

УДК 622.647.1

*д.т.н. Корнеев С. В.,
к.т.н. Зотов В. А.,
Доброногова В. Ю.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ НАТЯЖНЫМ УСТРОЙСТВОМ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА

Разработаны принципы построения системы адаптивного управления гидравлическим натяжным устройством скребкового конвейера на основе одноплатных компьютеров. Приведен алгоритм работы системы.

Ключевые слова: скребковый конвейер, гидравлическое натяжное устройство, адаптивное управление, одноплатный компьютер.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. При эксплуатации забойных скребковых конвейеров возникают проблемы, связанные с чрезмерными натяжениями и провисаниями тягового органа (ТО) в рабочем режиме работы конвейера и при заклиниваниях цепей, а также с несовершенством существующих способов монтажного натяжения ТО и технологией перемещения конвейера на забой после прохода выемочной машины.

Известны разработки, направленные на решение отдельных задач посредством гидравлических натяжных устройств (ГНУ) с узлом раздвижности. Изначально ГНУ предназначалось для создания контролируемого монтажного натяжения ТО без рассоединения цепей. Затем ГНУ предписывалось регулирование натяжения в рабочем режиме [1].

В результате исследований [2–6] получена доказательная база возможности создания системы автоматического управления ГНУ, реализующей управление натяжением ТО. Возможно также расширение функций системы.

В работах [2, 3] установлено, что адаптивное управление натяжением, особенно при неравномерном заполнении става грузом по длине конвейера, позволяет: 1) повысить долговечность ТО по фактору износа шарниров цепей [2]; 2) снизить энергоем-

кость процесса перемещения ТО по изогнутому в профиле ставу [3]; 3) исключить провисание нижней ветви ТО и, как следствие, возможность схода цепей со звездочек, затягивания кусков груза под конвейер и складывания цепи с образованием «жучков», что приводит к заклиниваниям ТО.

На примере конвейеров типа КСД показано, что при правильной настройке предохранительного клапана ГНУ в сочетании со своевременным отключением приводных электродвигателей обеспечивается достаточно эффективная оперативная защита конвейеров с электромеханическим приводом от экстренных перегрузок, возникающих при заклиниваниях [4]. В конвейерах с гидродинамическим приводом снижаются или вовсе исключаются представляющие наибольшую опасность для прочности цепей «ударные нагрузки», возникающие при заклиниваниях вблизи привода сбегавшей с приводных звездочек ветви ТО и отключении двигателей или срабатывании тепловой защиты гидромуфт [5]. При этом в ряде случаев удается также предотвратить срабатывание гидромуфт, относящиеся к «неполномочным отказам» конвейера.

Возможно, ГНУ в совокупности с распорными устройствами позволит также выполнять в ручном режиме ряд технологических операций по продольному пере-

мещению в исходное положение сползающего вниз при работе на пологих и наклонных пластах конвейера, выравниванию искривленного в плане конвейерного става, а затем и линии очистного забоя.

В работе [6] предлагается функциональная схема системы автоматического управления (САУ) натяжением ГНУ. Вместе с тем остается нерешенной задача создания САУ многофункционального ГНУ, способного решать весь комплекс перечисленных выше задач.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является разработка и обоснование принципиальной схемы САУ ГНУ забойных скребковых конвейеров, предусматривающей адаптивное регулирование натяжения, а также своевременное отключение приводных двигателей при аварийных режимах работы.

Изложение материала и его результаты. В работе [6] получены законы формирования управляющих воздействий для ГНУ скребковых конвейеров с двумя или одним приводом.

Для конвейера с двумя приводами применяется следующий закон изменения давления P_3 в гидроцилиндрах (ГЦ) хвостового ГНУ, обеспечивающий заданный минимальный уровень $S_{\min.3}$ натяжения скребковой цепи:

$$P_3 = P_0, \text{ если } l > 0; \quad (1)$$

$$P_3 = \frac{2(2S_{\min.3} + 10^3 \eta N_X / V)}{\pi d^2}, \quad (2)$$

если $F_X \geq W_{II}$ и $l = 0$;

$$P_3 = \frac{2(2S_{\min.3} + 2W_{II} + 10^3 \eta N_X / V)}{\pi d^2}, \quad (3)$$

если $F_X < W_{II}$ и $l = 0$,

где l — стрела провеса (слабина) тягового органа в характерной точке тягового контура, м;

P_0 — рабочее давление в гидравлической сети, которое подается в ГЦ хвостового ГНУ при провисании ТО, Па;

F_X — тяговое усилие, развиваемое хвостовым приводом, т,

$$F_X = 10^3 \eta N_X / V; \quad (4)$$

W_{II} — сопротивление движению порожняковой ветви,

$$W_{II} = \frac{\pi d^2 (P_X - P_G)}{4} + \frac{10^3 \eta (N_X + N_G)}{2V}; \quad (5)$$

N_G и N_X — мощности, потребляемые головным и хвостовым приводами, кВт;

η — КПД привода;

V — скорость движения скребковой цепи, м/с;

P_G и P_X — давление в гидроцилиндрах ГНУ головного и хвостового приводов, Па;

d — диаметр поршня гидроцилиндра, м.

Для конвейера с одним приводом:

$$W_{II} = \frac{\pi d^2 (P_X - P_G)}{2} + \frac{10^3 \eta N_G}{2V}; \quad (6)$$

$$P_3 = P_0, \text{ если } l > 0; \quad (7)$$

$$P_3 = 4(S_{\min.3} + W_{II}) / \pi d^2, \quad (8)$$

если $W_{II} \geq 0$ и $l = 0$;

$$P_3 = 4S_{\min.3} / \pi d^2, \quad (9)$$

если $W_{II} < 0$ и $l = 0$.

Практическая реализация системы управления возможна на основе микропроцессорной техники. Наиболее удобным является применение одноплатных компьютеров. Систему целесообразно выполнить в виде двух отдельных модулей для управления головным и хвостовым ГНУ. Взаимодействие двух модулей организуется с использованием телекоммуникационной связи.

На рисунке 1 представлен один из возможных вариантов реализации аппаратной части системы в привязке к одноплатным компьютерам типа «Тион-ПРО-270». Используются два одинаковых одноплатных компьютера.

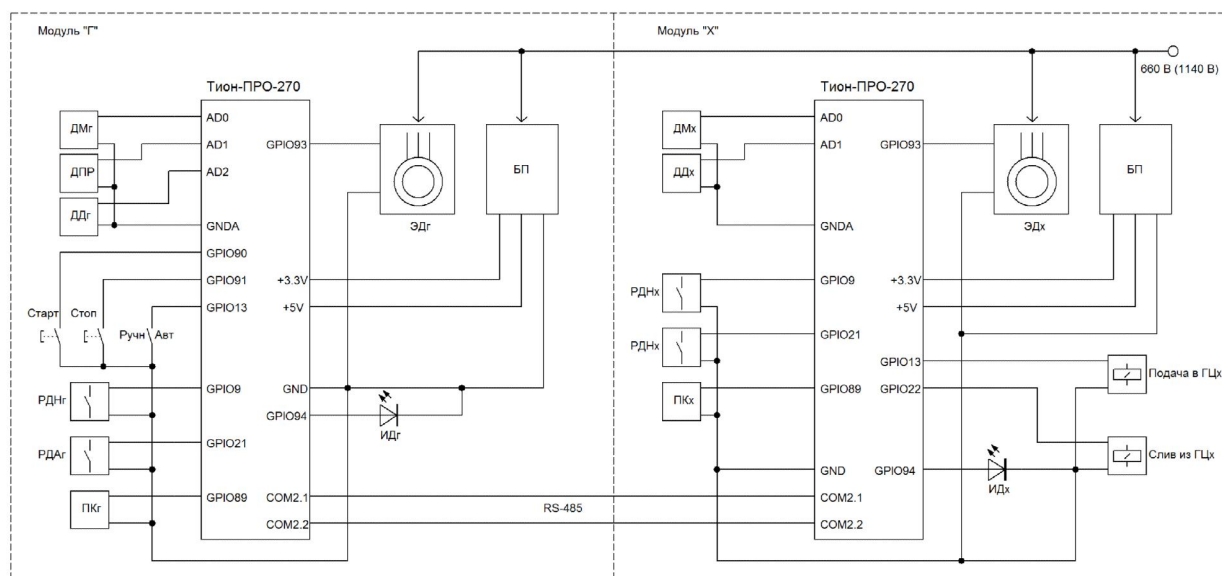


Рисунок 1 Принципиальная схема системы

Первый — для построения модуля управления головным ГНУ (модуль «Г»), второй — для построения модуля управления хвостовым ГНУ (модуль «Х»). Модули связываются между собой каналом последовательной связи RS-485, средства для организации которого предусмотрены в принятой модификации одноплатных компьютеров. Устойчивая связь при таком способе обмена данными возможна при удалении до 1 км, что позволяет размещать управляющие модули вблизи соответствующих ГНУ. В условиях применения большого числа датчиков и исполнительных устройств такой подход позволяет существенно упростить конструкцию управляющего устройства и сократить длину кабельных линий, что благоприятно отражается на помехоустойчивости и надежности системы.

На рисунке 1 используются следующие обозначения:

ДМг, ДМх — датчики мощности привода, соответственно, головного и хвостового ГНУ;

ДПР — датчик провисания ТО;

ДДг, ДДх — датчики давления в ГЦ, соответственно, головного и хвостового ГНУ;

РДНг, РДНх — реле номинального давления в ГЦ, соответственно, головного и хвостового ГНУ;

РДАг, РДАх — реле аварийного давления в ГЦ, соответственно, головного и хвостового ГНУ;

ИДг, ИДх — индикаторы нормального давления в ГЦ, соответственно, головного и хвостового ГНУ;

«Старт» — кнопка для запуска системы управления натяжением ТО;

«Стоп» — кнопка для остановки работы системы;

«Ручн/Авт» — переключатель режимов работы, позволяющий выбрать ручной или автоматический режим управления натяжением ТО;

ПКг, ПКх — предохранительный клапан, соответственно, головного и хвостового ГНУ;

«Подача в ГЦ», «Слив из ГЦ» — электромагниты гидравлического распределителя, выполняющего, соответственно, подачу рабочей жидкости в ГЦ и слив её из ГЦ;

ЭДг, ЭДх — головной и хвостовой электроприводы конвейера;

БП — блок питания микропроцессорного модуля.

Датчики ДМг, ДМх, ДПР, ДДг, ДДх подключены к аналоговым входам соответствующих одноплатных компьютеров. Остальные устройства используют дискретные входы/выходы. Все подключаемые устройства должны быть согласованы по уровням сигналов с портами одноплатного компьютера.

Особенностью данной системы является выполнение всех управляющих функций за счет программного обеспечения. Модули «Г» и «Х» работают параллельно, выполняя общую задачу поддержания натяжения ТО на допустимом уровне. Для обеспечения безопасности работ оба модуля постоянно проверяют сигналы готовности соответствующих ГНУ. Эти сигналы, а также переменные, необходимые для реализации управления ГНУ по формулам (1–9), передаются по последовательному интерфейсу RS-485. Интерфейс работает непрерывно, сигналы передаются по мере поступления информации в соответствующий буфер, организованный в оперативной памяти устройства. Буфера доступны в любой момент времени, что позволяет передавать данные в асинхронном режиме, не связывая их передачу с работой основной программы. Таким образом, создаются условия для циклического выполнения алгоритма от начала до конца за один такт работы, определяемый операционной системой одноплатного компьютера.

Программное обеспечение модуля «Г» строится по алгоритму, представленному на рисунке 2. Здесь в блоках 2–6, 18–21 выполняются типовые функции опроса кнопок «Старт», «Стоп» и переключателя «Ручн/Авт». Информация о режиме работы передается в модуль «Х». В блоках 7–9 выполняется анализ давления в ГЦг и разрешается дальнейшая работа системы. В случае несоответствия давления в ГЦг запрещается работа ЭДг (электродвигатели включаются оператором вручную при наличии разрешения системы).

Блоки 12–14, 25, 26, в зависимости от заданного режима управления натяжением ТО, обеспечивают обмен необходимой информацией с модулем «Х».

В блоках 15–16 выполняется проверка готовности хвостового натяжного устройства и разрешается или запрещается работа ЭДг.

В случае нажатия кнопки «Стоп» будет выполняться блокировка работы всей системы. Для этого в блоке 22 сбрасывается признак «Продолжение работы», который немедленно передается в модуль «Х» блоком 23. Вслед за этим запрещается работа ЭДг (блок 27).

Алгоритм выполняется на каждом такте операционной системы модуля «Г». Частота выполнения определяется параметрами аппаратной части одноплатных компьютеров, настройкой операционной системы и для осуществления функций управления натяжением ТО скребкового конвейера не имеет принципиального значения (может изменяться от единиц Гц до нескольких кГц).

Программное обеспечение модуля «Х» строится по алгоритму, приведенному на рисунке 3. Модуль воспринимает сигнал «Продолжение работы» (блоки 2, 3), поступающий из модуля «Г». Часть алгоритма по распознаванию номинального давления (блоки 4–7) идентична описанной для блока «Г».

В автоматическом режиме, который идентифицируется блоками 9 и 10, выполняется регулирование давления в ГЦ блоком 11 по формулам (1–9).

Обмен с модулем «Г» сигналами готовности с одновременным анализом поступающего сигнала выполняется в блоках 12–14. В зависимости от наличия сигнала «Готовность ГЦг» принимается решение о разрешении или запрещении работы электропривода ЭДх и возврате системы в исходное состояние (блоки 14, 15, 19).

Подпрограмма автоматического регулирования ГЦх приведена на рисунке 4. Блок 3 делит алгоритм на две ветви: для конвейера с одним приводом и для конвейера с двумя приводами. Блоки 4, 6–10 реализуют регулирование давления в ГЦх по формулам (1–5), блоки 5, 11–15 — по формулам (6–9).

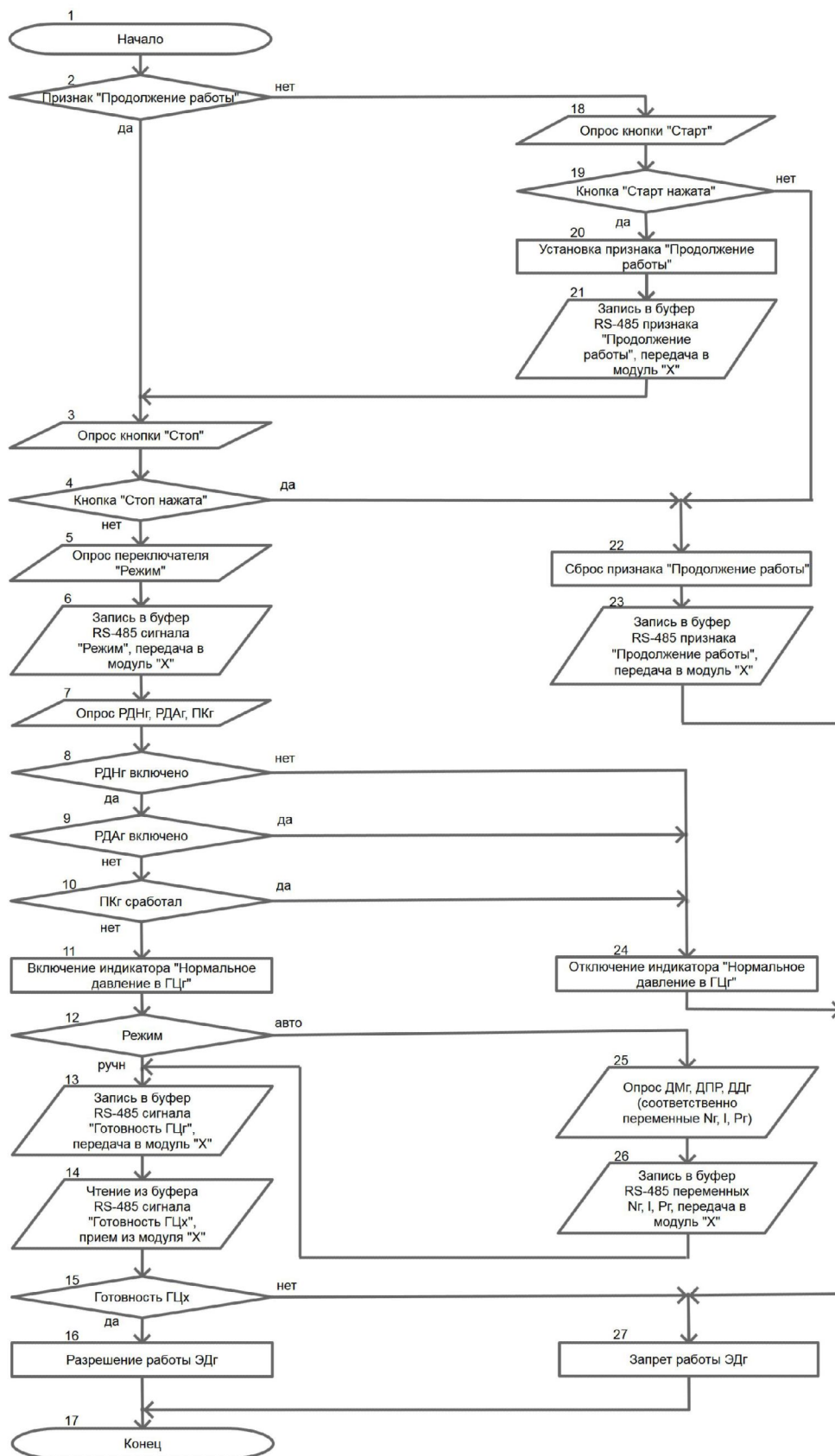


Рисунок 2 Алгоритм функционирования модуля «Г»

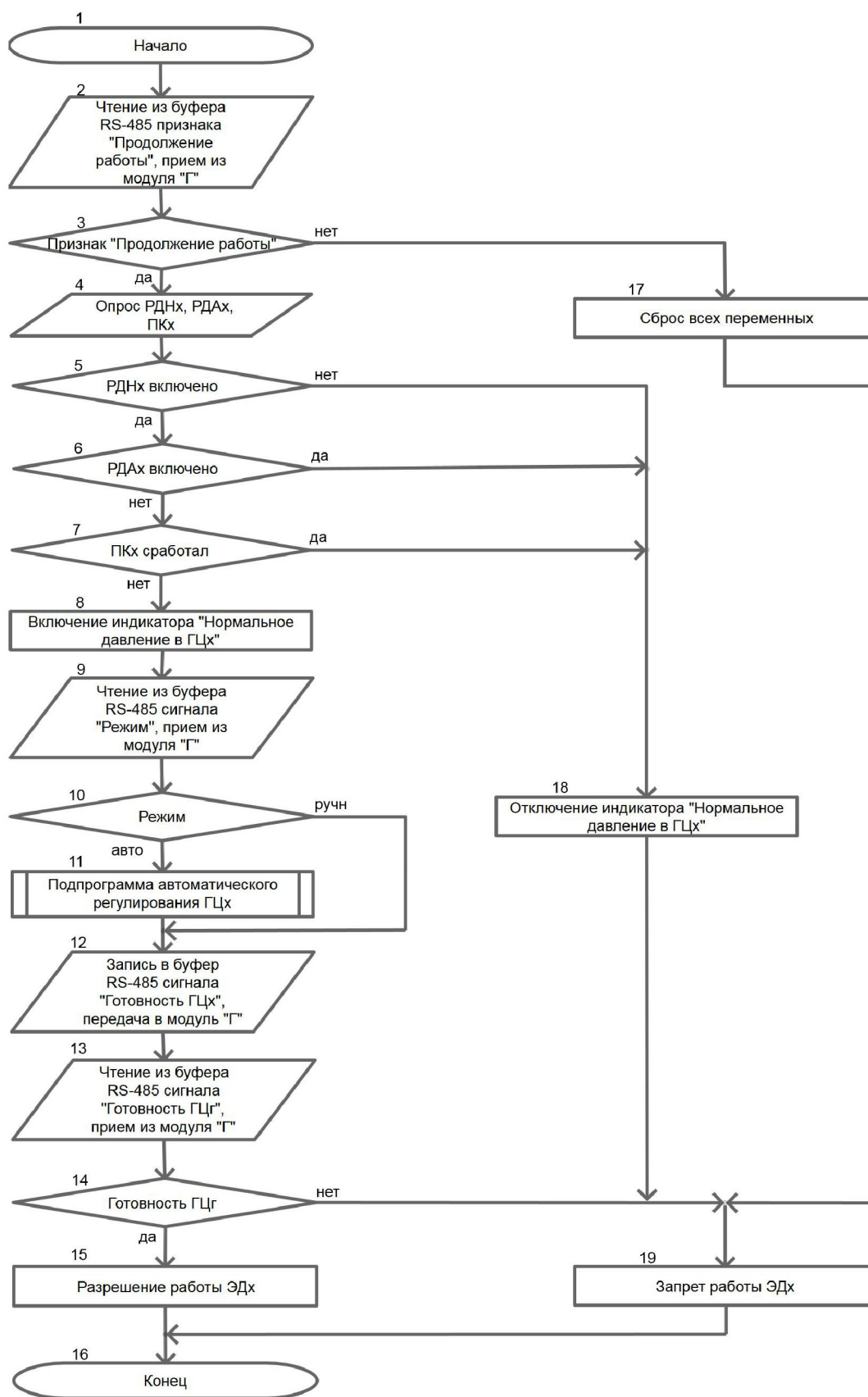


Рисунок 3 Алгоритм функционирования модуля «Х»

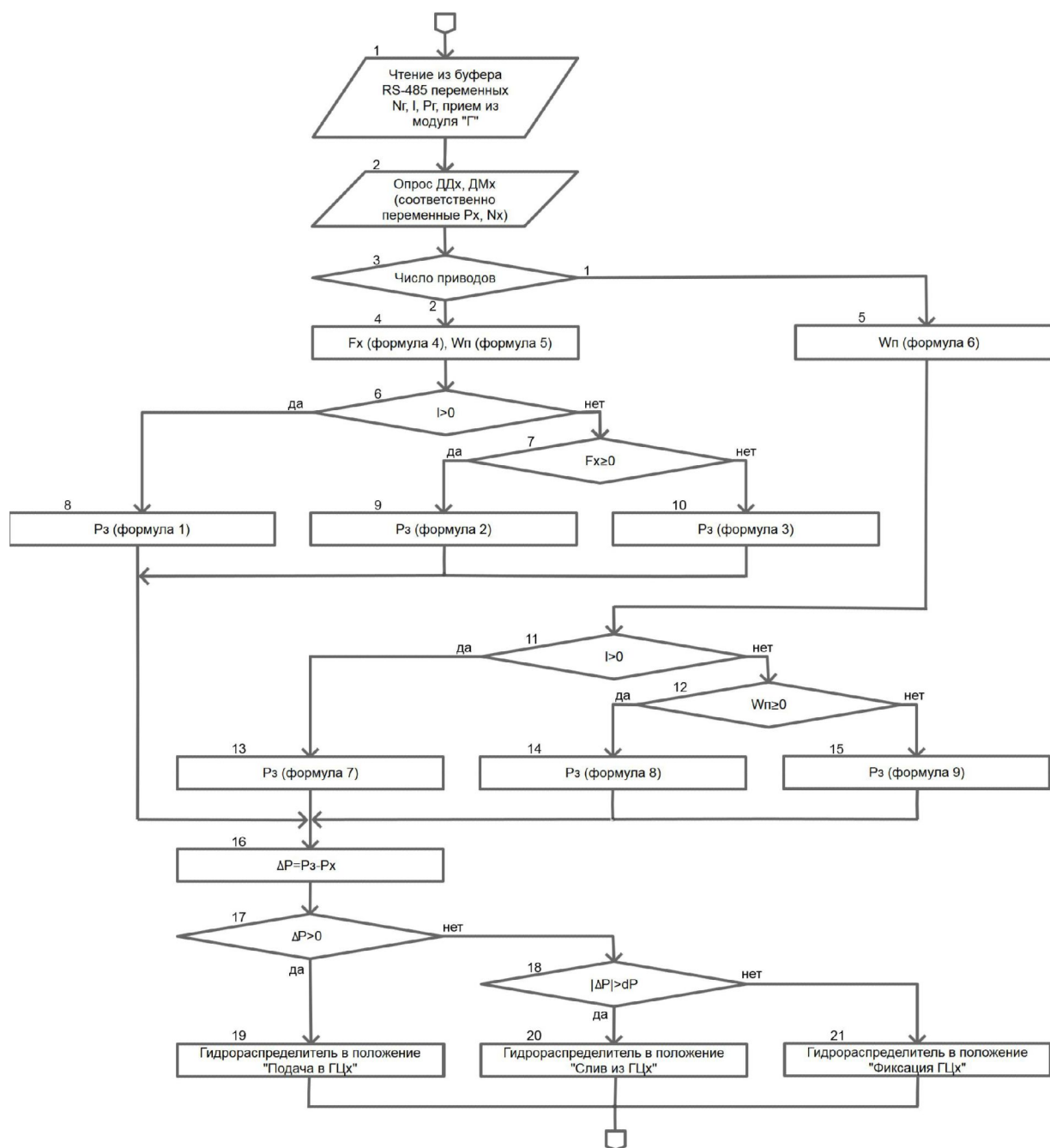


Рисунок 4 Подпрограмма автоматического регулирования ГЦх

В блоке 16 вычисляется рассогласование ΔP , в зависимости от которого в блоке 17 принимается решение о подаче напряжения на нужный электромагнит гидрораспределителя, осуществляющего управление давлением в ГЦ хвостовой ГНУ. Блок 18 определяет зону нечувствительности dP для переключения гидрораспределителя, что обеспечивает фиксацию

положения хвостовой ГНУ при незначительных колебаниях натяжения ТО.

Выводы и направление дальнейших исследований. Разработана принципиальная схема САУ ГНУ, построенной на основе одноплатных компьютеров и обеспечивающей адаптивное регулирование натяжения тягового органа, а также защиту конвейера от перегрузок в аварийных режимах работы.

Библиографический список

1. Вихерс, К. П. Автоматическое регулирование предварительного натяжения цепей скребковых конвейеров и струговых установок [Текст] / К. П. Вихерс // Глюкауф. — 1986. — № 13. — С. 39–42.
2. Корнеев, С. В. Оценка эффективности регулирования натяжения цепей забойного скребкового конвейера по фактору износной долговечности [Текст] / С. В. Корнеев, В. Ю. Доброногова, В. П. Долгих // Горное оборудование и электромеханика. — 2016. — № 4. — С. 28–35.
3. Корнеев, С. В. Моделивання статичних навантажень вібійних скребкових конвеєрів [Текст] / С. В. Корнеев, В. Ю. Доброногова, В. П. Долгих // Міжнар. зб. наук. праць: «Прогресивні технології і системи машинобудування». — Донецьк : ДонНТУ, 2014. — Вип. 3(49). — С. 93–100.
4. Корнеев, С. В. Оперативная защита от перегрузок забойных скребковых конвейеров с электромеханическим приводом [Текст] / С. В. Корнеев, В. Ю. Доброногова, В. П. Долгих // Изв. вузов.: Горн. журнал. — 2016. — № 5. — С. 69–75.
5. Корнеев, С. В. Ударные нагрузки в тяговом органе забойных скребковых конвейеров с гидродинамическим приводом [Текст] / С. В. Корнеев, В. И. Сафонов, В. Ю. Доброногова // Уголь Украины. — 2012. — № 12. — С. 16–19.
6. Корнеев, С. В. Адаптивное управление натяжением забойных скребковых конвейеров [Текст] / С. В. Корнеев, В. А. Зотов, В. Ю. Доброногова // Горное оборудование и электромеханика. — 2016. — № 3. — С. 14–18.

© Корнеев С. В.

© Зотов В. А.

© Доброногова В. Ю.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав каф. СГ ДонГТУ Литвинским Г. Г., к.т.н., доц. СУНИГОТ Петровым А. Г.

Статья поступила в редакцию 10.01.17.

**д.т.н. Корнеев С. В., к.т.н. Зотов В. О., Доброногова В. Ю. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)
ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ НАТЯЖНИМ ПРИБРОМ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА**

Розроблені принципи побудови системи адаптивного управління натяжним пристроєм вібійного скребкового конвеєра на основі одноплатних комп'ютерів. Надано алгоритм роботи системи.

Ключові слова: скребковий конвеєр, гідравлічний натяжний пристрій, адаптивне управління, одноплатний комп'ютер.

**Dr.Tech.Sci. Korneiev S. V., PhD Zotov V. A., Dobronogova V. Yu. (DonSTU, Alchevsk, LPR)
DESIGN PRINCIPLES FOR HYDRAULIC TIGHTENER AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF DRAG BAR CONVEYOR**

Design principles for hydraulic tightener adaptive control system of drag bar conveyor have been designed on the basis of single board computers. Algorithm of system operation is given.

Key words: drag bar conveyor, hydraulic tightener, adaptive control, single board computer.