$ будет равна [2]:

$$n_C = i_0 n_A + n_H(1 - i_0), \quad (1)$$

а при $i_0 < 0$

$$n_C = n_H(1 + i_0) - i_0 n_A, \quad (2)$$

где $i_0 = i_{CA}^H = z_3 z_5 / z_4 z_6$ – передаточное отношение от вала C к валу A при остановленном водиле H .

Следует заметить, что в случае равенства скорости главного вала станка и скорости вращения червяка 4 ($n_{ч.р.}$) выполняется условие: $n_n = n_C = n_A$. Это имеет место как для встречного, так и для попутного вращения вала A и водила H .

Определим влияние передаточного отношения i_0 на диапазон изменения скорости вращения вала A для обеспечения требуемых технологическим процессом переменных скоростей вращения червяка 4.

С увеличением передаточного отношения i_0 уменьшается приведенный к валу регулируемого электродвигателя момент инерции подвижных деталей кинематической цепи и момент от сил сопротивления M_C .

Выразим скорость n_A из зависимостей (1), (2) и определим необходимые диапазоны ее изменения для различных значений i_0 .

Скорость вращения вала станка $n_{н.в.}$ принимаем равной 240 мин^{-1} .

Требуемый диапазон изменения скорости вала червяка, равный $n_{ч.р.}$, составляет $189 \dots 3,8 \text{ мин}^{-1}$.

По расчетным значениям скоростей электродвигателя и диапазона изменения скоростей навоя построены графики для положительных и отрицательных значений i_0 , которые представлены на рисунке 2.

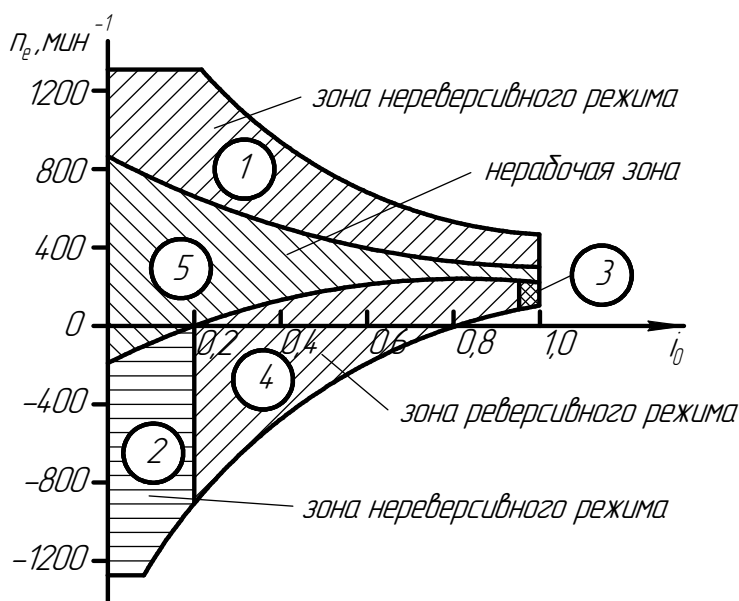


Рис. 2. Рабочие зоны дифференциального привода регулятора подачи нитей основы на ткацком автоматическом станке

Из графиков видно, что в зависимости от направления вращения вала электродвигателя по отношению к валу станка и величины передаточного отношения i_0 для различных скоростей вращения вала электродвигателя возможны случаи нереверсивного режима (без изменения направления вращения) – зоны 1, 2, 3 – и реверсивного – зона 4 (изменение направления вращения червяка).

Зона 5 является нерабочей зоной. В этой зоне скорость вращения червяка 4 будет равна или больше 189 мин^{-1} для всех рассматриваемых значений i_0 .

Наиболее благоприятной для работы регулятора представляется зона 1.

Зона 2 нереверсивного режима для малых значений i_0 предполагает довольно широкий диапазон изменения скорости вращения вала A .

Так, при $i_0 = 0,2$ отношение максимальной скорости n_A^{\max} к минимальной скорости n_A^{\min} равняется

$$R_A = n_A^{\max} / n_A^{\min} = 62,7, \quad (3)$$

где R_A – диапазон регулирования скорости вала червяка.

Широкий диапазон изменения скорости для регулируемых двигателей приводит к значительному снижению мощности при работе его на низких скоростях вращения. Например, для электродвигателя, имеющего мощность $N = 250$ Вт, при номинальной скорости вращения его вала $n_d = 4000$ мин⁻¹ уменьшение частоты вращения до $n_d = 1000$ мин⁻¹ вызовет снижение мощности электродвигателя до мощности, равной 62,5 Вт. А так как мощность, развиваемая регулируемым электродвигателем, должна быть больше мощности от сил сопротивления, то использование широкого диапазона скоростей вращения вала электродвигателя приводит к снижению мощности при работе на низких скоростях вращения электродвигателя. С другой стороны, широкий диапазон регулируемых скоростей повышает точность регулирования скорости вращения вала червяка и, соответственно, навоя с нитями основы.

Удовлетворение обоих требований решается путем установления между электродвигателем M и дифференциалом дополнительного редуктора с передаточным отношением i_d . Увеличение i_d способствует снижению приведенных к валу электродвигателя моментов инерции вращающихся деталей M_A и моментов от сил сопротивления M_C , как показано на рисунке 3.

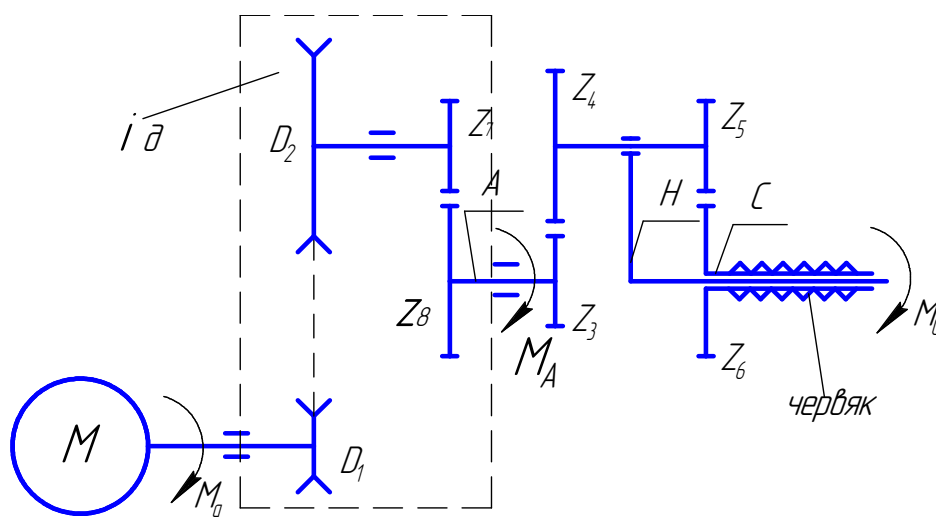


Рис. 3. Схема передачи движения от электродвигателя к дифференциалу посредством дополнительного редуктора

Выразим диапазон регулирования R_A через переменную скорость вращения $n_{\text{чер.}}$.

Обозначим через n_{A1} , $n_{\text{чер.1}}$ и n_{A2} , $n_{\text{чер.}}$ максимальную и минимальную скорость вращения вала A и вала C согласно рисунку 3.

С учетом выражения (3) для встречного вращения вала A и водила H имеем:

$$R_A = n_{A1} / n_{A2} = \{ [n_{\text{н.в.}}(1 + i_0) - n_{\text{чер.2}}] / [n_{\text{н.в.}}(1 - i_0) - n_{\text{чер.1}}] \},$$

откуда

$$i_0 = (R_A n_{\text{чер.1}} - n_{\text{чер.2}}) / [n_{\text{н.в.}}(R_A - 1)]. \quad (4)$$

Выражение (4) позволяет для конкретных значений R_A определить передаточное отношение i_0 дифференциального механизма.

В таблице представлены соотношения между R_A и i_0 при следующих значениях параметров: $n_{\text{чер.1}} = 189$ мин⁻¹, $n_{\text{н.в.}} = 240$ мин⁻¹, $n_{\text{чер.2}} = 3,8$ мин⁻¹.

Зависимость диапазона регулирования R_A от передаточного отношения i_0 дифференциала

i_0	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
R_A	2,5	2,6	2,08	1,95	1,85	1,76	1,69

Наиболее рациональным представляется выбор передаточного отношения i_0 в пределах $0,5 < i_0 < 0,8$.

Найдем величину момента, развиваемого электродвигателем и необходимого для осуществления подачи нитей основы с навоя.

Обозначим через M_C момент сопротивления на валу червяка. Тогда согласно рисунку 3 из соотношения $M_A = -i_o M_C$ и с учетом того, что $i_d = z_8 D_2 / z_7 D_1$, получим:

$$M_d = -(i_o / i_d \eta) M_C, \tag{5}$$

где $i_o = i_{CA}^H$; i_d , η – передаточные отношения цепи от редуктора ($D_1 - D_2$, $z_7 - z_8$) до дифференциала и КПД передачи.

На рисунке 4 представлена структурная схема передачи движения от электродвигателя M_d до навоя с нитями основы, заправочное натяжение которых обозначено через S .

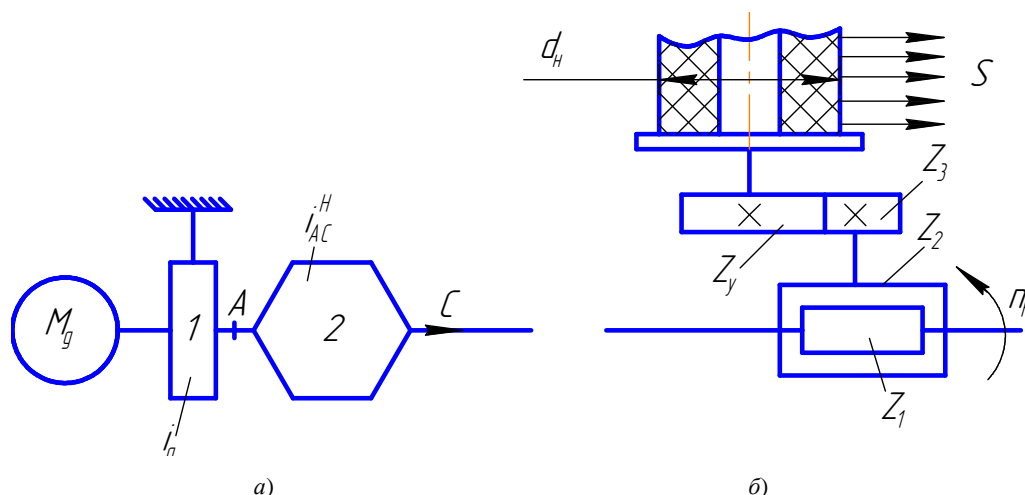


Рис. 4. Структурная схема и схема направления действия силовых и кинематических параметров в дифференциале

Момент сопротивления равен

$$M_C = (S d_H) / (2 i_H \eta_H), \tag{6}$$

где i_H , η_H – передаточное отношение $(z_1 / z_2) \cdot (z_3 / z_4)$ и КПД передачи от вала червяка z_1 к валу навоя станка z_4 ; S – заправочное натяжение нитей основы.

Из условия равенства мощности, развиваемой электродвигателем, и мощности сил сопротивления на валу червяка найдем

$$M_d = -(i_o d_H S) / (2 i_d \eta_H \eta_H). \tag{7}$$

При определении момента сопротивления червячной передачи необходимо учитывать зависимость КПД червячной передачи от скорости вращения червяка z_1 .

С уменьшением частоты вращения червяка и увеличением коэффициента трения в червячной передаче момент сопротивления будет возрастать.

При работе червячной передачи регулятора подачи нитей основы в реверсивном режиме отпуск основы сменяется «тяговым» режимом и, наоборот, при изменении скорости электродвигателя – отпуском основы.

Это имеет место в процессе разгона и выбега червяка z_4 (см. рис. 4), а также в переходных процессах при максимальных значениях радиусов навоя $r_H^{max} = d_H^{max} / 2$.

Закон изменения частоты n_C при переменном n_A и $n_H = const$ определяется знаком и величиной передаточного отношения.

На рисунке 5 приведены графические зависимости изменения n_C для различных передаточных отношений i_{AC}^H . Точка O характеризует условие достижения блокировки механизма, когда все звенья дифференциала вращаются со скоростью наборного вала станка. Изменение режима червячной пары характеризуется точками E_i , где $i - 1, 2, 3, \dots, n$.

Проанализируем графики изменения скорости вращения червяка, а соответственно, и навоя с нитями основы применительно к схеме, представленной на рисунке 5.

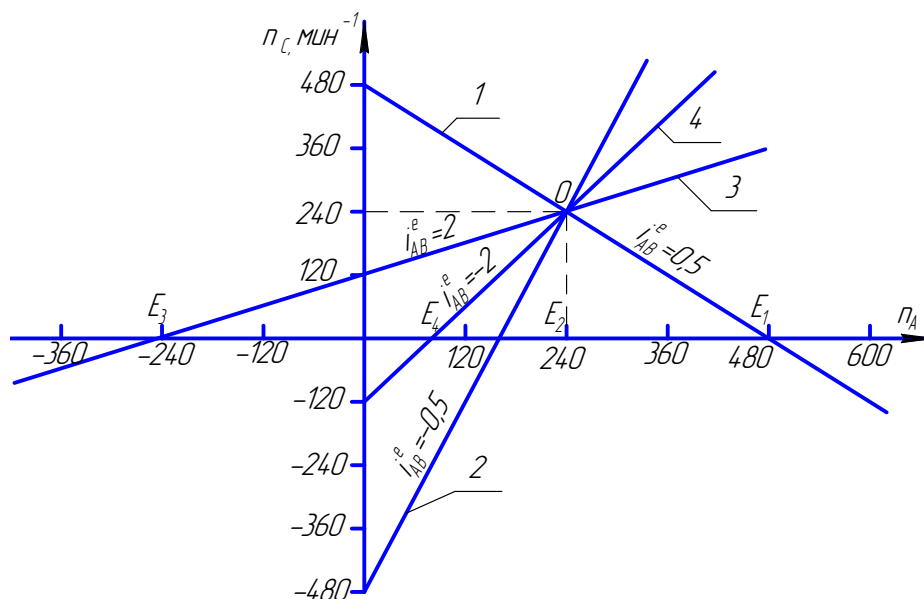


Рис. 5. Графические зависимости изменения скорости вращения червяка

Для прямой 1 характерно следующее: при остановленном электродвигателе идет ускоренный отпуск нитей основы с навоя, т.е. ускоряется скорость вращения червяка z_1 .

Достижение равновесного состояния, когда натяжение нитей основы S соответствует заданному режиму работы станка, может быть достигнуто реверсивным (противоположным) направлением червяка Z_1 (точка E_1). Скорость протекания процесса определяется углом наклона характеристики 1 к оси абсцисс (на графике ось n_A).

Все семейство прямых данного типа определяется значением передаточного отношения в пределах $0 < i_{AC}^H < 1$.

С уменьшением i_{AC}^H скорость протекания процесса самовыравнивания натяжения нитей основы увеличивается.

Процесс управления технологическим процессом, т.е. выравнивание натяжения нитей основы S по характеристике 1, можно описать следующим образом: станок работает на отпуск нитей основы, т.е. разматывание основы идет по направлению к формированию ткани, а электродвигатель M_d работает на натяжение нитей основы, а именно в противоположном направлении.

Недостатком дифференциальных передач, реализующих рассматриваемое семейство характеристик, является повышение частот n_A при $n_c = 0$, что в целях увеличения передаточного отношения i_d дополнительного редуктора и уменьшения движущих моментов на валу электродвигателя, требует применения высокоскоростных или высокомоментных специальных электродвигателей, а не серийно выпускаемых. Уменьшение частоты n_A при $n_c = 0$ может быть достигнуто за счет уменьшения частоты вращения вала H .

В соответствии с характеристикой 2 можно установить: наборный вал станка работает на натяжение нитей основы (намотка), а электродвигатель M_d работает на отпуск (размотка) основных нитей.

При приложении возмущающего воздействия к червяку z_1 (возрастание натяжения основы) и замедления скорости вращения вала электродвигателя M_d , натяжение нитей основы еще более возрастает.

Время стабилизации натяжения определяется длительностью переходного процесса всей системы автоматического регулирования. Низкие значения скорости n_A при $n_c = 0$ данного семейства прямых ($-1 < i_{AC}^H < 0$) способствуют повышению передаточного отношения в сравнении с передачей, реализующей значения $0 < i_{AC}^H < 1$.

Передачи, реализующие закон изменения скорости n_c в соответствии с семейством прямых типа 3 ($i_{AC}^H > 1$), более пригодны для выработки тканей на ткацком станке повышенной плотности.

Характеристика типа 4 ($i_{AC}^H < 1$) отличается от прямых типа 2 величиной угла α наклона прямой к оси n_A .

Исходя из изложенного выше можно сделать следующие выводы:

- для прямых типа 2 и 4 общим является то, что резкое увеличение момента сопротивления на валу регулируемого электродвигателя вызовет снижение угловой скорости вращения червяка (навоя), при этом натяжение нитей основы возрастает;

- для работы дифференциальной передачи в соответствии с характеристиками 1 и 3 типично обратное явление – увеличение натяжения нитей основы за счет увеличения скорости вращения червяка, что способствует снижению натяжения нитей основы.

Таким образом, для реализации широкого диапазона скоростей вращения червяка и применения электродвигателя небольшой мощности необходимо увеличить абсолютную величину угла наклона α графика прямых (см. рис. 5) и уменьшить скорость вращения наборного вала станка. Это позволит применить редуктор с высоким передаточным отношением и уменьшить приведенный момент сопротивления на валу регулируемого электродвигателя.

Заключение. Регулирование процесса ткачества на ткацких станках – актуальная проблема для выпуска качественной и конкурентоспособной продукции. Особенностью систем регулирования процессов ткачества с помощью дифференциального механизма основного регулятора позволяет вырабатывать широкий ассортимент тканей при использовании простых дифференциальных механических передач с управляемыми электродвигателями малой мощности, что обеспечивает точность регулирования и подачи основы при выработке тканей на ткацких станках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Седель, О.Я. Синтез дифференциальных механизмов регулирования технологического процесса на станках / О.Я. Седель // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2012. – № 11. – С. 24–30.
2. Кирдяшев, Ю.Н. Многопоточные передачи дифференциального типа / Ю.Н. Кирдяшев. – Л.: Машиностроение, 1977.
3. Седель, О.Я. Оптимизация параметров мощности дифференциального привода с учетом диапазона регулирования скорости ведомого звена / О.Я. Седель // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2013. – № 11. – С. 58–63.

Поступила 29.01.2015

SYNTHESIS OF DIFFERENTIAL DRIVE PROCESS CONTROL ON WEAVING AUTOMATIC MACHINES

O. SEDEL

The article describes the design features tension control and supply of warp in forming fabric on looms with a controlled differential drive. Made structure synthesis and optimization of power parameters of the differential mechanism, taking into account the range of regulated speed of the driven member of the regulator. The use of this control tension and warp feeding enable the production of quality fabrics in wide range.