ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2023;(6):168-180
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 553.632+628.23+681.5 DOI: 10.25018/0236_1493_2023_6_0_168

# СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ ВОЗДУХА ПРИ ВЕНТИЛЯЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ

**А.В. Затонский[1], О.В. Морозова[1]**

[1] Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, Березники, e-mail: olgakhivrenko@yandex.ru

***Аннотация:*** Рассмотрен синтез систем автоматизированного управления, обеспечивающих необходимое рециркулирование воздуха в подземных горных выработках на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей при получении как сильвинитовых, карналлитовых руд, и галита. Перечислены статические средства управления воздухораспределением. Рассмотрены наиболее применяемые вентиляционные перемычки, возводимые из пеноблоков, чураков и конвейерной резиновой ленты, и способы воздухораспределения. Произведен анализ регулирования данными статическими устройствами с указанием их недостатков. Графически представлена схема устройства шахтной вентиляционной установки и произведено ее моделирование. Описаны мероприятия по снижению воздухопотерь. Проведен активный эксперимент для получения кривых разгона и идентификации местной системы вентиляции как объекта управления. При помощи интерактивного пакета для численных вычислений в инженерной практике Simulink среды MatLAB произведено моделирование трех вариантов системы автоматизированного управления для проверки качества переходных процессов. Созданы и графически представлены структурные модели систем автоматизированного управления, выполнен расчет оптимальных настроек регуляторов. Произведен сравнительный анализ графиков переходных процессов по управлению и возмущению в одноконтурной, каскадной, каскадно-компенсаторной системах автоматического регулирования. Система автоматизированного регулирования реализована на контроллере Simatic S7-300. Рассмотрена возможная интеграция разработанной системы регулирования в автоматизированную систему управления технологическим процессом вентиляции шахты на Четвертом Березниковском калийном производственном рудоуправлении ПАО «Уралкалий». В итоге показано, что созданная система регулирования обеспечивает оперативный контроль и управление рециркуляцией воздуха в подземных выработках с учетом особенностей существующих средств статического воздухораспределения.

***Ключевые слова:*** калийно-магниевые руды, подземная разработка, вентиляция, рециркулирование, автоматическое регулирование, каскадно-комбинированная система управления, воздухораспределение, переходные процессы, шахтная вентиляционная установка.

***Для цитирования:*** *Затонский А. В., Морозова О. В.* Система автоматизированного управления рециркуляцией воздуха при вентиляции подземных горных выработок в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 6. – С. 168–180. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_6_0_168.

© А.В. Затонский, О.В. Морозова. 2023.

# Automated air recirculation control in underground mine ventilation at the Upper Kama potassium–magnesium salt deposit

**A.V. Zatonskiy**[1], **O.V. Morozova**[1]

[1] Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russia, e-mail: olgakhivrenko@yandex.ru

***Abstract:*** The study analyzes syntheses of automated air control systems to ensure the wanted air circulation in underground mining and production of sylvinite, carnallite and halite at the Upper Kama deposit of potassium–magnesium salts. The static approaches to air distribution are listed. The most popular techniques of construction of air dams made of foam blocks, cut logs and conveyor belts are discussed in more detail. The air flow control using these static facilities is examined, and their disadvantages are specified. A mine ventilation plant is laid out and modeled. The actions aimed to reduce air losses are described. The dynamic test is carried out to obtain the transient response curves and to identify the local ventilation system as a subject of control. Using the interactive engineering computations in Simulink MatLAB, three alternatives of an automated control are modeled to check the transient process quality. The structural models of the automated control systems are created and presented in a graphic form, and the settings of the controllers are optimized. The comparative analysis of the transient phenomena in control and excitation in the single-loop, cascade and cascade–compensation system of automated control is performed. The automated control system uses controller Simatic S7-300. The feasibility of integration of the developed system in the automated ventilation control in Uralkali's Berezniki Mine-4 is examined. Finally, it is shown that the new-design control system ensures real-time regulation and adjustment of air recirculation in underground mines with regard to the existing facilities of static air distribution.

***Key words:*** potassium–magnesium ore, underground mining, ventilation, recirculation, automated control, mixed-type cascade–compensation control system, air distribution, transient processes, mine ventilation plant.

***For citation:*** Zatonskiy A. V., Morozova O. V. Automated air recirculation control in underground mine ventilation at the Upper Kama potassium–magnesium salt deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(6):168-180. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_6_0_168.

## Введение

В настоящее время выращивание сельскохозяйственных культур по интенсивным индустриальным технологиям требует обязательного внесения в почву большого количества разнообразных органических и минеральных удобрений, в том числе, калийных. Все группы калийных удобрений производятся в подразделениях ПАО «Уралкалий» (г. Березники Пермского края). Более 90% выпуска удобрений составляет хлористый калий (KCl), получаемый методом обогащения из сильвинитовой руды. Калийно-магниевые руды добывают различными методами подземной разработки, при которых обязательным условием является поддержание вентиляции и воздухообмена в подземных выработках [1]. При осуществлении рудничной вентиляции посредством общешахтной депрессии, необходимо решать две взаимозависимые задачи: поддерживать нужный режим работы главной вентиляци-

онной установки (ГВУ) и производить распределение и регулирование движения воздуха по шахте [2].

Забор воздуха с поверхности происходит всасывающим способом. Необходимый перепад давления для притока воздуха создается путем разрежения воздуха ГВУ в устье ствола, выдающего воздух. При этом давление воздуха в любой точке горных выработок оказывается ниже атмосферного, и в случае аварийной остановки ГВУ воздух с поверхности будет продолжать поступать в выработки какое-то время. Поэтому, в отличие от нагнетательного способа, не требуется установка резервного вентилятора.

При использовании центральной схемы вентиляции приточный воздух подается по стволу, расходится по участкам шахты, возвращается по вентиляционным выработкам к выдающему стволу в центр поля и выходит на поверхность [3]. Такая схема, в отличие от фланговой, характеризуется упрощенной системой энергоснабжения и сокращением затрат на управление вентиляционной системой. После проветривания необходимых шахтных участков отработанный воздух под действием ГВУ стремится выйти обратно на поверхность [4]. Однако состав воздуха, прошедшего через рабочую зону, является все еще допустимым для повторного использования его в системе вентиляции. Для организации повторного проветривания применяются шахтные вентиляционные установки (ШВУ), устанавливаемые между двумя параллельно идущими вентиляционными штреками, воздухоподающим и воздухоотводящим. С помощью этой установки и системы автоматического управления (САУ) поддерживается заданный коэффициент рециркуляции воздушного потока, и сокращаются экономические затраты на проветривание и производство в целом [5].

Целью данной статьи является синтез САУ, которая обеспечивает достаточную рециркуляцию в калийной шахте с учетом особенностей существующих средств статического воздухораспределения.

### Статические средства управления воздухораспределением

Управление воздухораспределением необходимо для обеспечения всех участков вентиляционной сети рудника (камер и рабочих зон, панелей, блоков, направлений, крыльев рудника) расчетным количеством воздуха. Для этого применяются регулирующие вентиляционные устройства следующего назначения:

- управляющие подачей воздуха на пласты и в рабочие зоны;
- распределяющие воздух между блоками внутри панели;
- перераспределяющие воздух между панелями;
- перераспределяющие воздух между направлениями (крыльями) рудника;
- перераспределяющие воздух между регулирующими заслонками КСН и определяющие количество подаваемого по каждой КСН воздуха.

Настройка и перенастройка средств воздухораспределения производится, когда в результате проведенных замеров наблюдается перерасход воздуха на участках (горизонтах) вентиляционной сети более 15% от расчетного значения с учетом коэффициента неравномерности.

Для управления воздухораспределением в калийной шахте применяются разнообразные вентиляционные устройства, механизмы и конструкции, рассмотренные ниже. В вентиляционных устройствах, устанавливаемых по пути запасных выходов, должны предусматриваться двери, обеспечивающие герметичность при любых режимах проветривания и места для прохода людей

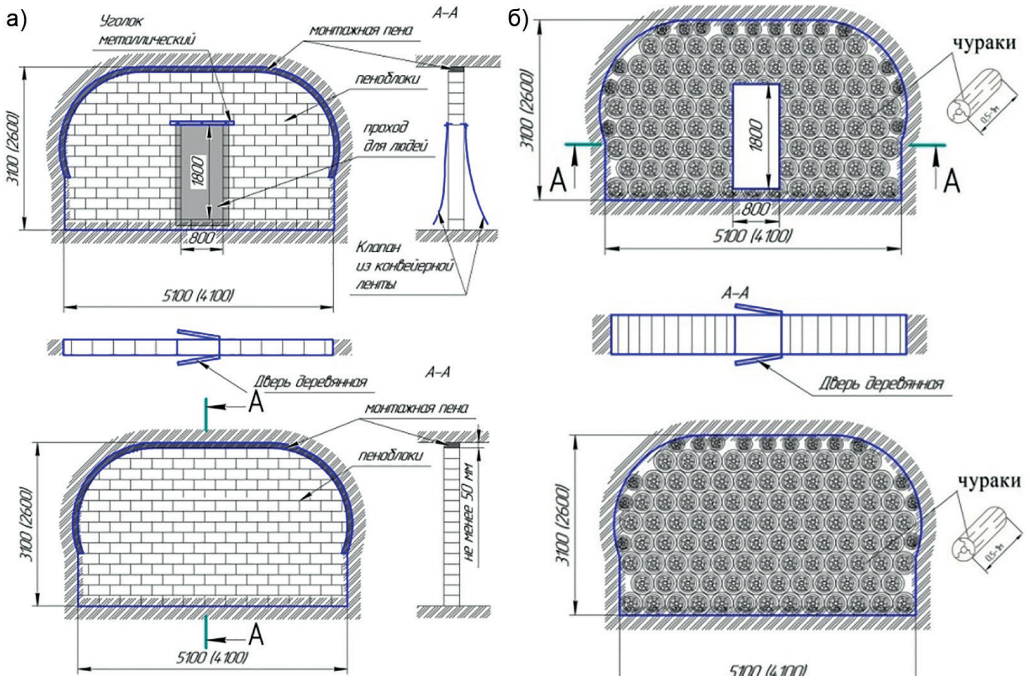



*Рис. 1. Изолирующая вентиляционная перемычка с проходом для людей, из пеноблоков (а) и чураковая (б)*

*Fig. 1. Insulating ventilation bulkhead with a passage for people, made of foam blocks (a) and cut logs (b)*

через парусные перемычки. При необходимости, для исключения закорачивания вентиляционной струи, должны устанавливаться две перемычки с образованием шлюзовой камеры [6].

Но все эти перечисленные методы и способы регулирования недостаточно продуктивны, инертны и не имеют возможности оперативного прямого регулирования процесса вентиляции подземных выработок, что возвращает нас к цели работы. Однако особенности пассивных средств управления воздухораспределением ограничивают возможности автоматического управления.

Вентиляционные перемычки устанавливаются в горных выработках, соединяющих выработки со свежей струей, и струей сходящего воздуха, а также для изоляции выработанного пространства. Полотно перемычки должно полностью перекрывать все сечение выработки. Перемычки из пеноблоков (либо из любого другого материала с аналогичными свойствами) выкладываются на цементном растворе (либо на другом скрепляющем материале). Для полной герметизации неплотности по периметру выработки заполняются монтажной пеной (рис. 1, *а*). Для прохода людей в перемычке оставляется проем, который оборудуется двойными деревянными дверями или двойным клапаном из конвейерной ленты.

Перемычки из чураков (рис. 1, *б*) выкладывают на цементном или на аналогичном скрепляющем растворе, допускается и устройство данной перемычки без скрепляющего раствора. С целью снижения расхода материалов допускается предварительная подсыпка рудной мелочью-штыбом. После уплотнения

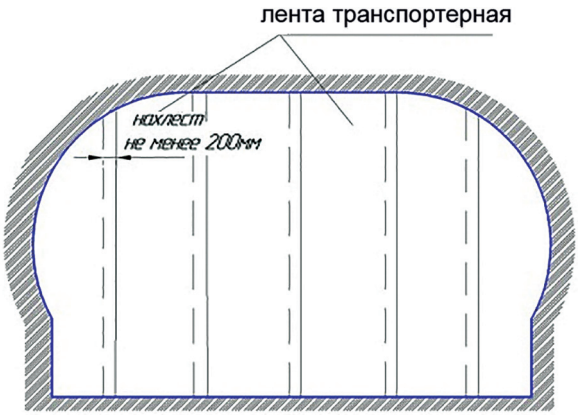



*Рис. 2. Регулирующая вентиляционная перемычка из конвейерной ленты, подвешенной на анкерах*
*Fig. 2. Regulating ventilation bridge from a conveyor belt suspended on anchors*

насыпки верхняя площадка разравнивается, и укладывается перемычка. Для прохода людей в перемычке оставляется проем, который оборудуется двойными деревянными клапанами из конвейерной ленты.

Регулирующая вентиляционная перемычка из конвейерной ленты (рис. 2), подвешенная на анкерах, устанавливается в горных выработках, соединяющих выработки со свежей и исходящей струей воздуха, где предусматривается проезд техники, и там, где необходимо снизить количество проходящего воздуха, а также в сбойках между транспортным и конвейерным штреками. Регулирование подачи необходимого количества воздуха осуществляется путем удаления или закрепления одной, или нескольких полос ленты к кровле или стенке выработки.

Таким образом, при расчете систем управления вентиляторами ГВУ/ШВУ необходимо принимать во внимание параметры статической «настройки» воздухораспределения. При их изменении (и даже при значительном изменении потока внутришахтного транспорта) настройки САУ требуют корректировки. Впрочем, это не отражается на самой методике их определения [7].

**Управление шахтной вентиляционной установкой**

Управление частотой вращения электродвигателя ШВУ происходит в зависимости от коэффициента рециркуляции $K$:

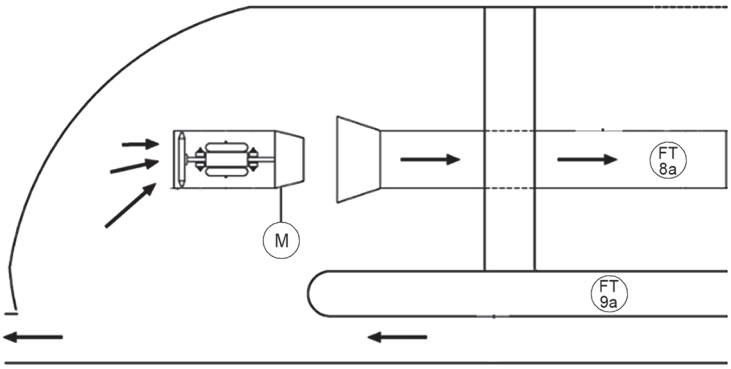
$$K = \frac{Q_{PE}}{Q_{PE} + Q_{ГВУ}} \qquad (1)$$

где $Q_{PE}$ — объем воздуха, отправляемый на вторичный обход (объем воздуха, проходящий через ШВУ); $Q_{ГВУ}$ — объем воздуха, уходящий на ГВУ. При достаточной производительности ГВУ принимается $K$ = 0,5. Иначе говоря, половина «отработанного» воздуха поступает на повторную рециркуляцию.

Правила управления производительностью ГВУ, которая обычно осуществляется вручную, следующие:

- если есть одна и более ветвь, в которых расход меньше декларируемого, то ступенчато увеличивать частоту вращения ГВУ с выдержкой до окончания изменений в наблюдаемых ветвях;
- если во всех ветвях есть перерасход, то ступенчато уменьшать частоту вращения ГВУ с выдержкой до прекращения перерасхода в одной и более ветвях.

Таким образом, ГВУ не зависит от каждой ШВУ непосредственно. ГВУ не-




8а – скорость воздушного потока на выходе вентилятора, 9а – скорость воздушного потока в штреке № 1, М – управление частотой вращения вентилятора

*Рис. 3. Функциональная схема проведения эксперимента*
*Fig. 3. Scheme of the MVS and the identification experiment*

избежно стремится уравнять коэффициент рециркуляции, в то время как каждая ШВУ предназначена именно для достижения заданного местного коэффициента рециркуляции и управляется отдельно. Воздух, проходящий через рабочую зону и поступающий на выход в атмосферу, до рециркуляции измеряется датчиком скорости потока воздуха, расположенном в штреке (поз. 9а, рис. 3). Далее он разделяется на выход и на рециркуляцию, коэффициент которой определяется частотой вращения ШВУ. Данные с датчиков и исполнительных механизмов по физическим каналам передаются в контроллер S7-300 и на панель оператора. Управляющий сигнал с контроллера через коммутатор Scalance по интерфейсу Ethernet передается на промежуточный контроллер и далее на преобразователь частоты, который, в свою очередь, устанавливает и контролирует частоту вращения.

Определим каналы каскадно-комбинированной системы управления ШВУ:

- основной: зависимость частоты оборотов вентилятора от коэффициента рециркуляции;
- внутренний: зависимость расхода воздуха на рециркуляцию от частоты оборотов;
- возмущения: зависимость расхода воздуха ГВУ от коэффициента рециркуляции.

По этим каналам проведена активная или пассивная идентификация на основании экспериментальных данных, полученных на БКПРУ-4 ПАО «Уралкалий» [8]. Например, передаточная функция по внутреннему каналу определена с использованием трендов расхода и частоты оборотов, полученных при пуске ШВУ. Получены следующие передаточные функции основного ($W_1$), внутреннего ($W_2$) каналов и канала возмущения ($W_3$):

$$W_1(s) = 0{,}875 \cdot \frac{26{,}4680 \cdot s + 1}{4957{,}6s^2 + 124{,}9275s + 1}, \quad (2)$$

$$W_2(s) = \frac{15{,}0742 \cdot s + 1}{32564s^3 + 2487{,}7s^2 + 79{,}5075 \cdot s + 1} \quad (3)$$

$$W_3(s) = 2{,}73 \cdot \frac{21{,}2501 \cdot s + 1}{3204{,}0s^2 + 102{,}8501 \cdot s + 1}, \quad (4)$$

По ним рассчитана каскадно-комбинированная система управления (рис. 4), [9] получены настройки ПИ-регуляторов $W_{p1}$ и $W_{p2}$, а также передаточная функция 6-го порядка идеального компенсатора

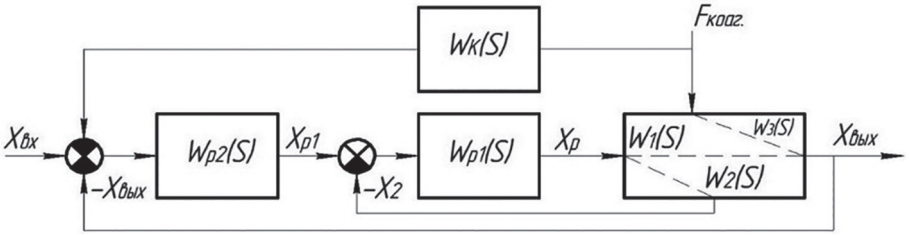



*Рис. 4. Структурная схема каскадно-комбинированной системы регулирования*
*Fig. 4. Structural scheme of a cascade-combined control system*

$$W_k(s) = \frac{2\,650\,300s^4 + 209\,790s^3 + 4830{,}6s^2 + 38{,}9252s}{4\,508\,600s^4 + 424\,980s^3 + 42\,480s^2 + 190{,}3197s + 1} \qquad (5)$$

Подобная передаточная функция сложна в реализации. С использованием программных средств [10] получена передаточная функция реального компенсатора достаточно близкого по показателям переходного процесса к идеальному.

$$W_k(s) = \frac{109{,}178s}{230{,}333s + 1}, \qquad (6)$$

Для проверки качества САУ ее смоделировали в пакете Simulink среды MatLAB в трех вариантах: одноконтурная, каскадная и каскадно-комбинированная. Ее принципиальное устройство показано на рис. 5. В модели реализованы вышеприведенные передаточные функции по всем каналам, а также добавлены ведущий и ведомый регуляторы (PID) и реальный компенсатор, соответствующий передаточной функции (6).

Путем подачи стандартных сигналов на входы САУ получены модельные тренды переходных процессов по всем каналам [11]. Например, переходные процессы по возмущению представлены на рис. 6.

Определено, что время регулирования по возмущению при переходе от одноконтурной к каскадной и далее к каскадно-комбинированной САУ с компенсатором уменьшается от 600 до 450 и 250 с соответственно. Относительная динамическая ошибка уменьшается от 0,275 до 0,172 и до 0,052, как видно на

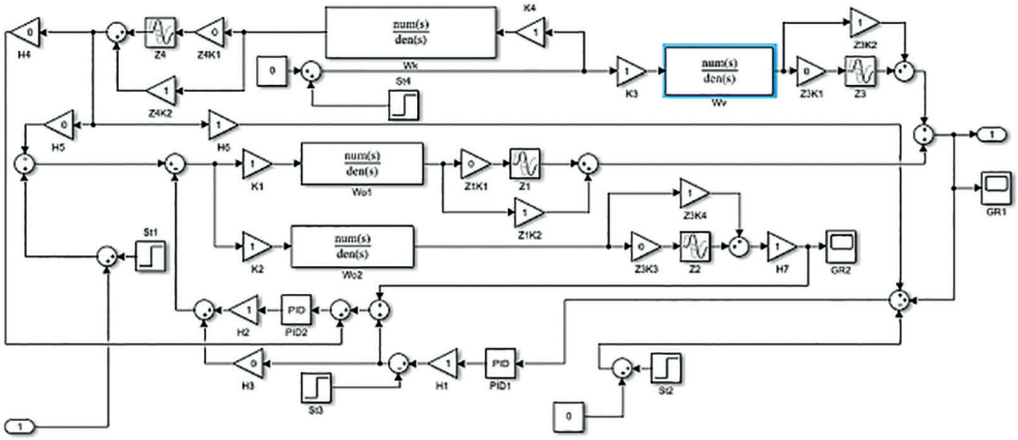
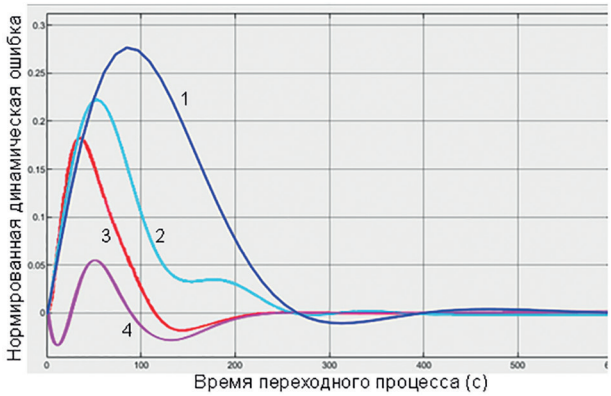



*Рис. 5. Модель каскадно-комбинированной САУ с компенсирующим устройством по возмущению*
*Fig. 5. Model of a cascade-combined ACS with a disturbance compensating device*




1 – одноконтурная автоматизированная система управления; 2 – каскадная автоматизированная система управления; 3 – каскадная автоматизированная система управления без компенсатора; 4 – каскадная автоматизированная система управления при наличии компенсатора

*Рис. 6. Сравнительный анализ графиков переходных процессов по возмущению*
*Fig. 6. Comparative analysis of graphs of transient processes by perturbation*

рис. 6. В данном случае уменьшение времени переходного процесса более важно [12].

Дальнейшее повышение эффективности САУ возможно путем настройки статических средств управления воздухораспределением, в том числе, мероприятиями по снижению воздухопотерь, к которым относятся:

• разделение поступления воздуха на отдельные участки, подсечные горизонты по обособленным воздухоподающим выработкам;

• использование общих воздухоподающих выработок на участок, позволяющих максимально обеспечить контроль поступления воздуха;

• изоляция отработанных частей участков перемычками, как на воздухоподающих, так и на вентиляционных выработках [13];

• герметизация неиспользуемых вентиляционных восстающих;

• сокращение внутренних утечек воздуха в выработках очистных горизонтов:

– изоляция отработанных участков капитальными перемычками или шлюзами, как на главных воздухоподающих, так и на главных вентиляционных выработках;

– установка регулируемых вентиляционных окон для перераспределения воздуха, поступающего на горизонт со стволов;

– установка регулируемых вентиляционных перемычек на подсечных горизонтах, управляющих подачей воздуха на участки.

• сокращение внешних утечек воздуха:

– герметизация вентиляционных устройств и каналов ГВУ с помощью строительных (бетон, листы металлопроката, пенобетон, газобетон) и иных инновационных материалов;

– покрытие стен надшахтного здания и каналов ГВУ гуммированными растворами или пенополиуретаном;

– автоматическое сохранение уровня руды в бункерах на уровне не менее 2 м;

– обшивка стенок копра вентиляционного ствола изолирующими (бетон, листы металлопроката, пенобетон, газобетон, полимерными покрытиями) и иными инновационными материалами [14];

• управление аэродинамическим сопротивлением участков вентиляционной сети:

– установка перемычек с регулируемыми вентиляционными окнами для перераспределения воздуха на рабочие панели, блоки, пласты, рабочие зоны (шиберы, шлюзы, управляемые вручную или дистанционно с диспетчерской рудника);

– расчистка и расширение существующих горных выработок;

– откачка рассолов из затопленных горных выработок (горизонтов, штреков).

Реализация рассчитанной системы регулирования предполагается путем ее интеграции в АСУТП, имеющую иерархическую структуру, которая состоит из трех уровней и обеспечивает оперативный контроль и управление [15].

Уровень 1 — уровень датчиков и исполнительных механизмов. На этом уровне происходит получение параметров технологического процесса от датчиков, преобразование в соответствующий вид для дальнейшей передачи на более высокий уровень, а также получение управляющих сигналов от системы управления и выполнение соответствующих действий исполнительными органами [16].

Уровень 2 — уровень регистрации и обработки собранной информации — на этом уровне расположены регистраторы и микропроцессорные регуляторы [17]. Он реализован на контроллере SIMATIC S7-300, широко применяемом в ПАО «Уралкалий». Контроллер работает по заданной программе, обеспечивая работу систем сбора информации о процессе, систем защит, систем автоматического регулирования и управления. Для программирования контроллера применяется пакет STEP 7. Команды управления с операторских станций поступают в контроллер, корректируя его работу.

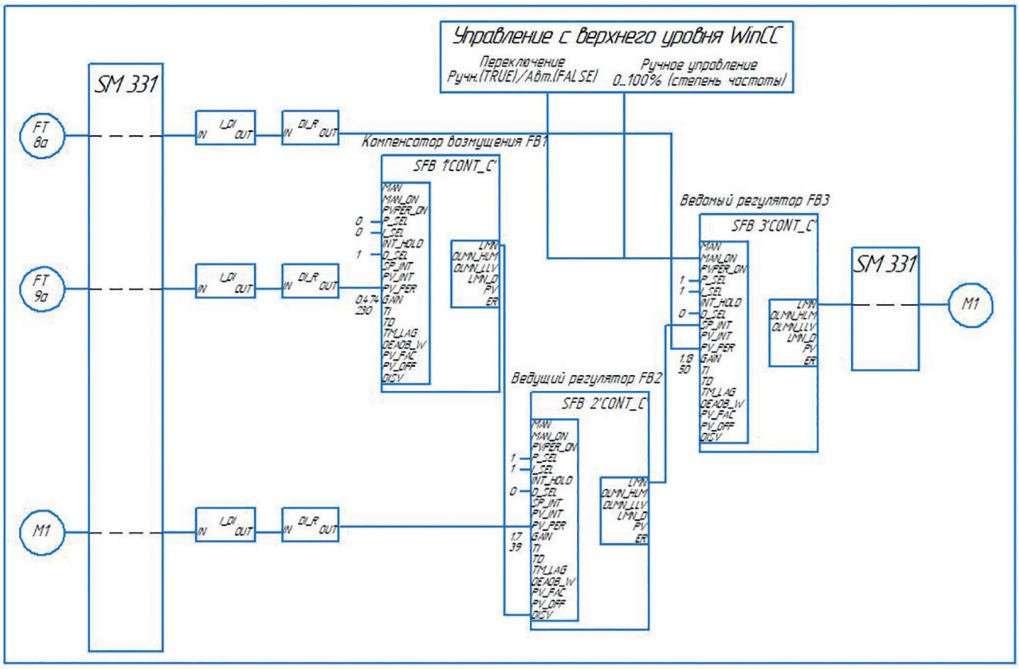



*Рис. 7. Реализация системы автоматического управления воздухораспределением*
*Fig. 7. Implementation of automatic air distribution control system*

Уровень 3 — уровень рабочих станций. На этом уровне происходит получение, обработка информации, представление ее в виде, необходимом оператору, выполнение функции управления процессом. На операторских станциях работает SCADA-система WinCC. Сама программа контроллера реализована на языке FBD в средеStep-7 (рис. 7). На аналоговые входы периферийного сигнального модуля SM331 контроллера поступают токовые сигналы 4-20 мА, преобразуются в вещественные значения и передаются в алгоблоки. Обратное преобразование значения в токовый сигнал производится при передаче команды частотному преобразователю [18].

Автоматизация производства считается одним из генеральных факторов развития науки и техники. Горная промышленность уделяет большое внимание комплексной механизации и автоматизации. Это связано со сложностью и высокой скоростью технологических процессов, а также их чувствительностью к нарушению режима, вредностью условий труда и опасностью взрыва и пожара перерабатываемых веществ. Автоматизация технологических процессов характеризуется частичной или полной заменой человека-оператора специальными техническими средствами контроля и управления [19].

**Заключение**

В данной работе описан технологический процесс вентиляции шахты с частичным повторным использованием воздуха, на основании которого производится выбор структуры и синтез системы автоматического регулирования проветриванием. Рассчитываются три типа систем автоматического регулирования: одноконтурная, каскадная и каскадно-комбинированная. Производится выбор технических средств для реализации рассчитанной системы автоматического регулирования. Для этого:

- выполнена функциональная схема автоматизации;
- сделан выбор применяемых средств контроля, регистрации, регулирования и сигнализации необходимых технологических параметров;
- обоснован выбор контура регулирования;
- спланирован и проведен активный эксперимент получения кривых разгона;
- произведен расчет оптимальных настроек регуляторов одноконтурной системы автоматизированного управления и получены переходные процессы данной системы регулирования.

В условиях, сформированных конкретными статическими воздухораспределительными устройствами, синтезированная система регулирования обеспечивает достаточное качество переходных процессов по управлению и возмущению, поскольку за счет использования реального компенсатора удалось уменьшить время переходного процесса до 250 с, а нормированную динамическую ошибку — в пять раз, до значения 0,052.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Трушкова Н. А.*, *Казаков Б. П.*, *Зайцев А. В.*, *Гришин Е. Л.* Применение рециркуляционных установок для повышения эффективности проветривания рудников с учетом обеспечения безопасных условий труда // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. — 2015. — Т. 1. — С. 283—290.

2. *Семин М. А.* Выбор и обоснование скорости движения воздуха в каналах ГВУ // Стратегия и процессы освоения георесурсов. Сборник научных трудов. Вып. 13. — Пермь, 2015. — С. 281—284.

3. *Поспелов Д. А.*, *Зайцев А. В.*, *Семин М. А.* Совершенствование алгоритма автоматизированного управления проветриванием калийных рудников // Горное эхо. — 2021. — № 1(82). — С. 133—138.

4. *Заворницын В. В.* Проветривание горных выработок рудников ООО «УГМК-Холдинг». Саратов: Ай Пи Ар Медиа, 2019. 142 с.

5. *Бильфельд Н. В.*, *Володина Ю. И.* Особенности расчета, моделирования и описание каскадных систем в MATLAB // Системный анализ в науке и образовании. — 2020. — № 1. — С. 39—51.

6. *Клюев А. С.* Проектирование систем автоматизации технологических процессов. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 464 с.

7. *Холоднов В. А.* Системный анализ и принятие решений. Компьютерное моделирование и оптимизация объектов химической технологии в Mathcad и Excel. — СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2007. — 425 с.

8. *Затонский А. В.* Компенсация скрытых стохастических свойств объекта автоматического регулирования // Известия Томского политехнического университета. — 2010. — Т. 316. — № 5. — С. 26—34.

9. *Зайцев А. В.*, *Трушкова Н. А.* Исследование рециркуляционного проветривания при наличии источника газовыделения в рабочей зоне и внутренних утечек воздуха // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 3. — С. 34—46. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_34.

10. *Лискова М. Ю.* Технологии проветривания рудников и шахт // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2015. — № 2. — С. 14—20.

11. *Затонский А. В.* Программные средства глобальной оптимизации систем автоматического регулирования. — М.: ИЦ РИОР, 2013. — 136 с.

12. *Затонский А. В.*, *Уфимцева В. Н.* Разработка объектных средств имитационного и многоагентного моделирования производственных процессов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. — 2018. — № 4. — С. 56—62.

13. *Беккер В. Ф.* Решение технологических проблем действующего производства средствами автоматизации. Т. 1. Производство калийных удобрений. Монография. — Пермь: ПНИПУ, 2012. — 312 с.

14. *Зайцев А. В.*, *Агеева К. М.* Осушение горных выработок калийных рудников с использованием средств систем автоматического управления проветриванием // Недропользование. — 2022. — Т. 22. — № 1. — С. 45—50. DOI: 10.15593/2712-8008/2022.1.7.

15. *Гращенков Н. Ф.*, *Петросян А. Э.*, *Фролов М. А.* Шахтная вентиляция. — М.: Недра, 1988. — 440 с.

16. *Никитин В. С.*, *Сыряченко Ф. Н.* Вентиляция шахт и карьеров. — М.: Недра, 1964. — 308 с.

17. *Де Вильена Коста Л., Маргарида да Силва Ж.* Экономия потребления электроэнергии при подземной вентиляции за счет использования вентиляции по требованию / Горная техника: Труды ИГМ. — 2020.

18. *Wallace K., Prosser B., Stinnette J. D.* The practice of mine ventilation engineering International Journal of Mining Science and Technology. 2015, vol. 25, no. 2, pp. 165—169. DOI: 10.1016/j.ijmst.2015.02.001.

19. *Kashnikov A., Levin L.* Applying machine learning techniques to mine ventilation control systems / Proceedining of XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). Saint-Petersburg, 2017, pp. 391—393. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970595. ГИАБ

## REFERENCES


1. Trushkova N. A., Kazakov B. P., Zaitsev A. V., Grishin E. L. The use of recirculation plants to improve the efficiency of mine ventilation, taking into account the provision of safe working conditions. *Aktual'nye problemy povysheniya effektivnosti i bezopasnosti ekspluatatsii gornoshakhtnogo i neftepromyslovogo oborudovaniya*. 2015, vol. 1, pp. 283—290. [In Russ].

2. Semin M. A. Selection and justification of the air velocity in the ducts of the MVS. *Strategiya i protsessy osvoeniya georesursov. Sbornik nauchnykh trudov*. Vyp. 13 [Strategy and processes of development of geo-resources. Collection of scientific papers, issue 13], Perm, 2015, pp. 281—284.

3. Pospelov D. A., Zaytsev A. V., Semin M. A. Improving the algorithm for automated control of ventilation of potash mines. *Gornoe ekho*. 2021, no. 1(82), pp. 133—138. [In Russ].

4. Zavornitsyn V. V. *Provetrivanie gornykh vyrabotok rudnikov OOO «UGMK-Kholding»* [Ventilation of mine workings of UMMC-Holding LLC], Saratov, IPR Media, 2019, 142 p.

5. Bilfeld N. V., Volodina Ju. I. Features of calculation, modeling and description of cascade systems in MATLAB. *Sistemnyy analiz v nauke i obrazovanii*. 2020, no. 1, pp. 39—51. [In Russ].

6. Klyuev A. S. *Proektirovanie sistem avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov* [Design of process automation systems], Moscow, Energoatomizdat, 1990, 464 p.

7. Kholodnov V. A. *Sistemnyy analiz i prinyatie resheniy. Komp'yuternoe modelirovanie i optimizatsiya ob"ektov khimicheskoy tekhnologii v Mathcad i Excel* [System analysis and decision support. Computer modeling and optimization of chemical technology objects in Mathcad and Excel], Saint-Petersburg, SPbGTI (TU), 2007, 425 p.

8. Zatonskiy A. V. Compensation for hidden stochastic properties of an automatic control object. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University.* 2010, vol. 316, no. 5, pp. 26—34. [In Russ].

9. Zaitsev A. V., Trushkova N. A. Recirculating ventilation in the presence of gas emission source and internal air leaks in operating space. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 3, pp. 34—46. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_3_0_34.

10. Liskova M. Yu. Ventilation technologies for mines and shafts. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2015, no. 2, pp. 14—20. [In Russ].

11. Zatonskiy A. V. *Programmnye sredstva global'noy optimizatsii sistem avtomaticheskogo regulirovaniya* [Software tools for global optimization of automatic control systems], Moscow, ITs RIOR, 2013, 136 p.

12. Zatonskiy A. V., Ufimtseva V. N. Development of object means of simulation and multiagent modeling of production processes. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer science and informatics*. 2018, no. 4, pp. 56—62. [In Russ].

13. Bekker V. F. *Reshenie tekhnologicheskikh problem deystvuyushchego proizvodstva sredstvami avtomatizatsii*. T. 1. Proizvodstvo kaliynykh udobreniy. Monografiya [Solving technological problems of existing production by means of automation. Vol. 1. Potash production. Monograph], Perm, PNIPU, 2012, 312 p.

14. Zaitsev A. V., Ageeva K. M. Drainage of mine workings of potash mines using means of automatic ventilation control systems. *Nedropol'zovanie*. 2022, vol. 22, no. 1, pp. 45—50. [In Russ]. DOI: 10.15593/2712-8008/2022.1.7.

15. Grashchenkov N. F., Petrosyan A. E., Frolov M. A. *Shakhtnaya ventilyatsiya* [Mine ventilation], Moscow, Nedra, 1988, 440 p.

16. Nikitin V. S., Syryachenko F. N. *Ventilyatsiya shakht i kar'erov* [Ventilation of mines and quarries], Moscow, Nedra, 1964, 308 p.

17. De Vilhena Costa L., Margarida da Silva J. Cost-saving electrical energy consumption in underground ventilation by the use of ventilation on demand. *Gornaya tekhnika: Trudy IGM* [Mining Technology: Transactions of the Institute of Mining and metallurgy], 2020. [In Russ].

18. Wallace K., Prosser B., Stinnette J. D. The practice of mine ventilation engineering. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015, vol. 25, no. 2, pp. 165 – 169. DOI: 10.1016/j.ijmst.2015.02.001.

19. Kashnikov A., Levin L. Applying machine learning techniques to mine ventilation control systems. *Proceedining of XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*. Saint-Petersburg, 2017, pp. 391 – 393. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970595.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Затонский Андрей Владимирович*[1] – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: zxenon@narod.ru,
*Морозова Ольга Владимировна*[1] – старший преподаватель, e-mail: olgakhivrenko@yandex.ru,
[1] Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал.
**Для контактов**: Морозова О.В., e-mail: olgakhivrenko@yandex.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*A.V. Zatonskiy*[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Chair, e-mail: zxenon@narod.ru,
*O.V. Morozova*[1], Senior Lecturer, e-mail: olgakhivrenko@yandex.ru,
[1] Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russia.
**Corresponding author**: O.V. Morozova, e-mail: olgakhivrenko@yandex.ru.

Получена редакцией 01.03.2023; получена после рецензии 10.04.2023; принята к печати 10.05.2023.
Received by the editors 01.03.2023; received after the review 10.04.2023; accepted for printing 10.05.2023.

**НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»**

Литвиненко А.К.
**Материалы по минералогии**
Год: 2022
Страниц: 72
ISBN: 978-5-98672-558-1
Учебное пособие по курсу «Минералогия, петрография и геохимия» содержит общие вопросы минералогии. В нем рассматриваются понятие «минерал», формы нахождения минералов в природе, принципы названий минералов и их классификация, методы исследования, внешние особенности, упрощенная диагностика, условия образования, практическое значение.