

6. Брейдо И.В., Дрижд Н.А., Марквардт Р.В. Методы обеспыливания в комбайновом проходческом забое // Труды университета. – 2016. – №. 1. – С. 67-70.
7. Овсянкин А.Д. Исследование и разработка способов мокрого обеспыливания в комбайновых забоях калийных рудников: дис. ... к.т.н. 05.15.02 / Овсянкин Аркадий Дмитриевич. – Пермь, 1975. – 231 с.: ил.
8. Овсянкин А.Д. Борьба с пылью на проходческих комбайнах с помощью водовоздушных завес // Технология и безопасность горных работ: сб. ст. / ППИ. – Пермь, 1974. – Вып. 150. – С.
9. Медведев И.И., Красноштейн А.Е. Борьба с пылью на калийных рудниках. – М.: Недра, 1977. – 192 с.
10. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»: утв. 08.12.2020, № 505, действуют с 01.01.2021 г. – М.: ЗАО «НТЦ исследований проблем пром. безопасности, 2021. – 520 с. – (Документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр: сер. 03, вып. 78).
11. Тимошенко А.М., Никифоров Д.В., Ворошилов Я.С., Поморцев А.А. Анализ существующих способов проветривания тупиковых подготовительных выработок // Вестн. Науч. центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2009. – №. 2. – С. 54-64.
12. Isaevich A.G., Semin M., Levin L., Ivantsov A., Lyubimova T. Study on the Dust Content in Dead-End Drifts in the Potash Mines for Various Ventilation Modes // Sustainability (Switzerland). – 2022. – V. 14, № 5. – Номер статьи 3030. – DOI: 10.3390/su14053030.
13. ANSYS FLUENT Theory Guide. Release 18.0. – ANSYS, 2017. – 1034 p.

УДК 622.4

DOI:10.7242/echo.2024.3.15

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПРОВЕТРИВАНИЯ РУДНИКОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЙ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ

Н.А. Трушкова, Л.Ю. Левин, А.В. Зайцев  
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

**Аннотация:** В статье рассматривается опыт и особенности применения частичного повторного использования воздуха на калийных рудниках, приведен новый подход к разработке и внедрению рециркуляционных систем на рудниках РФ, вызванный изменениями в нормативной документации, обозначены основные пункты, обязательные при разработке обоснования безопасности опасного производственного объекта (ОБ ОПО). Указано, что в современных условиях применение рециркуляции возможно в системах проветривания рудников любого типа путем разработки ОБ ОПО с соблюдением мер безопасности и реализации компенсирующих мероприятий, учитывающих особенности конкретного объекта.

**Ключевые слова:** рециркуляционная установка, система проветривания, правила безопасности, обоснование безопасности опасного производственного объекта.

Первая редакция правил безопасности, в которой появился пункт, регламентирующий применение частичного повторного использования воздуха, вышла в 2003 году [1], это был пункт № 160, в котором указано: «Для повышения эффективности проветривания рабочих зон допускается частичное повторное использование воздуха, прошедшего промежуточную очистку от газообразных и взвешенных вредных примесей. Степень промежуточной очистки должна быть такова, чтобы концентрация взвешенных и ядовитых газообразных примесей в воздухе, поступающем на повторное использование, не превышало 30% от ПДК, а по горючим и взрывоопасным газам 0,01 (1% от нижнего концентрационного предела взрываемости – далее НКПР).

Частичное повторное использование воздуха может осуществляться как в пределах всего шахтного поля, так и на отдельных его участках, имеющих обособленное проветривание.

При частичном повторном использовании воздуха должен осуществляться автоматический контроль содержания горючих и ядовитых газообразных примесей в воздухе после слияния свежей струи с воздухом, прошедшим промежуточную очистку.

При наличии в планах ликвидации аварии позиций, предполагающих применение реверсивных режимов проветривания, должны быть предусмотрены специальные мероприятия, исключающие попадание загазованного воздуха в свежую струю, направляемую к путям вывода людей. Эти мероприятия должны осуществляться при плановых проверках реверсивных режимов проветривания шахт.

Это стало возможным благодаря колоссальному объему натурных и теоретических исследований А.Е. Красноштейна, Г.З. Файнбурга, И.И. Медведева, Н.Н. Мохирова и К.З. Ушакова и [2-5] по обоснованию возможности, безопасности и эффективности применения рециркуляции на калийных рудниках и дало старт масштабному внедрению рециркуляционных систем на калийных рудниках России и Беларуси.

Далее в редакции ФНИП 2013 и ее изменениях 2018 года [6] присутствовал пункт правил, регламентирующий применение рециркуляции, он претерпевал некоторые изменения, но не запрещал ее использование, например пункт № 208 в редакции ФНИП [3] звучал следующим образом «При *повторном* использовании воздуха для повышения эффективности проветривания рабочих зон необходима промежуточная очистка воздуха от газообразных и взвешенных вредных примесей. При этом концентрация взвешенных и ядовитых газообразных примесей в воздухе, поступающем на *повторное* использование, не должна превышать 30% от ПДК, а по горючим и взрывоопасным газам 0,01 (1% от нижнего концентрационного предела взрываемости – далее НКПР).

При *повторном* использовании воздуха должен осуществляться автоматический контроль содержания горючих и ядовитых газообразных примесей в воздухе после слияния свежей струи с воздухом.

При наличии в плане мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварии позиций, предполагающих применение реверсивных режимов проветривания, должны быть предусмотрены специальные мероприятия, исключающие попадание загазованного воздуха в свежую струю, направляемую к путям вывода людей. Эти мероприятия должны осуществляться при плановых проверках реверсивных режимов проветривания шахт».

В настоящее время вступила в действие новая редакция «Правил безопасности при ведении горных работ...», из которой исключен пункт о рециркуляционном проветривании рабочих зон на калийных рудниках [7], при этом есть пункты № 182 и № 653, которые запрещают наличие рециркуляции в месте установки вентилятора местного проветривания (ВМП) и при проходке капитальных выработок. Таким образом, в современных условиях для применения рециркуляционного проветривания на рудниках РФ необходима разработка недостающих требований промышленной безопасности и подготовка обоснования безопасности опасного производственного объекта (далее ОБ ОПО) [8, 9] с проведением соответствующих исследований даже для тех предприятий, где системы частичного повторного использования воздуха успешно и безаварийно эксплуатируются не одно десятилетие, поэтому в данной статье показан опыт применения рециркуляционных систем и основные результаты исследований, выполненных в рамках подготовки ОБ ОПО.

### **Опыт применения**

Рециркуляционные системы внедрены при непосредственном участии специалистов отдела аэрологии и теплофизики «ГИ УрО РАН» и успешно используются на рудниках 1 РУ, 2 РУ, 3 РУ, 4 РУ, Березовском и Краснослободском рудниках ОАО «Беларуська-

лий» и рудниках БКПРУ-2, БКПРУ-4 и СКРУ-3 ПАО «Уралкалий». Суммарно на всех рудниках работает более 20 рециркуляционных установок, и за все время их эксплуатации не зафиксировано ни одной аварийной ситуации, связанной с повторным использованием воздуха. При этом происходит снижение энергозатрат на проветривание и воздухоподготовку, нормализация микроклиматических условий и повышение качества проветривания рабочих зон. Применяемые рециркуляционные системы состоят из рециркуляционной установки и датчиков контроля расхода воздуха и концентрации горючих газов. Типовая схема размещения рециркуляционной установки и элементов системы в сбойке между воздухоподающими и вентиляционными выработками показана на рисунке 1.

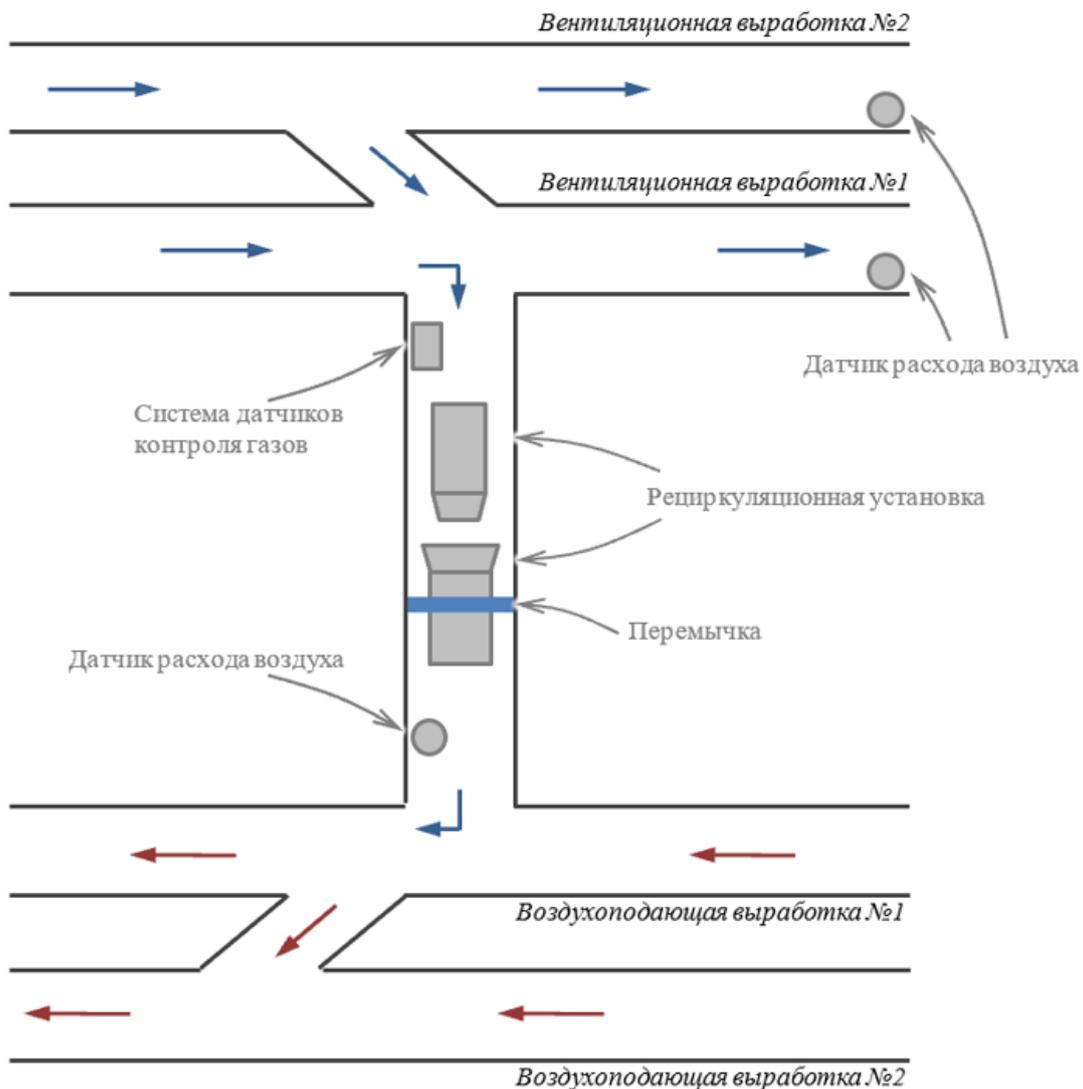


Рис. 1. Схема размещения рециркуляционной установки в сбойке

В рамках представленной схемы часть воздушного потока, движущегося по вентиляционным выработкам от рабочих зон к стволу, за счет тяги рециркуляционной вентиляционной установки поступает в рециркуляционную сбойку и далее на воздухоподающие выработки. Опыт внедрения показал колоссальную экономию энергии, затрачиваемой на проветривание и воздухоподготовку – на одном только руднике ЗРУ ОАО «Беларуськалий» годовое снижение составило 24 005 МВт·ч в год.

Если нормативная база Республики Беларусь позволяет эксплуатировать системы рециркуляции без каких-либо изменений, то для предприятий РФ при подготовке ОБ ОПО необходимо проводить ряд дополнительных исследований и в случае необходимости внедрять дополнительные мероприятия по повышению безопасности.

Для рудников ПАО «Уралкалий» специалистами отдела аэрологии и теплофизики «ГИ УрО РАН» в настоящее время подготовлено два ОБ ОПО. Структура данных документов помимо общей информации включает оценку риска аварии и связанной с ней угрозы, результаты оценки риска и условия безопасной эксплуатации ОПО при отступлении от пунктов №№ 153, 174 и 658 ФНИП [7], все это выполнено на основании научных теоретических и натурных исследований. Наибольший интерес с точки зрения применения рециркуляции и эксплуатации представляет анализ рисков и компенсирующие мероприятия, направленные на безопасность проветривания.

Анализ рисков подразумевает:

- исходные данные для проведения анализа оценки риска аварии и связанные с ней угрозы;
- исходные данные по аварийности и надежности;
- анализ опасностей отклонений технологических параметров от регламентных;
- результаты идентификации опасности;
- анализ частоты проявления опасных факторов;
- результаты оценки риска аварии и связанной с ней угрозы;
- перечень наиболее значимых факторов риска аварии и связанной с ней угрозы с учетом специфики конкретного ОПО.

На основании анализа рисков разрабатываются компенсирующие технические и организационные мероприятия, позволяющие снизить риски до приемлемого уровня, обязательные к внедрению на руднике, эксплуатирующем рециркуляционные установки. Для условий рудника БКПРУ-4 основными техническими мероприятиями являются следующие.

1. Реализация системы аэрогазового контроля, в том числе измерение концентраций горючих ( $\text{CH}_4$ ) и ядовитых ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) газов, а также кислорода  $\text{O}_2$  в горных выработках, по которым осуществляется движение исходящей струи воздуха с направления, в котором имеется вентиляционный контур с частичным повторным использованием воздуха.

2. Показания системы аэрогазового контроля должны быть выведены диспетчеру рудника.

3. Оснащение главных вентиляторных установок частотным преобразователем тока для возможности плавного регулирования производительности агрегата.

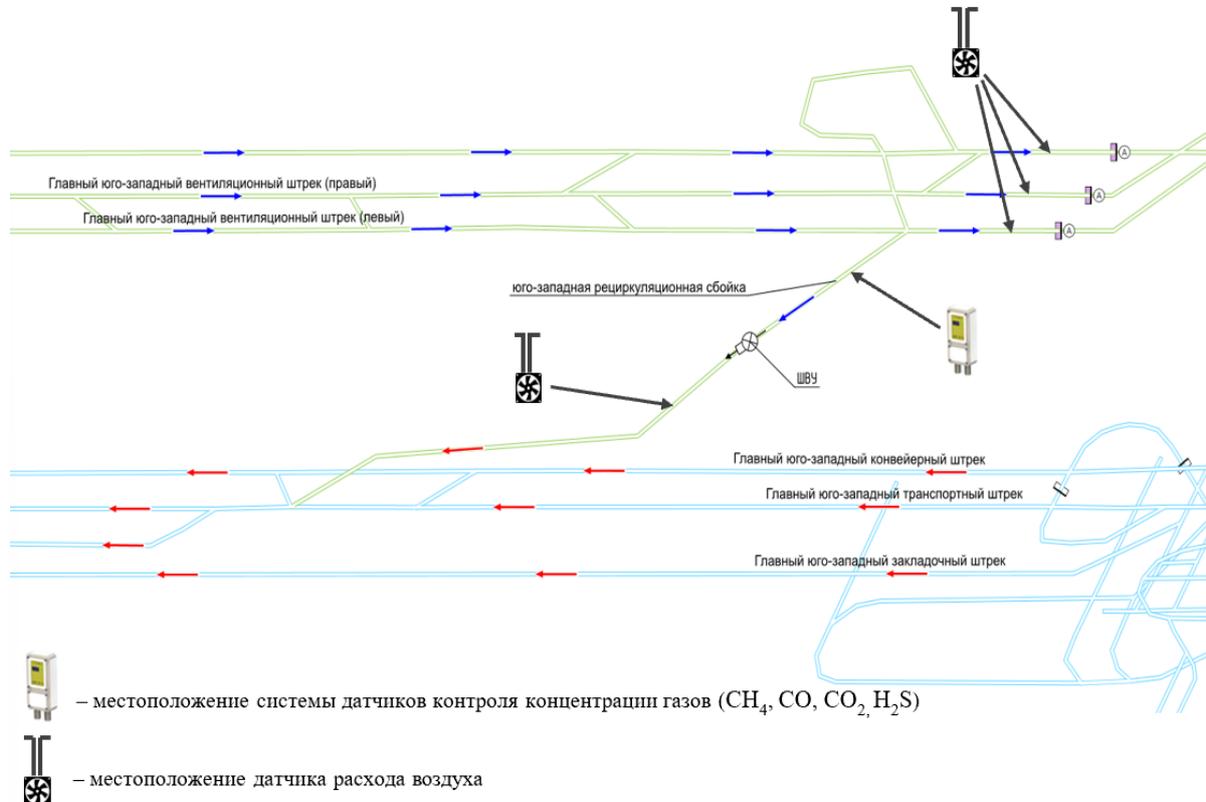
4. Разработка и реализация алгоритма системы автоматической взаимосвязанной работы шахтных вентиляторных установок, автоматических вентиляционных дверей, системы аэрогазового контроля и главной вентиляторной установки.

5. Реализация возможности дистанционного отключения диспетчером шахтных вентиляторных установок, выполняющих роль рециркуляционной установки.

Рассмотрим изменения, необходимые для безопасной эксплуатации рециркуляционных систем на примере рудника БКПРУ-4, где частичное повторное использование воздуха применяется и внедрено в рамках проекта «Техническое перевооружение вентиляционной сети...» [10]. Схематично элементы рециркуляционной системы на примере юго-западного направления рудника БКПРУ-4 приведены на рисунке 2.

Результат исследований, выполненных в рамках подготовки ОБ ОПО для рудника БКПРУ-4, показал необходимость дооснащения систем рециркуляции датчиками концентрации оксида и диоксида углерода в рециркуляционной сбойке (рис. 2) для контроля газов от машин с двигателями внутреннего сгорания и оперативного реагирования в случае возникновения пожара, установку датчика расхода воздуха на вновь прой-

денном вентиляционном штреке северо-восточного направления, а также обеспечение плавного регулирования производительности главной вентиляторной установки путем установки частотного преобразователя.



**Рис. 2.** Общая схема размещения рециркуляционной установки и датчиков контроля расхода воздуха и концентрации газов

## Выводы

Опыт применения рециркуляционных систем на калийных рудниках показал их высокую эффективность для снижения энергозатрат на проветривание и воздухоподготовку, повышения качества проветривания удаленных участков и нормализацию микроклиматических условий.

Исследования, выполненные в рамках подготовки ОБ ОПО в части отступления от пунктов № 153, № 174 и № 658 правил безопасности, позволили установить перечень компенсирующих мероприятий. Это привело к необходимости дооснащения применяемых рециркуляционных систем на калийных рудниках, что повысило управляемость и безопасность их применения.

При разработке ОБ ОПО не учитывается промежуточная очистка воздуха и протекание сорбционных процессов. Результат натурных измерения газового состава воздуха исходящей струи медно-никелевых рудников [11] показал наличие низких концентраций газов и, как следствие, возможность повторного использования отработанного воздуха. Поэтому в настоящее время усиливается интерес к исследованиям различных аспектов применения систем частичного повторного использования воздуха на рудниках на рудниках любого типа [12-15] через механизм разработки ОБ ОПО с соблюдением мер безопасности и реализации компенсирующих мероприятий, учитывающих особенности конкретного объекта.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР: 124020500030-7).*

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом: ПБ 03-553-03: Утв. Госгортехнадзором России 13.05.2003 г. / Федер. горн. и пром. надзор России – М.: Пром. безопасность, 2003. – 200 с.
2. Медведев И.И., Красноштейн А.Е. Аэрология калийных рудников / УрО АН СССР. – Свердловск, 1990. – 251 с.: ил.
3. Красноштейн А.Е., Файнбург Г.З. Диффузионно-сетевые методы расчета проветривания шахт и рудников / УрО РАН. – Екатеринбург, 1992. – 244 с.: ил.
4. Ушаков К.З. Газовая динамика шахт. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 480 с.: ил.
5. Мохирев Н.Н., Радько В.В. Инженерные расчеты вентиляции шахт. Строительство. Реконструкция. Эксплуатация. – М.: Недра, 2007. – 324 с.: ил.
6. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»: утв. 11.12.2013, № 32935. (с изм. на 21.11.2018 г. Редакция, действующая с 17.03.2019 г.) – Текст электронный // Консорциум КОДЕКС. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: офиц. сайт. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/499066482>.
7. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»: утв. 08.12.2020, № 505, действуют с 01.01.2021 г. – М.: ЗАО «НТЦ исследований проблем пром. безопасности, 2021. – 520 с. – (Документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр: сер. 03, вып. 78).
8. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федеральный закон № 116-ФЗ от 21.07.1997, с изм. – Текст электронный // КонсультантПлюс: офиц. сайт. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_15234/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/). (Дата обращения 15.08.24).
9. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта»: утв. 15.07.2013, № 306. – М.: ЗАО «НТЦ исследований проблем пром. безопасности, 2013. – 16 с. – (Документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр: сер. 03, вып. 73).
10. Техническое перевооружение вентиляционной сети рудника с частичным повторным использованием воздуха на руднике БКПРУ-4: Проектная документация / ГИ Уро РАН. – Пермь, 2012.
11. Трушкова Н.А. Исследование газового состава рудничного воздуха для оценки возможности применения рециркуляционного проветривания // Горное эхо. – 2019. – № 3 (76). – С. 84-87. – DOI: 10.7242/echo.2019.3.23.
12. Зайцев А.В., Трушкова Н.А. Исследование рециркуляционного проветривания при наличии источника газовой выделенности в рабочей зоне и внутренних утечек воздуха // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 3. – С. 34-46. – DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_3\_0\_34.
13. Мальцев С.В., Александрова М.А., Громова А.М. Влияние рециркуляционного проветривания на снижение выбросов парниковых газов калийного рудника // Изв. Тульского гос. ун-та. Науки о Земле. – 2023. – № 1. – С. 479-489. – DOI: 10.46689/2218-5194-2023-1-1-479-489.
14. Бублик С.А., Зайцев А.В., Мальцев С.В., Семин М.А. Анализ эффективности систем динамического управления проветриванием на калийных рудниках // Горное эхо. – 2021. – № 3 (84). – С. 81-89. – DOI: 10.7242/echo.2021.3.15.
15. Зайцев А.В., Трушкова Н.А. Исследование параметров рециркуляционного проветривания рабочих зон с учетом различных факторов расчета количества воздуха // Горное эхо. – 2023. – № 2 (91). – С. 82-89. – DOI: 10.7242/echo.2023.2.15.