

УДК 65.011.56 © П.П. Иванов¹, С.Г. Пачкин¹, В.П. Иванова²,
А.Г. Семенов¹, Е.С. Михайлова¹, 2024

UDC 65.011.56 © P.P. Ivanov¹, S.G. Pachkin¹, V.P. Ivanova²,
A.G. Semenov¹, E.S. Mikhaylova¹, 2024

¹ ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия

¹ Kemerovo State University,
Kemerovo, 650000, Russian Federation

² ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет»,
634050, г. Томск, Россия

² Siberian State Medical University,
Tomsk, 634050, Russian Federation

✉ e-mail: ipp7@yandex.ru

✉ e-mail: ipp7@yandex.ru

Автоматизация процесса регулирования pH в схеме очистки карьерных сточных вод угледобывающих предприятий*

Automation of the pH control process in treatment of surface coal mine runoff water

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-7-84-90>

ИВАНОВ П.П.

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры
мехатроники и автоматизации
технологических систем
ФГБОУ ВО «Кемеровский
государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: ipp7@yandex.ru

ПАЧКИН С.Г.

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры
мехатроники и автоматизации
технологических систем
ФГБОУ ВО «Кемеровский
государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: sergon777@inbox.ru

Развитие угледобывающей промышленности Кузбасса смещается в сторону расширения открытой угледобычи, увеличивая антропогенную нагрузку на окружающую среду, в частности усиливая загрязнение поверхностных и подземных вод территории угледобычи. Для обеспечения необходимого уровня очистки карьерных сточных вод рекомендуется реагентная технология очистки, подразумевающая обработку сточных вод коагулянтами и флокулянтами. Однако для эффективного протекания процесса коагуляции необходимо поддерживать значение pH в сточных водах на уровне 7,5-8,5 единиц. Это обстоятельство предполагает обязательную корректировку pH путем установки в схему непрерывного смесителя и разработку системы автоматического управления процессом нейтрализации. Основной сложностью при синтезе систем автоматического регулирования pH являются нелинейность кривой титрования, статических и динамических характеристик процесса, а также значительная разница между расходами смешивающихся потоков (сточные воды и реагент). Наибольшее распространение для решения поставленной задачи получили непрерывные замкнутые системы автоматизированного регулирования (САР), реализующие ПИ- или ПИД-закон регулирования.

* Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 № 1144-р, при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, № соглашения 075-15-2022-1201 от 30.09.2022.



Однако поиск оптимальных значений параметров настройки этих регуляторов является сложной математической задачей, осложняющейся отмеченными ранее технологическими особенностями процесса нейтрализации, а также необходимостью постоянной ручной корректировки установки, вызванной жесткой настройкой параметров регулятора. Данное обстоятельство формирует необходимость поиска новых методов регулирования, в частности использование аппарата нечеткой логики при решении задач управления нелинейными процессами, что и было реализовано в данной работе.

Ключевые слова: карьерные сточные воды, очистка, нейтрализация, регулирование pH, регулятор нечеткой логики, нелинейная характеристика.

Для цитирования: Автоматизация процесса регулирования pH в схеме очистки карьерных сточных вод угледобывающих предприятий / П.П. Иванов, С.Г. Пачкин, В.П. Иванова и др. // Уголь. 2024;(7):84-90. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-7-84-90.

Abstract

Development of the coal mining industry in Kuzbass is shifting towards the expansion of surface coal mining, increasing the man-made load on the environment, in particular, intensifying pollution of the surface and ground waters within the coal mining territory. To ensure the required level of surface mine runoff water treatment, a reactant-based processing technology is recommended, which implies treatment of the runoff water with coagulating and flocculating agents. However, to ensure efficiency of the coagulation process it is necessary to maintain the pH level in the runoff water within the range of 7.5-8.5 units. This condition requires an obligatory pH correction by introducing a continuous mixer into the process flow and development of an automatic control system for the neutralization process. The main challenge in designing systems for automatic pH control is the non-linear nature of the titration curve, the static and dynamic characteristics of the process, as well as a significant difference between the rates of the mixing flows (wastewater and the reactant). Continuous closed-loop automated control systems (ACS) implementing the proportional-integral or the proportional-integral differential controls are the most common ways of addressing this challenge. However, finding the optimal settings of these regulators is a complex mathematical problem which is further complicated by the previously mentioned specific technological features of the neutralization process, as well as by the need for constant manual adjustment of the system caused by rigid tuning of the regulator parameters. This fact explains the need to search for new control methods, in particular, to use fuzzy logic in solving control tasks for nonlinear processes, which was implemented in this work.

Keywords

Surface mine runoff water, treatment, neutralization, pH control, fuzzy logic controller, nonlinear characteristics.

For citation

Ivanov P.P., Pachkin S.G., Ivanova V.P., Semenov A.G., Mikhaylova E.S. Automation of the pH control process in treatment of surface coal mine runoff water. *Ugol'*. 2024;(7):84-90. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-7-84-90.

Acknowledgements

The research was carried out as part of the 'Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new deep conversion products from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to human life' Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle, approved by Order No. 1144p of the Government of the Russian Federation dated May 11, 2022, with financial support by the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation, Agreement No. 075-15-2022-1201 as of September 30, 2022.

ИВАНОВА В.П.

Студентка ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет»,
634050, г. Томск, Россия,
e-mail: ianova.vera@mail.ru

СЕМЕНОВ А.Г.

Доктор техн. наук, профессор кафедры теории и методики преподавания естественнонаучных и математических дисциплин ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: agsem55@yandex.ru

МИХАЙЛОВА Е.С.

Канд. хим. наук, директор Института нано-, био-, информационных, когнитивных и социогуманитарных технологий, начальник управления по реализации КНТП ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: e_s_mihaylova@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Добыча угля открытым способом, имея высокие экологические показатели, характеризуется значительным воздействием на окружающую среду. Одним из основных векторов негативного воздействия является загрязнение поверхностных и подземных вод территории угледобычи поллютантами органической и неорганической природы. Сточные воды, образующиеся в процессе открытой добычи угля, представляют собой водную систему с микро- и макропримесями растворенных и нерастворенных веществ [1]. Согласно требованиям нормативно-правовых документов и законодательства, в области охраны окружающей среды промышленные сточные воды, поступающие в природную среду, не должны превышать предельно допустимую величину антропогенной нагрузки, совокупные показатели которой не должны вызывать изменение экосистемы водных объектов [2]. Это обстоятельство стимулирует разработку и применение как современных технологий очистки промышленных сточных вод и их аппаратного оформления, так и систем автоматизированного регулирования (АСУ) этих объектов. Решение вопросов комплексной автоматизации технологического процесса очистки карьерных сточных вод возможно через формирование системы связанных между собой локальных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Очистные сооружения карьерных сточных вод – это сложный аппаратно-технологический комплекс емкостного, реакционного и гидромеханического оборудования, объединенный в единый технологический цикл, способный обеспечить необходимую производительность при достаточной степени очистки поступающих сточных вод.

Качественный и количественный анализ поллютантов сточных вод угледобывающих предприятий Кузбасса показал, что основными загрязняющими веществами являются взвешенные вещества неорганической природы, нефтепродукты, растворенные соединения железа, марганца, цинка, меди, азота и серы, фенолы летучие, органические соединения по показателям ХПК и БПК₅ [3].

Авторами [4] предложена технология очистки сточных вод, включающая следующие стадии: гравитационное осаждение тяжелых взвесей; фильтрация через каскад гравийно-песчаных фильтрующих дамб с промежуточным отстаиванием; аэрация; стабилизация значений pH; реагентная обработка коагулянтами; реагентная обработка флокулянтами; выделение осадков и агломерированных взвесей; фильтрация; адсорбция на угольных фильтрах; выпуск очищенной воды.

Большинство коагулянтов, доступных для очистки больших объемов сточных вод, производят на основе хлоридов или сульфатов алюминия и железа, которые являются солями сильных кислот (соляная, серная) и слабых оснований. В процессе гидролиза этих солей наблюдается понижение водородного показателя (pH) среды вследствие выделения катионов водорода. Поэтому для полноценного протекания химической реакции коагуляции необходимо обеспечить значение нормативного pH в обрабатываемых сточных водах в диапазоне от 7,5 до 8,5 единиц [5]. В то же время в подземных водах, формирую-

щихся в зонах сочленений геосинклинальных областей и складок земной коры, содержание ионов хлора в солях тяжелых металлов возрастает до 95%, а содержание гидрокарбонатных ионов понижается до 20–22%, что ведет к повышению минерализации воды до 4–7 г/л и понижению значения pH до 6,0 единиц [6]. Концентрация ионов серы в подземных и карьерных водах угледобывающих предприятий находится в динамически изменяющихся значениях, величина которых определяется содержанием серы в угле и вмещающих породах и не зависит от геоструктурных условий горной выработки [7]. В частности, при повышении содержания серы до 4% и более образуются воды, имеющие значение показателя pH менее 6,0 единиц, что особенно проявляется при прямом взаимодействии атмосферных вод с вскрытыми породами [6].

Таким образом, при открытой добыче полезных ископаемых наблюдается постоянное изменение текущего значения показателя pH, что уменьшает эффективность используемых коагулянтов. Учитывая высокую стоимость реагентов, необходимо перед их подачей в доочищаемые карьерные сточные воды стабилизировать значение pH до нормативного уровня [8]. Для этого в предложенную схему после стадии аэрации необходимо включить непрерывный смеситель, обеспечивающий подачу раствора щелочи, и организовать систему автоматического управления расходом щелочи в зависимости от текущего значения водородного показателя.

Цель данной работы – разработка адаптивной АСУ участка стабилизации pH карьерных сточных вод угледобывающего предприятия, обеспечивающей нормативный уровень pH.

ПРЕДМЕТ И МЕТОДЫ

Учитывая технологическую необходимость повышения значения водородного показателя до 7,5–8,5 единиц, исследуемый процесс будет заключаться в подщелачивании доочищаемых сточных вод, как правило, имеющих значение pH в пределах 6,5–7,0 единиц. Процесс подщелачивания осуществляется путем введения в поток сточных вод расчетного объема раствора щелочи заданной концентрации в зависимости от текущего значения водородного показателя на выходе из смесителя.

Задача определения необходимого количества реагента для подщелачивания доочищаемых сточных вод решается в результате расчета материального баланса реакции нейтрализации. В разрабатываемой технологии [4], учитывая среднегодовые значения водородного показателя сточных вод угледобывающих предприятий Кузбасса, а также избыточное содержание в них сульфат ионов [9], реагентом служит раствор кальцинированной соды. В соответствии с законом эквивалентов получим расчетную зависимость для определения необходимого объема реагента для подкисленных сточных вод:

$$V_p = \frac{V_{cr} \cdot 10^{-pH}}{C \cdot \frac{1}{2} Ca(OH)_2},$$

где V_{cr} – объем подщелачиваемых стоков, м³; V_p – объем реагента, м³; C – молярная концентрация, моль/м³.

При синтезе САР необходимо учесть, что при подщелачивании сточных вод на угольных карьерах текущие значения pH колеблются в узком диапазоне при высоких суточных расходах, достигающих $100 \text{ м}^3/\text{ч}$. Опираясь на опыт использования САР pH водных растворов, предложенный в работах [10, 11], была реализована замкнутая САР (рис. 1), в которой в качестве регулируемой величины используется текущее значение величины pH потока сточных вод, выходящего из смесителя 3.

Из технологического анализа входных воздействий системы установлено, что наиболее эффективным параметром для организации процесса регулирования pH является расход реагента. Этот расход был взят в качестве управляющего воздействия, которое задается положением регулирующего клапана 4 на трубопроводе подачи реагента. Для обеспечения более точного контроля за процессом подщелачивания предлагается производить наблюдение за этим расходом.

В результате анализа входных и выходных информационных потоков системы было определено, что регулируемая переменная (значение pH сточных вод, выходящих из смесителя) может измениться вследствие действия следующих возмущающих воздействий:

- изменение расхода сточных вод на входе в смеситель 3;
- изменение давления сточных вод в трубопроводе на выходе из смесителя 3;
- изменение значения pH сточных вод на входе в смеситель 3;
- изменение значения pH реагента в емкости 1.

Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо на протяжении всего технологического процесса определять текущие значения давления в напорной

сети, расхода сточных вод и реагента, уровня реагента в емкости 1, а также pH реагента в емкости 1 и pH сточных вод на входе и выходе из смесителя 3. Контроль этих величин в режиме реального времени и расчет необходимого количества реагента формируют основную задачу АСУТП рассматриваемого участка.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Основной трудностью при регулировании pH является нелинейность статических и динамических характеристик объекта [12], связанная с нелинейной зависимостью pH от расходов реагентов, особенно в области нейтрального значения водородного показателя [10]. Кроме того, в рассматриваемом случае расход щелочного реагента в десятки раз меньше расхода обрабатываемых сточных вод. На практике это означает, что положение регулирующего клапана в требуемом диапазоне регулирования нужно будет изменять на очень малые значения, невозможные для современной промышленной трубопроводной арматуры. Также необходимо учитывать, что скорость протекания реакции нейтрализации в высокотурбулизированном потоке жидкости происходит практически мгновенно [13]. Математическая модель такого объекта, как правило, представляет собой апериодическое звено первого порядка с запаздыванием и характеризуется малым значением постоянной времени объекта [14], что значительно снижает устойчивость системы и точность регулирования, так как на первый план выходит инерционность контрольно-измерительных приборов, информационных каналов связи и регулятора.

Существуют различные методы проектирования и настройки САР для достижения желаемого уровня показателей качества регулирования pH. Например, Роров А., Farag А. и Werner Н. [15] предложили использовать многокритериальный генетический алгоритм оптимизации по каналу управления, направленный на линеаризацию показаний контрольно-измерительных приборов. Авторы Jari M. Bolinga, Dale E. Seborg, Joa P. Hespanha [16] описали методику поиска параметров настройки ПИД-регулятора с использованием многомодельного адаптивного алгоритма, реализующего функцию интерполяции нелинейных участков кривой титрования. Оба метода, в конечном счете, позволяют найти фиксированное значение коэффициента пропорциональности регулятора для разрабатываемого технологического процесса при заданном времени нейтрализации. Модель прогнозирующего управления процессом регулирования pH [17] является одной из наиболее успешных для определения параметров настройки промышленных ПИД-регуляторов. В ее основу положена динамическая модель процесса нейтрализации, основанная на кусочной аппроксимации кривой титрования. Кроме того, эта модель учитывает большинство фиксируемых возмущений и упреждает их влияние на кинетику процесса.

Общим недостатком всех перечисленных методов поиска оптимальных значений параметров настройки ПИД-регуляторов в САР процессов нейтрализации является их значительная вычислительная нагрузка, обусловленная необходимостью построения прогностической модели управления в каждый момент времени [18], что в совокуп-

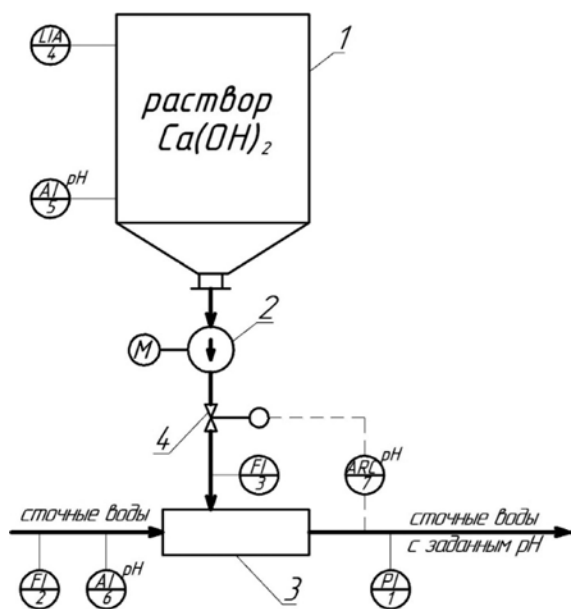


Рис. 1. Схема участка регулирования pH сточных вод:

1 – емкость; 2 – насос; 3 – смеситель;

4 – регулировочный клапан

Fig. 1. Diagram of the wastewater pH control area:

1 – tank; 2 – pump; 3 – mixer; 4 – control valve

ности с аппаратным запаздыванием средств автоматизации ведет к снижению показателей качества регулирования.

Выявленный недостаток возможно решить путем использования алгоритмов с нечеткой логикой управления [19]. Этот алгоритм предполагает автоматический контроль всех переменных процесса нейтрализации, за исключением заданного значения, которое устанавливается вручную и в отличие от традиционных систем управления (например, ПИД-регуляторов) может быть создан без использования специфических знаний об объекте управления. Несмотря на наличие ряда недостатков, связанных прежде всего с их малой изученностью, регуляторы с нечеткой логикой все чаще используются для управления сложными нелинейными системами, что обусловлено следующими причинами [20]:

- в основу системы управления положено правило «если» – «то», что облегчает процесс синтеза регулятора в случаях с нечетким заданием, например, допускается использовать понятия: «тепло», «холодно», «высоко», «низко» и т.д. без указания конкретных значений регулируемого параметра;

- регулятор с нечеткой логикой может одновременно использовать всю совокупность входных и выходных переменных, которые связаны между собой правилами «если» – «то» и дополнены логическими связками «и», «или». Сформулированные правила работают параллельно, при этом если при определении правил были допущены ситуации конфликта отдельных правил, то другие правила могут решить конфликтную ситуацию;

- регулятор нечеткой логики, имея нелинейную структуру, способен эффективно работать с системами, динамические характеристики которых описываются нелинейными уравнениями, а также системами, испытывающими нелинейные возмущения.

Автоматическое управление регулируемой величиной осуществляется на основе информации об ее текущих значениях, получаемой через обратную связь, тем самым не нарушая классическую структуру замкнутой САР. Регулятор с нечеткой логикой поддерживает значение регулируемой величины в пределах задания, одновременно управляя всеми переменными процесса с учетом коэффициентов веса, определяемых опытом эксплуатации объекта управления. Общая схема САР с использованием регулятора нечеткой логики в качестве вспомогательного регулятора показана на рис. 2.

В случаях, когда текущее значение регулируемой величины (рН), преобразованное в численный сигнал (Y_1) с помощью первого измерительного преобразователя (ИП₁), значительно отклоняется от заданного значения ($Y_1^{зад}$), регулятор нечеткой логики устанавливает новое значение уставки для ПИД-регулятора расхода реагента, численное значение которого (Y_2) определяется с помощью измерительного преобразователя (ИП₂). При этом новое значение текущей уставки (ϵ) определяется разницей между текущим значением регулируемой величины (Y_1) и ее желаемым значением (в целом по процессу) с учетом материального баланса реакции ($Y_2^{зад}$). Для расчета материального баланса предусмотрены измерительные преобразователи (ИП₃), формирующие вектор измеренных значений возмущаю-

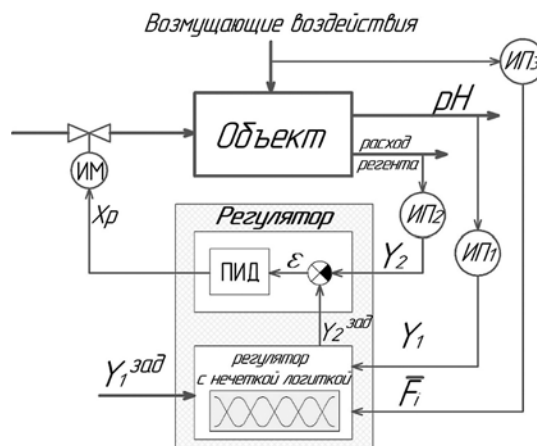


Рис. 2. Логическая схема САР регулирования рН сточных вод на основе регулятора с нечеткой логикой

Fig. 2. Logical scheme of the SAR regulation of the pH of wastewater based on a regulator with fuzzy logic

щих воздействий (F). Выходной сигнал ПИД-регулятора (X_p) подается на исполнительный механизм (ИМ) регулирующего клапана. Использование регулятора с нечеткой логикой обеспечивает хороший результат при разработке САР показателя рН сточных вод в непрерывном потоке. Нечеткая модель описывает имеющиеся знания и опыт эксплуатации данной установки без использования сложного математического аппарата, направленного на раскрытие возникающих неопределенностей. Во многом это объясняется возможностью учета степени влияния на ход технологического процесса каждого сочетания возмущений внешней и внутренней среды объекта.

В сравнении с традиционным ПИД-регулятором, использование предложенного регулятора с нечеткой логикой обеспечивает плавное управление в высокоскоростном потоке жидкости даже при действии на систему случайных внешних возмущений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Управление процессом регулирования рН имеет ряд трудностей, вызванных значительной нелинейностью статических и динамических характеристик. На сегодняшний день имеется много подходов к организации процесса автоматического регулирования таких систем. Однако традиционное использование ПИ- и ПИД регуляторов в рамках замкнутых САР сопряжено с необходимостью постоянной ручной корректировки уставки, вызванной жесткой настройкой параметров регулятора. Тенденцией сегодняшнего дня является значительное расширение аппарата нечеткой логики при решении задач управления нелинейными процессами, что и было рассмотрено в данной работе. Таким образом, алгоритм нечеткой логики показывает большие перспективы для решения задач линеаризации процесса регулирования рН в непрерывном потоке.

Список литературы • References

1. Способы снижения воздействия горнодобывающей отрасли на водные экосистемы / А.К. Горелкина, И.В. Тимошук, Н.С. Голубева и др. // Горный информационно-аналитический бюл-

- летень (научно-технический журнал). 2023. № 7. С. 64-75. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-7-0-64.
- Gorelkina A.K., Timoshchuk I.V., Golubeva N.S., Belyaeva O.V., Mikhailova E.S. Reduction of impact of mining on water ecosystems. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'*. 2023;(7):64-75. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2023-7-0-64.
2. Васянович Ю.А., Лущей В.П., Музыченко О.В. Возможности использования шахтных и карьерных вод для нужд населенных пунктов в угледобывающих регионах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № S22. С. 116-120.
Vasyanovich Yu.A., Lushpey V.P., Muzychenko O.V. Usability of surface and underground mine water for needs of communities in coal mining regions. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'*. 2013;(S22):116-120. (In Russ.).
 3. Современные биологические методы восстановления и очистки нарушенных угледобычей земель в условиях кемеровской области – Кузбасса / Н.В. Фотина, В.П. Емельяненко, Е.Е. Воробьева и др. // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 4. С. 869-882. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-869-882.
Fotina N.V., Emelianenko V.P., Vorobyeva E.E., Burova N.V., Ostapova E.V. Contemporary Biological Methods of Mine Reclamation in the Kemerovo Region – Kuzbass. *Tehnika i tehnologiya pischevykh proizvodstv*. 2021;51(4):869-882. (In Russ.). DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-869-882.
 4. Оценка эффективности очистки сточных вод угледобывающего предприятия и ее влияние на загрязнение малых рек / Л.А. Иванова, Н.С. Голубева, И.В. Тимошук и др. // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 1. С. 60-65. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-1-60-65.
Ivanova L.A., Golubeva N.S., Timoshchuk I.V., Gorelkina A.K., Prosekov A.Yu., Sapurin Z.P., Medvedev A.V. Evaluation of the efficiency of wastewater treatment of a coal mining enterprise and its impact on the pollution of small rivers. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2023;27(1):60-65. (In Russ.). DOI: 10.18412/1816-0395-2023-1-60-65.
 5. Филатова Е.Г. Обзор технологий очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, основанных на физико-химических процессах // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2015. № 2. С. 97-109.
Filatova E.G. Review of wastewater treatment technologies from heavy metal ions based on physico-chemical processes. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya*. 2015;(2):97-109. (In Russ.).
 6. Геоэкология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 2. М.: Недра, 1963. 1210 с.
 7. Счастливец Е.Л., Пушкин С.Г., Юкина Н.И. Гидроэкологические проблемы недропользования в Кузбассе // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № S4. С. 419-429.
Shchastlivtsev E.L., Pushkin S.G., Yukina N.I. Hydroecological problems of subsurface use in Kuzbass. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'*. 2010;(S4):419-429. (In Russ.).
 8. Мичурин Р.А. Оценка качества переходного процесса системы регулирования рН шахтных сточных вод // Электронные информационные системы. 2015. № 3(6). С. 34-42.
Michurin R.A. Assessment of the quality of the transition process of the pH regulation system of mine wastewater. *Elektronnyye informatsionnyye sistemy*. 2015;(6):34-42. (In Russ.).
 9. Потапов В.П. Геоэкология угледобывающих районов Кузбасса: монография. Новосибирск: Наука, 2005. 650 с.
 10. Патент № 2284048 С2 Российская Федерация, МПК G05D 21/00, C02F 1/66, C02F 103/06. Способ автоматического регулирования величины рН водных растворов: № 2004134297/15: заявл. 24.11.2004: опубл. 20.09.2006 / З.А. Байназаров, С.В. Бурдыгина, В.Н. Горин и др.; заявитель Закрытое акционерное общество «Каустик».
 11. Патент № 2578045 С1 Российская Федерация, МПК G05D 21/02. Способ автоматического регулирования величины рН циркуляционной воды контура охлаждения статора электрогенератора паровой турбины: № 2014145048/28: заявл. 06.11.2014: опубл. 20.03.2016 / Б.М. Ларин, А.Б. Ларин, Е.А. Карпычев; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» (ИГЭУ).
 12. Bratsun D, Mizev A., Utochkin V., Nekrasov S., Shmyrova A. Nonlinear development of convective patterns driven by a neutralization reaction in immiscible two-layer systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 2023;381(2245):20220178.
 13. Фетисова Н.Ф. Оценка расхода реагентов для нейтрализации кислых шахтных вод на основе моделирования кривых титрования // Горное эхо. 2023. № 2(91). С. 19-25. DOI: 10.7242/echo.2023.2.4.
Fetisova N.F. Estimation of reagent consumption for neutralization of acid mine waters based on titration curve modeling. *Gornoe echo*. 2023;(91):19-25. (In Russ.). DOI: 10.7242/echo.2023.2.4.
 14. Беккер В.Ф., Камаев Д.С. Измерение и регулирование кислотности среды в процессе промышленной нейтрализации // Промышленные АСУ и контроллеры. 2013. № 6. С. 27-34.
Becker V.F., Kamaev D.S. Measuring and regulating the acidity of the medium in the process of industrial neutralization. *Promyshlennyye ASU i kontrolyery*. 2013;(6):27-34.
 15. Popov A., Farag A., Werner H. «Tuning of a PID controller Using a Multi-objective Optimization Technique Applied to A Neutralization Plant,» Decision and Control, 2005 and 2005 European Control Conference. CDC-ECC'05. 44th IEEE Conference.
 16. Jari M. Bolinga, Dale E. Seborg, Joa P. Hespanhac, Multimodel adaptive control of a simulated pH neutralization process. *Control Engineering Practice*. 2007;(15):663-672.
 17. Sanaz Mahmoodia, Javad Poshtana, Mohammad Reza, Jahed-Motlaghb, Allahyar Montazeria. Nonlinear model predictive control of a pH neutralization process based on Wiener-Laguerre model. *Chemical Engineering Journal*. 2009;(146):328-337.
 18. Armenio L.B. et al. Model predictive control design for dynamical systems learned by echo state networks. *IEEE Control Systems Letters*. 2019;3(4):1044-1049.
 19. Dr. Magan. P. Ghatule. Design And Development Of Ph Neutralization Process: A Fuzzy Logic Based Electronics Sensing And Control System, Vol. 2, Is. 8, August 2013.
 20. Зо М.Н. Разработка системы управления позиционированием сервопривода с применением ПИД-регулятора и контроллера нечеткой логики // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2021. Т. 26. № 6. С. 583-588. DOI: 10.24151/1561-5405-2021-26-6-583-588.
Zo M.N. Development of a servo positioning control system using a PID controller and a fuzzy logic controller. *Izvestiya vysshykh uchebnykh zavedenij. Elektronika*. 2021;26(6):583-588. (In Russ.). DOI: 10.24151/1561-5405-2021-26-6-583-588.

Authors Information

Ivanov P.P. – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of Department of Mechatronics and Automation of Technological Systems, Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: ipp7@yandex.ru

Pachkin S.G. – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of Department of Mechatronics and Automation of Technological Systems, Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: sergon777@inbox.ru

Ivanova V.P. – Undergraduate student, Siberian State Medical University, Tomsk, 634050, Russian Federation, e-mail: ianova.vera@mail.ru

Semenov A.G. – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Theory and Methods of Teaching Natural Science and Mathematical Disciplines, Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: agsem55@yandex.ru

Mikhaylova E.S. – PhD (Chemistry), Director of the Institute of Nano-, Bio-, information, Cognitive and Socio-humanitarian Technologies, Head of the Department for Implementation of Integrated Scientific and Technical Program, Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: e_s_mihaylova@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 27.02.2024

Поступила после рецензирования: 16.06.2024

Принята к публикации: 25.06.2024

Paper info

Received February 27, 2024

Reviewed June 16, 2024

Accepted June 25, 2024

На шахте «Распадская» ввели в эксплуатацию новый очистной забой

На шахте «Распадская» Распадской угольной компании (РУК) введена в работу новая лава с промышленными запасами более 3 млн т угля.

Протяженность нового выемочного участка составляет 1,5 км, длина лавы – 300 м. Выполнен весь комплекс горно-капитальных, проходческих и монтажных работ. В рамках подготовки бригады проходческого участка № 19 прошли более 10 км горных выработок по пласту № 6-ба. Отработка запасов угля ведется на глубине около 500 м.

Особое внимание уделено промышленной безопасности выемочного участка. В лаве смонтированы цифровые системы машинного зрения, которые позволяют круглосуточно в режиме онлайн отслеживать все технологические процессы. Установлены цифровые датчики работы очистного оборудования и аэрогазового контроля. Тепловизионные видеокамеры отслеживают возможное нагревание лавного привода и горного массива. Впервые в Распадской угольной компании по всей длине выемочного участка применили систему видеонаблюдения, включающую в себя 18 видеокамер с возможностью вращения на 360 градусов и обеспечивающую полный круговой обзор.

Забой оснащен новым очистным комплексом, в который входит полный комплект горношахтного оборудо-



РАСПАДСКАЯ
УГОЛЬНАЯ КОМПАНИЯ

вания – современный комбайн, секции крепи, лавный конвейер, перегружатель и другое. В Распадской угольной компании данный

очистной комплекс используется впервые. Он был приобретен в 2023 г. специально под горно-геологические условия шахты «Распадская». Это оборудование с высоким уровнем промышленной безопасности и усиленными механизмами.

Отработку запасов новой лавы горняки шахты «Распадская» планируют вести в течение полутора лет.

*Управление по связям с общественностью
Распадской угольной компании*