УДК 65.011.56

**С.И. Сташков, А.А. Карелина**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

# РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОГРАММНО-ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ С ОСНОВНОЙ НА РЕЗЕРВНУЮ ЛИНИЮ ПОДАЧИ ИЗВЕСТКОВОГО МОЛОКА В АППАРАТ СМЕШЕНИЯ НА СТАДИИ РЕГЕНЕРАЦИИ АММИАКА В ПРОИЗВОДСТВЕ КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ

*Производство кальцинированной соды относится к числу непрерывных, многостадийных химико-технологических процессов. Одним из первых предприятий, начавшим выпуск соды на территории стран СНГ, является ОАО «Березниковский содовый завод», основанный в 1883 г. На текущий момент это предприятие занимает третье место по объему выпуска продукции среди российских производителей (19 % от российского производства). Также предприятие выпускает более 10 наименований химической продукции и товаров бытовой химии.*

*Производство кальцинированной соды состоит из стадий, таких как добыча и подготовка известняка; обжиг известняка в известково-обжигательных печах с получением углекислого газа и извести; гашение извести с получением известкового молока; очистка раствора хлорида натрия от солей кальция и магния; абсорбция и дистилляция очищенного рассола аммиаком и частично углекислым газом с образованием аммонизированного рассола; карбонизация аммонизированного рассола с образованием суспензии бикарбоната натрия; фильтрация бикарбоната натрия; кальцинация бикарбоната натрия; регенерация аммиака и углекислого газа паром и известковым молоком.*

*Одной из важнейших стадий в производстве кальцинированной соды является дистилляция, назначение которой – выделение и возвращение в производство аммиака и попутно двуокиси углерода. Одним из аппаратов, участвующих в выделении аммиака, является смеситель.*

*Существует проблема возможности засорения линии подачи известкового молока в аппарат смешения, связанная с отложением извести на стенках трубопровода. В этом случае произво-*

*дится переключение основной линии подачи известкового молока на резервную.*

*Приведена разработка алгоритма программно-логического управления процессом переключения с основной на резервную линию подачи известкового молока в аппарат смешения на стадии регенерации аммиака.*

***Ключевые слова:*** *химическая промышленность, производство кальцинированной соды, регенерация аммиака, автоматическое переключение, технологическая линия, алгоритм программно-логического управления.*

**S.I. Stashkov, A.A. Karelina**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

# DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM OF SOFTWARE LOGIC CONTROL OF STREAM SWITCHING PROCESS FROM A MAIN FEEDING PIPELINE OF LIME MILK TO A DUPLICATE PIPELINE ON AMMONIA REGENERATION STAGE IN SODIUM BICARBONATE PRODUCTION

*Sodium bicarbonate production is a continuous multistage process. "Bereznikovskii sodovyi zavod" was the first plant, which began to manufacture sodium bicarbonate at former – USSR area (the plant was established in 1883). The plant takes the third place between Russian´s manufacturers of sodium bicarbonate at the moment. The fraction of the plant´s production in total output volume in Russia is 19 %. The plant produces more than 10 sorts of chemical production and household chemical goods.*

*Sodium bicarbonate production includes followed stages: limestone extraction, raw material preparation; burnt lime and carbon dioxide are obtained by calcining the limestone in an oven; slack lime solution, lime milk obtaining; sodium chloride purification; absorption, distillation , obtaining a solution saturated with ammonia; the solution is saturated with carbon dioxide, sodium bicarbonate suspension is formed; sodium bicarbonate is filtered; sodium bicarbonate calcinations; ammonia and carbon dioxide regeneration with steam.*

*One of the most significant stage of sodium bicarbonate production is distillation. In the stage mixture of ammonia and carbon dioxide liberates from the solution and it is turned back into previous stage of the process. The ammonia is separated in mixer.*

*Since calcium hydroxide is a marginally soluble compound, there is a problem of sedimentation calcium hydroxide on pipe´s walls. In this case the stream of the calcium hydroxide solution is turned on into duplicate pipeline.*

*In the study development of an algorithm of software logic control of stream switching process from a main pipeline of lime milk to a duplicate pipeline, which feeds a mixing apparatus of ammonia regeneration stage is showed.*

***Keywords:*** *chemical industry, sodium bicarbonate production, ammonia regeneration, automatic switch, processing line, algorithm of software logic control.*

На станции дистилляции производства кальцинированной соды осуществляется регенерация аммиака и оксида углерода из фильтровой и других жидкостей содового производства [1].

Скорость и полнота отгонки полусвязанного аммиака из жидкости, содержащей карбонат и бикарбонат аммония, зависят от температуры, давления аммиака в газовой фазе и состава жидкости. Для выделения связанного аммиака из хлорида аммония недостаточно только нагреть раствор, требуется обработка фильтрата известковым молоком при нагревании [1]:

$$2NH_4Cl\ (р) + Ca(OH)_2\ (тв) = 2NH_3\ (р) + CaCl_2\ (р) + \\ + 2H_2O\ (ж) + 24{,}4\ кДж.$$

Скорость реакции будет определяться скоростью растворения $Ca(OH)_2$, т.е. зависеть от степени дисперсности известкового молока. Выделившийся аммиак отгоняют из жидкости острым паром.

Также на стадии дистилляции протекают и другие процессы. В фильтровой жидкости в небольших количествах содержится сульфат натрия. В процессе дистилляции $Na_2SO_4$ реагирует с хлоридом кальция по реакции [1]

$$Na_2SO_4\ (р) + CaCl_2\ (р) = CaSO_4\ (тв) + 2NaCl\ (р) - 37{,}3\ кДж.$$

Образующийся $CaSO_4$ загрязняет аппаратуру дистилляции, кристаллизуясь на стенках аппарата и трубопроводов в виде плотной корки. В результате увеличивается гидравлическое сопротивление, снижается производительность аппаратуры [1].

Типовая технологическая схема стадии дистилляции показана на рис. 1 [1].

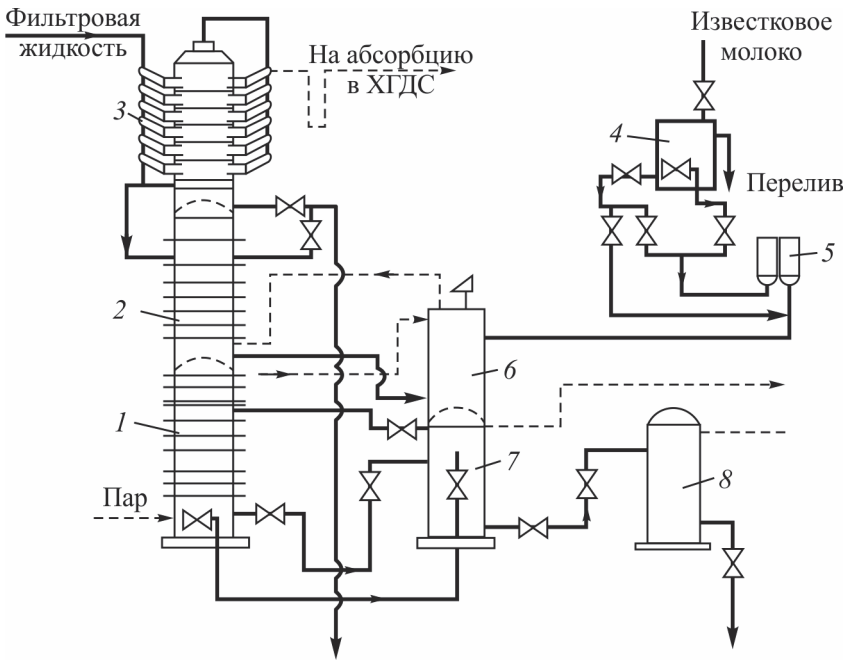



Рис. 1. Технологическая схема стадии дистилляции: *1* – дистиллер; *2* – теплообменник дистилляции; *3* – конденсатор дистилляции; *4* – сборник с мешалкой; *5* – расходомер; *6* – смеситель; *7*, *8* – испарители

Фильтровую жидкость, поступающую на регенерацию аммиака, направляют в конденсатор дистилляции *3* (КДС), который представляет собой поверхностный теплообменный аппарат. Здесь проходит частичное разложение бикарбоната аммония в результате теплообмена между фильтровой жидкостью и горячей парогазовой смесью. Выделившийся $CO_2$ направляют вместе с основным потоком газа, выходящим из межтрубного пространства КДС, на абсорбцию.

Подогретая до 74–80 °С фильтровая жидкость стекает из конденсатора *3* в теплообменник дистилляции *2* (ТДС) и движется в нем сверху вниз, соприкасаясь с поднимающимися вверх горячими газами. В ТДС – многотарельчатом аппарате барботажного типа – происходит окончательное разложение углеаммонийных солей. При этом практически полностью из жидкости отгоняется диоксид углерода.

Из теплообменника *2* фильтровая жидкость, освобожденная от $CO_2$ и содержащая связанный аммиак в виде хлорида аммония, самотеком идет в среднюю часть смесителя *6* (СМ). Сюда же при температуре 90–95 °С поступает известковое молоко из сборника *4*. В результате взаимодействия $NH_4Cl$ с $Ca(OH)_2$ выделяется $NH_3$, большая часть ко-

торого растворяется в жидкости. Газообразный аммиак вместе с потоком парогазовой смеси, проходящей через ТДС *2* и КДС *3*, направляют далее на станцию абсорбции.

Из нижней части СМ *6* жидкость поступает в верхнюю часть дистиллера *1* (ДС). Здесь аммиак отгоняют острым водяным паром, подаваемым в нижнюю часть ДС *1*. После отгонки аммиака дистиллерная жидкость при температуре 110–115 °С поступает последовательно в испарители *7* и *8* (ИС-1 и ИС-2). Тепло нагретой дистиллерной жидкости регенерируют в ИС-1 и ИС-2, при этом из нее выделяется пар вследствие снижения давления до атмосферного [1].

К наиболее важным показателям, обеспечивающим нормальную работу станций дистилляции, относятся температура газа после КДС, расход фильтровой жидкости, пара и известкового молока [2, 3].

В АСУ ТП на стадии дистилляции предусматривается автоматизированная стабилизация расхода известкового молока, расхода фильтровой жидкости и пара, регулирование значения pH и температуры в дистилляционной колонне [4, 5].

На рис. 2 представлена упрощенная функциональная схема управления технологическими потоками аппарата смешения.

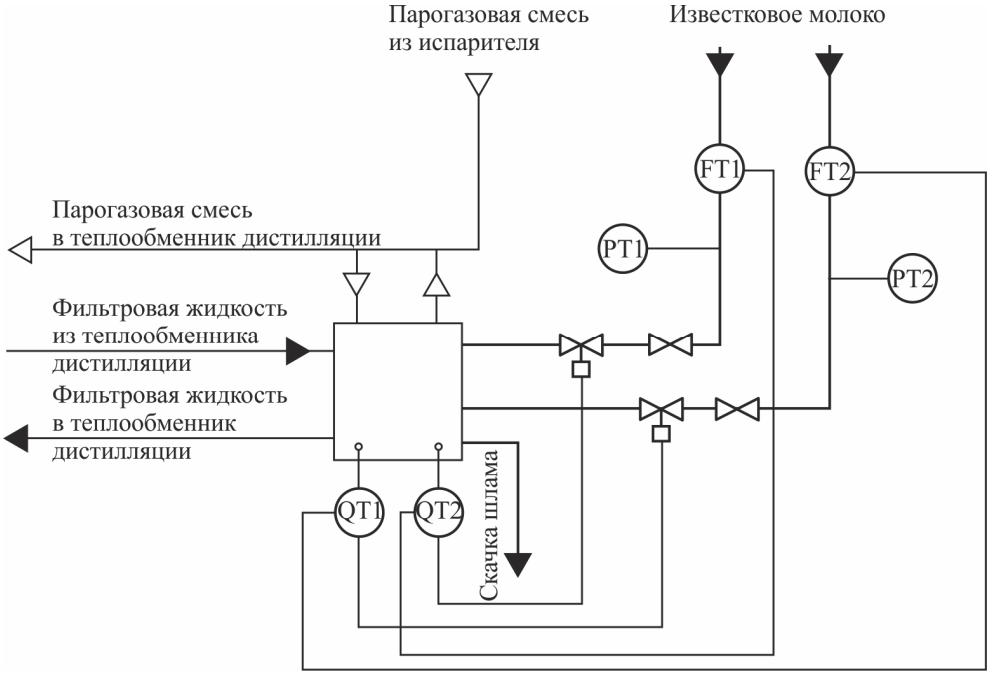



Рис. 2. Упрощенная функциональная схема

На входе в аппарат смешения имеются две технологические линии подачи известкового молока: одна из них – основная, другая – резервная. Поскольку существует проблема возможности засорения основной линии подачи известкового молока в аппарат смешения, связанная с отложением извести на стенках трубопровода, необходимо производить переключение основной линии подачи известкового молока на резервную. В настоящее время это переключение производится в ручном режиме.

Процесс переключения требует выполнения большого количества операций. Для того чтобы переключение не сопровождалось значительным ухудшением технологических параметров, требуется привлечение большого количества рабочих и большие затраты физического труда. Для снижения трудоемкости переключения предлагается система автоматизации с программно-логическим управлением.

Разработанный алгоритм переключения основной линии подачи известкового молока на резервную представлен в виде блок-схемы на рис. 3.

Алгоритм предполагает следующие действия:

1. В аппарат смешения известковое молоко поступает по основной линии. В связи с тем, что на стенках трубопровода оседает известь, происходит засорение, о степени которого судят по давлению в линии (PT1). При достижении давления в трубопроводе 85 кПа включается предаварийная сигнализация, а при достижении давления 90 кПа – аварийная.

2. Также при достижении давления в основной линии 85 кПа в автоматическом режиме поступает сигнал на открытие отсечного клапана XV2, установленного на резервной линии. Если клапан не открылся по причине неисправности, то в операторской на монитор выводится сообщение MESSAGE[00]: «Не открылся клапан XV2. Откройте клапан вручную. Ожидание открытия клапана».

3. После открытия XV2 происходит запоминание задания pH с датчика QT1. Затем необходимо перевести FV1 и QT1 в ручной режим, FV2 – в каскадный и QT2 – в автоматический.

4. Открытие клапана FV2. Если после открытия FV2 давление в резервной линии не достигло значения 40 кПа (измерение давления производится датчиком ЗТ2), то на экран выводится сообщение MESSAGE[01]: «Давление не выросло. Проверьте линию. Ожидание повышения давления».

5. При достижении нужного давления закрываются отсечной клапан XV1 и регулирующий FV1. Если XV1 не закрылся, то выводится сообщение MESSAGE[02]: «Не закрылся клапан XV1. Откройте клапан вручную».

6. После этого цикл программы завершается.

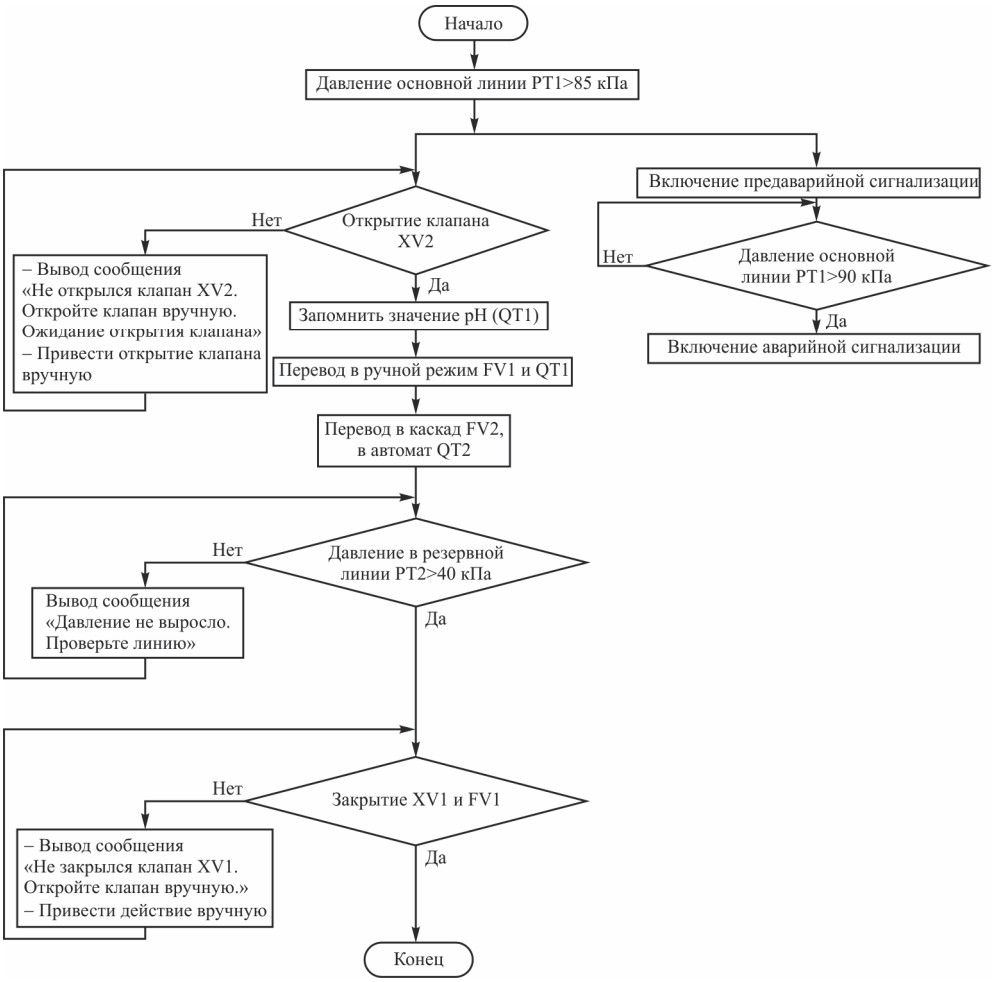



Рис. 3. Алгоритм переключения основной линии подачи известкового молока на резервную

Обратное переключение с резервной линии на основную происходит аналогичным образом.

Для реализации разработанного алгоритма была выполнена конфигурация программы в среде системы Experion [6, 7].

Старт разработанной программы осуществляется при выполнении двух условий:

– исправность всех датчиков, установленных на линиях подачи известкового молока;

– достижение давления в основной линии 90 кПа.

Если хотя бы один из датчиков неисправен, то происходит аварийное завершение работы программы. За эту функцию отвечает блок FTRIG_ABORT.

Алгоритм запуска подпрограммы переключения основной линии подачи известкового молока в смеситель на резервную представлен на рис. 4.

Для реализации второго пункта разработанного алгоритма задвижка XV2 снабжена двумя концевыми контактами, выдающими сигналы «открыто» и «закрыто» при достижении задвижкой одного из крайних положений. Наличие напряжения питания контролируется специальным реле, формирующим сигнал «готовность».

В результате выполнения алгоритма формируются сигналы:

– «открыть» и «закрыть», поступающие в схему управления задвижкой;

– сигналы «не готов», «открыто» и «закрыто», отображающие состояние задвижки на мнемосхеме;

– аварийные сообщения «нет готовности» и «нет исполнения».

Для реализации третьего пункта алгоритма конфигурация программы вводит каскадную систему регулирования расхода известкового молока с коррекцией по pH в смесителе. На рис. 5 и 6 представлены схемы стабилизирующего и корректирующего контуров соответственно.

На входные аналоговые модули AICHANNEL02 и AICHANNEL05 поступают сигналы с датчиков расхода и pH. Далее они обрабатываются (линеаризуются и переводятся из токового сигнала 4–20 мА в инженерные единицы) в соответствующих блоках DACA, после чего сигнал поступает на блок PIDA, который имеет два аналоговых входных параметра – параметр процесса (PV) и задание (SP) и выдает значение управляющего воздействия, рассчитанное таким образом, чтобы максимально уменьшить разницу между PV и SP.

Также реализована каскадная схема управления путем подачи корректирующего сигнала с PIDA (pH) на PIDA (F). С блока PIDA (F1) подается аналоговый выходной сигнал на AICHANNEL01.

Аналогичным образом реализуется подпрограмма каскадного управления в резервной линии.

Подпрограмма переключения основной линии подачи известкового молока на резервную представлена на рис. 7.

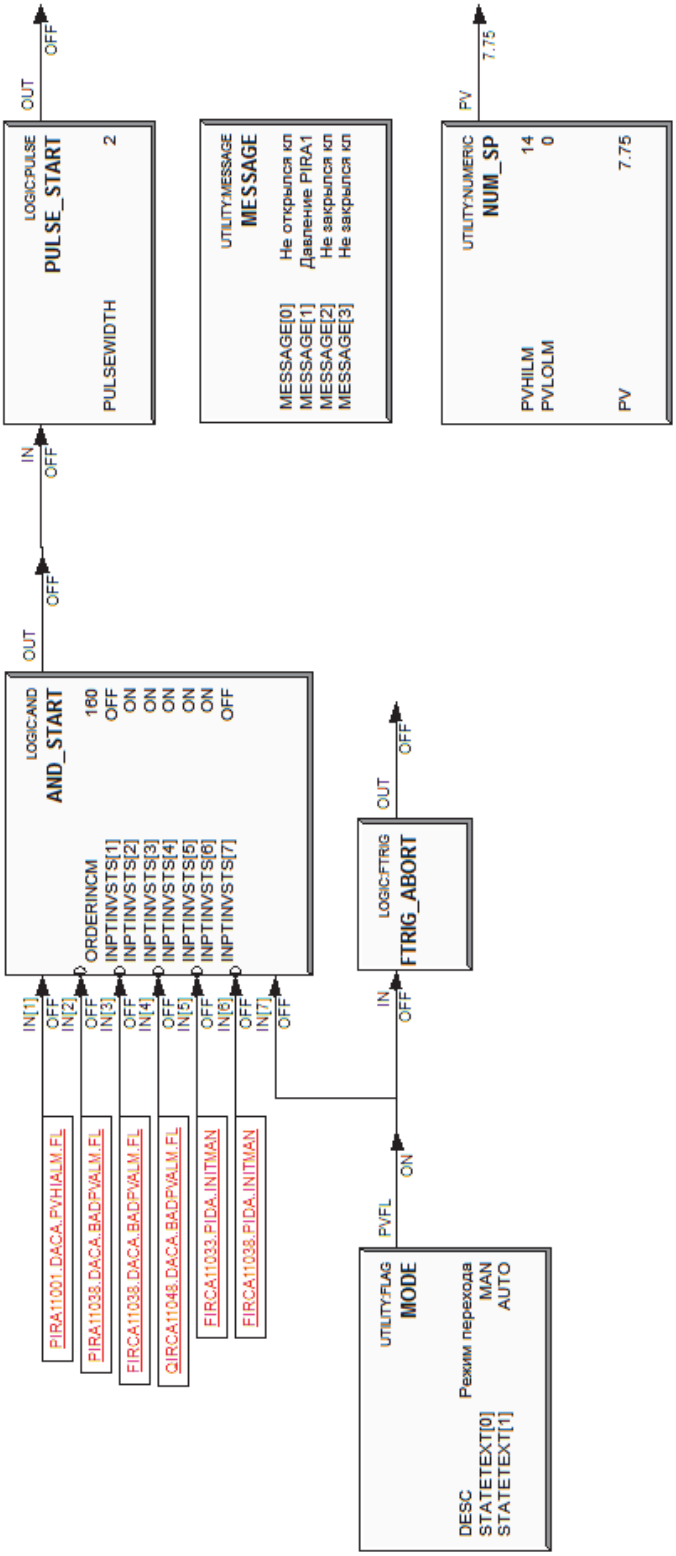



Рис. 4. Алгоритм запуска программы

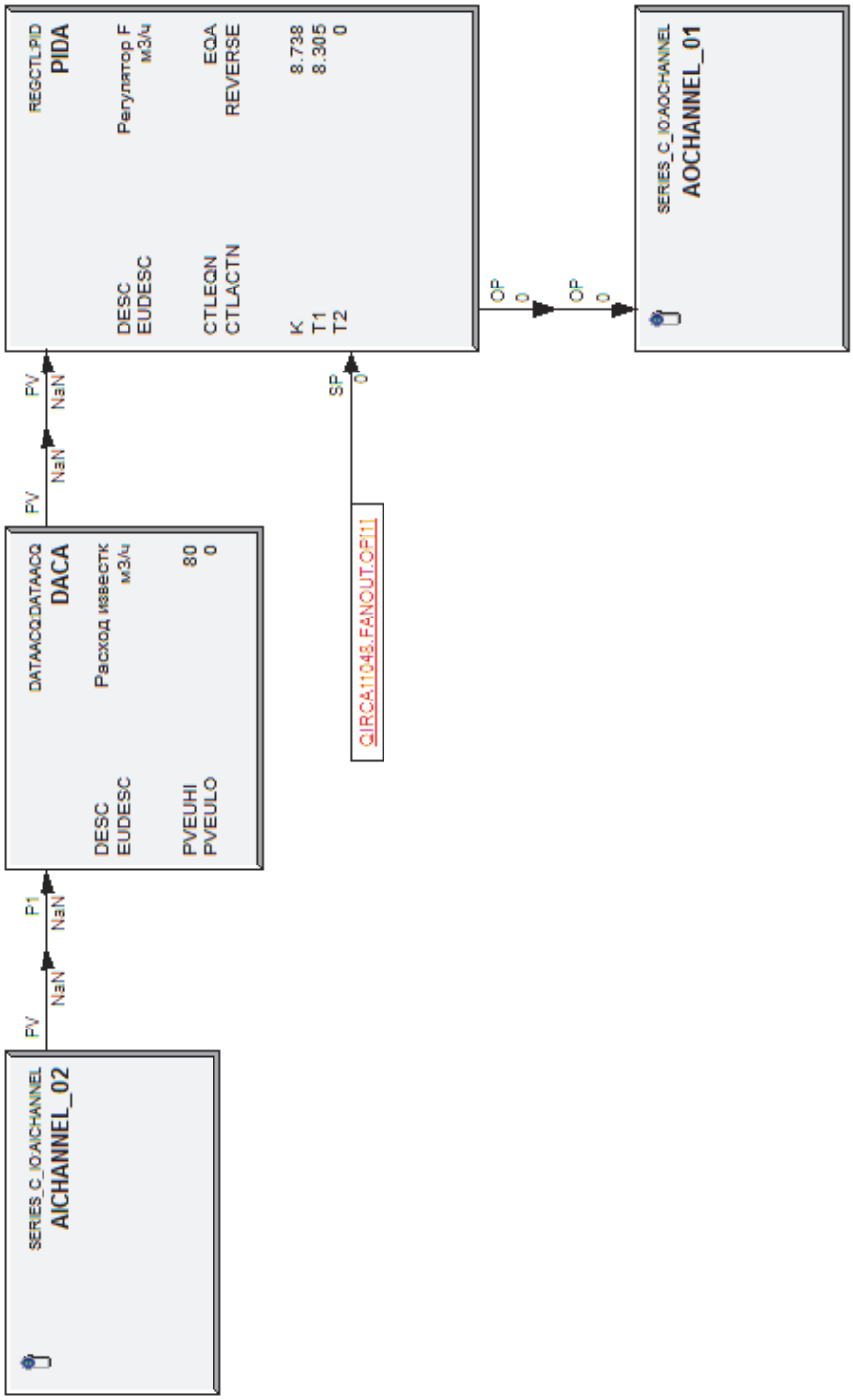



Рис. 5. Стабилизирующий контур

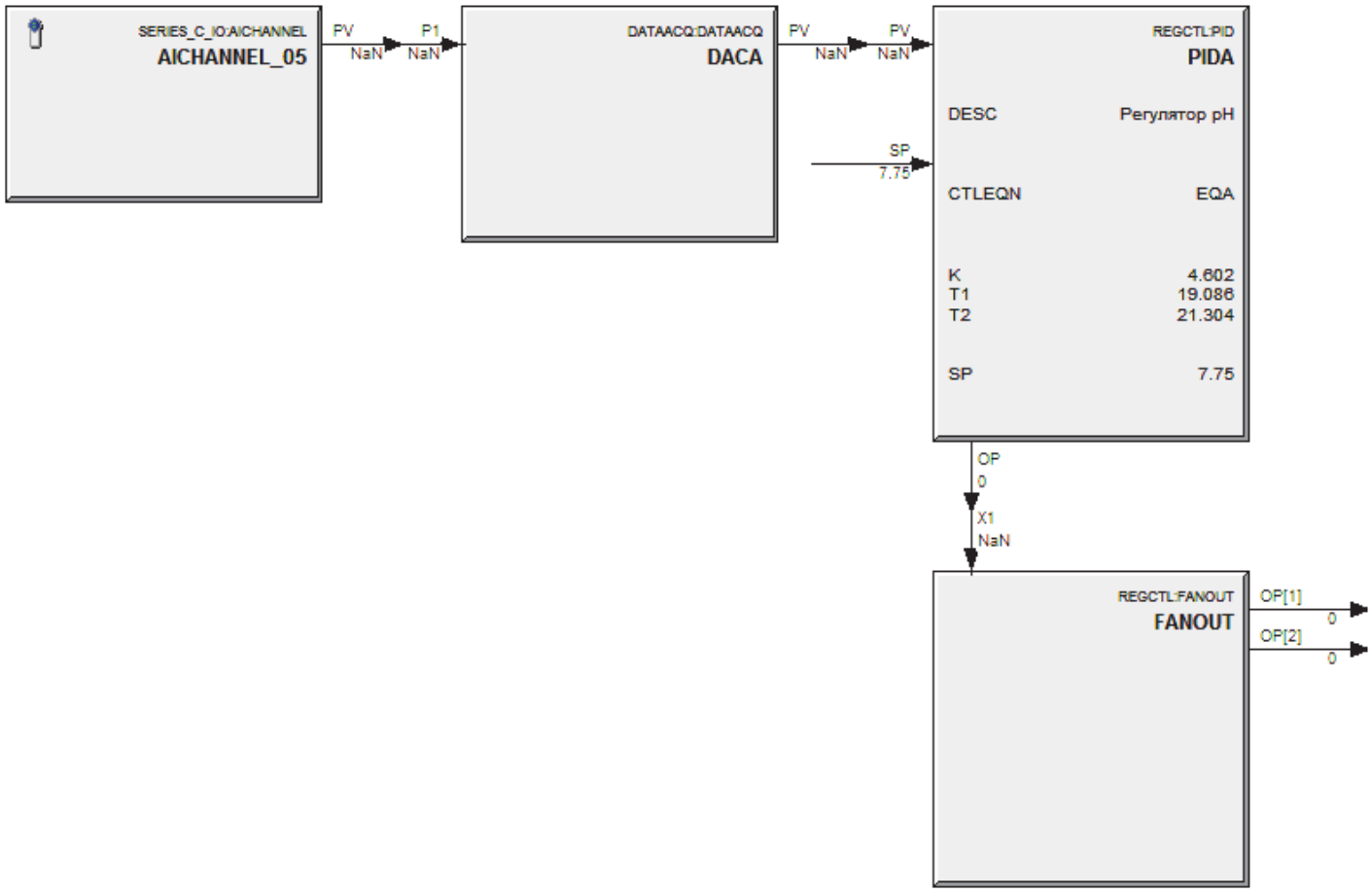



Рис. 6. Корректирующий контур

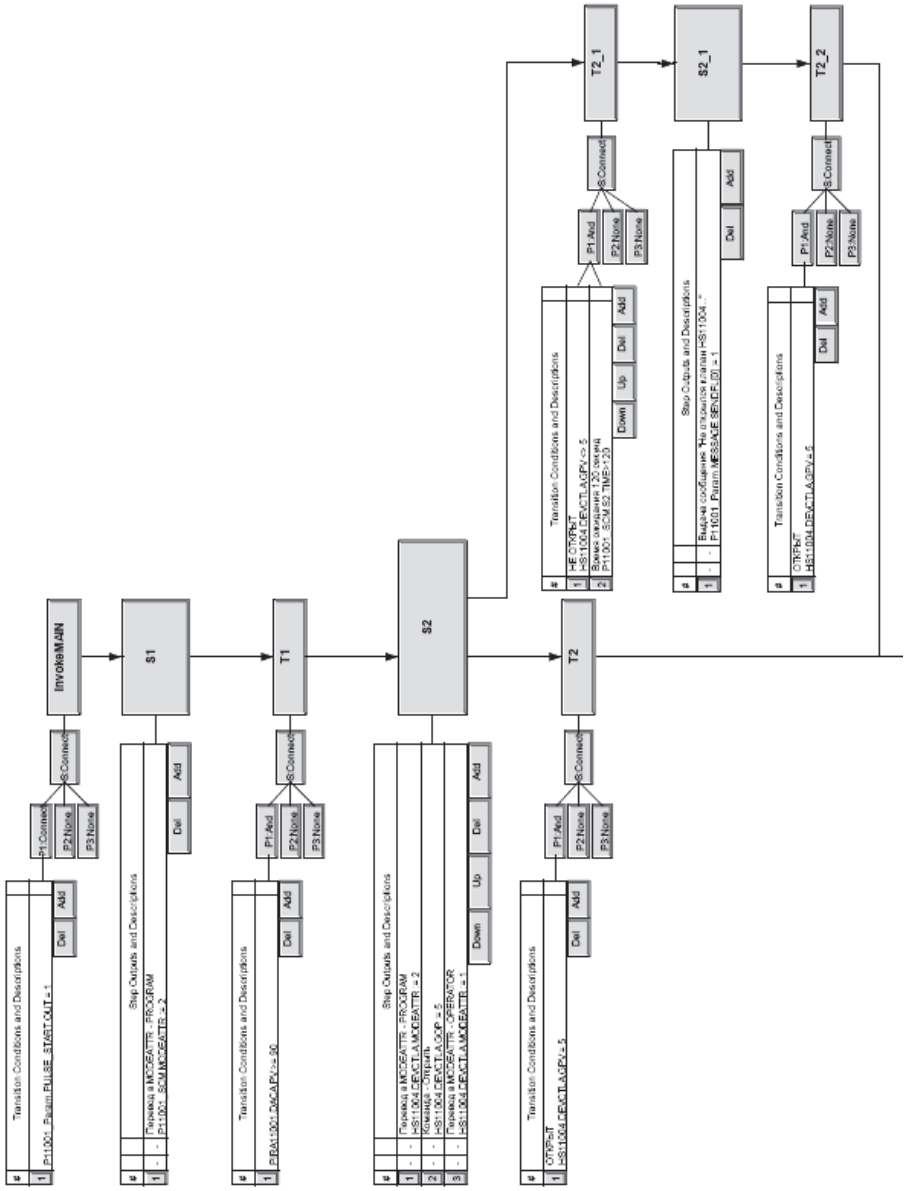



Рис. 7. Подпрограмма переключения линий

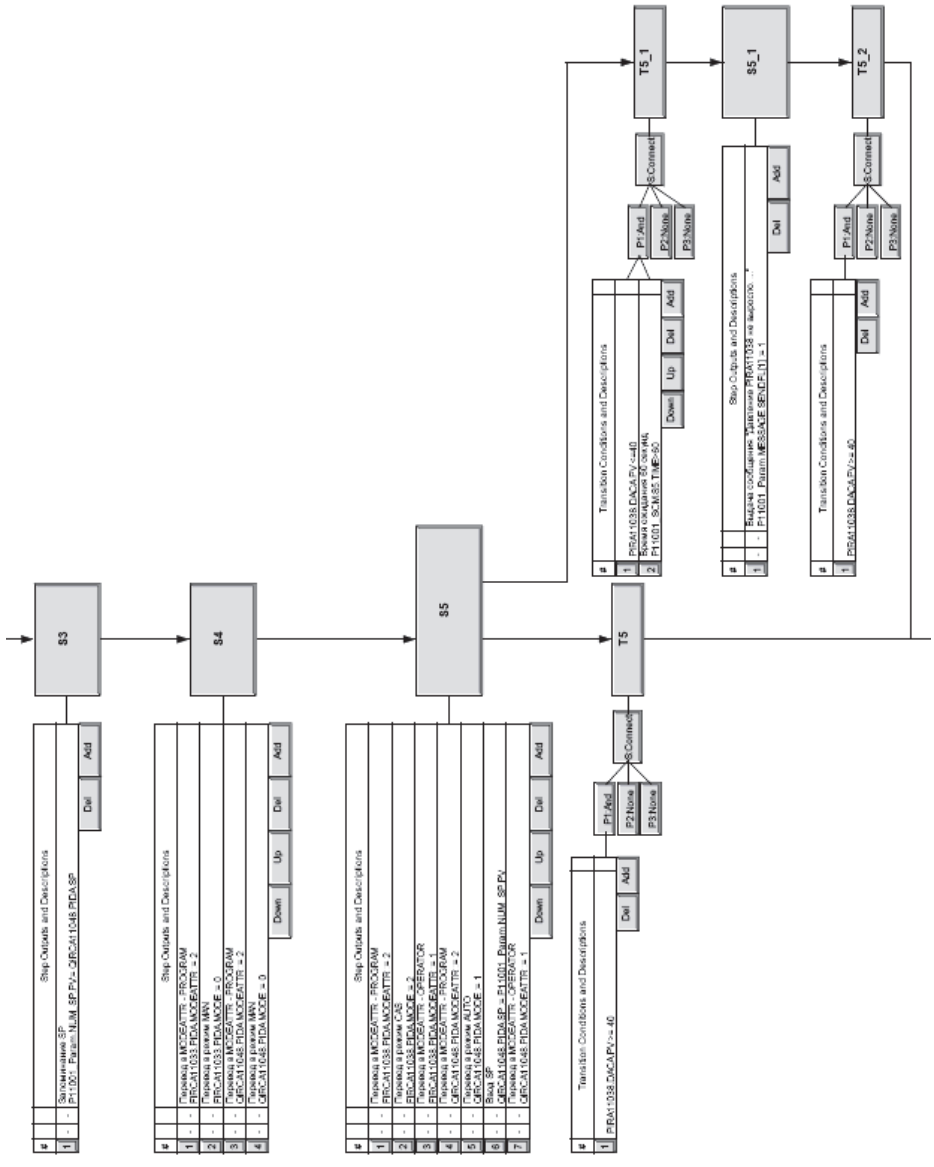



Рис. 7. Продолжение

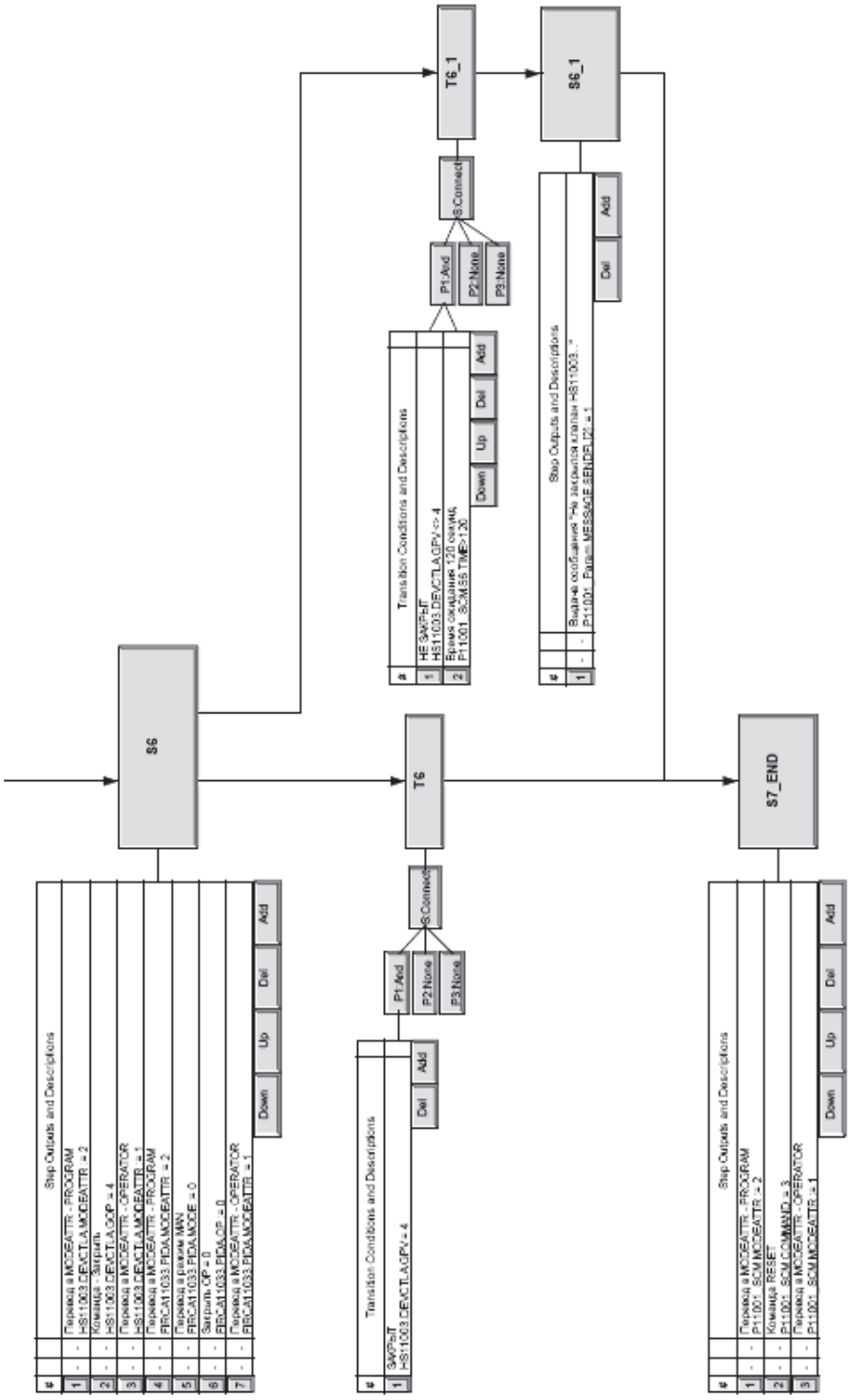



Рис. 7. Окончание

В тестовом режиме разработанный алгоритм показал хорошую работоспособность. Таким образом, разработанный алгоритм в случае засорения основной линии подачи известкового молока в аппарат смешения позволит производить переключение на резервную линию в автоматическом режиме. Тем самым предполагается достичь снижения трудоемкости процесса переключения линий, связанной с большим количеством операций, проводимых до внедрения разработанного алгоритма со значительными затратами физического труда.

## Список литературы

1. Технология неорганических веществ и минеральных удобрений / Е.Я. Мельников [и др.]. – М.: Химия, 1983. – 432 с.

2. Голубятников В.А., Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. – М.: Химия, 1985. – 352 с.

3. Автоматическое управление в химической промышленности / под ред. Е.Г. Дудникова. – М.: Химия, 1987. – 368 с.

4. Шувалов В.В., Огаджанов Г.А., Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. – М.: Химия, 1991. – 480 с.

5. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учеб. для вузов. – 10-е изд., стер. и дораб. – М.: Альянс, 2004. – 750 с.

6. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и инструменты / под ред. В.П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 256 с.

7. Анашкин А.С., Кадыров Э.Д., Харазов В.Г. Техническое и программное обеспечение распределенных систем управления. – СПб.: П-2, 2004. – 368 с.

## References

1. Melnikov E.Ya. [et. al.] Tekhnologiya neorganicheskikh veschestv I mineralnykh udobreniy [Inorganic substances and chemical fertilizers technology]. Moscow: Khimiya, 1983, 432 p.

2. Golubyatnikov V.A., Shuvalov V.V. Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov v khimicheskoy promyshlennosti [Automation industrial processes in chemical industry]. Moscow: Khimiya, 1985, 352 p.

3. Avtomaticheskoe upravlenie v khimicheskoy promyshlennosti [Automatic control in chemical industry]. Ed. E.G. Dudnikov. M.: Khimiya, 1987, 368 p.

4. Shuvalov V.V., Ogadzhanov G.A., Golubyatnikov V.A. Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov v khimicheskoy promyshlennosti [Automation industrial processes in chemical industry]. Moscow: Khimiya, 1991, 480 p.

5. Kasatkin A.G. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii [Basic processes and machinery in chemical technology]. Moscow: Alyans, 2004, 750 p.

6. Petrov I.V. Programmiruemye kontrollery. Standartnye yazyki i instrumenty [Programmable controllers. Standard tools and languages]. Ed. V.P. Dyakonov. Moscow: SOLON-Press, 2003, 256 p.

7. Anashkin A.S., Kadyrov E.D., Khazarov V.G. Tekhnicheskoe i programmnoe obespechenie raspredelennykh system upravleniya [Hardware and software of distributed control systems]. St.-Peterburg: P-2, 2004, 368 p.

Получено 15.06.2013

## Об авторах

**Сташков Сергей Игоревич** (Пермь, Россия) – ассистент кафедры автоматизации технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: atp@pstu.ru).

**Карелина Алена Алексеевна** (Пермь, Россия) – студентка кафедры автоматизации технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: atp@pstu.ru).

## About the authors

**Stashkov Sergey Igorevich** (Perm, Russian Federation) – Assistant, Department of Automation Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: atp@pstu.ru).

**Karelina Alena Alekseevna** (Perm, Russian Federation) – Student, Department of Automation Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: atp@pstu.ru).