

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК

Санкт-Петербургского
государственного университета
технологии и дизайна



Серия 1

Естественные
и технические науки

№ 1/2023

Д. А. Ковалёв, С. Л. Горобченко

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики 198095 РФ, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ «ВЗРЫВЫ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ В ТОПКЕ СРК» И УТОЧНЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ СОДОРЕГЕНЕРАЦИОННЫХ КОТЛОВ

© Д. А. Ковалёв, С. Л. Горобченко, 2023

Рассмотрены вопросы применения системного подхода к анализу и прогнозу аварийных ситуаций по процессной модели «Взрывы горючих газов в топке СРК». Показано, что к СРК нужно относиться в большей степени как к процессно-технологической подсистеме, чем к системе, обеспечивающей энергией ЦБК. Выделены основные подсистемы СРК, определяющие ход развития аварийной ситуации. Разработаны структурная, функционально-потоковая модель СРК и показана категоричность основных подсистем по вероятности возникновения и развития аварийной ситуации «Взрывы горючих газов в топке СРК». Представлены предложения по уточнению требований к системе противоаварийной защиты с учетом выявленной категоричности подсистем в развитии аварийной ситуации «Взрывы горючих газов в топке СРК».

Ключевые слова: содорегенерационный котел, взрывы горючих газов в топке СРК, системный подход, структурно-функциональная модель, функционально-потоковая модель, процессные модели развития аварийной ситуации, система противоаварийной защиты, уточнение требований.

Содорегенерационные котлы (СРК) целлюлозных производств ЦБК относятся к сложным техническим системам с высокой склонностью к развитию аварийных ситуаций. Высокая пожаро- и взрывоопасность, нестабильность технологического процесса, возникающая при работе СРК и связанная с особенностями использования черного щелока как основного топлива, приводят к необходимости разделения распределенной системы управления (РСУ) и противоаварийной защиты (СПАЗ) и умелой организации работы всех звеньев АСУТП как единого целого.

Многие СРК отечественных предприятий [2] являются высокопроизводительными и работающими без резервирования. Содорегенерационное отделение ЦБК представляет собой практически отдельный завод (рис. 1). Обеспечение надежности работы этих СРК является актуальной задачей и находится в центре внимания диагностики и технического обслуживания.

Одним из важных элементов проектирования СПАЗ содорегенерационных котлов выступает анализ возможных опасностей, возникающих при работе СРК и приводящих к взрывам. Их выделение является основой построения диагностического обеспечения ПАЗ.

Взрывы в содорегенерационных котлах

В связи с многочисленными и серьезными последствиями взрывов СРК с 1962 года действует международный консультативный комитет (BLRBAC) [3], координирующий усилия различных организаций по изучению и предотвращению взрывов. Обстоятельства и причины взрывов СРК отражены в [1], [2], [4–6]. Статистика взрывов приведена в табл. 1.

Причины взрывоопасности СРК приведены ниже:

- нарушение процесса сжигания щелока в топке;
- аккумуляция на поду топочной камеры большого количества расплавленных натриевых солей при температуре 850...900 °С;



Рис. 1. Фото общего вида содорегенерационного отделения Братского ЦБК

Таблица 1. Статистика взрывов за период 1960 по 2000 год

Страна	Кол-во СРК	Кол-во взрывов	Основные причины взрывов, %
США	225	72	Нарушения правил сжигания топлива (50) и взаимодействия плава с водой (50)
Канада	174	63	Нарушения правил сжигания вспомогательного топлива (49), взаимодействия плава с водой (48), неисправность вспомогательного оборудования (3)
Россия*	60	3	Нарушения правил сжигания вспомогательного топлива (66) и взаимодействия плава с водой (33)
Япония*	—	3	Разбавление черного щелока водой (100)

* Отсутствие полной информации о взрывах СРК.

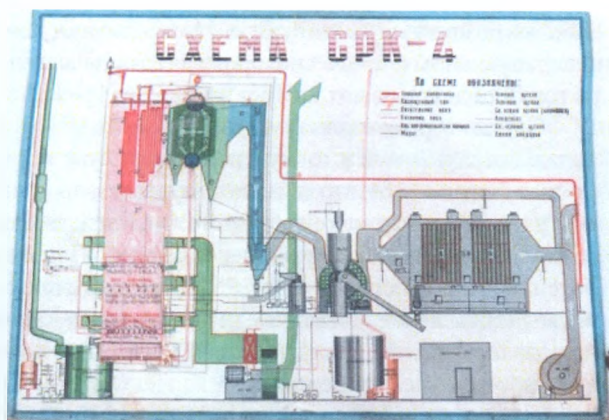


Рис. 2. Принципиальная схема СРК-4 Сегежского ЦБК [7]

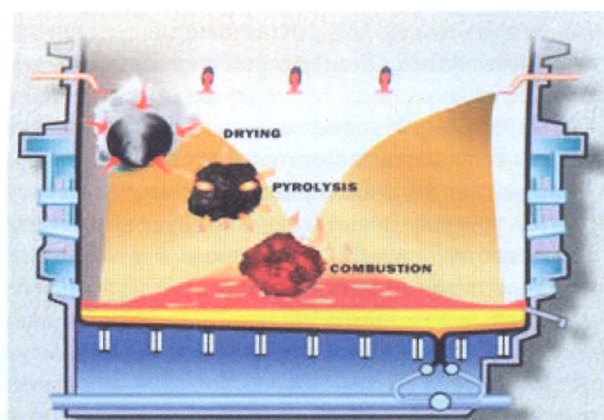


Рис. 3. Схема изменения состояния капли черного щелока в топочном пространстве и появление зон повышенной влажности в топке СРК

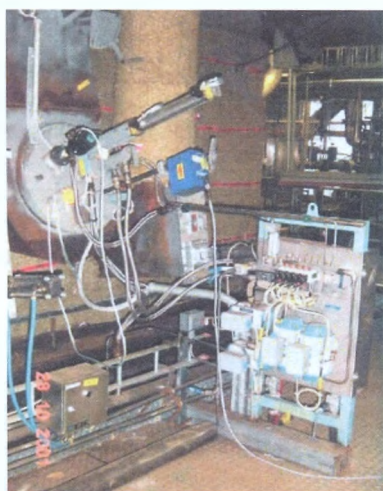


Рис. 4. Вспомогательные пусковые горелки



Рис. 5. Вид трубного пучка СРК 1500 с высоким солевым наростообразованием после длительной эксплуатации [8]

- взаимодействие сульфатного плава с водой;
- несоблюдение правил сжигания высококалорийного вспомогательного топлива, в основном мазута.

При анализе аварий на отечественных СРК установлено, что в 40 % случаев взрывы произошли в результате воспламенения накопившейся в топке взрывоопасной смеси газов (продуктов неполного сгорания), в 40 % случаев — при попадании из поврежденных экранных труб воды на огарок и плав, и в 20 % случаев — в результате грубых нарушений правил технической эксплуатации [1]. Однако эти данные не могут быть достаточными с точки зрения структурирования и особенностей взаимодействия основных подсистем СРК для анализа и прогнозирования взрывов, в частности, по аварийной ситуации «Взрывы горючих газов в топке СРК».

Задачей статьи является анализ образования аварийных ситуаций из-за образования горючих смесей в топках СРК с позиций системного анализа и уточнение требований к системе ПАЗ.

Взрывы горючих газов в топках СРК

Взрывы горючих газов в топке вызываются неравномерностью процесса горения или потухания факела. Однако взаимосвязи между каждым из трактов СРК весьма сложны и оказывают друг на друга значительное влияние, что связано во многом со сложностью конструкции и технологии сжигания в СРК (рис. 2).

Так, температура горения в топке СРК зависит от влажности, расхода воздуха, коэффициента избытка и температуры воздуха. При отдельной подаче щелока и воздуха в топочном пространстве имеет место большая неравномерность температур и концентраций отдельных газов. Наиболее низкая температура характерна для зоны интенсивного испарения влаги из подаваемого в топку щелока (рис. 3). Одновременно можно отметить, что размер капли влияет и на качество сжигания, и накопление влаги в топочном пространстве и способствует формированию взрывоопасной ситуации.

Устойчивость подсушки и воспламенения щелока зависит от температуры подаваемого

воздуха. Оптимальной считается температура воздуха 300...400 °С. Температура подаваемого в топку СРК воздуха после калорифера достигает лишь 140...150 °С. Для поддержания оптимальной температуры сжигают вспомогательное топливо, которое подается в топку, как правило, без регулирования расхода воздуха. Вспомогательные пусковые горелки используются при растопке, останове, а также для поддержания температуры в топке котла (рис. 4).

Сжигание вспомогательного топлива снижает общий избыток воздуха и приводит к возникновению полугазового процесса. Объем топки СРК заполняется взрывоопасными горючими газами, что увеличивает вероятность потухания факела и возникновения топочного взрыва.

Условия сжигания щелока нарушаются при длительной безостановочной эксплуатации котлоагрегата, когда вследствие больших отложений солей в газоходах СРК резко снижается возможность регулирования аэродинамического режима топки и избытка воздуха (рис. 5).

Нарушение устойчивого процесса горения может произойти также при внезапном выключении вентиляторов и дымососов, а также при резком снижении расхода щелока.

Максимальная сила взрыва горючих газов в топке получается, когда между концентрациями этих газов (в основном метана) и кислородом устанавливается стехиометрическое соотношение (например, $9,5\% \text{CH}_4 + 19\% \text{O}_2$).

Когда соотношение «газ — кислород» заметно отклоняется от стехиометрического, происходит слабый взрыв или хлопок. Однако и слабые взрывы горючих газов могут вызвать местные повреждения экранов с разрывом труб. При разрыве труб возможен вторичный взрыв от попадания воды в плав, вызывающий серьезные аварии.

При устойчивом горении с коэффициентом избытка воздуха больше единицы взрывоопасные концентрации горючих газов локализуются в области корня горящего факела и не представляют опасности.

Избыток воздуха контролируют кислородомером. Концентрацию избыточного кислорода в газах на выходе из топки поддерживают на уровне 1...2% [1].

Однако взрывы от взаимодействия плава с водой вызываются подачей в топку слабого щелока с влажностью больше 45 %, что связано с неудовлетворительной работой выпарной станции, но большей частью со случайным разбавлением щелока водой. Поэтому потенциально опасными являются места постоянного подвода воды к коммуникациям черного щелока для их промывки. Известны случаи взрыва СРК в США, когда вода просочилась из резервного коллектора, заполненного водой, в действующий трубопровод черного щелока, и три случая взрыва в Японии из-за нерегулируемого разбавления черного щелока [9].

На отечественных предприятиях в СРК вода часто используется в каскадном испарителе для разбавления щелока при его уплотнении. При отсутствии надежных приборов для контроля влажности щелока, поступающего в топку, использование воды для регулирования концентрации сухих веществ может привести к серьезным негативным последствиям.

Для структурирования и выделения особенностей появления аварийных ситуаций проведем системный анализ СРК с разработкой его структурно-функциональной модели, что позволит найти участки с наибольшей вероятностью аварий.

Структурно-функциональная модель СРК

Структурно-функциональная модель демонстрирует структуру и основные подсистемы и раскрывает основные взаимосвязи — системные и функциональные в структуре исследуемого объекта. Для технологических процессов структурно-функциональная модель строится на основе технологических схем. Технологическая схема СРК приведена на рис. 6.

Технологическая схема не дает представления о том, каким же образом располагаются основные функции по основным компонентам технологического процесса. Для этих целей строят структурную схему,

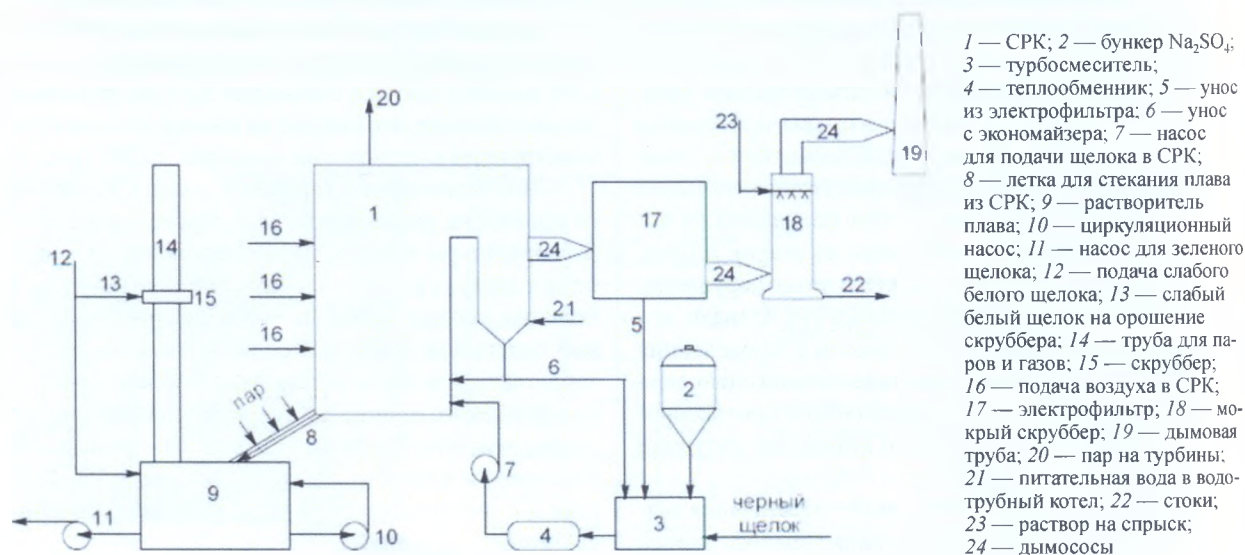


Рис. 6. Схема содорегенерационного отдела завода сульфатной целлюлозы

в которой значительно больше выражена функциональная направленность и демонстрируется иерархическое строение подсистем СРК.

Для начала выделим основные тракты СРК. Это щелоковый, пароводяной и газовый тракт. Газовый тракт выделен отдельно в отличие от традиционно определяемого газозвдушного тракта [10]. Отметим, что, в соответствии с методикой функционального анализа, нами выделены:

- щелоковый тракт, создающий основной первичный продукт и отвечающий главной полезной функции СРК. В связи с этим в щелоковом тракте, в отличие от традиционной схемы, должен присутствовать и воздушный тракт;
- пароводяной тракт, формирующий вторичный полезный продукт — пар;
- вредный продукт на утилизацию — газовый тракт с основным объемом дымовых газов.

Их связь организуется центральным узлом — подсистемой сжигания черного щелока, реализуемым в топке СРК. Сгораемый щелок создает возможности для работы тракта зеленого щелока и получения выходного минерального продукта СРК, пароводяного тракта и газового тракта, который, по сути, является дополнительным трактом очистки дымовых газов и устранения вредного влияния образующихся продуктов сгорания черного щелока.

Усовершенствованная структурно-функциональная схема СРК с расположением по иерархии выполняемых функций показана на рис. 7.

Благодаря представленной схеме становится ясно, что главная полезная функция (ГПФ) СРК выполняется щелоковым трактом. Именно он влияет на качество получаемого выходного минерального продукта, дает возможность работы пароводяного тракта с получением вторичного полезного продукта — пара для обе-

спечения собственных нужд ЦБК. Это значительно меняет отношение к нему только как к входному потоку, поскольку задачей СРК традиционно считается энергетическая составляющая — выработка пара.

В результате работы щелокового тракта возникает необходимость в организации достаточного крупного газового тракта для утилизации вредного продукта — дымовых газов и золы. Некоторую роль играет способность этого тракта в улавливании золы, которая возвращается в работу СРК и является рециркуляционным контуром СРК.

Таким образом, главную роль в создании ценности — получении минерального продукта — играет щелоковый тракт, и ему должно уделяться основное внимание при регулировании и устранении неполадок. Однако, в связи с повышенной опасностью пароводяного тракта и серьезных трудностей в обеспечении работы газового тракта, большое внимание при формировании требований к противоаварийной защите должно уделяться именно им.

Общая структурная схема расположения основных подсистем всех трактов в связи с центральным узлом СРК — топкой — показана на рис. 8. Здесь же показаны основные узлы, вызывающие беспокойство с точки зрения возможных аварий и взрывов в различных подсистемах СРК.

В соответствии со статистикой взрывов на СРК наибольшее беспокойство вызывают следующие участки:

- 1) узел сжигания черного щелока:
 - при взаимодействии основных щелоковых горелок и воздуха;
 - при взаимодействии вспомогательных щелоковых горелок и воздуха;
- 2) узел разбавления черного щелока.

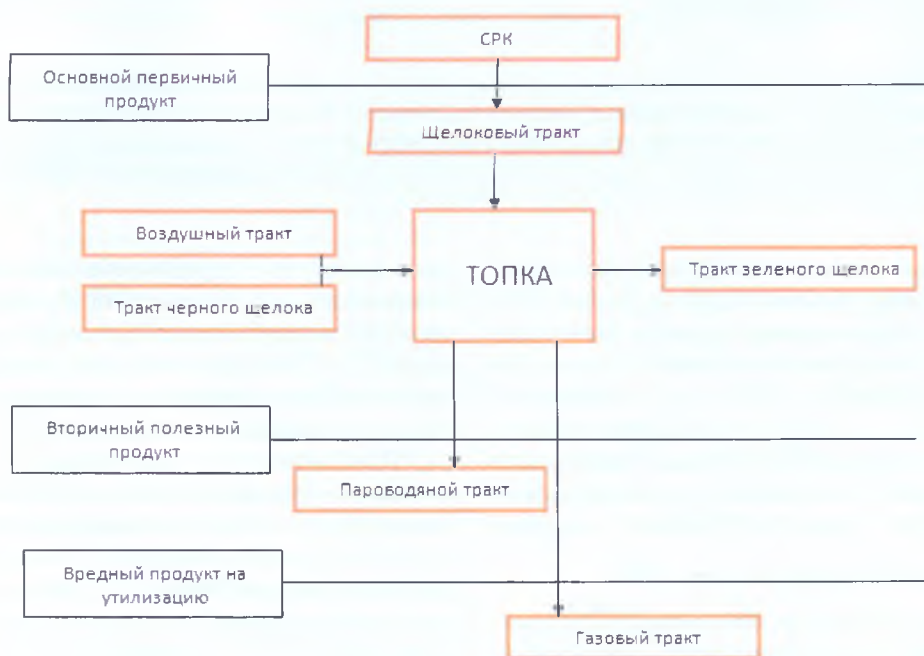


Рис. 7. Структурно-функциональная схема СРК

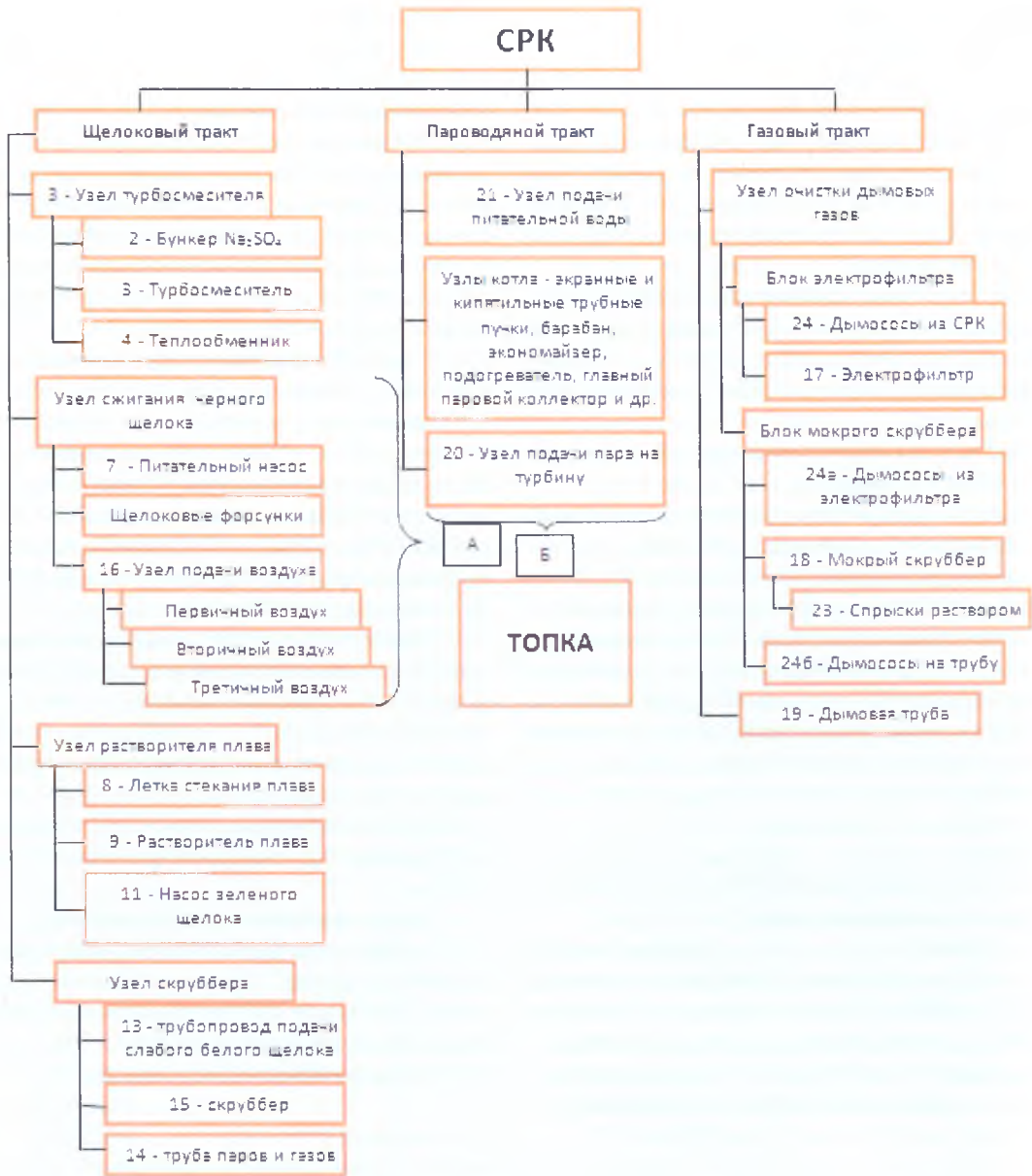


Рис. 8. Структурная схема СРК с участками, вызывающими наибольшую вероятность аварийной ситуации «Взрывы горючих газов в топке СРК» А — наиболее важные участки узла сжигания щелочного тракта, связанные с работой топки; Б — наиболее важные участки пароводяного тракта, связанные с работой топки

Можно отметить, что газовый тракт только косвенно связан с центральным узлом — топкой СРК, но имеет непропорционально большое количество узлов и подсистем обработки вредного потока. Он также частично влияет на унос золы, поступающей на рециркуляцию. Ответственность пароводяного тракта в создании аварийных ситуаций заключается в несении потенциально опасного компонента взрывоопасных смесей — пара и воды высокого давления.

Функционально-потокосовая модель СРК

Функциональная модель, описанная относительно основного потока, создает возможность сформировать функционально-потокосовую модель возможных недостатков и аварийных ситуаций в системе, а также

выявить основные и вредные накапливающиеся связи, которые в дальнейшем могут стать основой для имитационного моделирования. Функционально-потокосовая модель СРК, построенная относительно главного потока превращений черного шелока в выходной минеральный продукт, показана на рис. 9.

Применение структурно-функциональной и функционально-потокосовой модели позволяет по-новому взглянуть на процессы образования аварийных ситуаций в СРК. Как правило, они связаны с развитием неконтролируемых процессов в топке СРК. Для выделения наиболее сложных ситуаций, воспользуемся рассмотренными ранее описанными в литературе [2] видами аварийных ситуаций. Из них далее будет рассматриваться аварийная ситуация «Взрывы горючих газов в топке СРК».

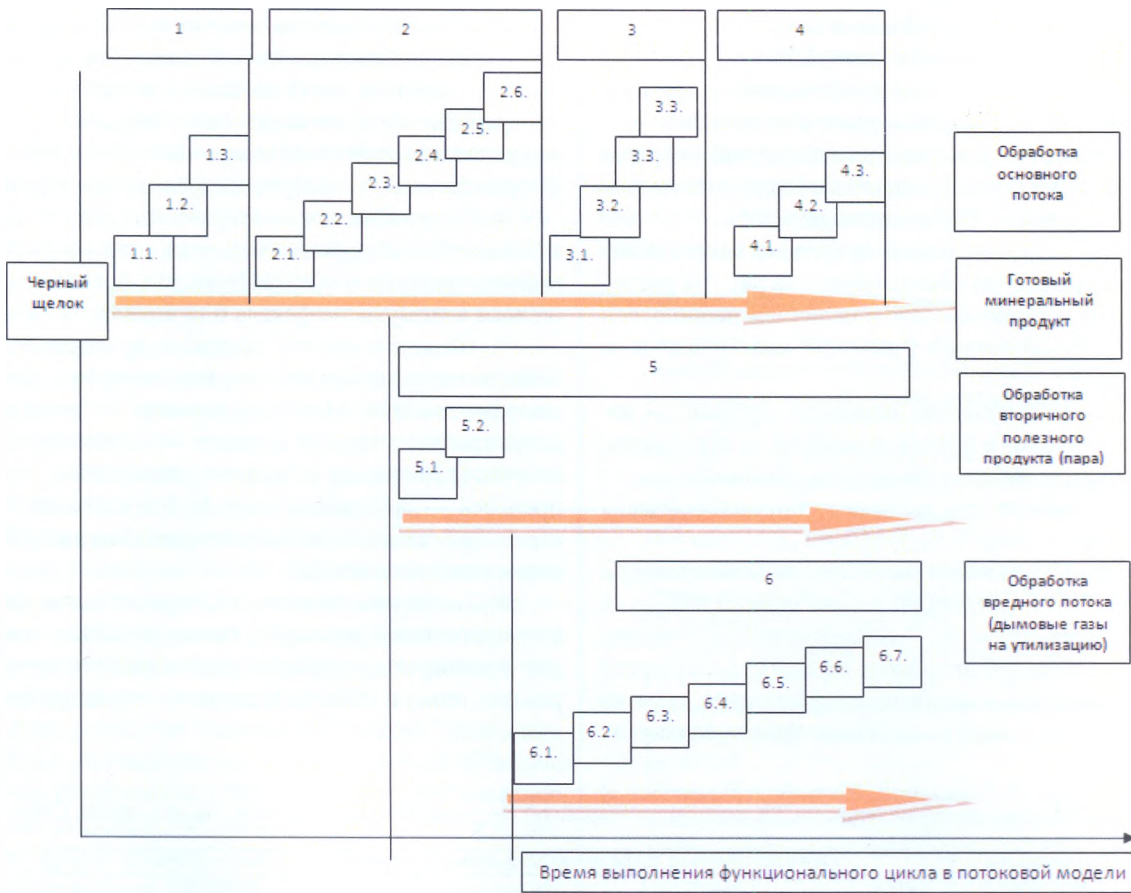


Рис. 9. Функционально-потоковая модель СРК. Обозначения: 1 — Подготовка черного щелока: 1.1. — черный щелок; 1.2 — подача Na_2SO_4 ; 1.3 — подогрев. 2. Сжигание черного щелока: 2.1. — подача черного щелока; 2.2. — распыление черного щелока в форсунках; 2.3. — подача первичного воздуха; 2.4. — подача вторичного воздуха; 2.5. — подача третичного воздуха; 2.6. — вывод на летки зеленого щелока. 3. Вывод зеленого щелока: 3.1. — стекание плава по леткам в бак-растворитель; 3.2. — охлаждение леток и пода зеленого щелока; 3.3. — откачка насосом готового минерального продукта. 4. Разбавление щелока: 4.1. — подача слабого белого щелока в скруббер; 4.2. — спрыск и разбавление уходящих газов; 4.3. — отвод образующихся паров и газов. 5. Поток вторичного полезного продукта — пара: 5.1. — подача питательной воды; 5.2. — отбор пара из топки. 6. Вредный поток на утилизацию: 6.1. — отсос дыма из СРК; 6.2. — фильтрация в электрофильтре; 6.3. — отсос дымовых газов из электрофильтра; 6.4. — мокрая очистка в scrubбере; 6.5. — подача воды на спрыск; 6.6. — отсос дымовых газов на дымовую трубу; 6.7. — вытягивание дыма в трубу.

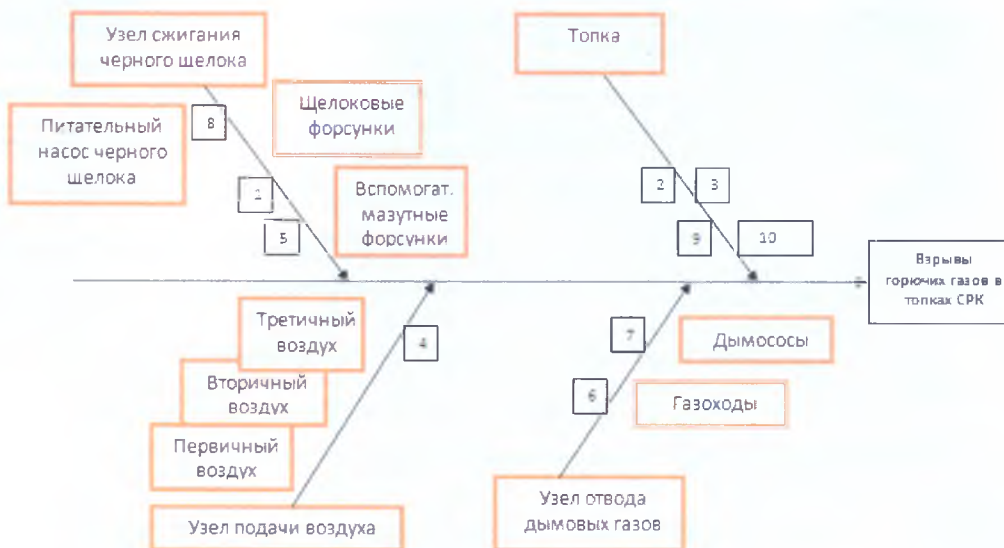


Рис. 10. Процессная модель аварийных ситуаций «Взрывы горячих газов в топке СРК» и процессные модели их развития

Процессная модель аварийной ситуации «Взрывы горючих газов в топке СРК»

Для разработки процессной модели аварийной ситуации «Взрывы горючих газов в топке СРК» расположим основные узлы подсистемы сжигания черного шелока по структурно-функциональной модели на диаграмме Исикавы — Сибирякова (рис. 10).

Схемы развития аварий приведены ниже (нумерация соответствует обозначениям на рис. 10, расположение на графике связано с наличием наибольшей связи с представленным узлом или конструктивным элементом):

1. *Неравномерность процесса горения:* — изменение влажности и расхода воздуха — отклонение коэффициента избытка воздуха от оптимального — снижение температуры воздуха — потухание факела или взрыв.

2. *Недостаточная или высокая температура в топке СРК:* — отдельная подача шелока и воздуха в топочное пространство — неравномерность температур и концентраций отдельных газов из-за влажности и расхода воздуха, отклонение коэффициента избытка и температуры воздуха — потухание факела или взрыв.

3. *Большая неравномерность температур и концентраций отдельных газов в топочном пространстве:* — наличие значительных зон с интенсивным испарением влаги из подаваемого шелока — достижение стехиометрического соотношения по кислороду и горючим газам — потухание факела или взрыв.

4. *Неустойчивость подсушки шелока:* — низкая температура воздуха — высокая влажность подаваемого воздуха — неустойчивость воспламенения шелока — потухание факела или взрыв.

5. *Нестабильность процесса при применении подсветки:* — необходимость подсветки при помощи дополнительных мазутных горелок — отсутствие регулирования подачи воздуха — снижение общего избытка воздуха — возникновение полугазового процесса — заполнение топки СРК взрывоопасными горючими газами — потухание факела или возникновение топочного взрыва.

6. *Длительная безостановочная эксплуатация:* — большие отложения солей в газоходах СРК — снижение возможности регулирования аэродинамического режима топки и избытка воздуха — потухание факела или взрыв.

Таблица 2. Матрица ролей подсистем СРК в создании аварийной ситуации «Взрывы горючих газов в топках СРК»

№	Процессная модель	Ответственные подсистемы и конструктивные элементы СРК							
		Топка		Шелочный тракт			Пароводяной тракт	Газовый тракт	
		Топочное пространство	Котельная часть*	Подсистема воздуха	Подсистема шелока	Узел сжигания	Узел питательной воды	Газоходы	Дымососы
1	Неравномерность процесса горения	-	-	О	Д	Д	-	-	-
2	Отклонения от нормальной температуры в топке	О	-	О	Д	О	-	-	-
3	Неравномерность концентраций газов в топочном пространстве	О	-	О	Д	О	-	-	-
4	Неустойчивость подсушки шелока	-	-	О	О	О	-	-	-
5	Нестабильность процесса при подсветке	-	-	О	О	О	-	-	-
6	Отложения солей в газоходах	-	-	-	-	-	-	О	О
7	Беззапное отключение вентиляторов и дымососов	-	-	-	Д	-	-	-	О
8	Резкое снижение расхода шелока	-	-	-	О	-	-	-	-
9	Критическое соотношение газов	О	О	-	Д	-	-	-	-
10	Локализация взрывоопасной концентрации горючих газов	О	-	Д	Д	-	-	-	-
	ИТОГО, Основное влияние, %	4/25	1/6	5/32	5/18	4/25	-	1/6	2/12
	ИТОГО по совокупности, %	4/14	1/4	7/25	5/29	5/18	-	1/4	2/7

Обозначения: О — основное влияние; Д — Дополнительное влияние

7. *Внезапное отключение вентиляторов и дымо-сосов:* — нарушение устойчивого процесса горения — потухание факела или взрыв.

8. *Резкое снижение расхода щелока:* — нарушение устойчивого горения — потухание факела или взрыв.

9. *Достижение критического соотношения горючих газов:* — достижение горючей смесью «метан+кислород» стехиометрического соотношения 9,5% $\text{CH}_4 + 19\% \text{O}_2$ — взрыв или хлопок — повреждение экранов с разрывом труб — попадание воды в плав — вторичный взрыв.

10. *Локализация взрывоопасной концентрации горючих газов:* — локализация взрывоопасной концентрации горючих газов — поднятие значительно выше области корня горящего факела в топочном пространстве — взрыв.

При разработке системы диагностики аварийных ситуаций и создании систем ПАЗ основное внимание должно уделяться тем подсистемам, которые в основном и порождают аварии. Роль отдельных подсистем и конструктивных элементов в формировании аварийной ситуации демонстрирует табл. 2.

Анализ участия главных подсистем СРК в формировании и развитии аварийной ситуации «Взрывы горючих газов в топке СРК» показывает, что основное влияние оказывает топочное пространство и узел сжигания черного щелока. В узле сжигания сами среды (воздух и черный щелок) и качество их подготовки к сжиганию вносят основной вклад в развитие аварий по взрывам горючих газов.

По совокупности факторов (основной+дополнительный), главное влияние оказывает подсистема воздуха) — его влажность, расход по отношению к щелоку, и, соответственно, его избыточность или недостаточность при сжигании, что значительно влияет на образование горючих смесей в разных участках топочного пространства. Роль черного щелока также весьма высока и определяется качеством его подготовки, соотношением сухих веществ, привносимой в топочное пространство влаги и других компонентов, влияющих на образование горючей смеси.

Таким образом, в соответствии с проведенным анализом на основе системного подхода, возможно проведение уточнений к требованиям при разработке систем автоматической противоаварийной защиты (СПАЗ) для предотвращения аварийных ситуаций, относящихся к процессной модели «Взрывы горючих газов в топке СРК».

Основой этого является уточненная категоричность опасностей подсистем СРК, участвующих в развитии аварийной ситуации. Главное внимание при разработке систем ПАЗ по данной категории должно уделяться тракту воздуха и щелока и особенно их взаимодействию с развитием аварийной ситуации.

Узел сжигания и его связь с формированием аварийной ситуации в топочном пространстве создает основной пространственный узел в развитии данной ситуации. Выделенные участки возникновения опасностей и придание им категоричности по недопустимости или допустимости ситуации по процедуре HAZOP позволит дополнить и развить диагностическую модель, представленную в работах [10]–[13].

Список литературы

1. *Сиваков В. П., Вураско А. В., Музыкантова В. И.* Регенерация химикатов и тепла в сорегенерационных котлоагрегатах. Устройство и диагностирование. Уральский ГЛТУ. 2015. С. 140.
2. *Неленин Ю. Н.* Технология целлюлозы: В 3 т. Т. 2. Производство сульфатной целлюлозы. М.: Лесн. пром-сть. 1990. 600 с.
3. *Липовков И. З., Глейзер И. Ш.* Взрывы в сорегенерационных котлоагрегатах и методы их предупреждения: Экспресс-информация // Целлюлоза и бумага. Вып. II-74. М.: ВНИПИЭИлеспром. 1974. 16 с.
4. *Thomas G.* Explosions — they're still rocking the industry // PIMA. 1988. Vol. 70. № 10. pp. 41–42.
5. *Garner J. W.* Conversion to low odor improves recovery boiler efficiency and life // Pulp and Paper. 1989. Vol. 63. № 7. pp. 91–95.
6. *Жучков П. А., Волков А. Д., Бойков Л. М.* Топочные взрывы в сорегенерационных агрегатах при попадании воды в плав // Бумажная промышленность. 1973. № 9. С. 4–6.
7. URL: <https://rk.karelia.ru/special-projects/dostoyanierepubliki/chistaya-himiya/> (дата обращения: 15.11.2023)
8. Энерготехномаш. URL: <https://www.energotehnomash.ru/qa/224.html>. (дата обращения: 15.11.2023).
9. *Osborne M. J.* Summary report on activities of the black liquor recovery boiler Advisory Committee // TAPPI. 1970. Vol. 53. № 2.
10. *Ковалев Д. А.* Алгоритм моделирования сорегенерационного котла // Энергетика и автоматизация в современном обществе: Материалы IV Международной научно-практической конференции обучающихся и преподавателей. В 2 ч. СПб., 04 июня 2021 года / Под общ. ред. Т. Ю. Коротковой. СПб., 2021. С. 218–221. EDN VSMGXU.
11. *Ковалев Д. А.* Анализ возможных нарушений технологических процессов в сорегенерационном котле // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2021. № 56 (82). С. 108–111. DOI 10.36807/1998-9849-2020-56-82-108-111. EDN WYMCWM.
12. *Kovalev D. A.* Increase in environmental safety of recovery boiler // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 4, Virtual. Online, 24–26 ноября 2021 года. Virtual. Online. 2022. P. 012068. DOI 10.1088/1755-1315/990/1/012068. EDN AOGERP.
13. *Ковалев Д. А.* Алгоритм моделирования зоны пиролиза и зоны окисления сорегенерационного котла // Энергетика и автоматизация в современном обществе: Материалы V Международной научно-практической конференции обучающихся преподавателей. СПб., 2022. С. 190–193. EDN PVNVLL.

D. A. Kovalev, S. L. Gorobchenko

St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Higher School of Technology and Energy
198095 Russia, St. Petersburg, Ivan Chernykh, 4

**A SYSTEMIC APPROACH TO THE ANALYSIS OF THE EMERGENCY SITUATION
“EXPLOSIONS OF COMBUSTIBLE GASES IN THE SRC FURNACE” AND CLAIMING THE REQUIREMENTS
TO THE EMERGENCY PROTECTION SYSTEM OF SODIUM GENERATION BOILERS**

The issues of application of a systematic approach to the analysis and forecast of emergency situations according to the process model “Explosions of combustible gases in the furnace of the RMS” are considered. It is shown that RMS should be treated more as a process-technological subsystem than a system that provides energy to the pulp and paper mill. The main subsystems of the RMS that determine the course of development of an emergency are identified. A structural, functional-flow model of the RMS has been developed and the categorization of the main subsystems by the probability of occurrence and development of the emergency situation “Explosions of combustible gases in the RMS furnace” has been shown. Proposals are presented to clarify the requirements for the emergency protection system, taking into account the identified categorization of subsystems in the development of the emergency situation “Explosions of combustible gases in the furnace of the RMS”.

Keywords: soda recovery boiler, explosions of combustible gases in the RMS furnace, system approach, structural-functional model, functional-flow model, process models for the development of an emergency, emergency protection system, clarification of requirements.

References

1. Sivakov V. P., Vurasko A. V., Muzykantova V. I. Regeneration of chemicals and heat in soda recovery boilers. Device and diagnostics. Ural GLTU, 2015. pp. 140. (in Rus.).
2. Nepenin Yu. N. Pulp technology: In 3 tons; T. 2. Production of sulfate pulp. M.: Lesn. prom-st, 1990. 600 p. (in Rus.).
3. Lipovkov I. Z., Glazer I. Sh. Explosions in soda recovery boilers and methods of their prevention: Express information. Cellulose and paper. Issue. II-74. Moscow: VNIPIE-Ilesprom. 1974. 16 p. (in Rus.).
4. Thomas G. Explosions — they’re still rocking the industry // PIMA. 1988 Vol. 70. No. 10. Pp. 41–42.
5. Garner J. W. Conversion to low odor improves recovery boiler efficiency and life // Pulp and Paper. 1989. Vol. 63. No. 7. Pp. 91–95.
6. Zhuchkov P. A., Volkov A. D., Boikov L. M. Furnace explosions in soda recovery units when water enters the melt // Paper industry. 1973. No. 9. Pp. 4–6. (in Rus.).
7. URL: <https://rk.karelia.ru/special-projects/dostoyanie-respubliki/chistaya-himiya/> (date accessed: 15.11.2023)
8. Energotekhnomash. URL: <https://www.energotehnomash.ru/qa/224.html>. (date accessed: 15.11.2023).
9. Osborne M. J. Summary report on activities of the black liquor recovery boiler Advisory Committee // TAPPI. 1970. Vol. 53. No. 2.
10. Kovalev D. A. Algorithm for modeling a soda recovery boiler // Energy and automation in modern society: Proceedings of the IV International scientific and practical conference of students and teachers. In 2 parts. St. Petersburg, June 04. 2021 / Under the general editorship of T. Yu. Korotkova. St. Petersburg, 2021. Pp. 218–221. EDN VSMGX. (in Rus.).
11. Kovalev D. A. Analysis of possible violations of technological processes in a soda recovery boiler // Proceedings of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University). 2021. No. 56 (82). pp. 108–111. DOI 10.36807/1998-9849-2020-56-82-108-111. EDN WYMCWM. (in Rus.).
12. Kovalev D. A. Increase in environmental safety of recovery boiler // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 4, Virtual, Online. November 24–26. 2021. 2022. pp. 012068. DOI 10.1088/1755-1315/990/1/012068. EDN AOGERP.
13. Kovalev D. A. Algorithm for modeling the pyrolysis zone and the oxidation zone of a soda recovery boiler // Energy and automation in modern society: Proceedings of the V International scientific and practical conference of students and teachers. May 20. 2022. St. Petersburg. 2022. Pp. 190–193. EDN PVNVVLJ. (in Rus.).