

– деление моркови на три сорта, а именно: 1 сорт – для промышленной переработки и розничной торговли. Морковь этого сорта должна отвечать требованиям сорта «отборный», не иметь дефектов и отклонений по форме и размерам; 2 сорт – морковь с небольшими дефектами формы и размеров корнеплодов. Может быть использована для промышленной переработки и в торговой сети; 3 сорт – морковь с большими отклонениями от формы, размеров и цвета, которая по своим показателям не соответствует 1 и 2 сорту (реализуется для корма животных);  
– калибровку для 1 и 2 сорта моркови по наибольшему поперечному диаметру (не менее 3,5 см) и по длине моркови с учетом требований, установленных в ЕЭК ООН FFV-10). Исключить для моркови 1

сорта, а для 2 сорта сократить количество поломанных, с трещинами, уродливых корнеплодов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов: утв. Постановлением Минздрава Республики Беларусь № 63 от 09.06.2009.
2. Лежнев, А.В. Питание в условиях радиации/ А.В. Лежнев, А.И. Дадон // Агропанорама, 1998. – №1. – С. 12-14.
3. Костылева, О.Ф. Стандарты качества ЕЭК ООН в странах СНГ/ О.Ф. Костылева // Стандарты и качество, 2011. – №1. – С. 48-50.

УДК 631.361.85

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 1.06.2011

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ МЯЛЬНО-ТРЕПАЛЬНОГО АГРЕГАТА ЛИНИИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНА

Н.А. Равинский, аспирант, В.А. Дайнеко, канд.техн.наук, доцент (БГАТУ)

#### Аннотация

*Исследованы переходные процессы мяльно-трепального агрегата линии первичной переработки льна. Составлены структурные схемы мяльно-трепального агрегата по управлению частотой вращения трепальных барабанов и скорости движения зажимного транспортера по выходу длинного волокна и заостренности. Произведено моделирование мяльно-трепального агрегата в пакете "Simulink" приложения "Matlab".*

*Transitional processes of rumple-scutching unit of primary processing of flax line are investigated. Structural diagrams of rumple-scutching unit for rotation frequency control scutching drums and speed clamping transporter for the output of long fiber and weediness are composed. A modeling of rumple-scutching unit in the package "Simulink" of application "Matlab" has been produced.*

#### Введение

В настоящее время Республика Беларусь испытывает дефицит отечественного высококачественного длинного льняного волокна. Низкий выход длинного волокна обусловлен рядом причин, основными из которых являются низкое качество тресты, поступающее на льноперерабатывающие заводы, а также высокая варьированность параметров (влажность, отделяемость, дезориентация стеблей и т.д.) по всей длине рулона. Качество тресты в основном зависит от почв, на которых высеваются семена льна, от самих семян и их подготовки к посеву, ухода за посевами, а также от уборки и подготовки льностресты.

Существующие машины первичной переработки льна, установленные на многих льнозаводах Республики, не предназначены для обработки тресты с хаотически изменяющимися параметрами льностресты в потоке. В результате, при обработке такой тресты, в короткое волокно уходит значительная часть ценного длинного волокна.

Поскольку внедрение зарубежных машин вследствие их высокой стоимости зачастую не под силу многим предприятиям, возникает необходимость совершенствования существующих линий по первичной переработке льна.

#### Основная часть

Известно, что с целью повышения выхода длинного волокна и его качества, необходимо, в зависимости от основных параметров тресты (влажность, отделяемость), изменять количество воздействий трепальными барабанами на тресту и их интенсивность [1], чего можно достичь, изменяя частоту вращения трепальных барабанов и скорость движения зажимного транспортера при помощи преобразователей частоты соответствующих электродвигателей.

Однако при ступенчатом изменении частоты вращения трепальных барабанов или зажимного транспортера изменение выхода длинного волокна происходит не мгновенно.

Рассмотрим переходной процесс при ступенчатом изменении частоты вращения трепального барабана. Например, при частоте вращения трепальных барабанов  $n_1$ ,  $\text{мин}^{-1}$  участок слоя  $\Delta L$ , м получает  $K_1$  воздействий при прохождении через трепальную секцию длиной  $L$ , м, при частоте вращения  $n_2$ ,  $\text{мин}^{-1}$  –  $K_2$  воздействий при прохождении через трепальную секцию той же длины (рис. 1).

Если взять участок слоя  $\Delta L$ , который прошел некоторый участок трепальной секции  $L_1$  от ее начала, то можно полагать, что при частоте вращения трепальных барабанов  $n_1$  на участке  $L_1$  участок  $\Delta L$  получит  $K_1 \cdot L_1 / L$  воздействий (рис. 2). При ступенчатом изменении частоты вращения с  $n_1$  на  $n_2$  участок  $\Delta L$ , находящийся на расстоянии  $L - L_1$  от конца трепальной секции, получит  $K_2 \cdot (L - L_1) / L$  воздействий. Общее количество воздействий, воспринятых участком  $\Delta L$ , составляет  $\frac{K_1 \cdot L_1 + K_2 \cdot (L - L_1)}{L}$ .

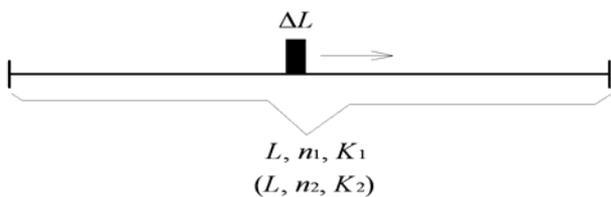


Рис. 1. Участок слоя льнотресты, проходящий через трепальные секции при неизменной частоте вращения трепальных барабанов

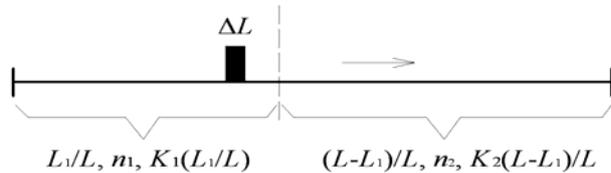


Рис. 2. Участок слоя льнотресты, проходящий через трепальные секции при различных частотах вращения трепальных барабанов

При изменении расстояния  $L_1$  от 0 до  $L$  количество воздействий, воспринимаемых материалом, будет линейно изменяться от  $K_1$  до  $K_2$  за время  $\tau = L/V_{\text{тр}}$ , с, где  $V_{\text{тр}}$  – скорость транспортирования сырца, м/с.

Таким образом, выход длинного волокна будет изменяться за время  $\tau$  от  $B_1 = B(W \text{ const}, V \text{ const}, n_1, K_1)$  до  $B_2 = B(W \text{ const}, V \text{ const}, n_2, K_2)$ , где  $B_1, B_2$  – выход длинного волокна, %, а  $B(W, V, n, K)$  – статическая математическая модель выхода длинного волокна в зависимости от влажности  $W$ , скорости зажимного транспортера  $V$ , частоты вращения трепальных барабанов  $n$  и количества воздействий  $K$ .

Представим данный переходный процесс в виде структурной схемы. Авторами было установлено, что выход длинного волокна при ступенчатом изменении частоты вращения достигнет своего установившегося значения с запаздыванием, т.е. использовали звено чистого запаздывания  $e^{-\tau s}$  [2]. Однако поскольку

установившееся значение выхода длинного волокна не изменится скачком через время  $\tau$ , а будет линейно изменяться – от исходного до установившегося, необходимо ввести интегрирующее звено  $1/s$ .

Представим структурную схему мяльно-трепального агрегата по управлению выходом длинного волокна, где управляющим воздействием на объект является частота вращения трепальных барабанов (рис. 3).

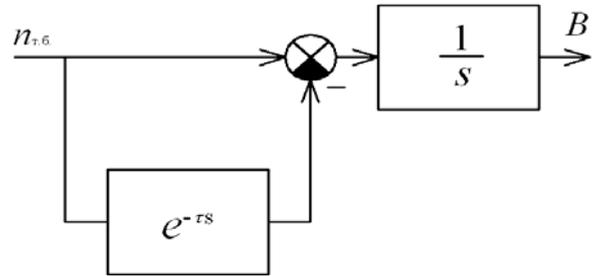


Рис. 3. Исходная структурная схема мяльно-трепального агрегата по управлению выходом длинного волокна с управляющим воздействием на объект – частотой вращения трепальных барабанов

При ступенчатом изменении частоты вращения трепальных барабанов на суммирующий вход сумматора подается измененное значение вышеупомянутой частоты, на вычитающий вход сумматора – значение частоты, которое будет равно начальному значению на протяжении времени  $\tau$ . В результате, в течение данного времени на выходе сумматора будет наблюдаться разность измененной и начальной частот. При помощи интегрирующего звена данная разность будет линейно изменяться за время  $\tau$ , по истечении которого на выходе сумматора разность станет равной нулю, действие интегрирующего звена прекратится и измененное значение установится на определенном уровне.

Представим передаточную функцию мяльно-трепального агрегата по выходу длинного волокна с управляющим воздействием на объект – частотой вращения трепальных барабанов в следующем виде:

$$W_y(s) = \frac{B(s)}{n_{\text{т.б.}}(s)} = 1/s \cdot (1 - e^{-\tau s}). \quad (1)$$

Такая функция (1) описывает лишь процесс линейного изменения частоты вращения трепальных барабанов за время  $\tau$  от частоты  $n_1$  до  $n_2$ . С целью получения переходных характеристик по выходу длинного волокна, необходимо ввести звено  $D = 1/\tau$ , учитывающее время обработки пренебрежимо малого участка слоя  $\tau$ , и в качестве выходного звена использовать статическую математическую модель выхода длинного волокна в зависимости от частоты вращения трепальных барабанов  $n$ .

Также, для большей точности переходного процесса, в формулу (1) необходимо ввести передаточную функцию асинхронного двигателя трепальных барабанов, поскольку изменение их частоты враще-

ния не происходит мгновенно. Разгонная кривая асинхронного электропривода трепальных барабанов, полученная экспериментально [3], представлена апериодическим звеном второго порядка:

$$W_{э.м.б.}(s) = \frac{n_{м.б.}(s)}{U_{м.б.}(s)} = \frac{1}{T_1 \cdot s + 1} \cdot \frac{K_{д1}}{T_2 \cdot s + 1}, \quad (2)$$

где  $K_{д1}$  – коэффициент передачи электропривода трепальных барабанов,  $\frac{1}{B \cdot \text{мин}}$ ;

$T_1, T_2$  – постоянные времени, определяемые по разгонной кривой электропривода трепальных барабанов, с.

Необходимо учесть и то, что при изменении частоты вращения трепальных барабанов происходит изменение количества воздействий, воспринимаемых участком слоя, которое можно вычислить по следующей формуле [1]:

$$K = \frac{i_1 \cdot i_2 \cdot L_6 \cdot n_{м.б.}}{V_{тр}}, \quad (3)$$

где  $i_1$  – число трепальных барабанов, обрабатывающих один конец пряди;

$i_2$  – число рабочих кромок в барабане;

$L_6$  – длина рабочей кромки бильной планки, м;

$n_{т.б.}$  – частота вращения трепальных барабанов, об/мин.;

$V_{тр}$  – скорость зажимного транспортера, м/мин.

Статические математические модели имеют следующий вид:

– по выходу длинного волокна:

$$B(W, n, V, K) = a_0 + a_1 \cdot W + a_2 \cdot n + a_3 \cdot V + a_4 \cdot K + a_5 \cdot n \cdot V + a_6 \cdot W \cdot n + a_7 \cdot W \cdot V + a_8 \cdot W \cdot K + a_9 \cdot W^2 + a_{10} \cdot n^2 + a_{11} \cdot V \quad (4)$$

– по заостренности:

$$3(W, n, V, K) = b_0 + \frac{b_1}{W} + \frac{b_2}{n} + \frac{b_3}{V} + \frac{b_4}{K} + \frac{b_5}{n \cdot V} + b_6 \cdot W \cdot n + \frac{b_7}{W \cdot V} + b_8 \cdot W \cdot K + b_9 \cdot W^2 + \frac{b_{10}}{n^2} + \frac{b_{11}}{V^2} + \frac{b_{12}}{K^2}, \quad (5)$$

где  $a_0..a_{11}, b_0..b_{12}$  – эмпирические константы.

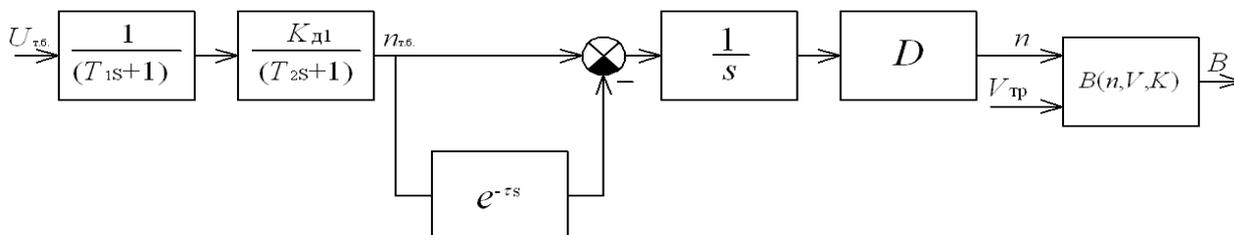


Рис. 4. Структурная схема мально-трепального агрегата по управлению выходом длинного волокна с управляющим воздействием на объект – частотой вращения трепальных барабанов

Поскольку в данном случае скорость транспортера принимается постоянной, то, учитывая вышеизложенные дополнения, полная структурная схема мально-трепального агрегата по управлению выходом длинного волокна с управляющим воздействием на объект – частотой вращения трепальных барабанов будет иметь вид, представленный на рис. 4.

Передаточная функция по управлению выходом длинного волокна с управляющим воздействием на объект – частотой вращения трепальных барабанов, с учетом вышеизложенных дополнений, имеет вид:

$$W_{м.б.}(s) = \frac{B(s)}{U_{м.б.}(s)} = \frac{1}{T_1 \cdot s + 1} \cdot \frac{K_{д}}{T_2 \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{s} \cdot (1 - e^{-\tau s}) \cdot D \cdot B(n, V, K) \quad (6)$$

Наряду с таким параметром как выход длинного волокна, необходимо также учитывать параметр его заостренности, т.е. содержания неотделившейся костры от волокна после прохождения сырца через трепальные барабаны трепальных секций. Если костры в льноволокне выше определенного процентного содержания, то такое волокно переходит в разряд менее качественного, т.е. уменьшается его номер, что в конечном счете сказывается и на уменьшении его ценности и стоимости [4].

Проанализировав вышеприведенный переходной процесс, можно прийти к выводу, что структурная схема и передаточная функция при ступенчатом изменении частоты вращения трепальных барабанов по заостренности, представленные на рис. 5 и формулой (7) соответственно, будут иметь вид, аналогичный структурной схеме и передаточной функции по выходу длинного волокна, с той лишь разницей, что вместо статической математической модели по выходу длинного волокна, необходимо подставить статическую математическую модель по заостренности.

$$W_{м.б.}(s) = \frac{3(s)}{U_{м.б.}(s)} = \frac{1}{T_1 \cdot s + 1} \cdot \frac{K_{д}}{T_2 \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{s} \cdot (1 - e^{-\tau s}) \cdot D \cdot 3(n, V, K) \quad (7)$$

Аналогичные переходные процессы происходят и при ступенчатом изменении скорости движения зажимного транспортера. Для данного процесса отметим следующие отличия. Принимаем постоянной не скорость транспортера, а частоту вращения трепальных барабанов. Опираясь на экспериментальную разгонную кривую асинхронного электропривода зажимного

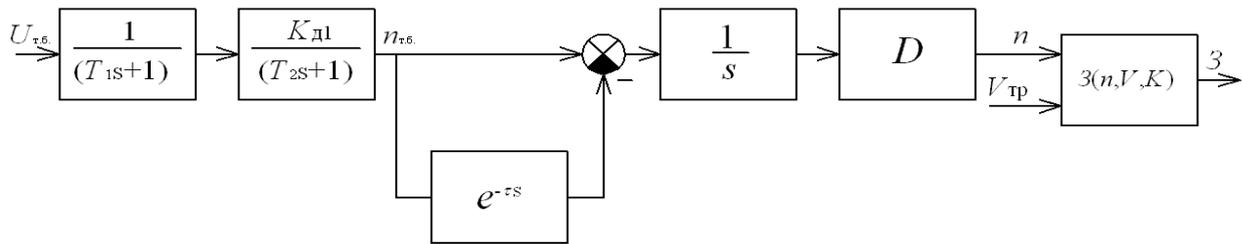


Рис. 5. Структурная схема мяльно-трепального агрегата по управлению закрученностью длинного волокна с управляющим воздействием на объект – частотой вращения трепальных барабанов.

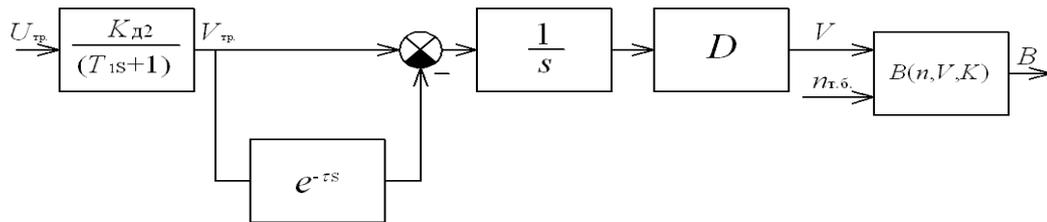


Рис. 6. Структурная схема мяльно-трепального агрегата по управлению выходом длинного волокна с управляющим воздействием на объект – скоростью транспортера

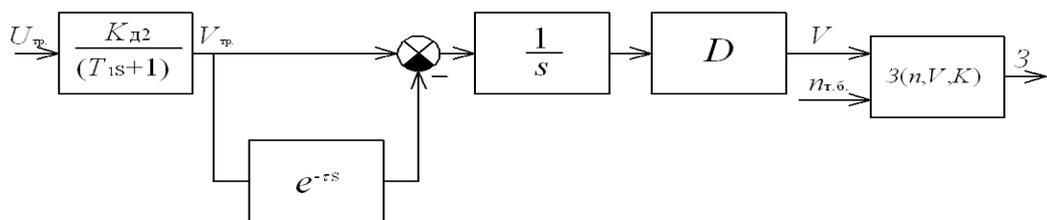


Рис. 7. Структурная схема мяльно-трепального агрегата по управлению закрученностью длинного волокна с управляющим воздействием на объект – скоростью транспортера

транспортера, представим электропривод транспортера аperiodическим звеном первого порядка.

Структурные схемы при ступенчатом изменении скорости зажимного транспортера по выходу длинного волокна и закрученности представлены на рис. 6 и 7 соответственно, передаточные функции по выходу длинного волокна и закрученности – формулами (8) и (9) соответственно, где  $K_{д2}$  – коэффициент передачи электропривода зажимного транспортера,  $\frac{c}{B \cdot m}$ , а  $V$  – условная скорость зажимного транспортера, подставляемая в соответствующую статическую математическую модель, изменяющаяся линейно за время  $\tau$  от начального значения  $V_1$  до установившегося  $V_2$ , м/с.

$$W_{mp.}(s) = \frac{B(s)}{U_{mp.}(s)} = \frac{K_{д2}}{T_1 \cdot s + 1} \cdot 1/s \cdot (1 - e^{-\tau s}) \cdot D \cdot B(n, V, K) \quad (8)$$

$$W_{mp.}(s) = \frac{3(s)}{U_{mp.}(s)} = \frac{K_{д2}}{T_1 \cdot s + 1} \cdot 1/s \cdot (1 - e^{-\tau s}) \cdot D \cdot 3(n, V, K) \quad (9)$$

По данным передаточным функциям было произведено моделирование мяльно-трепального агрегата в пакете "Simulink" приложения Matlab.

На рис. 8 представлены полученные переходные характеристики выхода длинного волокна и его закрученности при ступенчатых изменениях управляющих сигналов преобразователей частоты электродвигателей трепальных барабанов и зажимного транспортера.

Из полученных переходных характеристик видно, что при ступенчатом изменении сигнала управления электроприводом трепальных барабанов, равным 0,55 В, что в нашем случае соответствует изменению частоты вращения на 22 об/мин, выход длинного волокна изменяется не скачкообразно, а постепенно с 25,7 до 24,8% за время, равное времени прохождения участка слоя льнотресты через всю длину трепальной секции, равное в данном случае 5,5 секундам. За то же время постепенно изменяется и закрученность данного участка льнотресты с 2,3 до 1,1%.

При ступенчатом изменении сигнала управления электроприводом зажимного транспортера, равным 0,75 В, что соответствует изменению скорости движения транспортера на 9 м/мин, выход длинного волокна и закрученность также изменяются не скачкообразно, однако не в сторону уменьшения, а увеличения.

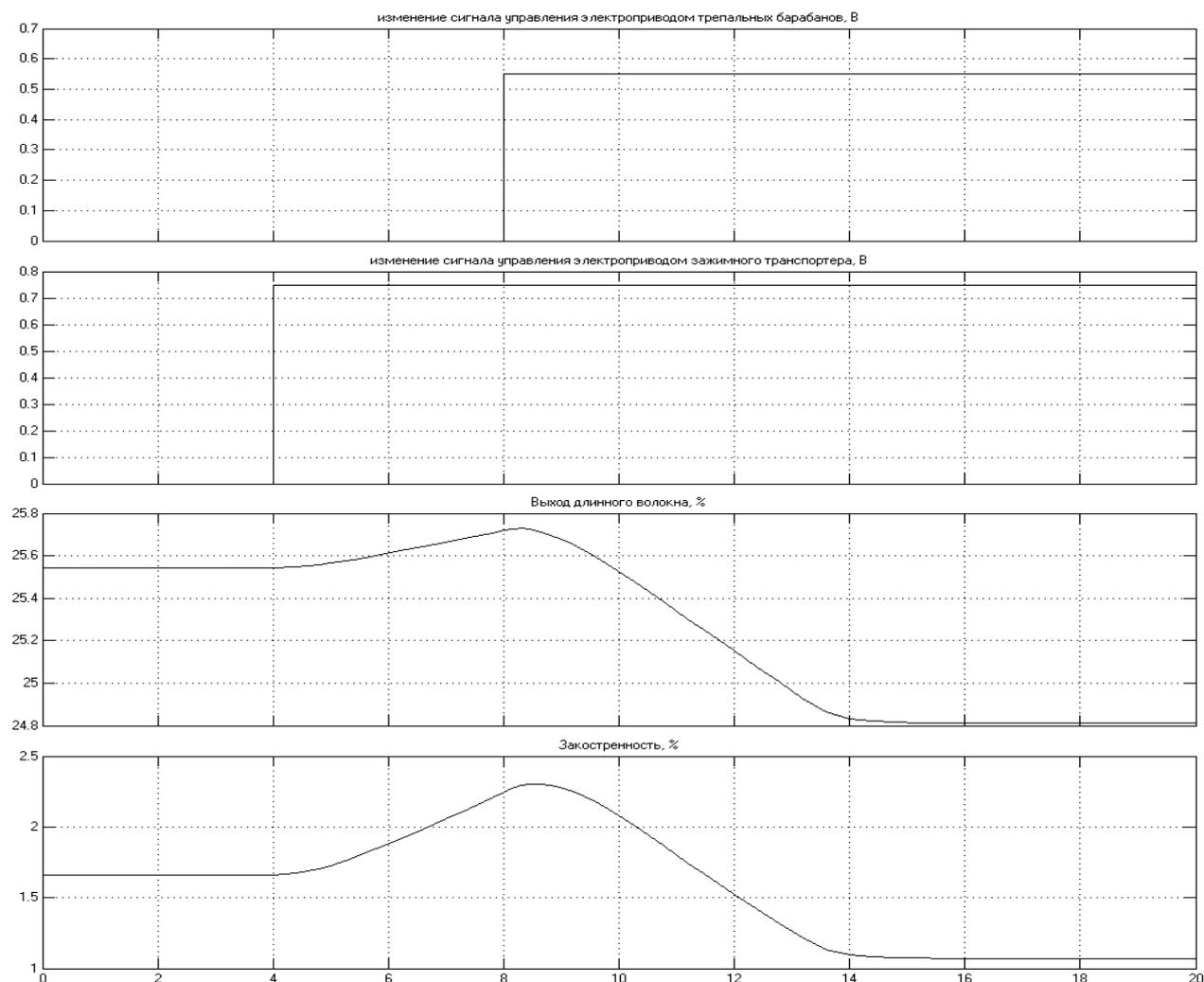


Рис. 8. Полученные переходные характеристики выхода длинного волокна и его заостренности при ступенчатых изменениях управляющих сигналов – преобразователей частоты электродвигателей трепальных барабанов и зажимного транспортера

### Заключение

1. В результате моделирования в приложении “Matlab” процесса первичной переработки льнотресты получены переходные характеристики мяльно-трепального агрегата при ступенчатом изменении частот вращения трепальных барабанов и скорости зажимного транспортера.

2. Из переходных характеристик (рис. 8) установлено, что при ступенчатом воздействии на электроприводы трепальных барабанов и зажимного транспортера процент выхода длинного волокна и его заостренности достигают установившегося значения за время, определяемое звеном чистого запаздывания (рисунок 3). Это время тратится на прохождение слоя тресты через трепальные секции.

3. Полученные структурные схемы и переходные характеристики предназначены для создания математических моделей системы управления линией первичной переработки льнотресты по возмущению (на-

пример, возмущающее воздействие по исходной влажности сырья).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Голуб, А.И. Льноводство Беларуси / А. И. Голуб, А. З. Чернушок. – Борисов: Борисовская укупрн. типография, 2009. – 243 с.
2. Клюев, А.С. Автоматическое регулирование/ А.С. Клюев. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергия, 1973. – 392с.
3. Петров, С.С. Принципы построения системы получения и обработки видеoinформации о слое стеблей льнотресты перед его механической обработкой/ С.С. Петров, В.Г. Дроздов // Сборник научных трудов молодых ученых КГТУ, вып. 7. – Кострома: КГТУ, 2006. – С. 3-8.
4. Новиков, Э.В. Теоретико-экспериментальные модели для определения выхода длинного волокна при трепании/ Э.В. Новиков, Р.В. Корабельников // Вестник КГТУ. – Кострома: КГТУ, 2004. – №9. – 123с.