

В.Б. Малеев /д.т.н./, Н.И. Скорынин /к.т.н./, А.А. Кудрявцев
 ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАПУСКОМ И ОСТАНОВОМ ЭРЛИФТНОГО ГИДРОПОДЪЕМА

Разработаны алгоритмы запуска и останова глубоководного эрлифта с учетом отклонения текущих значений расхода гидросмеси и концентрации твердого от заданных значений.

Ключевые слова: гидросмесь, эрлифтный гидроподъем, сжатый воздух, смеситель.

Постановка проблемы

Эрлифтный гидроподъем в технологическом процессе добычи полезных ископаемых со дна водоемов и очистки шахтных водоотливных емкостей от осевшего шлама и твердых частиц представляет собой сложный объект управления и контроля, характеризующийся следующими особенностями: широким спектром возмущений; распределенностью и удаленностью точек контроля и узлов управления от пульта управления; неконтролируемостью ряда факторов и большими запаздываниями в каналах измерения и управления.

При этом следует отметить, что управление эрлифтной установкой по подъему гидросмеси в основном определяется путем изменения подачи сжатого воздуха в смеситель, что в значительной мере определяет режимы запуска и останова эрлифта. Поэтому управление процессами запуска в работу эрлифтной установки и ее останова является актуальным.

Анализ последних исследований и публикаций

В работах [1...3] показано, что критерием управления запуском эрлифта в работу является минимум времени запуска Δt_3^{\min} при допустимых значениях контролируемых расходов воздуха в смеситель эрлифтной установки. Штатный останов производится путем уменьшения задания на расход воздуха, аварийный останов системы эрлифтного гидроподъема осуществляется путем открытия продувочного клапана и останова компрессорной станции.

При этом на основании выходной информации эрлифта не разработаны алгоритмы управления пуском и остановом гидравлического подъема, работающего совместно с компрессором [4...6].

Цель (задачи) исследования

Цель настоящей работы – на основании критериев управления запуском в работу и останов-

кой эрлифта получить соответствующие алгоритмы автоматизированного управления этими процессами.

Основной материал исследования

Входная информация подсистемы автоматизированного управления технологическим процессом эрлифтного гидроподъема железомарганцевых конкреций (ЖМК), необходимая для решения рассматриваемых задач, включает переменную и условно-постоянную информацию. Последняя содержит постоянные и настроечные параметры системы управления, а переменная – параметры, поступающие от датчиков.

Переменная входная информация рассматриваемого комплекса задач определяет: объемный расход воздуха в смеситель эрлифта $Q_в$ и его давление на входе в смеситель $P_{см}$; мощность, потребляемую компрессорной станцией, $N_к$; объемный расход гидросмеси в транспортном трубопроводе $Q_{сТр}$; плотность гидросмеси в контрольных точках транспортного трубопровода $\rho_{сТр}$; расход твердого на выходе дозатора $Q_{Тдз}$; задание на расход гидросмеси $Q_{сз}$; задание концентрации $S_з$.

По используемой условно-постоянной информации оператор-технолог определяет значения соответствующих параметров: максимальная подача воздуха компрессорной станцией $Q_к^{\max}$; максимальный расход гидросмеси в транспортном трубопроводе $Q_{сТр}^{\max}$; максимальная мощность привода компрессорной станции $N_к^{\max}$; допустимая разность давлений внешней среды и внутри воздухопровода ΔP ; диаметр транспортного трубопровода $d_{Тр}$; плотность твердых частиц $\rho_т$; плотность морской воды $\rho_в$; средне-взвешенный размер частиц твердого $d_т$; длина подводящей трубы эрлифта $l_{Тр}$; глубина погружения смесителя h ; высота подъема гидросмеси над уровнем моря H_n ; длина трубопровода L ; допустимое отклонение мощности компрессорной станции от оптимального режима $\Delta N_о$; началь-

ный шаг поиска оптимального режима по концентрации (1...1,5) %; шаг дискретизации задания объемного расхода гидросмеси по уровню 0...200 м³/мин; шаг дискретизации задания объемного расхода воздуха по времени 0...10 с; максимальное время переходного процесса по расходу воздуха в смеситель $\Delta t_{\epsilon}^{\max} = 5...30$ с; максимальное время переходного процесса по расходу гидросмеси в транспортном трубопроводе $\Delta t_{\epsilon c}^{\max} = 50...250$ с; допустимое отклонение расхода гидросмеси от задания $\Delta Q_{\epsilon c}$.

Ввиду того, что предусмотрен контроль значений плотности гидросмеси в ряде точек транспортного (подъемного) трубопровода, а не концентрации, то при решении рассмотренных задач управления значения концентрации твердых полезных ископаемых в гидросмеси в этих точках:

$$S_i = \frac{\rho_i - \rho_{\epsilon}}{\rho_T - \rho_{\epsilon}}, \quad (1)$$

где S_i , ρ_i – соответственно значения concentra-

ции и плотности гидросмеси в i -й контрольной точке транспортного трубопровода.

Алгоритм управления запуском эрлифта приведен на рис. 1. Процесс запуска начинается вводом условно-постоянной информации (УПИ), включающей значения заданного и допустимого перепадов давления в смесителе, конструктивные параметры воздухопровода, физико-механические характеристики компонентов гидросмеси, геометрическое погружение смесителя и т.д. (символы 1, 2). В символах 3, 4 вводится значение заданной производительности системы подъема ЖМК, Q_{mT3} , и рассчитывается значение $Q_{\epsilon ckp}$ критического расхода гидросмеси в подающем трубопроводе. При этом учитывается расчетное значение концентрации ЖМК, S , соответствующее значению Q_{mT3} :

$$S = \frac{Q_{mT3}}{Q_{\epsilon c} \cdot \rho_T}, \quad (2)$$

где $Q_{\epsilon c}$ – расход гидросмеси.

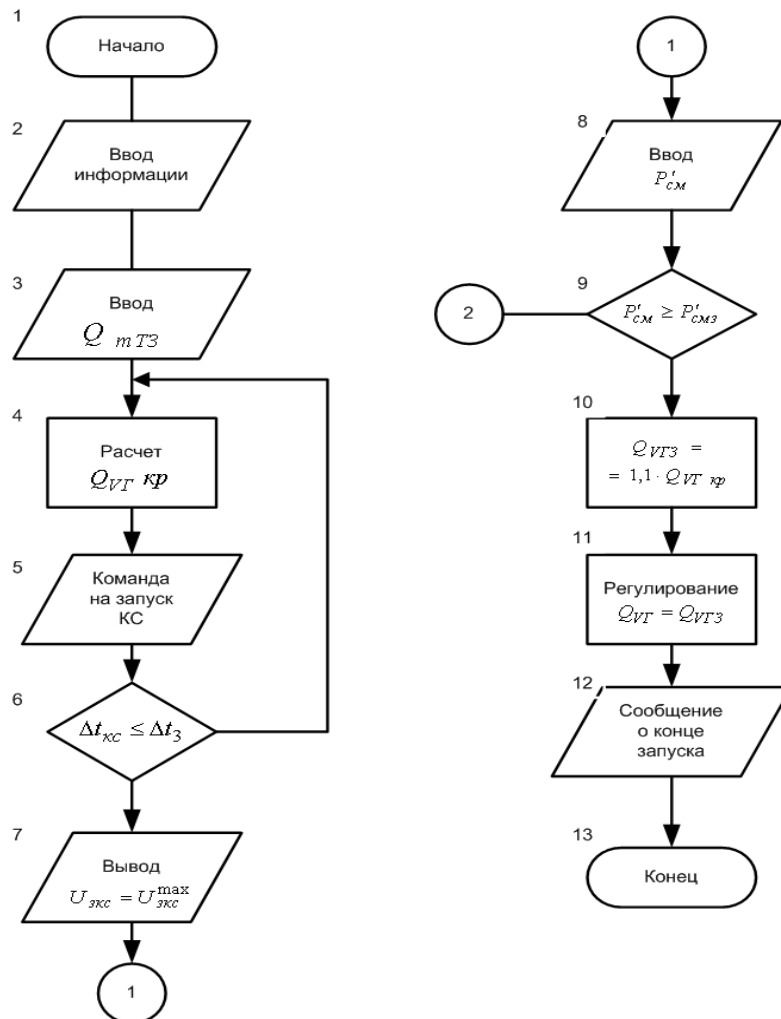


Рис. 1. Алгоритм автоматизированного управления запуском эрлифтного гидроподъема

Далее, в течение времени $\Delta t_{зз}$ (заданного в УПИ) происходит запуск компрессорной станции (символы 5, 6), а затем на привод компрессорной станции выводится максимально допустимое задание на расход сжатого воздуха $u_{кзз}^{max}$ (символ 7). При этом контролируется значение перепада давления в смесителе по отношению к наружной воде $P'_{см}$ (символы 8, 9).

При условии $P'_{см} \geq P'_{смз}$ ($P'_{смз}$ – давление, соответствующее геометрическому погружению смесителя с учетом столба воды, вытесненного из воздухопровода в подъемный став, завершается вытеснение воды из воздухопровода и начинается «трогание» эрлифта, а на компрессорную станцию выдается задание на расход воздуха, соответствующего расчетному надкритическому расходу гидросмеси в подающем трубопроводе (символы 10, 11) $Q_{зс}=1,15Q_{зс кр}$. Запуск эрлифта на воде завершается, о чем сообщается оператору (символы 12, 13).

щается оператору (символы 12, 13).

Алгоритм автоматизированного управления остановом эрлифтного гидроподъема приведен на рис. 2. Вначале производится ввод УПИ (символы 1, 2) и анализируется признак останова (символ 3). При штатном останове выводится команда на отключение привода дозатора (если он был включен) (символ 4) и производится регулирование расхода воздуха до достижения минимального надкритического расхода гидросмеси $Q_{зс}=1,15Q_{зс кр}$ (символ 5).

Этот расход поддерживается до тех пор, пока средняя плотность гидросмеси на входе транспортного трубопровода $\bar{\rho}_{зс ТТ ввх}$ не будет равна плотности воды $\rho_в$ в течение заданного интервала времени $\Delta t_з$, соответствующего длительности освобождения трубопровода от твердого полезного ископаемого (анализ этих условий – в символах 6, 7).

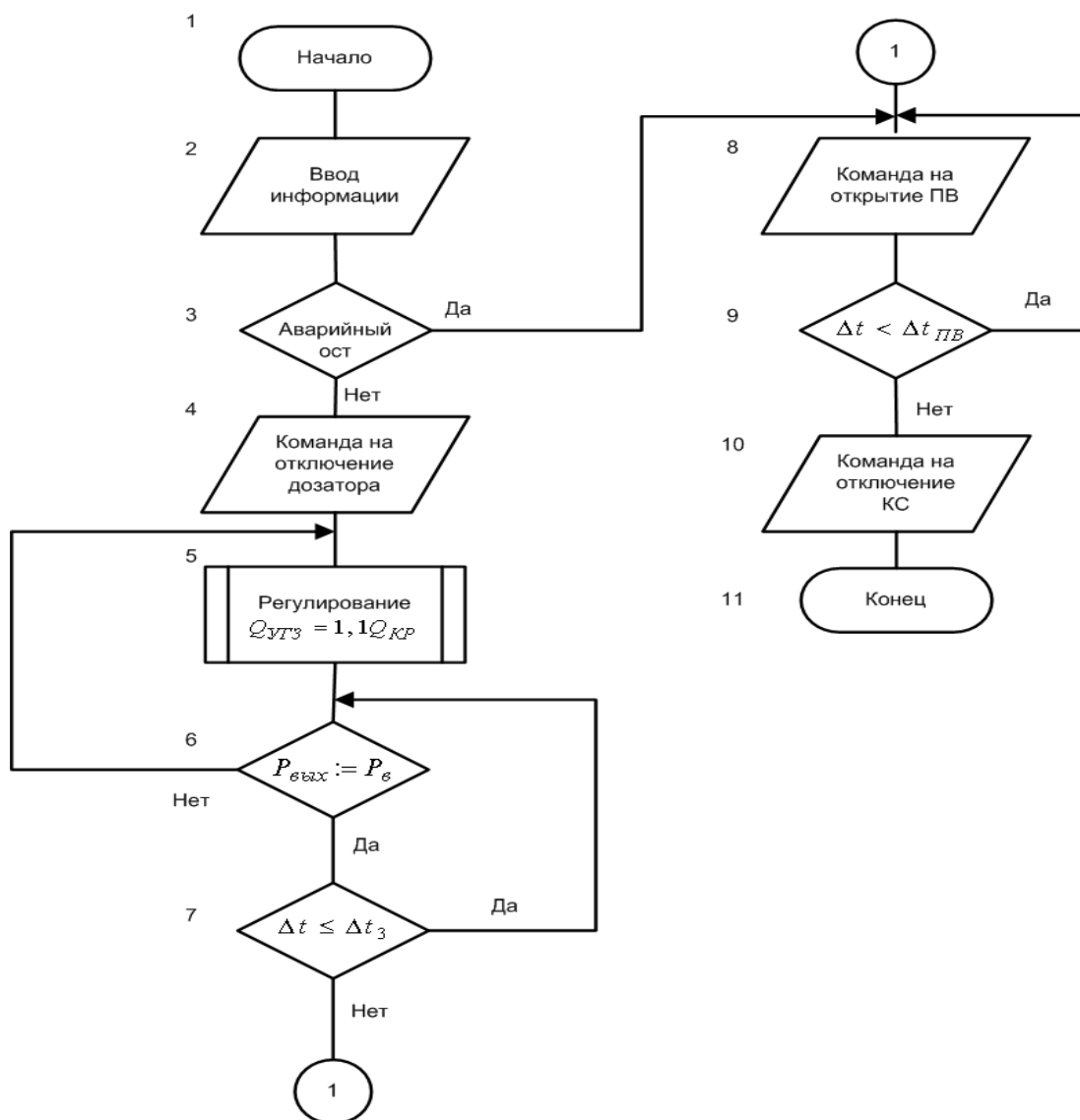


Рис. 2. Алгоритм автоматизированного управления остановом эрлифтного гидроподъема

Затем в течение заданного времени Δt_{ov} открывается продувочный вентиль (символы 8, 9) и выдается команда на отключение компрессорной станции (символы 10, 11).

При аварийном останове эрлифта после анализа в символе 3 выполняются символы (8...11).

Алгоритм автоматического регулирования расхода воздуха в смеситель представлен на рис. 3.

В символах 1, 2 производится ввод переменной информации и условно-постоянной информации. Затем в символе 3 определяется разность ΔP давлений внешней среды и внутри воздухопровода на входе в смеситель:

$$\Delta P = P_{cm} - P_{cm}, \quad (3)$$

где P_{cm} – гидростатическое давление внешней среды в точке подвода воздуха в смеситель; P_{cm} – давление в воздухопроводе на входе в смеситель.

Величина ΔP анализируется в символах 4, 5. Если разность давлений меньше допустимого давления ΔP_0 на стенку воздухопровода, то производится переход на символ 12, иначе – на символ 5.

При $\Delta P > \Delta P_0$ в символе 7 производится сравнение заданного расхода воздуха $Q_{всз}$ в смеситель с граничным $Q_{вн}$ и, если он больше, осуществляется переход на символ 8, иначе – на символ 13.

В символе 8 анализируется режим ограничения расхода воздуха по давлению на стенку воздухопровода ($K_p=0$ – ограничение отсутствует), заданию на расход воздуха $Q_{всз}$ присваивается граничное значение $Q_{вн}$ (символ 9), устанавливается признак ограничения по расходу $K_p=1$ (символ 10) и выдается сообщение оператору об ограничении расхода воздуха давлением на стенку воздухопровода (символ 11). При выходе из ограничения восстанавливается прежнее задание $Q_{всз}$ и сбрасывается ограничение $K_p=0$ (символ 12).

При равенстве $\Delta P = \Delta P_0$ запоминается расход воздуха на входе в смеситель, при которых в данных условиях обеспечивается допустимое давление на стенку воздухопровода $Q_{вн} = 0,9 Q_{вс}$ (символ 6).

Далее производится контроль мощности, потребляемой приводом компрессорной станции.

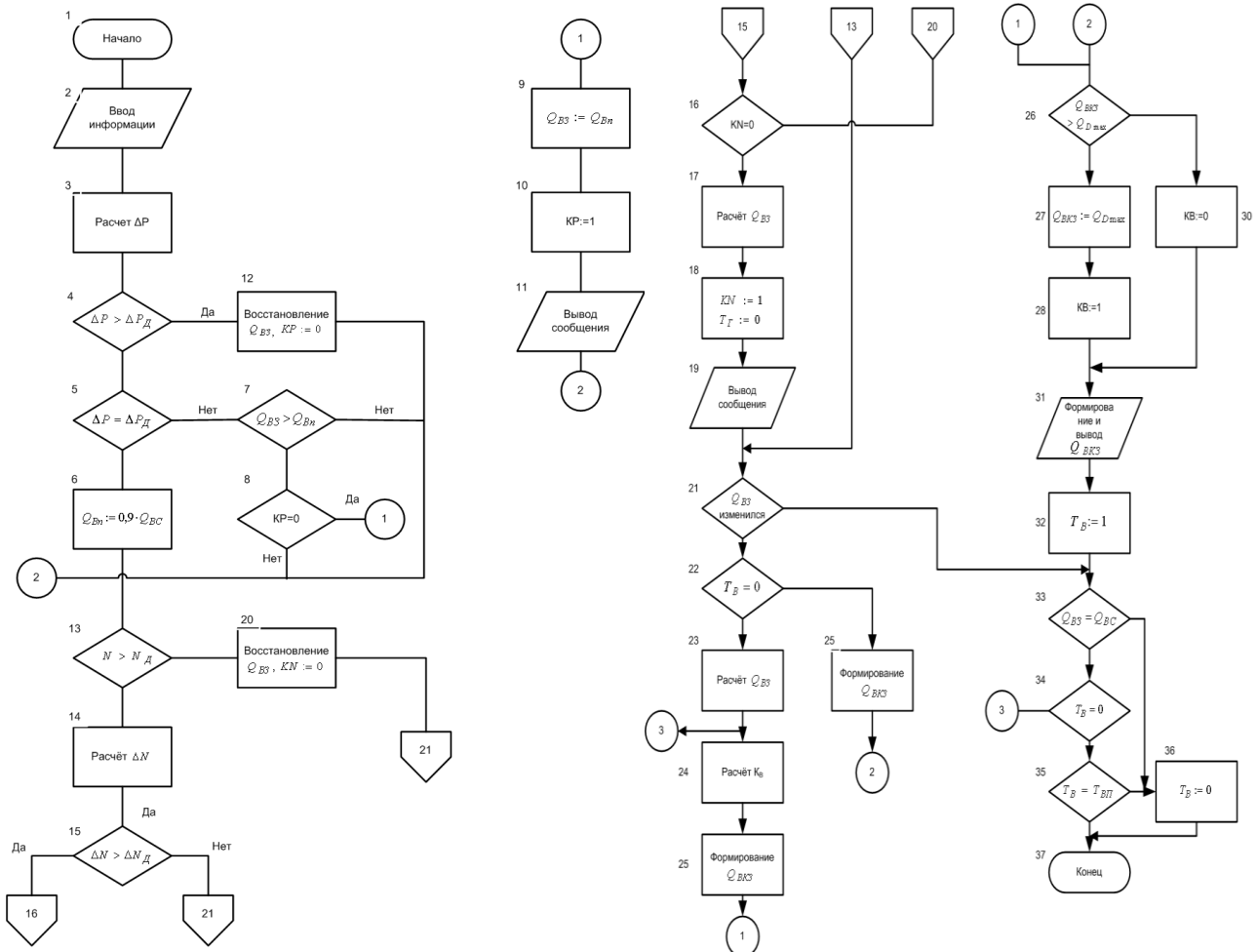


Рис. 3. Алгоритм регулирования расхода воздуха в смеситель эрлифтной установки

Если текущее значение мощности, потребляемой приводом компрессорной станции, больше максимально допустимого: $N > N_o^{\max}$, то определяется перегрузка $\Delta N = N - N_o^{\max}$ привода компрессорной станции (символ 14), т.е. сбрасывается признак ограничения по мощности $K_N=0$ и восстанавливается прежнее задание (символ 20).

В символе 15 анализируется значение перегрузки привода компрессорной станции. Если перегрузка больше допустимой: $\Delta N > N_o$, то осуществляется переход на символ 16, иначе – на символ 21. Если на предыдущем цикле был установлен признак ограничения по мощности $K_N=1$ (анализ в символе 15), то осуществляется переход на символ 21, иначе – на символ 17.

Корректировка задания воздуха в смеситель осуществляется по расходу на предыдущем шаге $[Q_{всз}]$ в соответствии с выражением $Q_{всз} = [Q_{всз}] \cdot N_o / N$. В символе 18 устанавливается признак ограничений по мощности $K_N=1$ и признак ($T_{2c}=0$) начала переходного процесса по расходу гидросмеси. В символе 19 формируется сообщение оператору о превышении допустимой мощности, потребляемой приводом компрессорной станции, а в символе 21 производится анализ задания на расход воздуха в смеситель. Если по сравнению с предыдущим циклом задание изменилось и переходный процесс по расходу воздуха закончится $T_g=0$ (символ 22), то производится расчет отключения расхода воздуха в смеситель от заданного $\Delta Q_{вс} = Q_{всз} - Q_{вс}$ (символ 23). Если задание не изменилось, осуществляется переход на символ 33. В случае, если переходный процесс по предыдущему возмущению не закончен $T_g \neq 0$ (символ 22), осуществляется переход на символ 29.

В символе 24 производится расчет передаточного коэффициента в воздухопроводе как отношение расхода воздуха на выходе компрессорной станции (на входе воздухопровода эрлифтной установки) $Q_{вк}$ к расходу воздуха в смеситель $Q_{вс}$ ($K_g = Q_{вк} / Q_{вс}$). В символе 25 формируется задание на расход воздуха компрессорной станции:

$$Q_{вкз} = [Q_{вкз}] + K_g \cdot \Delta Q_{вс} \quad (4)$$

Параметр в квадратных скобках относится к предыдущему циклу решения задачи. Если в символе 25 при сравнении $Q_{всз}$ с максимально допустимым Q_g^{\max} наблюдается $Q_{вкз} \leq Q_g^{\max}$, то сбрасывается признак ограничения по воздуху ($K_g=0$, символ 30). Таким образом, в символе 27 заданию на расход компрессорной станции при-

сваивается максимально допустимое значение. В символе 28 устанавливается признак $K_g=1$ ограничения по расходу воздуха компрессорной станции. В символе 29 формируется задание на расход воздуха $Q_{вкз} = K_g \cdot Q_{вс}$. В символе 31 осуществляется вывод задания $Q_{вкз}$ на компрессорную станцию. В символе 32 устанавливается признак $T_g=1$ начала переходного процесса по расходу воздуха. В символе 33 сравнивается текущий расход воздуха в смеситель с заданным и при их равенстве сбрасывается признак $T_g=0$, иначе в символе 34 осуществляется анализ завершения переходного процесса. Если последний закончен $T_g=0$, то формируется новое управляющее воздействие (символ 23), т.е. производится контроль времени переходного процесса: если $T_g = T_g^{\max}$, сбрасывается признак $T_g=0$ и задача завершается (символы 35...37). Здесь T_g^{\max} – максимальное время переходного процесса.

Алгоритм оптимального управления режимом гидравлического подъема приведен на рис. 4.

В символах 1, 2 производится начало решения задачи и вводится необходимая входная информация.

Определяется оптимальное значение концентрации $S_{онм}$ по заданному расходу $Q_{мз}$ и среднему размеру твердой фазы в d_T (символ 3). Затем производится анализ признака P (символ 4). Если $P=0$, т.е. требуется вывод системы гидроподъема на режим близкий к оптимальному в соответствии с расчетом, то осуществляется переход на символ 6, если $P=1$ – на символ 13 для продолжения поиска оптимального режима.

В символе 5 устанавливаются признаки: $P=1$ – начало регулирования концентрации по $S_{онм}$. Если $i=0$ – поиск минимума энергозатрат не производился (нулевой шаг), признак энергозатрат на подъём твёрдого $\tau=0$ – минимум энергозатрат не найден. Заданию на концентрацию гидросмеси S_3 присваивается расчетное значение и записывается в массив заданий (символ 6).

Контроль переходного процесса по регулированию концентрации осуществляется в символах 7...10. Переходный процесс считается законченным, если путь движения твердой фазы в подающем трубопроводе станет равным или больше длины L трубного става, или если концентрация в трубном става по всей длине будет одинакова $S_1=S_2$. В нашем случае S_1 – это концентрация твердого в подающем трубопроводе после питателя-дозатора, а S_2 – концентрация на выходе транспортного трубопровода. Длина пути l определяется через скорость движения твердых частиц в трубопроводе V_T .

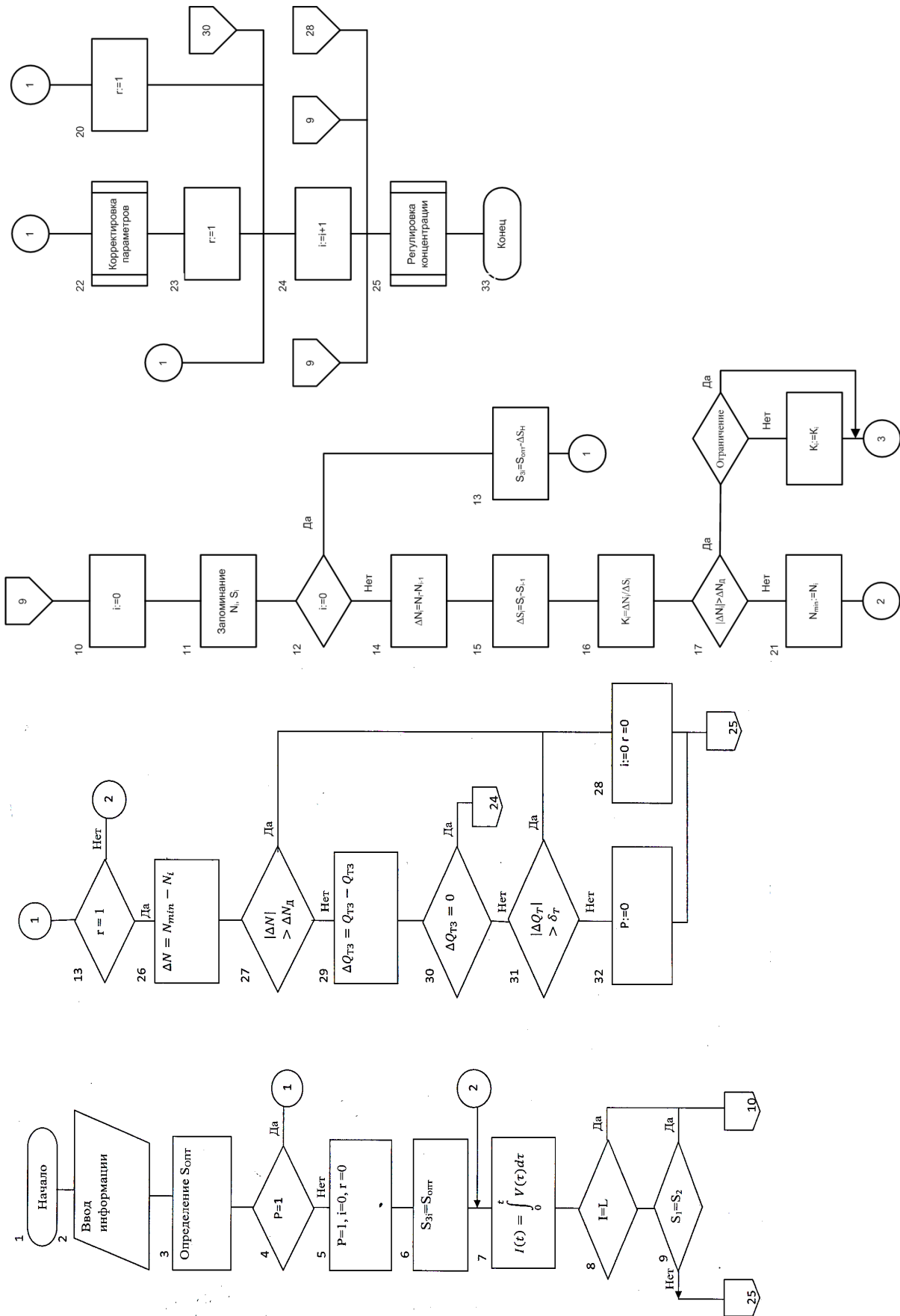


Рис. 4. Алгоритм оптимального управления режимом гидроподъема

Если переходный процесс закончен, производится переход на символ 11, если нет – на символ 25. В символе 13 при ненахождении минимума энергозатрат ($\tau=0$) выполняется переход на символ 9, если найден ($\tau=1$) – на символ 30. Запоминается текущее значение мощности N , потребляемой компрессорной станцией, и среднее значение концентрации S на длине трубопровода на i -ом шаге (символ 11). Если $i=0$ (поиск минимума не производится) (символ 12), осуществляется первый шаг поиска путем изменения задания на концентрацию S_{i3} в символе 13. Если $i \neq 0$ – переход на символ 14. Начальный шаг поиска по концентрации – ΔS_{i1} .

Рассчитывается приращение мощности ΔN между двумя соседними шагами поиска (символ 14). В символе 15 рассчитывается изменение средней концентрации между двумя соседними шагами поиска и определяется коэффициент K (символ 16), характеризующий скорость изменения мощности от изменения концентрации на текущем шаге поиска. Анализ приращения мощности ΔN производится в символе 17. Если $|\Delta N_i| > \Delta N_0$ (где ΔN_0 – заданное допустимое приращение мощности), то производится проверка ограничения по расходу гидросмеси (символ 18) и, при его наличии, меняется знак коэффициента K (символ 19), а при отсутствии – выполняется расчет задания на концентрацию S_{i3} (символ 20). Если $|\Delta N_i| \leq \Delta N_0$ – производится переход на символ 21, в котором текущее значение мощности запоминается как некоторое минимальное N^{\min} , соответствующее оптимальному режиму. Производится корректировка массива оптимальных параметров для установки (символ 22). В число корректируемых параметров входят: средняя по длине подающего трубопровода концентрация S_{i3} , расход твердого на входе в трубопровод и средний размер частиц твердой фазы. Устанавливается признак $\tau=1$ работы на оптимальном режиме (символ 23) и модифицируется шаг поиска (символ 24). Выполняется задача регулирования концентрации в соответствии с заданием (символ 25) и производится расчет приращения текущего значения мощности по отношению к N^{\min} (символ 26). Анализ приращения мощности происходит в символе 27. Если $|\Delta N| > \Delta N_0$, то устанавливается признак $i=0$ первого шага поиска и признак $\tau=0$ поиска нового минимума мощности (символ 28). Если $|\Delta N| \leq \Delta N_0$ – производится переход на символ 22. Здесь производится

анализ задания Q_{m3} на расход твердой фазы (символы 29...32). Если Q_{m3} изменилось и его приращение по отношению к предыдущему шагу поиска больше заданного δ_T , устанавливается признак $P=0$ регулирования концентрации по расчетному, близкому к оптимальному, значению, а если нет – переход на символ 28. В символе 33 завершается шаг решения задачи.

Выводы

Показано, что при пуске эрлифта в работу и выходе его на рабочий режим подача компрессорной станции уменьшается до расчетного значения за счет автоматизированной системы управления компрессорами.

Штатный останов эрлифта производится путем уменьшения задания на расход сжатого воздуха и последующего управления положением продувочного вентиля до заполнения водой воздухопровода.

Список литературы

1. Малеев, В.Б. Характеристика задач управления глубоководным эрлифтным гидроподъемом полезных ископаемых / В.Б. Малеев, А.А. Кудрявцев // Сборник научных трудов ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ». – 2018. – №12 (55). – С. 71-76.
2. Малеев, В.Б. Автоматическое регулирование концентрации гидросмеси в подъемной трубе эрлифта / В.Б. Малеев, Н.И. Скорынин, А.А. Кудрявцев // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2019. – №2(16). – С. 46-52.
3. Работа компрессора на эрлифтный гидроподъем при осушении скважин и стволов / В.Б. Малеев [и др.] // Научные труды ДонНТУ. Серия горно-геологическая. – 2016. – №2(25). – С. 24-34.
4. Wakton, W.H. Aerodynamic Capture of Particles / W.H. Wakton, A. Woolcock. – N.Y.: Pergamon, 1960. – 129 p.
5. Soo, S.L. Fluid Dynamics of Multiphase System // Proceedings of Symposium on Interaction between Fluids and Particles, London, 1962. – London: Ins. of Chem. Eng., 1962. – P. 50.
6. Peskin, R.L. Particle-Particle and Particle-Fluid Interactions in Two-Phase Turbulent Flow // Conference Proceedings of Heat Transfer and Fluid Mechanics Institute, Stanford U.P., Stanford, Calif., 1960. – P. 114-121.

V.B. Maleyev /Dr. Sci. (Eng.)/, N.I. Skorynin /Cand. Sci. (Eng.)/, A.A. Kudryavtsev
Donetsk National Technical University (Donetsk)

AUTOMATED CONTROL ALGORITHMS OF STARTING AND STOPPING THE HYDRAULIC AIRLIFT

ВЕСТНИК ДОНЕЦКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Background. The paper presents a new solution for automated control of starting and stopping of hydraulic airlift, which is a complex object of management and control, characterised by the following features: a wide range of disturbances; distribution and remoteness of control points and control units from the control panel; uncontrollability of some factors and significant delays in the measurement and control channels. It should be noted that the control of the airlift installation for lifting the hydraulic mixture is mainly determined by changing the supply of compressed air to the mixer, which largely determines the modes of starting and stopping the airlift.

Materials and/or methods. The input information of the subsystem of automated process control of iron-manganese concretions hydraulic airlift required for the solution of the problems under consideration includes a variable and conditionally constant information. The latter contains the constant and tuning parameters of the control system, and the variable – the parameters coming from the sensors. The variable inputs of the considered set of tasks define: the volume flow of air into the airlift mixer and its pressure at the inlet to the mixer; power consumed by the compressor station; the volume flow of slurry in the transport pipeline; the density of slurry at the control points of the transport pipeline; solid flow at the outlet of the dispenser; setting the flow rate of slurry; setting the concentration. The start-up process begins with the input of the conditional-constant information (UPI), which includes values and permissible differential pressures in the mixer, design parameters of air, physicomechanical characteristics of a component of the slurry, geometrical immersion mixer, etc. The value of the specified capacity of the nodule lifting system entered and the critical flow rate of the slurry in the feed pipe calculated.

Results. The start-up process begins with the input of conditionally constant information, which includes the values and permissible pressure drops in the mixer, the design parameters of the air, the physical and mechanical characteristics of the slurry, the geometric parameters of the submersible mixer, etc.

Conclusion. The regular stop of the airlift is made by reducing the task for the consumption of compressed air and then controlling the position of the purge valve before filling the air pipeline with water.

Keywords: hydraulic mixture, hydraulic airlift, compressed air, mixer.

Сведения об авторах

В.Б. Малеев

SPIN-код: 7651-9977
Телефон: +380 (71) 321-97-68
Эл. почта: teormeh@fimm.donntu.org

Н.И. Скорынин

SPIN-код: 1869-5382
Телефон: +380 (71) 330-18-85
Эл. почта: teormeh@fimm.donntu.org

А.А. Кудрявцев

SPIN-код: 5524-4958
Телефон: +380 (71) 302-85-39
Эл. почта: tmech_kaa@mail.ru

Статья поступила 25.04.2019 г.

© В.Б. Малеев, Н.И. Скорынин, А.А. Кудрявцев, 2019

Рецензент д.т.н., проф. А.П. Кононенко

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ

ВИБРАЦИЯ МАШИН: ИЗМЕРЕНИЕ, СНИЖЕНИЕ, ЗАЩИТА



vibro.donntu.org