

УДК 65.011.56

**Е.А. Вислоухова, Л.Е. Поповцева,  
С.И. Сташков, Е.Б. Чарная**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь, Россия

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ УСТАНОВКИ ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАНОЛА**

*В производстве метанола для осуществления процесса конверсии природного газа требуется пар высокого давления. В свою очередь, для производства такого пара необходима вода особой чистоты – деминерализованная вода. С целью ее получения используется установка деминерализации речной воды. Деминерализация воды означает очистку речной воды от содержащихся в ней взвесей с их последующим обессоливанием (деминерализацией). В процессе функционирования этой установки образуются промышленные стоки, содержащие значительные количества кислоты или щелочи. Естественно, что спускать их в канализацию запрещено, поэтому для очистки этих стоков функционирует станция нейтрализации промышленных стоков.*

*В настоящее время себестоимость процесса нейтрализации превышает обоснованные нормативы. С целью ее снижения на предприятии выполнена модернизация технологической схемы. Для обеспечения ее правильного функционирования должна быть разработана АСУ ТП.*

*Изложены результаты выполненных авторами исследований и даны практические предложения по автоматизации, сделанные по их результатам. Содержание предлагаемой статьи представляет собой описание этапов этой разработки. Выполнен технологический анализ процесса нейтрализации, который обосновывает функции управления разрабатываемой АСУ ТП. Также представлен разработанный авторами алгоритм управления процессом нейтрализации, построенный в точном соответствии с технологическим регламентом процесса нейтрализации сточных вод, и его программная реализация на языке программирования контроллеров – последовательности функциональных карт (SFC).*

*Выполнен анализ общепринятой формулы для расчета экономического эффекта автоматизации. Предложено аналитическое выражение для расчета экономического эффекта предлагаемой АСУ ТП, в том числе для снижения себестоимости процесса нейтрализации. Таким образом, общепринятая формула изменена так, что в ней отражены конкретные экономические результаты предлагаемого варианта автоматизации процесса нейтрализации стоков. При этом аналитически доказаны надежность и достоверность их достижения в условиях запроектированной АСУ ТП.*

***Ключевые слова:** производство метанола, деминерализация воды, нейтрализация промышленных стоков, программно-логическое управление, алгоритм, поддержание рН.*

**E.A. Visloukhova, L.E. Popovtseva,  
S.I. Stashkov, E.B. Charnaya**

Perm National Research Polytechnic University,  
Perm, Russian Federation

## **AN AUTOMATION OF NEUTRALIZATION PROCESS OF INDUSTRIAL EFFLUENTS FROM WATER DEMINERALIZATION PLANT IN METHANOL PRODUCTION**

*High pressure steam required for the process of converting natural gas in methanol production. High purity water, i.e. demineralized water is needed to produce the steam. A plant of demineralization of river water is used for this purpose. Water demineralization means a purification of river water from suspensions and subsequent desalting. Industrial effluents which contain substantial quantities of acid or base generated during operation of the plant. These streams can not be sent to the drain, so station of neutralization of industrial effluents is used for cleaning the effluents.*

*Currently, the cost price of the neutralization process exceeds reasonable standards. In order to reduce the cost price a modernization of process diagram is accomplished at a factory. Automated control system should be developed to ensure its proper operation.*

*In the article the results of research and practical suggestions for automation outlined. A content of the article constitute the development stages. Technological analysis of neutralization process is executed, it bases control functions of Automated control system. A control algorithm of neutralization process is presented. The algorithm is con-*

structured in strict accordance to the technological regulations of neutralization process. A computer program is executed on a language of controllers programming – progression of function charts (PFC).

Analysis of a formula for calculating an automation economic impact is made. Analytical expression for calculating the economic impact proposed, as well as the expression of cost price reduction. Thus, the specific economic results of the proposed variant of automation of the neutralizing process are presented in the standard formula. Reliability and validity of achieving these results are analytically proved.

**Keywords:** methanol production, water demineralization, neutralization of industrial effluents, program logic control, algorithm, pH stabilization.

Для очистки промышленных стоков на промышленных предприятиях функционируют различные установки, например установка деминерализации речной воды. На рис. 1 представлена схема технологической структуры этой установки.

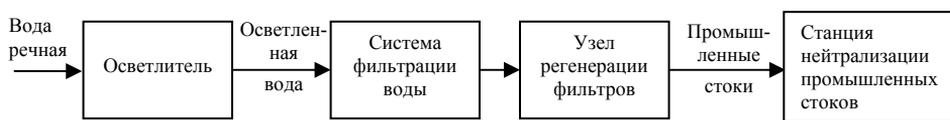


Рис. 1. Технологическая структура установки деминерализации воды

Как видно из рис. 1, станция нейтрализации промышленных стоков технологически связана со стадией регенерации фильтров и завершает технологический процесс производства деминерализованной воды.

Стоки после регенерации фильтров поступают на станцию нейтрализации промышленных стоков, где они нейтрализуются до достижения значения нормативного водородного показателя (рН), а затем сбрасываются в ливневую канализацию.

Технологический процесс нейтрализации осуществляется в специальной емкости (смесителе) путем смешения стоков с растворами кислоты или щелочи (реагентов) [1, 2].

В нейтрализованной смеси величина рН не должна превышать установленные пределы. При действующем технологическом процессе нейтрализации существует вероятность превышения нормативного уровня рН на выходе из смесителя. В этом случае стоки возвращаются для повторной нейтрализации, т.е. в зависимости от величины рН осуществляется повторная циркуляция стоков до установления норматив-

ного уровня рН. Естественно, что при этом расходуется дополнительное количество реагентов.

Затраты реагентов определяют себестоимость процесса нейтрализации. До настоящего времени эти затраты превышали обоснованные нормы.

С целью снижения себестоимости процесса нейтрализации на предприятии произведена модернизация технологической схемы этого процесса. В ходе модернизации был заменен действующий смеситель; вместо насосов, подающих реагенты в смеситель, установлены дозаторы объемного действия, обеспечивающие подачу необходимого объема реагентов; установлен ряд отсечных клапанов. Таким образом, модернизированная технологическая схема имеет вид, представленный на рис. 2.

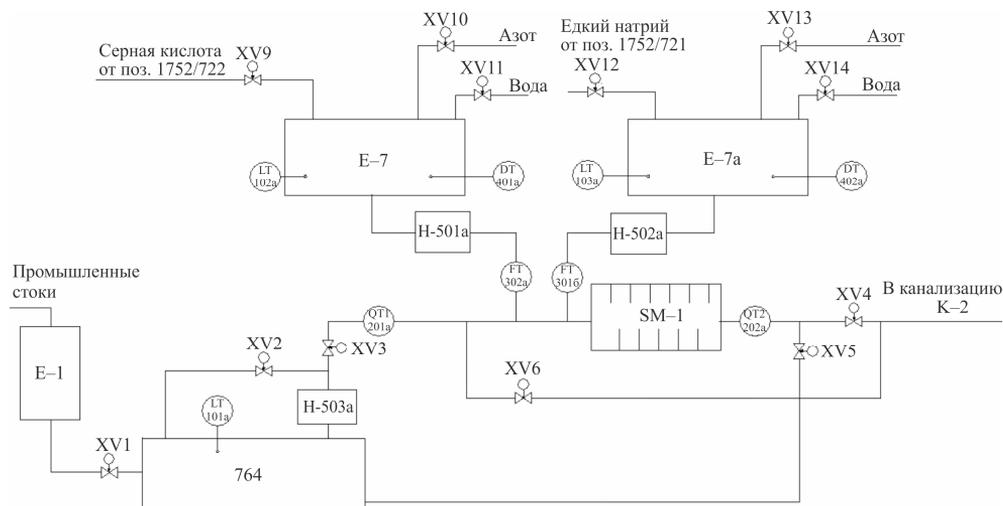


Рис. 2. Технологическая схема станции нейтрализации

Модернизированная технологическая схема функционирует следующим образом.

В емкость E-1 поступают промышленные стоки после регенерации фильтров. Из емкости E-1 стоки поступают в емкость E-764 при открытом клапане XV1. Емкость заполняется до определенного уровня, после чего клапан XV1 закрывается. Затем открывается клапан XV2, и при помощи насоса поз. H-503a осуществляется рециркуляция жидкости в течение 15 мин. После этого клапан XV2 закрывается, открывается клапан XV3, и промышленные стоки из емкости E-764 при

помощи насоса поз. 503а подаются с расходом 60–80 м<sup>3</sup>/ч на стадию нейтрализации. В напорном трубопроводе насоса поз. 503а установлен рН-метр QT1 поз. 201а. Если значение рН, полученное с QT1, не превышает установленные пределы, открывается клапан XV6, и нейтрализованные стоки направляются в заводскую канализацию К-2. Если значение рН превышает установленные пределы, то в поток нейтрализуемых стоков насосами-дозаторами поз. Н-501а и Н-502а из емкостей поз. Е-7 и Е-7а соответственно подаются растворы нейтрализующих реагентов в зависимости от рН среды стоков (10%-ный раствор NaOH – для кислых стоков и 10%-ный раствор H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – для щелочных). Далее смесь поступает в смеситель SM-1, где происходит ее интенсивное перемешивание за счет создания турбулентного потока. В трубопроводе после смесителя установлен рН-метр QT-2 поз. 202а. В зависимости от значения рН, полученного с QT2, открывается клапан XV4 или XV5. Если значение рН стоков удовлетворяет заданным значениям, открывается клапан XV4, и нейтрализованные стоки направляются в заводскую канализацию К-2, если нет – открывается клапан XV5, и стоки поступают на рециркуляцию в емкость Е-764.

Для начала процесса нейтрализации производится открытие клапана XV1. Затем производится запуск насоса поз. Н-503а и открытие клапана XV2 в линии рециркуляции. Через 15–20 мин после этого в зависимости от значения рН среды, полученного с помощью датчика QT1, происходит запуск насоса-дозатора поз. Н-501а или Н-502а. При достижении стабильного режима нейтрализации (значение рН нейтрализованных стоков измеряется датчиком QT2) в течение 15–20 мин подаются сигналы на открытие клапана XV4 и закрытие XV5.

Приготовление растворов кислоты и щелочи, используемых в процессе нейтрализации, происходит в емкостях Е-7 и Е-7а соответственно.

Рассмотрим процесс приготовления щелочи. С помощью соответствующей арматуры в емкость Е-7а подается концентрированная щелочь из емкости Е-1752/721. При достижении в емкости Е-7а уровня 10 % закрывают арматуру подачи концентрированной щелочи. Затем в емкость Е-7а подается речная вода для разбавления концентрированного раствора щелочи и приготовления рабочего раствора с концентрацией 7–10 %. При достижении уровня смеси в емкости Е-7а 80 % подача речной воды прекращается. После этого для интенсивного перемешивания щелочи и воды в емкость Е-7а подается азот. Непре-

рывное измерение концентрации раствора в емкости Е-7а осуществляется ареометром поз. 402а. При достижении концентрации смеси значения 7–10 % раствора щелочи подача азота в емкость Е-7а прекращается.

Приготовление раствора серной кислоты в емкости Е-7 производится аналогично.

Таким образом, целью осуществления процесса нейтрализации является точность соблюдения нормативного уровня рН [3]. В свою очередь, эта величина зависит от точности поддержания расходов компонентов (кислоты или щелочи) и, следовательно, от точности соблюдения технологических параметров процесса нейтрализации. Такая точность надежно может быть достигнута только за счет обеспечения соответствующего уровня автоматизации. В связи с этим возникает задача разработки автоматизированной системы управления технологическим процессом нейтрализации (АСУ ТП).

Разработке АСУ ТП должен предшествовать технологический анализ процесса нейтрализации.

На рис. 3 представлена структурная схема объекта управления (ОУ).

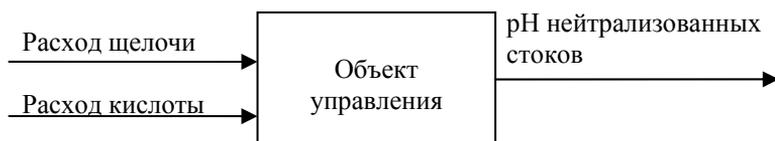


Рис. 3. Структурная схема объекта управления

Процесс нейтрализации осуществляется путем смешения раствора кислоты или щелочи в зависимости от процентного содержания щелочи или кислоты в сточных водах на входе в смеситель со стоками.

При этом параметрами входа ОУ являются величины, реализующие управляющие воздействия, – расход щелочи ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) или расход кислоты ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ), а параметром выхода ОУ – регулируемая величина: значение рН нейтрализованных стоков.

Управление технологическим процессом всегда осуществляется согласно определенному критерию оптимального управления.

Критерий – это показатель, по величине отклонения которого от оптимального уровня осуществляется управление процессом. Этот показатель должен выполнять следующие функции:

- соответствовать показателю, характеризующему назначение процесса;
- иметь количественное выражение;
- отражать полные экономические последствия автоматизации;
- в системе автоматизации должны быть созданы условия для его непрерывного измерения.

В анализируемом технологическом процессе уровень рН соответствует всем перечисленным требованиям, поэтому за критерий оптимального управления (КОУ) принимается рН, которое должно иметь значение, лежащее в пределах от 6,5 до 8,5. Если показатель, характеризующий диапазон колебаний рН, выразить в форме точности его поддержания, то диапазон 6,5–8,5 будет соответствовать значению 7,5–1,0.

Таким образом, за критерий оптимального управления принимается нормативный уровень рН 7,5–1,0.

После выбора КОУ необходимо обосновать технологический параметр, определяющий (оказывающий существенное влияние) величину КОУ (т.е. рН) [4–6]. В результате технологического анализа процесса нейтрализации установлено, что таким параметром является расход реагентов (кислоты или щелочи). Следовательно, обоснованный уровень себестоимости процесса нейтрализации достигается при установлении точного соответствия расхода реагента уровню рН.

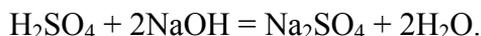
В свою очередь, расход реагента должен соответствовать процентному содержанию кислоты или щелочи в сточных водах. Таким образом, для решения поставленной в статье задачи необходимо по ходу технологического процесса определять процентное содержание кислоты (щелочи) в сточных водах на входе в смеситель, фактический уровень рН на выходе из смесителя и необходимое для нейтрализации количество реагентов. Определение этих величин и зависимостей и составляет основную задачу разрабатываемой АСУ ТП.

Задача определения фактического уровня рН на выходе из смесителя решается при помощи установленного на соответствующем потоке рН-метра QT2 (см. рис. 2), который осуществляет непрерывное измерение рН-стоков.

В свою очередь, процентное содержание кислоты (щелочи) в сточных водах на входе в смеситель напрямую связано с рН этих сточных вод, значение которого непрерывно измеряется при помощи рН-метра QT1 (см. рис. 2).

Поставленная задача определения необходимого для нейтрализации количества реагентов решается в результате выполнения осуществляемых в необходимой установленной последовательности расчетов.

В общем случае процесс нейтрализации промышленных стоков происходит по реакции



В зависимости от pH-стоков нейтрализующим реагентом может являться серная кислота или едкий натрий.

В соответствии с законом эквивалентов

$$V_{\text{ст}} C_{\text{H}}^+ = V_{\text{н.р}} C_{\text{OH}}^-, \quad (1)$$

где  $V_{\text{ст}}$  – объем нейтрализуемых стоков, л;  $C$  – молярная концентрация, моль/л;  $V_{\text{н.р}}$  – объем нейтрализующего реагента, л.

Уровень pH определяется в соответствии с выражением

$$\text{pH} = -\lg C_{\text{H}}^+,$$

где

$$C_{\text{H}}^+ = 10^{-\text{pH}}. \quad (2)$$

Поскольку



$$C_{\text{OH}}^- = C_{\text{NaOH}}. \quad (3)$$

Таким образом, подставляя формулы (2) и (3) в формулу (1), получаем выражение для расчета объема нейтрализующего реагента для кислых стоков:

$$V_{\text{н.р}} = \frac{V_{\text{ст}} \cdot 10^{-\text{pH}}}{C_{\text{NaOH}}}.$$

Поскольку процесс протекает в потоке, от объемов можно перейти к расходам:

$$Q = \frac{V}{T},$$

где  $T = \text{const}$ , ч;  $Q$  – расход, м<sup>3</sup>/ч.

Следовательно,

$$Q_{\text{н.р}} = \frac{Q_{\text{ст}} \cdot 10^{-\text{pH}}}{C_{\text{NaOH}}},$$

где  $Q_{\text{н.р}}$  – расход нейтрализующего реагента;  $Q_{\text{ст}}$  – расход нейтрализуемых стоков.

Для щелочных стоков расчет выполняется аналогично:

$$V_{\text{ст}} C_{\text{OH}}^- = V_{\text{н.р}} C_{\text{H}}^+; \quad (4)$$

$$C_{\text{OH}}^- = 10^{(\text{pH}-14)}. \quad (5)$$

Поскольку



$$C_{\text{H}}^+ = \frac{1}{2} C_{\text{H}_2\text{SO}_4}. \quad (6)$$

Подставляя формулы (5) и (6) в формулу (4), получаем

$$V_{\text{н.р}} = \frac{V_{\text{ст}} \cdot 10^{(\text{pH}-14)}}{2C_{\text{H}_2\text{SO}_4}}.$$

Далее от объемов можно перейти к расходам:

$$Q_{\text{н.р}} = \frac{Q_{\text{ст}} \cdot 10^{(\text{pH}-14)}}{2C_{\text{H}_2\text{SO}_4}}.$$

Молярная концентрация реагента в зависимости от его массовой концентрации определяется по следующей формуле:

$$C = \frac{wp}{M_r \cdot 100\%},$$

где  $C$  – молярная концентрация;  $w$  – массовая концентрация;  $p$  – плотность раствора;  $M_r$  – молярная масса реагента.

В качестве нейтрализующего реагента предлагается использовать для кислых стоков 10%-ный раствор гидроксида натрия, а для щелочных – 10%-ный раствор серной кислоты. В таблице приведены характеристики этих реагентов.

### Характеристики реagens

Реагент	Характеристики реагентов			
	$M_r$ , г/моль	$w$ , %	$\rho$ , г/л	$C$ , моль/л
NaOH	40	10	1100	2,75
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98	10	1070	2,19

Все ранее приведенные расчеты и преобразования предполагается реализовать в разрабатываемой АСУ ТП. Для этого в составе АСУ ТП используется имеющаяся на предприятии распределенная система управления (PCY) DeltaV фирмы Emerson.

После реализации на предприятии описанной выше модернизации технологической схемы для управления процессом нейтрализации стоков нами разработан соответствующий алгоритм управления расходами реагентов.

Блок-схема этого алгоритма представлена на рис. 4. Предлагаемый алгоритм построен в точном соответствии с технологическим регламентом процесса нейтрализации сточных вод.

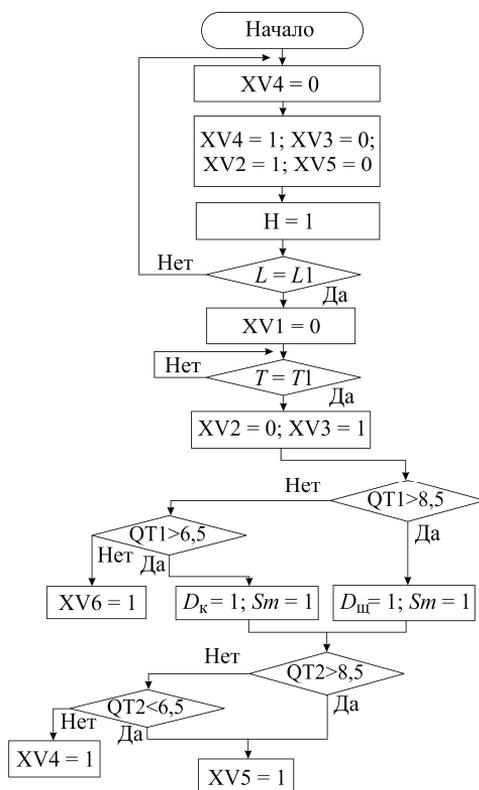


Рис. 4. Блок-схема алгоритма управления процессом нейтрализации

Реализация алгоритма в PCY DeltaV выполнена на сертифицированном IEC61131-3 языке программирования контроллеров – последовательности функциональных карт (SFC) и представлена на рис. 5 [7, 8].

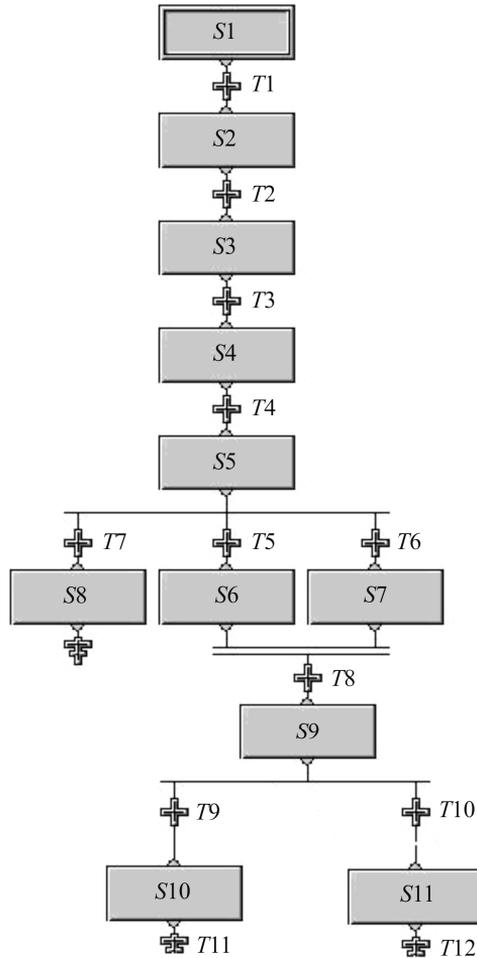


Рис. 5. Реализация алгоритма управления процессом нейтрализации, выполненная на языке SFC

В данной реализации алгоритма используются состояния (действия)  $S_i$  и условия  $T_i$  для перехода от состояния  $S_i$  к последующим состояниям  $S_{i+k}$ .

Состояние  $S_1$  указывает на состояние клапанов XV1–XV5. Присвоение в алгоритме переменной «1», отвечающей за состояние одноименного клапана, означает открытие клапана, «0» – его закрытие.

Выполнение всех условий блока  $S1$  позволяет выполнить переход  $T1$  к следующему состоянию  $S2$ .

Состояние  $S2$  указывает на состояние насоса поз. Н-503а ( $H = 1$  – насос включен).

Для выполнения перехода  $T2$  должно выполняться условие достижения уровня жидкости  $L$  в емкости Е-764 требуемого значения  $L1$  ( $L = L1$ ).

$S3$  указывает на состояние клапана  $XV1$  ( $XV1 = 0$ ). Далее осуществляется переход  $T3$  к следующему состоянию  $S4$ .

$S4$  реализует включение таймера на технологически заданное время – 15 мин. После истечения этого времени происходит срабатывание таймера, что позволяет осуществить переход  $T4$  к следующему состоянию  $S5$ .

$S5$  указывает на состояние клапанов  $XV2$  и  $XV3$  ( $XV2 = 0$ ,  $XV3 = 1$ ).

Далее возможен переход в одно из трех состояний –  $S6$ ,  $S7$  или  $S8$ . Условие этого перехода определяется значением рН на входе стоков в смеситель и может быть записано выражением

$$T_i = \begin{cases} i = 5, & \text{если } \text{pH} < 6,5, \\ i = 6, & \text{если } \text{pH} > 8,5, \\ i = 7, & \text{если } 6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5. \end{cases}$$

При переходе в состояние  $S6$  включается насос-дозатор поз. Н-501а в линии подачи в смеситель кислоты ( $D_k = 1$ ) и включается мешалка ( $Sm1 = 1$ ).

При переходе в состояние  $S7$  включается насос-дозатор поз. Н-502а в линии подачи в смеситель щелочи ( $D_{щ} = 1$ ) и включается мешалка ( $Sm1 = 1$ ).

При переходе в состояние  $S8$  закрывается клапан на линии слива сточных вод в канализацию ( $XV6 = 1$ ).

При выполнении всех условий в состоянии  $S6$  или  $S7$  осуществляется переход  $T8$  в состояние  $S9$ .

В состоянии  $S9$  выполняется проверка соблюдения условия, что значение рН на выходе из смесителя лежит в диапазоне от 6,5 до 8,5. Если данное условие выполняется, то осуществляется переход  $T10$  в состояние  $S11$ , если нет – осуществляется переход  $T9$  в состояние  $S10$ .

S10 указывает на состояние клапана XV4 ( $XV4 = 1$ ), а S11 – на состояние клапана XV5 ( $XV5 = 1$ ).

Как отмечалось выше, перед процессом нейтрализации происходит приготовление растворов щелочи и кислоты в специальных емкостях E-7 и E-7а соответственно.

Для реализации процесса приготовления реагентов также разработаны алгоритмы управления.

Блок-схема алгоритма приготовления раствора щелочи представлена на рис. 6, а его программная реализация, выполненная на языке SFC, на рис. 7.

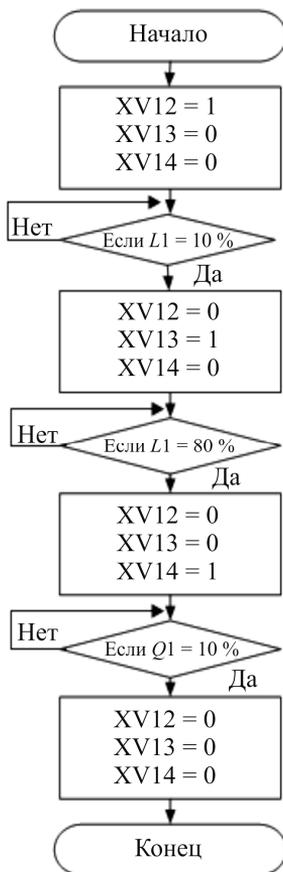


Рис. 6. Блок-схема алгоритма приготовления раствора щелочи

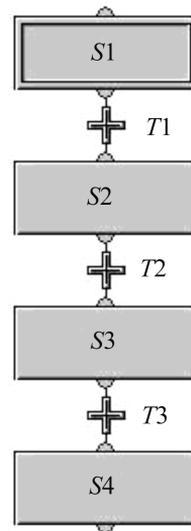


Рис. 7. Реализация алгоритма управления процессом приготовления раствора щелочи, выполненная на языке SFC

S1 отвечает за определенное состояние клапанов XV12–XV14 ( $XV12 = 1, XV13 = 0, XV14 = 0$ ). Таким образом, на первом этапе вы-

полнения алгоритма открывается клапан XV12 в линии подачи концентрированной щелочи из емкости 1752/721.

Переход T1 в следующее состояние S2 осуществляется только при выполнении условия, что концентрированная щелочь заполнила емкость на 10 % ( $L1 = 10$ ).

В S2 происходит следующее переключение клапанов: XV12 = 0, XV13 = 1, XV14 = 0. Таким образом, прекращается подача в емкость E-7 концентрированной щелочи и начинается подача речной воды.

Переход T2 в следующее состояние S3 осуществляется только при выполнении условия, что емкость E-7 заполнилась на 80 % ( $L1 = 80$ ).

В S3 происходит следующее переключение клапанов: XV12 = 0, XV13 = 0, XV14 = 1. Таким образом, прекращается подача в емкость E-7 речной воды и начинается подача азота.

Переход T3 в следующее состояние S4 осуществляется только при выполнении условия, что значение концентрации раствора, измеряемое при помощи ареометра, соответствует 7–10 % раствора щелочи. Это означает, что необходимый для нейтрализации стоков раствор щелочи готов.

В состоянии S4 все клапаны XV12–XV14 закрываются.

Алгоритм приготовления раствора кислоты выполнен аналогично.

Для расчета экономического эффекта автоматизации в статье ограничиваемся обоснованием формулы такого расчета.

Задача выбора конкретного вида аналитического выражения заключается в том, что общепринятая формула должна быть изменена таким образом, чтобы в ней были отражены конкретные экономические результаты предлагаемого варианта автоматизации процесса нейтрализации стоков.

При этом должны быть аналитически доказаны надежность и достоверность их достижения в условиях запроецированной АСУ ТП.

В общем виде экономический эффект автоматизации определяется выражением [9, 10]

$$\mathcal{E} = (\Pi_{\text{п}} - \Pi_{\text{д}}) - E \cdot K_{\text{доп}}, \quad (7)$$

где  $\Pi_{\text{п}}$ ,  $\Pi_{\text{д}}$  – прибыль после и до автоматизации соответственно;  $K_{\text{доп}}$  – дополнительные капитальные вложения в автоматизацию;  $E$  – нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности.

Прибыль может быть увеличена за счет следующего:

- роста объема реализации продукции;
- снижения себестоимости продукции;
- повышения качества продукции, если оно отражено в цене.

С учетом этого общепринятая формула для расчета экономического эффекта примет вид

$$\mathcal{E} = (\bar{P}_d \cdot \Delta B + B_{\text{п}} \cdot \Delta \bar{C} + \Delta \text{Ц} \cdot B_{\text{п}}) - E \cdot K_{\text{доп}},$$

где  $\Delta B$  – в нашем случае это увеличение объема нейтрализованной воды, если она является объектом реализации и ее объем увеличивается;  $\Delta \text{Ц}$  – изменение цены продукции.

В нашем конкретном случае нейтрализованная вода не является объектом реализации и объем ее получения не увеличивается. То же можно сказать и о цене. Таким образом, формула (7) принимает вид

$$\mathcal{E} = \Delta \bar{C} \cdot B_{\text{пр}} - E \cdot K_{\text{доп}},$$

где  $\Delta \bar{C}$  – снижение себестоимости кубометра воды.

Себестоимость воды изменяется за счет следующего:

- уменьшения расходных норм реагентов;
- изменения затрат электроэнергии за счет замены действующего смесителя и насосов на дозаторы;
- увеличения затрат на эксплуатацию вновь установленных ТСА;
- уменьшения затрат на эксплуатацию замененных ТСА;
- уменьшения затрат на эксплуатацию заменяемого технологического оборудования;
- увеличения затрат на эксплуатацию вновь установленного технологического оборудования.

Капитальные затраты включают сметную стоимость вновь устанавливаемых ТСА и технологического оборудования.

Таким образом, формула для расчета экономического эффекта предлагаемой АСУ ТП примет вид

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & (N_{\text{пр}} - N_{\text{д}}) \cdot T_{\text{эф}} \cdot \text{Ц}_{\text{эл}} + (\gamma_{\text{д}} - \gamma_{\text{пр}}) \cdot T_{\text{эф}} \cdot \text{Ц}_{\text{р}} + \\ & + (Z_{\text{Э}_{\text{Т.Од}}} - Z_{\text{Э}_{\text{Т.Он}}}) + (Z_{\text{Э}_{\text{ТСАд}}} - Z_{\text{Э}_{\text{ТСАн}}}) - E \cdot K_{\text{доп}}, \end{aligned}$$

где  $N_{пр}, N_{д}$  – электрическая мощность двигателей действующих насосов и вновь устанавливаемых насосов-дозаторов;  $T_{эф}$  – эффективное время функционирования станции нейтрализации;  $\gamma_{д}, \gamma_{пр}$  – часовой расход реагентов, соответственно в действующем производстве и по проекту;  $Z_{Э_{Т.О.д}}, Z_{Э_{Т.О.п}}, Z_{Э_{Т.САд}}, Z_{Э_{Т.САп}}$  – затраты на эксплуатацию основных фондов ТСА и технологического оборудования, соответственно до и после принятия проектных решений;  $\text{Ц}_{эл}, \text{Ц}_{р}$  – цена электроэнергии и реагентов соответственно.

Считаем, что затраты на эксплуатацию (техническое обслуживание, капитальный и текущий ремонт основных фондов) технологического оборудования и ТСА уменьшаются вследствие их технических преимуществ.

Таким образом, поставленная задача снижения себестоимости деминерализованной воды за счет снижения затрат реагентов, составляющих наиболее существенную статью затрат в калькуляции, выполнена.

Выполнен технологический анализ процесса нейтрализации стоков, в результате чего установлено, что для решения поставленной задачи необходимо создать условия для определения, во-первых, процентного содержания кислоты (щелочи) в сточных водах на входе в смеситель, во-вторых, фактического уровня рН на выходе из смесителя и, в-третьих, необходимого для нейтрализации количества реагентов.

Решение этих задач возможно на основании следующего:

- достаточно глубокого анализа технологических процессов нейтрализации стоков и приготовления реагентов необходимого качества и количества;
- классификации технологических параметров по степени их влияния на результаты анализируемых процессов и определения вследствие этого степени сложности автоматизируемых функций управления ими;
- разработки алгоритмов оптимального управления этими процессами;
- обоснования выбора ТСА для реализации разработанных алгоритмов;
- программной реализации разработанных алгоритмов.

Высокий уровень надежности функционирования АСУ ТП и, соответственно, производственных процессов и требуемая точность поддержания технологических параметров достигаются, во-первых, каче-

ством алгоритмов управления процессами, основанных на глубоком аналитическом изучении технологических процессов и строгом соответствии выполняемых в алгоритмах действий требованиям этих технологических процессов, во-вторых, высоким уровнем технических характеристик выбранных ТСА.

### **Список литературы**

1. Голубятников В.А., Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности: учеб. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1985. – 350 с.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – 7-е изд. – М.: Химиздат, 1961 – 830 с.
3. Автоматическое управление в химической промышленности / Е.Г. Дудников [и др.]. – М.: Химия, 1987. – 368 с.
4. Экономика предприятия: учеб. / О.И. Волков [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 603 с.
5. Экономика предприятия: учеб. / А.Е. Карлик [и др.]. – СПб.: Питер, 2009. – 461 с.
6. Экономика предприятия: учеб. / под ред. П.П. Табурчака, В.М. Тумина. – Ростов н/Д: Феникс, 2002. – 320 с.
7. Анашкин А.С., Кадыров Э.Д., Харазов В.Г. Техническое и программное обеспечение распределенных систем управления. – СПб.: П-2, 2004. – 368 с.
8. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 256 с.
9. Чарная Е.Б. Технико-экономическое обоснование автоматизации объекта: учеб. пособие / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 1996. – 77 с.
10. Чарная Е.Б. Принципы и условия организации автоматизированного производства на химическом предприятии: учеб. пособие / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2010. – 113 с.

### **References**

1. Golubyatnikov V.A., Shuvalov V.V. Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov v khimicheskoy promyshlennosti [Automation of industrial processes in chemical industry]. 2d ed. Moscow: Khimiya, 1985. 352 p.
2. Kasatkin A.G. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii [Basic processes and machinery in chemical technology]. 7th ed. Moscow: Khimizdat, 1961. 750 p.

3. Dudnikov E.G. [et al.] *Avtomaticheskoe upravlenie v khimicheskoy promyshlennosti* [Automatic control in chemical industry]. Moscow: Khimiya, 1987. 368 p.
4. Volkov O.I. [et al.]. *Ekonomika predpriyatiya* [Company economics]. 3rd ed. Moscow: INFRA-M, 2008. 603 p.
5. Karlik A.E. [et al.]. *Ekonomika predpriyatiya* [Company economics]. St.-Petersburg: Piter, 2009. 461 p.
6. Taburchak P.P., Tumin V.M. *Ekonomika predpriyatiya* [Company economics]. Rostov na Donu: Feniks, 2002. 320 p.
7. Anashkin I.V., Kadyrov E.D., Khazarov V.G. *Tekhnicheskoe i programmnoe obespechenie raspredelennykh system upravleniya* [Hardware and software of distributed control systems]. St.-Petersburg: P-2, 2004. 368 p.
8. Petrov I.V. *Programmiruemye kontrollery. Standartnye yazyki i instrumenty* [Programmable controllers. Standard tools and languages]. Moscow: SOLON-Press, 2004. 256 p.
9. Charnaya E.B. *Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie avtomatizatsii obekta* [Feasibility study of object automation]. Perm: Permskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 1996. 77 p.
10. Charnaya E.B. *Printsipy i usloviya organizatsii avtomatizirovannogo proizvodstva na khimicheskom proizvodstve* [Principles and conditions for an automatized production arrangement at a chemical plant]. Perm: Permskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 2010. 113 p.

### **Об авторах**

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

**Поповцева Любовь Евгеньевна** (Пермь, Россия) – магистрант кафедры автоматизации технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: atp@pstu.ru).

**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).

**Чарная Евгения Борисовна** (Пермь, Россия) – кандидат экономических наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: atp@pstu.ru).

### **About the authors**

**Elena A. Visloukhova** (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).

**Lyubov E. Popovtseva** (Perm, Russian Federation) – muster student, department of automation technological processes, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: atp@pstu.ru).

**Sergey I. Stashkov** (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).

**Evgeniya B. Charnaya** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. of economical sciences, associate professor, department of automation technological processes, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: atp@pstu.ru).

Получено 15.09.2014