

# Анализ риска возникновения пожара на калийных рудниках

**В.С. Котельников**, генеральный директор, профессор, д-р техн. наук<sup>1</sup>,  
**Г.И. Грозовский**, заместитель генерального директора по науке, профессор, д-р техн. наук<sup>1</sup>,  
**В.В. Сидорчук**, старший научный сотрудник<sup>1</sup>,  
**В.В. Грот**, старший научный сотрудник, к.т.н.<sup>1</sup>,  
**А.Е. Бром**, профессор, д-р техн. наук<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность»»,

<sup>2</sup> Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана.

e-mail: ntc@oaontc.ru

## Ключевые слова:

рудник,  
вероятность возгорания,  
пожар,  
ленточные конвейеры,  
редукторы,  
тормозные системы,  
электрооборудование,  
риск.

*Оценено влияние различных факторов на вероятность возникновения пожаров на калийных рудниках. Определены наиболее критичные пожароопасные технические устройства и объекты и условия возгорания. Проанализированы сценарии развития наиболее опасных ситуаций, оценены риски пожаров. Сделаны выводы и даны рекомендации по снижению вероятности возгорания.*

## 1. Введение

Обеспечение пожарной безопасности на любом защищаемом объекте представляет собой не простую задачу из-за сложности разработки расчетных моделей процессов возгорания и распространения горения для конкретных условий. Как показывает опыт, в том числе и зарубежный, даже при экспоненциальном росте затрат на весь комплекс противопожарных мероприятий, результативность их освоения растет, в лучшем случае, линейно. В существенной степени это относится к опасным промышленным предприятиям (ОПО), в том числе и калийным рудникам.

Для проведения корректной оценки риска пожарной опасности необходимо точно идентифицировать возможные источники возгорания и механизм распространения пожара.

Вмещающие породы и калийные соли на этих ОПО не являются горючими (включая пыль, образующуюся в процесс отбойки и транспортировки руды) и легко растворимы в воде.

В забоях выработок не используется деревянная крепь, применяемые электрические кабели имеют оболочки, не распространяющие горение, а электрооборудование горно-выемочных машин выполнено в рудничном взрывозащищенном исполнении.

В этих условиях имеется ограниченный набор потенциально пожароопасных объектов, которые могут быть пожарной нагрузкой и источником возгорания.

Результаты анализа сценариев возникновения пожаров [1–3] позволяют сделать вывод, что основными источниками (причинами) задымления, возгорания и пожара на калийных рудниках могут стать:

- открытый огонь (огневые работы, в том числе курительно-зажигательные принадлежности (КЗП));
- ленточные конвейеры;
- электрооборудование.

Критерии качественной оценки риска, используемые в данной работе, разработаны в соответствии с [1–3].

## 2. Оценка уровня риска аварийных ситуаций

Для оценки уровня риска применялась матрица риска [3–5].

Обобщенные статистические данные по инцидентам и авариям на калийных рудниках позволяет сделать следующие заключения о возможных сценариях развития пожаров.

Возникновение пожара на ленточном конвейере обусловлено образованием горючей среды (резиновая пыль, конвейерная лента) на элементе объекта (зона контакта конвейерной ленты и приводного барабана ленточного конвейера) и появлением в этой среде источника возгорания (нагретой поверхности приводного барабана).

При протекании тока короткого замыкания (КЗ) по кабелям их токопроводящие жилы нагреваются, что в ряде случаев приводит к разрыву оболочек кабелей, разрушению концевых заделок, пожару в кабельных системах.

Возможно возникновение пожара на горно-выемочной машине (далее — комбайн), так как имеются элементы, содержащие горючий материал и источники возгорания (масло, электрические силовые распределительные устройства, источники нагрева и пр.).

Соответственно риск возникновения пожара  $R$  определяется произведением вероятностей наличия критической пожарной нагрузки и вероятности появления источника возгорания:

$$R = P_{н.} \cdot P_{ив.},$$

где:  $P_{н.}$  — вероятность образования и существования пожарной нагрузки (наличие или образование горючего материала);  $P_{ив.}$  — вероятность появления источника возгорания (теплого импульса от потенциального источника возгорания).

В подземных выработках калийных рудников источниками возгорания и пожарной нагрузки могут быть следующие пожароопасные материалы и источники возгорания (воспламенения):

- электрооборудование;
- открытый огонь — огневые работы (сварка/резка), и пр.;
- ленточные конвейеры (трение движущейся ленты о неподвижные элементы);
- в том числе следующие виды пожарных нагрузок:
  - горючий газ;
  - масла/смазки;
  - разные виды изоляции;
  - топливо;
  - пожароопасные материалы (дерево, бумага, мусор, и пр.).

Были рассмотрены возможные сценарии возникновения пожара с учетом перечисленных потенциально пожароопасных объектов.

*Возникновение пожара на:*

- ленточном конвейере;
- комбайне;
- транспортном средстве с двигателем внутреннего сгорания (д.в.с.);
- кабельной системе.

Наиболее опасными в пожарном отношении являются горные выработки, оборудованные ленточными конвейерами. Эти выработки имеют высокую пожарную нагрузку (возгораемая конвейерная лента, минеральные масла в гидромурфтах и редукторах, электрические кабели).

Анализ пожаров, возникавших на ленточных конвейерах, как в России, так и за рубежом, позволили сделать вывод, что пожары могут возникать по следующим причинам:

- из-за трения:
  - при пробуксовке ленты на приводных барабанах;
  - ленты о невращающиеся натяжные барабаны;
  - ленты о невращающиеся ролики;
  - ленты о неподвижные металлоконструкции конвейера и части става;
- короткого замыкания электрооборудования на конвейере и в электрической сети.

При этом около 65% пожаров на ленточных конвейерах возникало в районе приводных станций, несмотря на то, что здесь сосредоточены основные средства контроля работы приводных двигателей.

Статистика распределения количества пожаров на ленточных конвейерах в зависимости от места их возникновения следующая:

- приводные станции — 64%;
- линейные стawy — 25,5%;
- натяжные станции — 10,8%.

Более детальный анализ возникновения пожаров на приводных станциях дает следующее распределение мест локализации возгораний:

- приводные барабаны — 24%;
- гидropередачи — 23%;
- редукторы и тормозные системы — 7,5%;
- электрооборудование — 3,0%;
- другие элементы — 7,5%.

В свою очередь, воспламенение возможно из-за:

- внешних воздействий — несанкционированных действий (поджог, подрыв и пр.);
- природных явлений (горный удар, самовозгорание и пр.);

- техногенных воздействий (разрушение машины, в том числе электрической, авария на электросетях, и пр.);
- нарушений правил и требований:
  - проведения огневых работ;
  - эксплуатации машин, в том числе электроустановок;
  - пожарной безопасности.

На основе обработанных статистических данных можно сделать вывод, что вероятность возгораний от перечисленных внешних воздействий, в том числе техногенных, может быть оценена примерно в  $10^{-3}$  1/год.

При работе электрического оборудования источниками воспламенения могут являться электрическая искра (дуга) и значительно нагретые поверхности. Искры также могут образоваться в результате разных видов процессов трения.

Способность нагретой поверхности или искры вызывать воспламенение зависит от типа и концентрации конкретного горючего вещества в смеси с воздухом. Вероятность воспламенения увеличивается с увеличением температуры и площади поверхности. Кроме того, значение температуры, способной вызвать воспламенение, зависит от размеров и формы нагретого тела, градиента концентрации горючего вещества вблизи поверхности, а также материала поверхности. Указанные процессы возгорания могут охватывать любые виды используемого на рудниках оборудования, системы защиты и компоненты, которые преобразуют механическую энергию в тепловую. Особенно это актуально для любых видов фрикционных соединений и тормозов.

Были рассмотрены **сценарии возникновения пожаров на ленточных конвейерах**, включая возгорание на приводных станциях и электродвигателях, а также силовых распределительных устройствах.

*Сценарии опасных ситуаций на электродвигателе* могут быть такими:

C1.1: нарушение изоляции силовых электрических цепей → короткое замыкание (КЗ) в силовой электрической цепи (или электродвигателя) → несрабатывание защиты от КЗ → возникновение дуги или искрения → разрушение и загорание изоляции (значение энергии теплового импульса достаточно).

C1.2: трение (поломка) в подшипниках электродвигателя → перегрузка электродвигателя → несрабатывание защиты от перегрузки → перегрев электродвигателя → разрушение изоляции (значение энергии теплового импульса достаточно) → короткое замыкание (КЗ) в обмотках электродвигателя → несрабатывание защиты от (КЗ) → возникновение дуги или искрения → разрушение и загорание изоляции (значение энергии теплового импульса достаточно).

*Сценарий для редуктора:*

C2: трение в узлах редуктора при недостатке (отсутствии) масла в редукторе или другие неисправности редуктора → нагрев редуктора → несрабатывание тепловой защиты редуктора → возможное разрушение редуктора, перегрузка электродвигателя → несрабатывание защиты от перегрузки → перегрев электродвигателя → разрушение изоляции (значение энергии теплового импульса достаточно) → короткое замыкание (КЗ) в обмотках электродвигателя → несрабатывание защиты от КЗ → возникновение дуги или искрения → разрушение и загорание изоляции, масла (значение энергии теплового импульса достаточно).

*Сценарий для тормозов:*

C3: тормоза не отпущены по какой-либо причине → перегрев тормозов → несрабатывание тепловой защиты — перегрузка электродвигателя (защита от перегрузки не сработала) → нагрев электродвигателя → разрушение изоляции (значение энергии теплового импульса достаточно) → короткое замыкание (КЗ) в обмотках электродвигателя → несрабатывание защиты от КЗ → возникновение дуги или искрения → разрушение и возгорание изоляции (значение энергии теплового импульса достаточно).

*Сценарий для гидромуфты:*

C4: наличие примесей в рабочей жидкости или поломка подшипника → перегрев гидромуфты → несрабатывание защиты гидромуфты от перегрузки → перегрев гидромуфты → разрушение, значение энергии теплового импульса достаточно → загорание рабочей жидкости (рабочая жидкость пожароопасна).

*Сценарий для приводного барабана:*

C5: лента конвейера не движется по какой-то причине (штыб между лентой и барабаном, завал на загрузке конвейера, заклинивание ленты, перегрузка конвейера) → пробуксовка приводного барабана → несрабатывание защиты от пробуксовки барабана → нагрев ленты и барабана конвейера (значение энергии теплового импульса достаточно) → возгорание ленты.

*Сценарий для натяжной станции:*

C6: натяжной барабан не вращается из-за его заклинивания → трение ленты конвейера о натяжной барабан → нагрев ленты и барабана конвейера → значение энергии теплового импульса достаточно → возгорание резиновой пыли.

*Сценарий для линейного става:*

C7: поддерживающий ролик заклинен → трение ленты о заклиненный ролик → нагрев ролика (значение энергии теплового импульса достаточно) → разрушение ролика.

*Сценарий для поперечного схода ленты:*

С8: поперечный сход ленты и трение её о неподвижные части става и металлоконструкции конвейера → нагрев фиксированных частей конвейера (значение энергии теплового импульса достаточно) → загорание резиновой пыли или ленты.

**Возникновения пожара на комбайне включает следующие сценарии.**

*Сценарий для электродвигателя и силовых распределительных устройств:*

С9.1: нарушение изоляции (электродвигателя и/или силовых распределительных устройств) → короткое замыкание (КЗ) → несрабатывание защиты от КЗ → искрение, дуга, значение энергии теплового импульса достаточно → возгорание изоляции.

*Сценарий для перегрузки электродвигателя (по разным причинам) и силовых распределительных устройств:*

С9.2: нагрев электродвигателя → несрабатывание защиты от перегрузки и устройства контроля температуры → перегрев электродвигателя → нарушение изоляции (электродвигатель и/или силовые распределительные устройства) → короткое замыкание (КЗ) → несрабатывание защиты от КЗ → искрение, дуга, значение энергии теплового импульса достаточно → возгорание изоляции.

*Сценарий для редуктора:*

С10: нагрев редуктора по причине: трения в узлах при недостатке масла или прочие неисправности редуктора → несрабатывание защиты и контроля температуры → перегрев редуктора (неисправность редуктора) → разрушение редуктора, утечка масла → разрушение редуктора (значение энергии теплового импульса достаточно) → возгорание масла.

*Сценарий для подшипников:*

С11: перегрев подшипника по причине недостаточной смазки, разрушения или поломки → разрушение подшипника, утечка смазки (значение энергии теплового импульса достаточно) → возгорание масла.

Рассмотрим **варианты возгораний на машине с двигателем внутреннего сгорания (двс).**

*Сценарий для электросистемы:*

С12: нарушение изоляции электрооборудования → короткое замыкание (КЗ) — несрабатывание защиты от КЗ — искрение, дуга, значение энергии теплового импульса достаточно → разрушение изоляции → загорание горючего газа (и/или изоляции).

*Сценарий для прочих неисправностей электрооборудования:*

С13: неисправность, разрушение, КЗ → несрабатывание защиты от КЗ → искрение, дуга (значение энергии теплового импульса достаточно) → возгорание горючего газа (и/или) изоляции.

*Сценарий для аккумулятора:*

С14: неисправность, разрушение, КЗ — далее разрушение изоляции → возгорание горючего газа (и/или изоляции).

**Сценарии для дизельного двигателя, трансмиссии, топливной системы, гидросистемы.**

*Сценарий для топливной системы:*

С15.1: неисправность топливной системы → попадание топлива на источник воспламенения → несрабатывание системы пожаротушения моторного отсека → разрушение топливной системы (значение энергии теплового импульса достаточно) → возгорание горючего газа (и/или топлива).

*Сценарий для двигателя или трансмиссии:*

С15.2: неисправность двигателя или трансмиссии, гидросистемы и пр. → нагрев масла → несрабатывание защиты и контроля температуры → перегрев → разрушение, утечка масла (значение теплового импульса достаточно) → загорание горючего газа (и/или масла).

Все перечисленные сценарии были тщательно проанализированы на основе разработанной методологии. С учетом оценки тяжести последствий получена следующая качественная оценка риска аварийных ситуаций для:

- ленточных конвейеров — «практически возможный» риск;
- огневых и сварочных работ — «практически возможный» риск;
- электрооборудование — «приемлемый» риск.

К наиболее тяжелым последствиям относится авария с горючим газом. Анализ статистических данных о случаях вспышек, горения, взрыва горючего газа с учетом тяжести последствий подобных инцидентов показал, что четверть аварийных ситуаций заканчивались смертельным исходом, и из этой четверти, две трети — со множественными смертельными случаями.

Вероятность аварийной ситуации с горючим газом ( $P_{гр.}$ ) на руднике можно оценить как  $0,01 < P_{гр.} < 0,1$ , из них со смертельными исходами  $P_{гр.с.} \approx 0,019$  1/год.

Качественная оценка вероятности аварийной ситуации с учетом последствий воздействия — «маловероятно».

Считаем, что количество одновременно работающих в выработке в основную смену — примерно 200 человек (с учетом ремонтного и прочего персонала), и до 50 человек в остальные смены. Количество людей, подвергнувшихся действию аварийной ситуации, может быть оценено как «немного» или «несколько» (5–10% от общего числа рабочих), а время воздействия — как «продолжительное». Это примерно соответствует статистике вспышек и взрывов

горючих газов в калийных рудниках, происшедших в период с 1957 г. по настоящее время.

Полученная общая оценка риска вспышек, взрывов и пожаров газа — “практически возможный”.

### 3. Выводы

На основании результатов проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

Для обеспечения приемлемости значения риска всех рассмотренных аварийных ситуаций необходимы следующие компенсирующие мероприятия:

- эксплуатировать ленточные конвейеры со строгим соблюдением соответствующих требований инструкций завода-изготовителя;
- обеспечивать и контролировать работоспособность установок автоматического пожаротушения и противопожарной сигнализации на приводных станциях с установленной периодичностью;
- оперативно ликвидировать пробуксовки приводного барабана или сходы ленты во время работы ленточного конвейера;
- в кратчайшее время останавливать ленточные конвейеры при заштыбовке ленты, приводного или натяжного барабана;

### Литература

1. Кравченко Е.В., Кудинов В.П., Легашева Л.В. Причины пожаров на ленточных конвейерах и способы их предотвращения // Безопасность труда в промышленности. 1994. № 2. С. 17–20.
2. Боков Г.В., Гришин Е.В. Воспламеняемость электроизоляции при аварийных режимах // Пожарное дело. 1982. № 1. С. 23–24.
3. Скочинский А.А., Огиевский В.М. Рудничные пожары. Серия «Библиотека горного инженера». Классики горной мысли. Т. 16. Книга первая. М. Из-во «Горное дело», 2011. 372 с.
4. Iannacchione A., Variey F., Brady T. / The Application of Major Hazard Risk Assessment (MHRA) to Eliminate Multiple Fatality Occurrences in the U.S. Minerals Industry

### References

1. Kravchenko E.V., Kudinov V.P., Legashcheva L.V. Prichiny pozharov na lentochnykh konveyerakh i sposoby ikh predotvrashcheniya [Causes of fires on conveyor belts and ways of their prevention]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Labour safety in industry]. 1994, I. 2, pp. 17–20. (in Russian)
2. Bokov G.V., Grishin E.V. Vosplamenyayemost' elektroizolyatsii pri avariynykh rezhimakh [Flammability of electrical insulation under emergency conditions]. *Pozharnoe delo* [Fire science]. 1982, I. 1, pp. 23–24. (in Russian)

- обеспечить работоспособность систем контроля пробуксовки приводного барабана ленточного конвейера и системы контроля его температуры;
- контролировать концентрацию горючего газа в выработке с установленной периодичностью;
- усилить контроль за соблюдением требований при использовании открытого огня, проведении огневых работах и соблюдением запрета на пронос в выработки курительных принадлежностей;
- оборудовать каждый комбайновый комплекс не менее чем двумя переносными порошковыми огнетушителями с массой огнетушащего порошка не менее 8 кг. Огнетушители должны располагаться в доступном месте для возможности быстрого применения. Место размещения передвижных огнетушителей должно быть обозначено;
- укомплектовать склад противопожарных материалов, расположенный в околоствольном дворе рудника, быстровозводимыми перемычками по 2 комплекта для каждого типоразмера сечения горных выработок.

- (DHHS (NIOSH) Publication No. 2009–104 October 2008). p.149.
5. ГОСТ Р ИСО 31000 : 2010 (ISO 31000 : 2009) Менеджмент риска. Принципы и руководство.
6. ГОСТ 27.310–95 Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.
7. Котельников В.С., Грозовский Г.И., Грот В.В., Мельник И.В. Использование оценки риска при выборе технологических решений. // Технический надзор, № 4. 2015. С. 26–27.
8. Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых: федер. нор. и прав. // утвр. прик. Ростехнадзора № 599 от 11.12.2013 г.

3. Skochinskiy A. A., Ogievskiy V.M. *Rudnichnye pozhary. Seriya «Biblioteka gornogo inzhenera». Klassiki gornoy mysli. T. 16. Kniga pervaya* [Fire mines. The series “the Library of a mining engineer”. Classic mountain thoughts. V. 16. Book first]. Moscow, Gornoe delo Publ., 2011. 372 p. (in Russian)
4. Iannacchione A., Variey F. and Brady T. The Application of Major Hazard Risk Assessment (MHRA) to Eliminate Multiple Fatality Occurrences in the U.S. Minerals Industry (DHHS (NIOSH) Publication No. 2009-104 October 2008). p. 149.

5. GOST R ISO 31000 : 2010 (ISO 31000 : 2009) *Menedzhment riska. Printsipy i rukovodstvo* [GOST R ISO 31000 : 2010 (ISO 31000 : 2009) risk Management. The principles and guidance]. (in Russian)
6. GOST 27.310-95 *Analiz vidov, posledstviy i kritichnosti otkazov. Osnovnye polozeniya* [GOST 27.310-95 Analysis of types, consequences and criticality of failures. The main provisions]. (in Russian)
7. Kotel'nikov V.S., Grozovskiy G.I., Grot V.V., Mel'nik I.V. *Ispol'zovanie otsenki riska pri vybore tekhnologicheskikh resheniy* [Use of risk assessment when choosing technology solutions]. *Tekhnicheskiy nadzor* [Technical supervision]. 2015, I. 4, pp. 26–27. (in Russian)
8. *Pravila bezopasnosti pri vedenii gornykh rabot i pererabotke tverdykh poleznykh iskopaemykh: feder. nor. i prav. (utver. prik. Rostekhnadzora № 599 ot 11.12.2013)* [Safety rules for the mining and processing of solid minerals: Feder. nor. right. adopted. CIDP. RTN No. 599 dated 11.12.2013]. (in Russian)

## Fire Risk Analysis in Potash Mines

**V.S. Kotelnikov, Doctor of Engineering**, Professor, Director General, JSC Scientific Technical Centre “Industrial Safety”  
**G.I. Grozovsky, Doctor of Engineering**, Professor, Deputy Director General on Science, JSC Scientific Technical Centre “Industrial Safety”

**V.V. Sidorchuk**, Senior Researcher, JSC Scientific Technical Centre “Industrial Safety”

**V.V. Grot**, Ph.D. of Engineering, Senior Researcher, JSC Scientific Technical Centre “Industrial Safety”

**A.E. Brom**, Doctor of Engineering, Professor, Bauman Moscow State Technical University

*The influence of various factors on the fires probability in the potash mines has been evaluated. The most critical flammable devices and objects, and the conditions of ignition have been identified. Scenarios of development for the most dangerous situations have been analyzed, and the fire risks have been assessed. Conclusions have been drawn, and recommendations have been given on the ignition probability reducing.*

**Keywords:** mine, ignition probability, fire, belt conveyors, gearboxes, braking systems, electrical equipment, risk.

### Новости в области промышленной безопасности и охраны труда

**Приказом Ростехнадзора** от 31.03.2016 № 137 утверждено Руководство по безопасности "Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей" и признан утратившим силу приказ Ростехнадзора от 20.04.2015 № 159, утвердивший аналогичный документ.

**Приказом Минтруда России** от 19.02.2016 № 74н внесены изменения в Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Приказ зарегистрирован Минюстом России 13.04.2016, рег. № 41781, официально опубликован на Официальном интернет-портале правовой информации ([www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru)) 18.04.2016, № опубли. 0001201604180002, и вступит в силу 19.10.2016.

**Приказом Ростехнадзора** от 09.03.2016 № 90 внесены изменения в Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности», отменяющие требования к эксперту являться автором публикаций в области промышленной безопасности, размещенных в периодических изданиях. Приказ зарегистрирован Минюстом России 07.04.2016, рег. № 41703, и официально опубликован на Официальном интернет-портале право-

вой информации ([www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru)) 11.04.2016, № опубли. 0001201604110016.

**Приказом Ростехнадзора** от 11.04.2016 № 144 утверждено Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» и признан утратившим силу приказ Ростехнадзора от 13.05.2015 № 188, утвердивший аналогичный документ.

С 1 апреля 2016 года программный комплекс ТОХI+Risk прошел экспертную оценку и официально включен в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных Минсвязи России.

**Приказом Ростехнадзора** от 26.11.2015 № 480 утверждены изменения в Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств». Приказ зарегистрирован Минюстом России 18.02.2016, рег. № 41130, и официально опубликован на Официальном интернет-портале правовой информации ([www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru)) 20.02.2016, № опубли. 0001201602200032.