

4. Пат. Российской Федерации № 2 286664 С1, А 01 D 91/ 04. Способ раздельной уборки зерновых культур и производства зернокормового сырья для животноводства / А.П. Ловчиков, В.П. Ловчиков Опубл. 10.11.2006. Бюл. № 31.
5. Коренев Г.В. Биологическое обоснование сроков и способов уборки зерновых культур. – М. : Колос, 1971. – 159 с.
6. Пугачев А.П. Контроль качества уборки зерновых культур. – М.: Колос, 1980. – 235 с.
7. Алесейчик Н.А. Поточная уборка зерновых. – Минск: Ураджай, 1967. – 150 с.
8. Ловчиков В.П. Совершенствование уборки зерновых культур при обмолоте хлебной массы в стационарных условиях: дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск: Изд-во ЧИМЭСХ, 1990. – 160 с.



УДК 630.323

*B.V. Побединский, A.V. Берстенев*

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПНЕВМОГИДРОПРИВОДА КОРОСНИМАТЕЛЯ РОТОРНОГО ОКОРОЧНОГО СТАНКА**

*Разработана математическая модель пневмогидропривода короснимателя роторного окорочного станка. Благодаря учету различных нелинейностей (люфтов, дисбаланса масс, «паразитных» объемов, утечек и др.) обеспечивается корректность физического описания процессов и точность предложенной модели. Модель ориентирована на реализацию в виде имитационной модели для численных методов решения.*

**Ключевые слова:** роторный окорочный станок, гидропривод, пневмопривод, ротор, окорочный инструмент, математическая модель.

*V.V. Pobedinsky, A.V. Berstenev*

### **MATHEMATICAL MODEL OF BARK REMOVER PNEUMOHYDRAULIC DRIVE OF ROTOR BARKING MACHINE**

*The mathematical model of a pneumohydraulic drive of rotor barking machine is developed.*

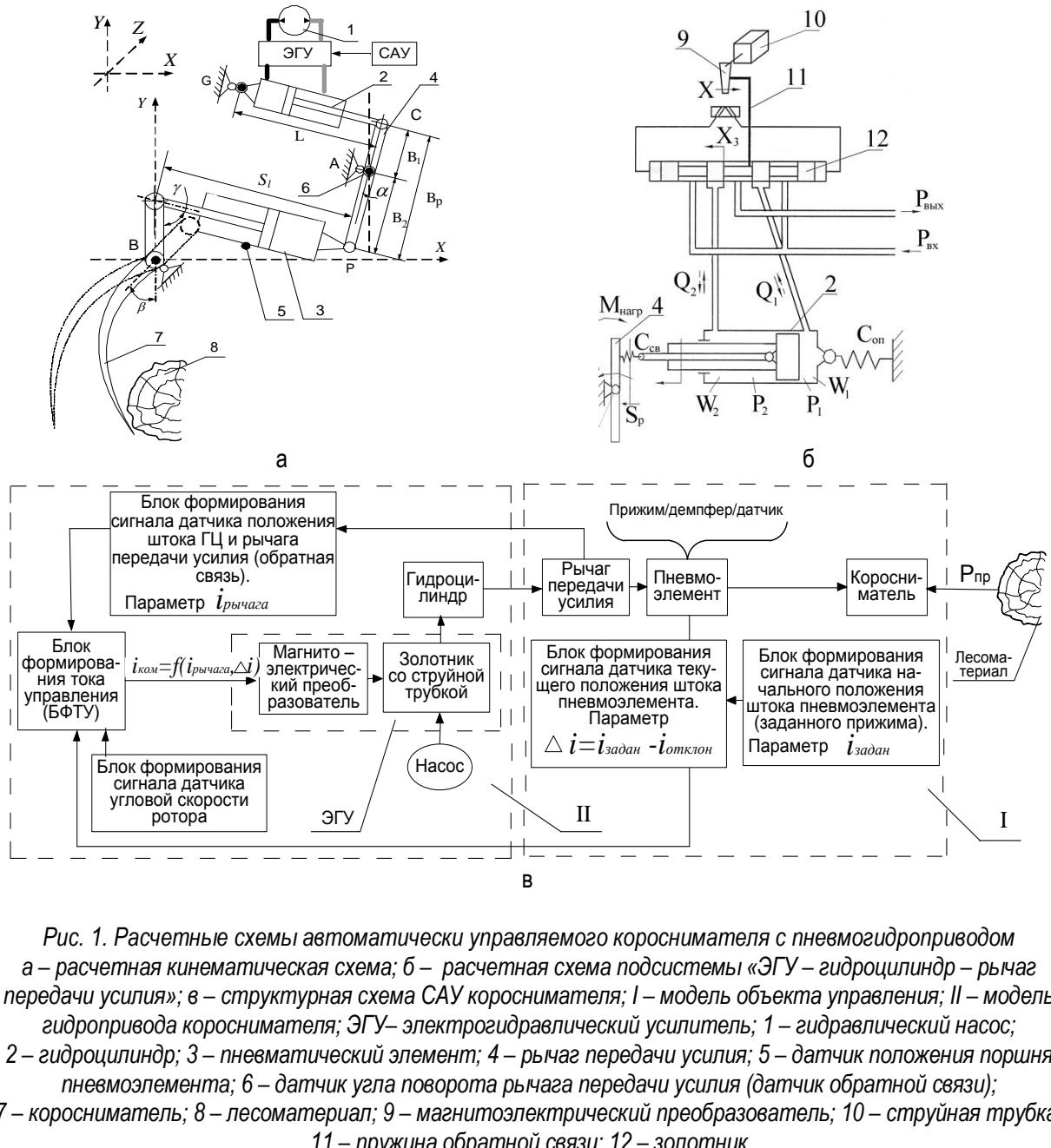
*Due to various nonlinearities registration (backlashes, massmisbalance, "parasitic" volumes, leaks, etc.) the correctness of processes physical description and accuracy of the offered model is provided. The model is focused on realization in the form of imitating model for numerical methods of solution.*

**Key words:** rotor barking machine, hydraulic drive, pneumatic drive, rotor, barking tool, mathematical model.

---

Для комплексной и эффективной переработки древесного сырья в отечественном производстве и мировой практике применяются роторные окорочные станки (РОС). В процессе окорки определяющую роль играет механизм режущего инструмента (МИ) с короснимателем, представляя собой узел, наиболее подверженный нагрузкам со стороны обрабатываемого ствола. По этой причине в ранее проводимых исследованиях самое пристальное внимание ученых уделялось исследованиям окорочного инструмента. В настоящее время также разработка новых конструкций, модернизация окорочных станков в значительной степени связана с совершенствованием МИ. Зарубежный опыт показал, что одним из самых перспективных направлений совершенствования станков является использование гидро- и/или пневмопривода в рабочих органах. Реализовать все возможности гидропривода позволяет только использование систем автоматического регулирования. Однако автоматически управляемый коросниматель с новыми типами приводов в мировой практике не был создан.

В результате исследований, проводимых УГЛТУ, предложено конструктивное устройство короснимателя с автоматическим управлением пневмогидропривода (рис. 1,а), но для дальнейшей разработки и обоснования основных параметров нового привода необходимо выполнить исследования работы такого механизма на основе методов моделирования.



Целью настоящих исследований является разработка математической модели пневмогидропривода короснимателя. Для реализации цели решались следующие задачи:

- разработка расчетных схем механизма режущего инструмента;
- разработка детализированной математической модели, предназначенной для ее реализации в среде современных систем имитационного моделирования, например Simulink приложения MatLab;
- формализация учета в математической модели влияния нелинейностей (люфты в кинематике, дисбаланс масс, запаздывание срабатывания, «паразитные» объемы, утечки в гидросистеме, деформации, трение и др.).

Разработка математической модели пневмогидропривода короснимателя выполняется в соответствии с технологическим процессом, выполняемым инструментом, а также со структурой системы (см. рис. 1). Выделим в расчетной кинематической схеме объект управления – это будет коросниматель с пневматическим элементом, а в качестве устройства управления – непосредственно гидропривод. В данном случае это подсистема «ЭГУ – гидроцилиндр – рычаг передачи усилия» (см. рис. 1, б).

Описать такую систему аналитическим выражением, дифференциальными уравнениями достаточно точно не представляется возможным, но современные компьютерные системы позволяют разрабатывать адекватные имитационные модели в среде визуального моделирования и исследовать их численными методами. Применение численных методов значительно расширяет возможности моделирования, так как в этом случае математическое описание выполняется с минимальными упрощениями, в реальном виде, что повышает ее точность [1].

В данной схеме привод гидросистемы осуществляется от насоса закрытого типа. В математической модели предполагается, что гидронасос является нерегулируемым элементом и может быть задан уравнением постоянного расхода. Но, строго говоря, расход не является постоянным из-за нелинейностей в работе насоса, для минимизации которых применяются специальные стабилизаторы. В данном случае предполагается установка стабилизатора давления и принимается допущение о стабильности характеристик насоса. Однако непосредственно в гидросистеме проявление нелинейностей неизбежны и для повышения точности модели должны учитываться люфты, дисбаланс, запаздывание, «паразитные» объемы, утечки.

С учетом кинематической схемы (см. рис. 1,а) составлена расчетная схема подсистемы «ЭГУ – гидроцилиндр – рычаг передачи усилия» (см. рис. 1,б) в соответствии с которой и выполняется разработка математической модели гидропривода (все обозначения приведены на рисунках 1–4).

В свою очередь модель гидропривода короснимателя состоит из следующих подсистем (см. рис. 1,в):

- «Модель ЭГУ»;
- «Модель гидроцилиндра»;
- «Модель перемещений штока и рычага».

Подсистемы, кроме математических моделей выполнения каждой операции (процесса) всеми элементами, включают следующие основные расчетные блоки:

- «Перемещение струйной трубы»;
- «Расход рабочей жидкости», включающий блок «Расчет расхода  $Q_1$ ,  $Q_2$  рабочей жидкости»;
- «Контроль перемещений объекта управления».

Работа пневмогидропривода короснимателя построена на ЭГУ, процесс управления которого выполняется с помощью магнитоэлектрического преобразователя (МЭП).

При подаче на МЭП (см. рис. 1,б) положительного командного тока струйная трубка 9 отклоняется от первоначального положения вправо (значение  $X$  увеличивается), золотник 12 движется влево (значение  $X_3$  увеличивается). Вследствие этого открывается правый канал, растет расход рабочей жидкости  $Q_1$ , поступающей в полости гидроцилиндра, увеличивается давление  $P_1$ . Под давлением  $P_1$  шток ГЦ выдвигается, соответственно поворачивая рычаг влево.

При смене положительного направления командного тока на отрицательное струйная трубка 9 отклоняется от своего положения влево (значение  $X$  уменьшается), золотник 12 движется вправо (значение  $X_3$  уменьшается). Вследствие этого открывается левый канал, растет расход рабочей жидкости  $Q_2$ , поступающей в полости гидроцилиндра, увеличивается давление  $P_2$ . Под давлением  $P_2$  шток ГЦ втягивается, соответственно поворачивая рычаг вправо. Вращательное движение рычага передачи усилия 4 описывается уравнениями, приведенными на блок-схеме «модуля расчета перемещений штока и рычага» (рис. 4).

Обобщенная математическая модель работы гидропривода представляет собой взаимосвязанную последовательность операций в соответствии с реальным процессом работы элементов привода. Такая разработка включала следующие этапы:

1. Определение технологической последовательности работы элементов гидропривода.
2. Задание связей между элементами в виде входных и выходных параметров.
3. Разработка математического описания процесса (математические выражения для определения входных, выходных параметров по каждой операции).
4. Определение недостающих параметров модели расчетным путем.

Разработанная математическая модель основных подсистем в виде блок-схемы алгоритма, моделирующего работу пневмогидропривода короснимателя изображена на рисунках 2–4.

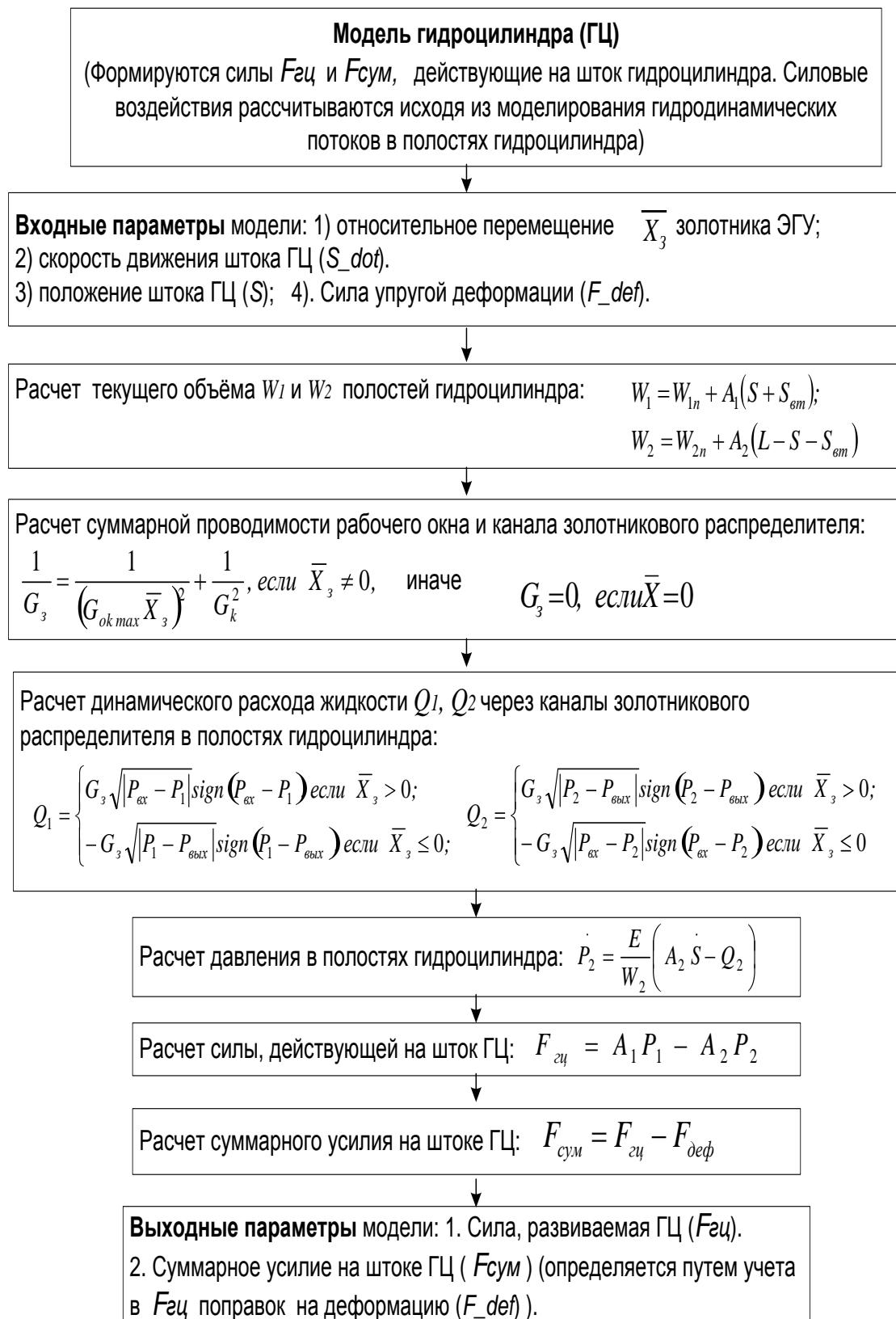


Рис. 2. Математическая модель работы гидроцилиндра

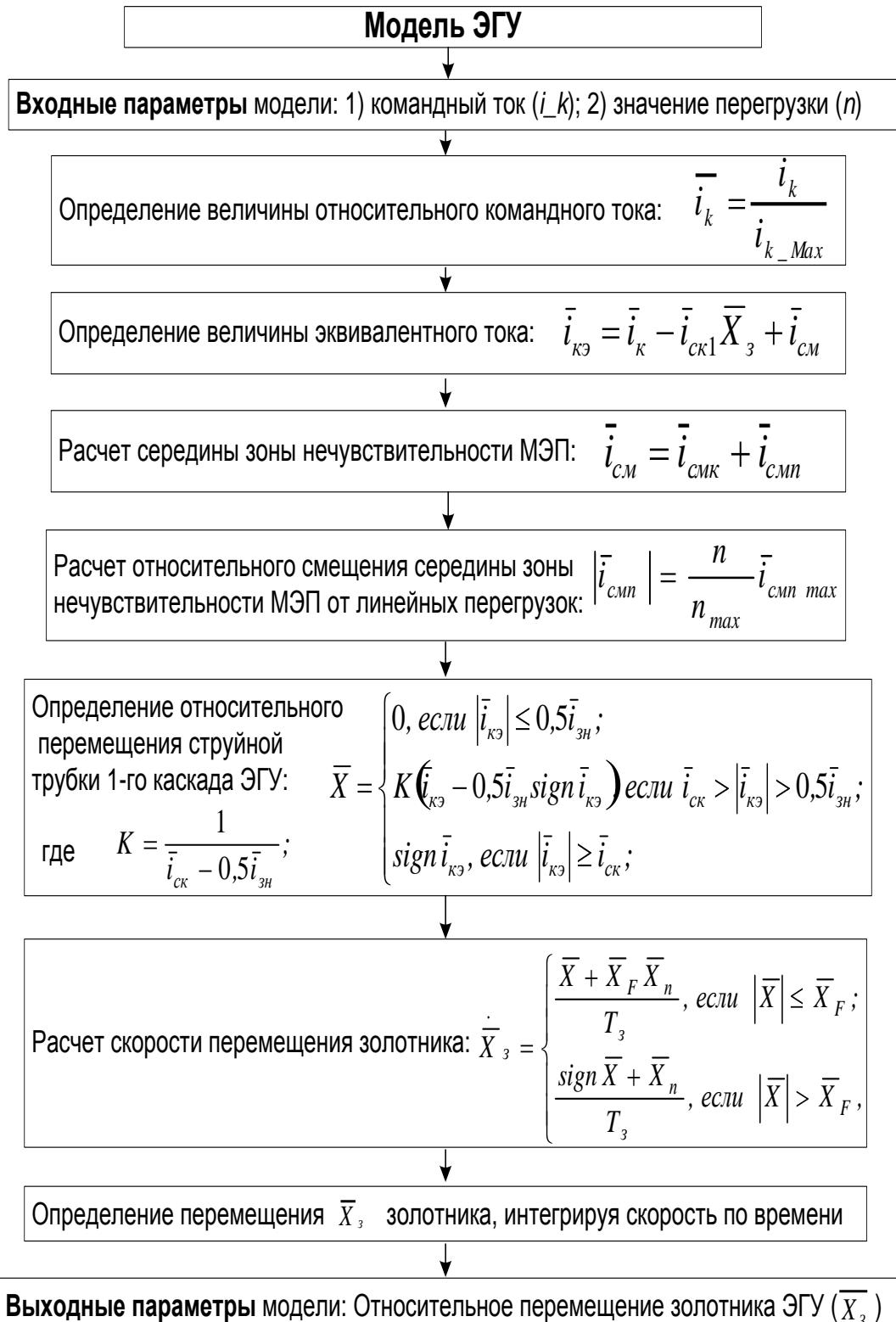


Рис. 3. Математическая модель работы ЭГУ с БФПУ



Рис. 4. Математическая модель модуля расчета перемещения штока и рычага передачи усилия

Недостающие параметры модели могут быть определены следующим образом. Часть параметров задается на основании известных справочных или экспериментальных данных. Их число ограничено. Большая часть параметров при разработке принципиально новой конструкции неизвестны, поэтому они определялись на этапе отладки готовой модели, что представляет собой поисковую процедуру. Для определения параметров использовался итерационный метод расчета по следующей схеме:

- 1) задание начальных значений всех (неопределенных вначале) параметров модели экспертным путем в соответствии с физическим смыслом процесса;
- 2) построение зависимости для одного параметра с определенным шагом выходных расчетных данных;
- 3) определение по полученной зависимости наилучшего значения исследуемого параметра и принятие для дальнейших расчетов;

- 4) повторение пунктов 2, 3 для всех исследуемых параметров;
- 5) Закрепление найденных значений исследуемых параметров в качестве начальных и повторение следующей итерации по пунктам 2–4;
- 6) Выполнение итерационного процесса по пунктам 2–5 до тех пор, пока улучшение выходных значений будет не более заданной точности  $\varepsilon$ ; значение  $\varepsilon$  принимается не более 1%.

В разработанной математической модели и алгоритме процесса работы гидропривода учитываются различные нелинейности (люфты, дисбаланс, запаздывание, «паразитные» объемы, утечки, силы трения). При этом обеспечивается наибольшая точность моделирования процесса, корректность физического описания процессов, что позволяет исследовать процесс окорки лесоматериалов. Подобная модель может быть реализована в виде имитационной модели для численного решения в среде визуального моделирования Simulink приложения MatLab.

### **Выводы**

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Предложенные расчетные схемы механизма (см. рис. 1) позволяют разработать математическую модель в расчете на численные методы решения, что обеспечит наибольшую точность моделирования процесса работы пневмогидропривода короснимателя.
2. Математическая модель работы пневмогидропривода короснимателя в виде алгоритма имеет вид, как приведено на рисунках 2–4.
3. Разработанный способ формализации параметров модели позволяет достаточно точно учитывать различных нелинейности (люфты в кинематике, дисбаланс масс, запаздывание срабатывания, «паразитные» объемы, утечки в гидросистеме, деформации, силы трения и др.), обеспечивая корректность физического описания процессов и точность модели.
4. Разработанная математическая модель может быть реализована в среде имитационного численного моделирования.

### **Литература**

1. Побединский В.В., Берстенев А.В., Шуняев С.Н. Моделирование рабочих процессов роторного окорочного станка в среде MatLab // Сб. докл. междунар. науч.-техн. конф. УГЛТУ (Екатеринбург, 21–23 сент. 2006 г.). – Екатеринбург, 2006. – С. 135–137.

