

УДК 533.1

**АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ГАЗОВ В  
ШАХТАХ****Хе Владислав Евгеньевич,**магистрант, Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II, г.  
Санкт-Петербург  
Vladlen801@icloud.com**Аннотация**

Статья посвящена вопросу анализа факторов, влияющих на концентрацию газов в шахтах. В работе выделены факторы, влияющих на концентрацию газов в шахтах. Проанализировано понятие концентрация газов. Большое внимание уделяется факторам, влияющим на концентрацию газов в шахтах.

**Ключевые слова:** концентрация, газов, шахты, метан, породы, анализ.**ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE CONCENTRATION OF GASES  
IN MINES****He Vladislav Evgenievich,**Master's student, St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II, St. Petersburg  
Vladlen801@icloud.com**ABSTRACT**

The article is devoted to the analysis of factors affecting the concentration of gases in mines. The work highlights the factors influencing the concentration of gases in mines. The concept of gas concentration is analyzed. Much attention is paid to the factors influencing the concentration of gases in mines.

**Keywords:** concentration, gases, mines, methane, rocks, analysis.**Введение**

Актуальность. Обеспечение безопасных условий труда в шахтах невозможно без своевременного выявления и контроля концентрации вредных и взрывоопасных газов, таких как метан, углекислый газ и угарный газ. Высокие концентрации газа могут привести к массовым отравлениям, взрывам и гибели персонала, а также значительным экономическим потерям. Несмотря на развитие современных технологий вентиляции и

мониторинга, проблема точного прогнозирования и управления газовой ситуацией в подземных выработках остаётся острой. Это обусловлено сложной динамикой газообразования и миграции газа в шахтном пространстве, а также многочисленными природными и техногенными факторами, влияющими на газовую обстановку.

Цель исследования. Целью настоящей работы является систематизация и анализ основных факторов, влияющих на концентрацию газов в угольных шахтах.

Материалы и методы исследования. В рамках исследования проведён аналитический обзор отечественных и зарубежных публикаций. Основным газом, который постоянно выделяется в шахтных пространствах, является метан. На некоторых предприятиях также появляется углекислый газ, который в совокупности с метаном называют «рудничными газами». Газы адсорбируются на внутренних поверхностях угольных пластов, а в небольших количествах — в порах угля и породах. В одной тонне угля может накопиться более 20 м<sup>3</sup> метана, при этом давление может достигать 4 МПа.

Количество выделяющихся газов зависит от глубины шахты, причем с увеличением глубины их объем растет. При достижении высокой концентрации газ становится удушающим и может вызвать взрыв, что периодически происходит, как это случилось в шахтах Upper Big Branch (США), Sijiazhuang (Китай) и Pike River (Новая Зеландия).[3]

Метан, также известный как «рудничный газ», является бесцветным и без запаха природным газом с химической формулой CH<sub>4</sub>. В 2011 году метан угольных пластов был признан самостоятельным полезным ископаемым и внесен в Общероссийский классификатор полезных ископаемых и подземных вод. Этот газ присутствует в различных формах (от свободной до связанной) в угле и вмещающих породах. Его образование связано с углефикацией органических остатков и метаморфизацией углей. В шахтах метан выделяется, в основном, из угля при его разрушении. В некоторых местах метановыделение может превышать 45 м<sup>3</sup> на тонну угля, а в исключительных случаях — 100 м<sup>3</sup>/т.

Метан представляет собой серьезную опасность в нескольких аспектах. Во-первых, его взрывоопасность. Скопление метана в воздухе при наличии искры может вызвать разрушительный взрыв. Поэтому в шахтах, где возможны выбросы метана, запрещены открытые источники пламени, включая курение. Даже при соблюдении всех мер безопасности, метан продолжает представлять угрозу для жизни шахтеров.

Во-вторых, метан может вызвать отравление. Вдыхание больших его объемов приводит к кислородному голоданию, сопровождающемуся головной болью, слабостью, тошнотой и учащением сердцебиения. При высоких концентрациях возможны обмороки, судороги и даже летальные исходы. Важно отметить, что метан в чистом виде не имеет запаха, и его трудно обнаружить. Для обеспечения безопасности в шахтах используются отдушки, которые придают газу характерный запах.

Еще с древних времен шахтеры использовали специальные методы для обнаружения метана. Например, канарейки брали с собой в шахту. Если птичка переставала петь или погибала, это сигнализировало о наличии метана, и шахтерам необходимо было покинуть выработку. В шахтах метан скапливается в пустотах между породами, особенно под кровлей выработок. Для взрыва требуется концентрация метана от 5 до 16 %, при этом максимальная опасность представляет концентрация 9,5 %. Если метана более 16 %, он просто горит, но не взрывается.[8]

Причиной взрыва метана могут быть открытый огонь или искра. В старину шахтеры использовали канарейку как индикатор безопасности. В 19 веке Х. Дэви изобрел безопасную шахтерскую лампу, но, несмотря на это, взрывы в шахтах продолжались. Современные шахты оснащены автоматическими системами газовой защиты, которые контролируют концентрацию метана в воздухе. На газоносных пластах проводятся мероприятия по дегазации и газоотведению.

Метан сам по себе нетоксичен, однако его высокая концентрация в воздухе может вызвать удушье из-за недостатка кислорода. В СМИ часто неверно интерпретируют случаи удушья как отравление метаном. Метан является горючим газом, что делает его возможным источником энергии. Его можно использовать для заправки транспортных средств или на тепловых электростанциях. В химической промышленности метан служит сырьем для производства углеводородов.

В большинстве российских шахт метан выбрасывается в атмосферу, и только некоторые шахты начали устанавливать системы для его утилизации.[9] За рубежом ситуация противоположная: активно разрабатываются проекты, направленные на добычу метана, в том числе через предварительную дегазацию угольных пластов.

Требования по безопасной концентрации метана и вредных газов в горных выработках следующие:

1. Исходящая из тупиковой выработки — до 1 %
2. Исходящая из очистной выработки при отсутствии аппаратуры — до 1 %
3. Исходящая из очистной выработки при наличии аппаратов — до 1,3 %
4. В шахтных условиях — 0,75 %
5. Поступающая струя — 0,5 %
6. Местное скопление — до 2 %
7. На выходе из смесительных камер — до 2 %

В дегазационных трубопроводах — до 2,5 %, при превышении 25 % требуется немедленное вмешательство.

Концентрация газов в шахтах — это важный параметр, отражающий содержание различных газов в воздухе шахтного пространства. Измерение концентраций газов критично для обеспечения безопасности шахтёров, так как многие из этих газов могут быть опасными для здоровья и жизни. Газовые смеси в шахтах могут содержать как природные, так и образующиеся в процессе добычи ископаемых вещества. Постоянный контроль концентрации этих газов помогает предотвратить аварийные ситуации и сохранить здоровье работников.

Одним из самых опасных газов в шахтах является метан ( $\text{CH}_4$ ). Газ образуется при добыче угля и может накапливаться в шахтных горизонтах. Метан обладает высокой взрывоопасностью, особенно при концентрациях в воздухе от 5% до 15%. Его накопление может привести к возникновению взрывных смесей, что представляет серьёзную угрозу для жизни и здоровья шахтёров. Также метан является вонючим, что делает его легко распознаваемым на низких концентрациях.

Другим опасным газом является окись углерода ( $\text{CO}$ ). Этот газ образуется при неполном сгорании угля и других органических веществ в шахте. Окись углерода является ядовитым газом, который может проникать в кровь, нарушая нормальный процесс дыхания. При высоких концентрациях этот газ может вызвать удушье и даже смерть. Важно следить за его концентрацией, особенно в помещениях с ограниченной вентиляцией.[6]

Также в шахтах могут накапливаться диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ) и сернистый газ ( $\text{SO}_2$ ). Диоксид углерода может замещать кислород в воздухе, что при высоких концентрациях также ведёт к удушью. Сернистый газ, в свою очередь, образуется в результате сгорания угля и других минералов, представляя опасность для дыхательных путей, вызывая раздражение и отёки. Контроль за этими газами необходим для предотвращения угрозы здоровья.

Кислород ( $\text{O}_2$ ) является жизненно важным газом для дыхания, и его концентрация в шахтах должна поддерживаться на уровне не ниже 19,5%. Недостаток кислорода приводит к удушью, головокружению и даже потере сознания. Особенно это актуально в шахтах, где

могут быть трудности с вентиляцией. Поэтому важно постоянно контролировать содержание кислорода, чтобы обеспечить нормальные условия для работы.

В шахтах также присутствует азот ( $N_2$ ), который является нейтральным газом. Однако повышение концентрации азота за счёт других газов может привести к снижению содержания кислорода в воздухе. В таких случаях возникает риск гипоксии (недостатка кислорода), что опасно для жизни работников. Азот не является ядовитым, но его влияние на концентрацию кислорода в шахте делает его важным для мониторинга.

Для обеспечения безопасности в шахтах устанавливаются системы вентиляции и газоанализаторы, которые постоянно контролируют содержание различных газов в воздухе. Системы позволяют оперативно реагировать на изменения концентраций и предотвращать аварийные ситуации. Применение технологий мониторинга и своевременное вмешательство в случае опасных концентраций газов помогает минимизировать риски и поддерживать безопасные условия труда для шахтёров.

Однако метан, при правильной утилизации, может быть использован в различных технологиях для получения тепловой и электрической энергии. В экономически развитых странах это явление активно применяется. Если метан не утилизируется, он превращается в мощный парниковый газ, способный ускорить глобальное потепление. Экологи утверждают, что опасность метана в 21 раз выше, чем у углекислого газа ( $CO_2$ ). Поэтому утилизация этих газов, с экологической и экономической точки зрения, всегда выгоднее, чем их неконтролируемый выброс в атмосферу. Концентрация газов в шахтах представляет собой важный аспект безопасности горных работ, поскольку она напрямую влияет на здоровье шахтёров и эффективную эксплуатацию шахт. Разнообразные факторы, такие как геологические, технологические и эксплуатационные, могут существенно изменять уровень газов в подземных условиях.[1]

Первым и одним из наиболее значимых факторов является геология месторождения. Тип горных пород в шахте напрямую влияет на концентрацию газов. Например, угольные пласты содержат метан, который выделяется в процессе добычи угля, что приводит к необходимости контроля за его концентрацией, так как метан является взрывоопасным газом. Водоносные слои также могут выделять углекислый газ и другие вещества, что также важно для мониторинга.

Не менее важным фактором является метод добычи. При использовании различных методов, например, при механизированной добыче или бурении, существует вероятность повышения концентрации газов из-за нарушения слоев и взаимодействия с газоносными породами. Взрывные работы, проводимые для расширения шахтных выработок, также могут вызвать выбросы газа, повышая его концентрацию.[6]

Процесс вентиляции в шахте имеет ключевое значение для поддержания нормального уровня газов. Нарушения вентиляции, такие как заблокированные каналы или неправильное распределение воздушных потоков, могут привести к накоплению опасных газов, таких как метан, углекислый газ или оксиды азота. Именно поэтому поддержание эффективной вентиляционной системы – это основа безопасности на шахте.

Температурные условия в шахте также оказывают влияние на концентрацию газов. При повышении температуры в подземных условиях может увеличиваться скорость химических реакций и, как следствие, выделение различных газов, включая метан, что особенно важно в глубоких шахтах, где температура может существенно изменяться с глубиной.

Сезонные изменения температуры и влажности на поверхности также влияют на давление в шахте, что может способствовать увеличению концентрации газов. В зимний период, например, возможно изменение давления в угольных пластах, что приводит к

выбросам метана. Аналогичные изменения происходят и летом, когда повышенная температура воздуха может повлиять на геологическую стабильность и газовыделение.[7]

Технологические неисправности в оборудовании могут стать причиной утечек газа. Повреждения вентиляционных труб, герметичности оборудования или несанкционированные воздействия на газоносные слои могут привести к выбросам газа, который будет накапливаться в шахте. Это требует регулярного технического обслуживания и проверки состояния оборудования.

Не менее важную роль играет человеческий фактор. Недостаточная квалификация сотрудников, нарушение норм безопасности, а также небрежность в обслуживании вентиляции и газоанализа могут привести к повышению концентрации газов. Например, неправильная настройка или игнорирование показаний газовых датчиков может привести к опасной ситуации.[5]

Последний, но не менее значимый фактор – это физико-химические процессы, происходящие в шахте. В частности, уголь может адсорбировать метан, и при его добыче происходит десорбция этого газа, что приводит к увеличению его концентрации. Кроме того, химические реакции между различными веществами в шахте могут приводить к выделению углекислого газа, аммиака и других опасных газов.

Исследования, проведенные Федеральным исследовательским центром угля и углекислоты СО РАН, показали, что одним из основных источников выбросов парниковых газов при угледобыче является шахтный метан. В рамках работы ученые представили структуру цифровой платформы для оценки фугитивных выбросов и предложили ее использование для обоснования эффективных технологий переработки шахтного метана.

В другом исследовании, проведенном в США, был проведен анализ выбросов метана угольными шахтами. Выяснилось, что значительная часть выбрасываемого метана используется для производства тепла и электроэнергии, однако оставшаяся часть продолжает выбрасываться в атмосферу. Таким образом, извлечение и использование шахтного метана может быть не только экономически выгодным, но и повысить безопасность работы шахт.

Монография, посвященная зарубежному и отечественному опыту освоения ресурсов метана угольных пластов, охватывает текущие проблемы и перспективы добычи шахтного метана. Также рассматриваются экономические и организационные трудности, связанные с его утилизацией. Научные сотрудники из США предложили прогноз выбросов метана при добыче угля на ближайшие десятилетия, включая сценарии с увеличением глубины разработки шахт. Они отмечают, что шахтный метан является ценным энергетическим ресурсом, и более точные прогнозы выбросов помогут лучше оценить его экономический потенциал [10]. Также важно отметить, что количество заброшенных угольных шахт растет, открывая новые возможности для использования метана, даже после закрытия добычи угля.

В работе, посвященной методам улавливания и использования шахтного метана, были рассмотрены различные технические аспекты, включая вентиляцию и дегазацию шахтных выработок. Такие методы не только увеличивают безопасность работы шахт, но и позволяют получать электроэнергию и снижать выбросы парниковых газов. Исследования, проведенные в Китае, показали, что выбросы метана из угольных шахт имеют гораздо меньшую долю в общем объеме выбросов парниковых газов по сравнению с углекислым газом, образующимся при сжигании угля. Однако, несмотря на это, проблема выбросов метана остается актуальной, так как этот газ сильно влияет на глобальное изменение климата. В Казахстане, согласно исследованию, проведенному в Карагандинском угольном бассейне, добыча шахтного метана может стать важной частью стратегии по улучшению экологической ситуации. Внедрение технологий дегазации угольных пластов позволит снизить выбросы и улучшить экономические показатели.

В России и СНГ разработана концепция метанобезопасности угольных шахт, согласно которой запрещается разработка угольных пластов с газоносностью выше 9 м<sup>3</sup>/т без предварительной дегазации, что поможет не только повысить безопасность, но и улучшить экономические результаты за счет использования шахтного метана. Опыт Китая демонстрирует, как страна изменила подход к шахтному метану – от борьбы с его опасностью к активному использованию в качестве нетрадиционного источника энергии. Влияние макроэкономической ситуации также сказывается на стоимости контроля за выбросами метана, что делает необходимым внедрение технологий по его утилизации и получению энергии.[3]

Появление концепции «Уголь – Энергия – информация», предложенной китайскими и кузбасскими учеными, открывает новые горизонты для использования шахтного метана. В рамках этой концепции метан может быть использован для обеспечения энергетических потребностей центров обработки данных, что станет важным шагом в направлении эффективного использования угольных ресурсов.

Кроме того, китайские ученые прогнозируют, что многие угольные шахты будут закрыты или заброшены в ближайшие десятилетия, что откроет новые возможности для использования шахтного метана в других отраслях.

Результаты и их обсуждение. Системы мониторинга газов и правильная организация вентиляции являются основными инструментами для контроля концентрации опасных газов. Комплексный подход к управлению этими факторами помогает предотвратить аварийные ситуации и обеспечивать безопасность шахтеров.

Контроль за концентрацией газов в шахтах является критически важной задачей для обеспечения безопасности работников и эффективной эксплуатации подземных ресурсов. Геологические условия, методы добычи, вентиляция, температурные колебания, а также техническое состояние оборудования и человеческий фактор – все эти аспекты взаимосвязаны и оказывают влияние на уровень газов в шахтах.[4]

Для предотвращения аварийных ситуаций и снижения рисков необходимо интегрировать современные технологии мониторинга и контроля, а также поддерживать надлежащие условия вентиляции и эксплуатации оборудования. Эффективное управление этими факторами позволяет создать безопасные условия труда и минимизировать угрозу от опасных газов, таких как метан и углекислый газ. В конечном итоге, комплексный подход к безопасности на шахтах – это основа для стабильной и безопасной работы горнодобывающих предприятий.

#### **Список литературы:**

1. Васюков Ю.Ф. Горное дело. - М.: Недра, 2020, стр 30–40.
2. Заплавский Г.А., Лесных В.А. Технология подготовительных и очистных работ. - М.: Недра, 2021, стр 7–9.
3. Ковальчук А.Б. Горное дело - М.: Недра, 2021, стр 10-12.
4. Анализ причин взрывов, вспышек и воспламенений метана в угольных шахтах России в 2005–2019 гг / Е.И. Кабанов, Г.И. Коршунов, А.В. Корнев, В.В. Мяков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2021. - № 2-1. - С. 18–29. - DOI 10.25018/0236-1493-2021-21-0-18-29. - EDN ХВКТТС.
5. Влияние горения угольной пыли на интенсивность ударной волны от аварийного взрыва метана в шахте / А.Ю. Крайнов, О.Ю. Лукашов, К.М. Моисеева, Г.А. Колегов // Уголь. - 2022. - № 9(1158). - С. 73–78. - DOI 10.18796/0041-5790-2022-9-73-78. - EDN OFBHUP.

6. Микробиологические аспекты дегазации угольных шахт / С.М. Никитенко, А.Ю. Игнатова, В.С. Овсянникова, В.И. Клишин // Уголь. – 2024. – № S11(1187). – С. 91–95. – DOI 10.18796/0041-5790-2024-11S-91-95. – EDN ABGVWX.
7. О формировании напряженного состояния в шахтной перемычке при прохождении через нее ударной волны / С.В. Черданцев, П.А. Шлапаков, С.И. Голоскоков [и др.] // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2023. – № 1. – С. 47–62. – DOI 10.25558/VOSTNII.2023.40.18.005. – EDN MUFWQC.
8. Суксова С.А. Способы разработки метана угольных пластов с помощью дегазации / С.А. Суксова, Ю.В. Тимофеева, Л.А. Усольцева // Вестник евразийской науки. – 2020. – Т. 12, № 4. – С. 17. – EDN OEXSYH.
9. Ушкац Т.Д. Повышение эффективности утилизации метана из угольных пластов: мировой и российский опыт / Т.Д. Ушкац // Экономические системы. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 173–183. – DOI 10.29030/2309-2076-2023-16-3-173-183. – EDN IXWAXL.
10. Нагайцев И.А. Оценка источников выбросов парниковых газов на угледобывающих предприятиях / И.А. Нагайцев // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2023. – № 3(45). – С. 111–123. – DOI 10.57070/2304-4497-2023-3(45)-111-123. – EDN REMVJT.

**References:**

1. Vasyukov Yu.F. \*Mining Engineering\*. Moscow: Nedra, 2020, p. 30-40.
2. Zaplavsky G.A., Lesnykh V.A. \*Technology of Development and Extraction Works\*. Moscow: Nedra, 2021, p. 7-9.
3. Kovalchuk A.B. \*Mining Engineering\*. Moscow: Nedra, 2021, p. 10-12.
4. Kabanov E.I., Korshunov G.I., Kornev A.V., Myakov V.V. "Analysis of Causes of Methane Explosions, Ignitions, and Flammable Outbursts in Russian Coal Mines (2005–2019)." \*Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)\*, no. 2-1 (2021): 18–29. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-18-29. EDN: XBKTTC.
5. Krainov A.Yu., Lukashov O.Yu., Moiseeva K.M., Kolegov G.A. "The Effect of Coal Dust Combustion on Shock Wave Intensity from Emergency Methane Explosions in Mines." \*Ugol' (Coal)\*, no. 9(1158) (2022): 73–78. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-9-73-78. EDN: OFBHUP.
6. Nikitenko S.M., Ignatova A.Yu., Ovsyannikova V.S., Klishin V.I. "Microbiological Aspects of Coal Mine Degasification." \*Ugol' (Coal)\*, no. S11(1187) (2024): 91–95. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-11S-91-95. EDN: ABGVWX.
7. Cherdantsev S.V., Shlapakov P.A., Goloskokov S.I., et al. "On the Formation of Stress State in Mine Seals Under Shock Wave Propagation." \*Bulletin of the Scientific Center VostNII for Industrial and Environmental Safety\*, no. 1 (2023): 47–62. DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.40.18.005. EDN: MUFWQC.
8. Suksova S.A., Timofeeva Yu.V., Usoltseva L.A. "Methods of Methane Extraction from Coal Seams Through Degasification." \*Bulletin of Eurasian Science\*, vol. 12, no. 4 (2020): 17. EDN: OEXSYH.

9. Ushkats T.D. "Improving Methane Utilization Efficiency from Coal Seams: Global and Russian Experience." *\*Economic Systems\**, vol. 16, no. 3 (2023): 173–183. DOI: 10.29030/2309-2076-2023-16-3-173-183. EDN: IXWAXL.
10. Nagaitsev I.A. "Assessment of Greenhouse Gas Emission Sources in Coal Mining Enterprises." *\*Bulletin of the Siberian State Industrial University\**, no. 3(45) (2023): 111–123. DOI: 10.57070/2304-4497-2023-3(45)-111-123. EDN: REMVJT.