

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДАХ: ИНТЕГРАЦИЯ ПРЕЦЕДЕНТОВ И ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

FIRE SAFETY MANAGEMENT SYSTEM AT OIL REFINERIES: USE CASE INTEGRATION AND DECISION SUPPORT

**S. Aksenov
E. Muginova**

Summary. The article explores the potential of using a database of use cases based on a frame model for managing fire safety at oil refineries. It emphasizes the importance of establishing criteria for describing precedents and creating a structured approach to processing analytical data. This enables the comparison and identification of similar use cases through the development of a data processing algorithm. A practical example illustrates the feasibility of searching for fire extinguishing precedents at a refinery pumping unit, highlighting the potential for creating a decision support system to address this scientific challenge.

Keywords: precedent method, fire safety, oil refinery, frame model, functional model, decision support system.

Аксенов Сергей Геннадьевич

д-р э.н., профессор,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий
beregplya@mail.ru

Мугинова Елена Радиковна

ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий
pavel1112w@mail.ru

Аннотация. В статье исследуется потенциал использования базы данных прецедентов, основанной на фреймовой модели, для управления пожарной безопасностью на нефтеперерабатывающих заводах. Подчеркивается важность установления критериев для описания прецедентов и создания структурированного подхода к обработке аналитических данных. Это позволяет сравнивать и выявлять схожие варианты использования путем разработки алгоритма обработки данных. Практический пример иллюстрирует целесообразность поиска прецедентов тушения пожаров на насосной установке нефтеперерабатывающего завода, подчеркивая потенциал создания системы поддержки принятия решений для решения этой научной задачи.

Ключевые слова: метод прецедентов, пожарная безопасность, нефтеперерабатывающий завод, фреймовая модель, функциональная модель, система поддержки принятия решений.

Многие жители страны проживают вблизи нефтеперерабатывающих заводов, которые занимаются добычей, хранением, переработкой и транспортировкой горючих углеводородов. Эксплуатация данных объектов сопряжена со значительным риском из-за возможности возникновения крупных пожаров, которые могут привести к возникновению обширных зон чрезвычайной ситуации, что затруднит их локализацию в силу характера их деятельности.

Предприятия, особенно нефтеперерабатывающие заводы, представляют собой сложные системы, требующие контролируемых операций. Однако сложность управления многочисленными параметрами контроля и системами пожарной безопасности на нефтеперерабатывающих заводах повышает вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций. Исторические примеры нарушений пожарной безопасности могут быть использованы для создания базы знаний, которую ученые используют для выявления и прогнозирования подобных инцидентов.

Чтобы максимально эффективно использовать ценную информацию о противопожарной защите на нефтеперерабатывающих заводах, необходимо внедрить процесс поиска прецедентов.

Был проведен всесторонний обзор использования прецедентного метода в управлении безопасностью сложных систем с акцентом на моделирование систем принятия решений для управления безопасностью, как это видно из работ нескольких исследователей (В.Н. Бурков, Д.А. Новиков [1], Д.В. Тупиков [2], Ю.Н. Шебеко, А.В. Минаев, Н.Г. Топольский [3], О.А. Николайчук [4]). Однако в этих исследованиях отсутствуют исследования по разработке систем поддержки принятия решений специально для управления пожарной безопасностью на нефтеперерабатывающих заводах с использованием подхода, основанного на прецедентах.

Цель состоит в том, чтобы добиться точного реагирования и принятия решений путем параметризации прецедентов тушения пожаров на нефтеперерабатывающих заводах и создания базы данных по этим прецедентам.

С системной точки зрения, взаимодействие различных компонентов системы безопасности должно быть реализовано таким образом, чтобы предотвратить переход в кризисный режим. Соответствие этому критерию демонстрирует, что модель управления эффективно удовлетворяет системные потребности объекта.

Технология функционального моделирования IDEF0 используется для формализации процессов.

Цель моделирования — описать, как работает информационная система пожарной безопасности, что дает четкое представление о ее функционировании с точки зрения противопожарной защиты. Рисунок 1 иллюстрирует организацию работы нефтеперерабатывающего завода в виде контекстной диаграммы.

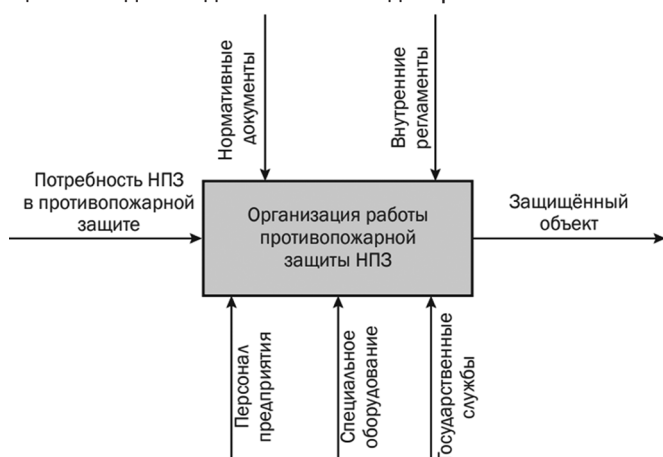


Рис. 1. Контекстная диаграмма организации работы системы противопожарной защиты НПЗ

Как показано на схеме, функционирование первичной системы противопожарной защиты обусловлено необходимостью выполнения требований безопасности

предприятия (входные данные). Надлежащая организация приводит к тому, что объекты нефтеперерабатывающего завода находятся в защищенном состоянии (выходные данные). Для достижения этого результата важно следовать соответствующим нормативным документам (руководству) и четко определять роли конкретного персонала и используемые технические ресурсы (механизм) [2].

На рисунке 2 представлено содержание нескольких ключевых функций, выполняемых системой пожарной безопасности. Учитывая многочисленные функции системы на нефтеперерабатывающем заводе, были выбраны наиболее актуальные процессы, в том числе «Мониторинг состояния узлов и агрегатов», «Обеспечение пожарной безопасности технологического участка» и «Обработка структурированных предварительных данных». Эти функции служба пожарной безопасности выполняет самостоятельно, в зависимости от типа опасности, существующей на нефтеперерабатывающем заводе. Систематизация данных для целей управления может быть достигнута с помощью метода прецедентов, который предполагает описание прошлых событий с использованием стандартизированных параметров.

Функции службы безопасности регулируются нормативными документами на нескольких уровнях, включая законодательные, ведомственные и внутренние нормативные акты, такие как уставы, политики, трудовые договоры, трудовые правила и должностные инструкции.

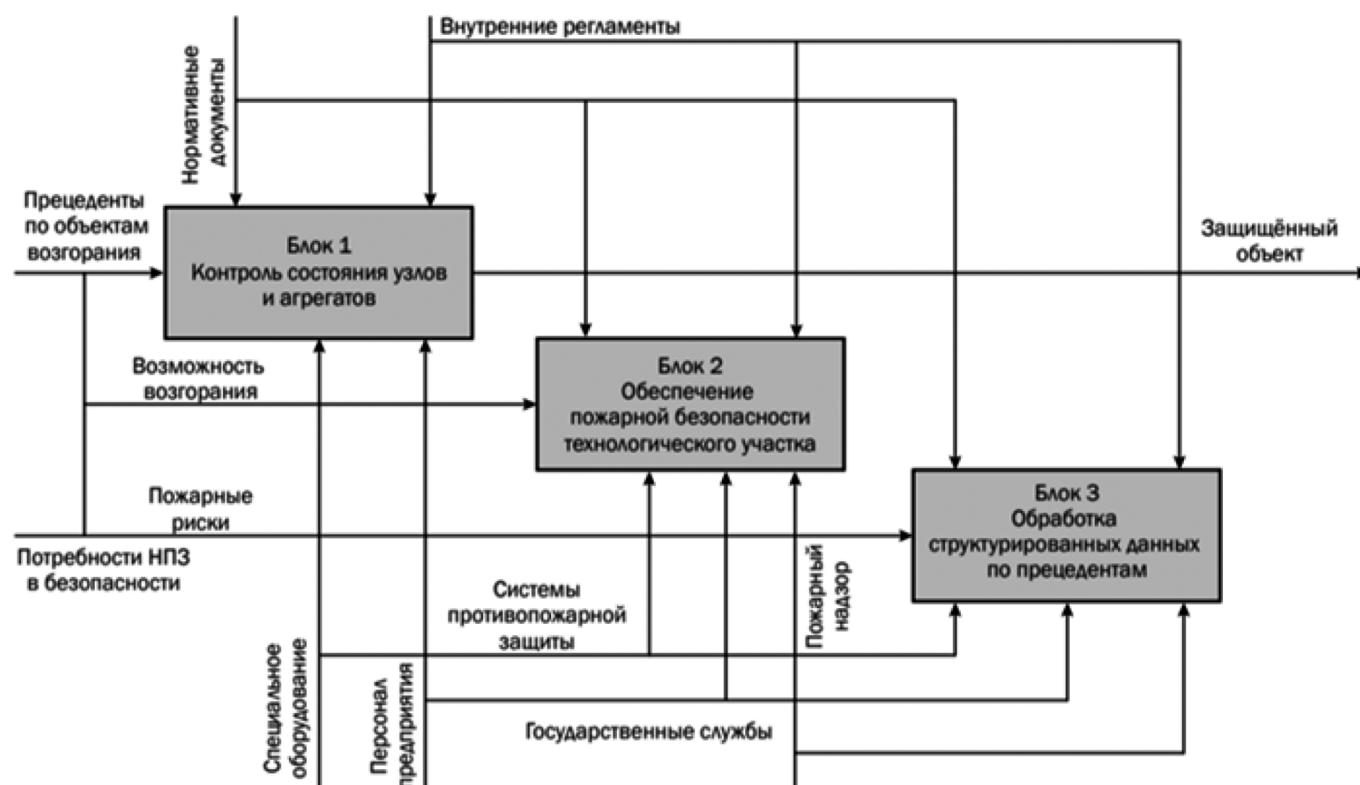


Рис. 2. Функциональная диаграмма организации работы

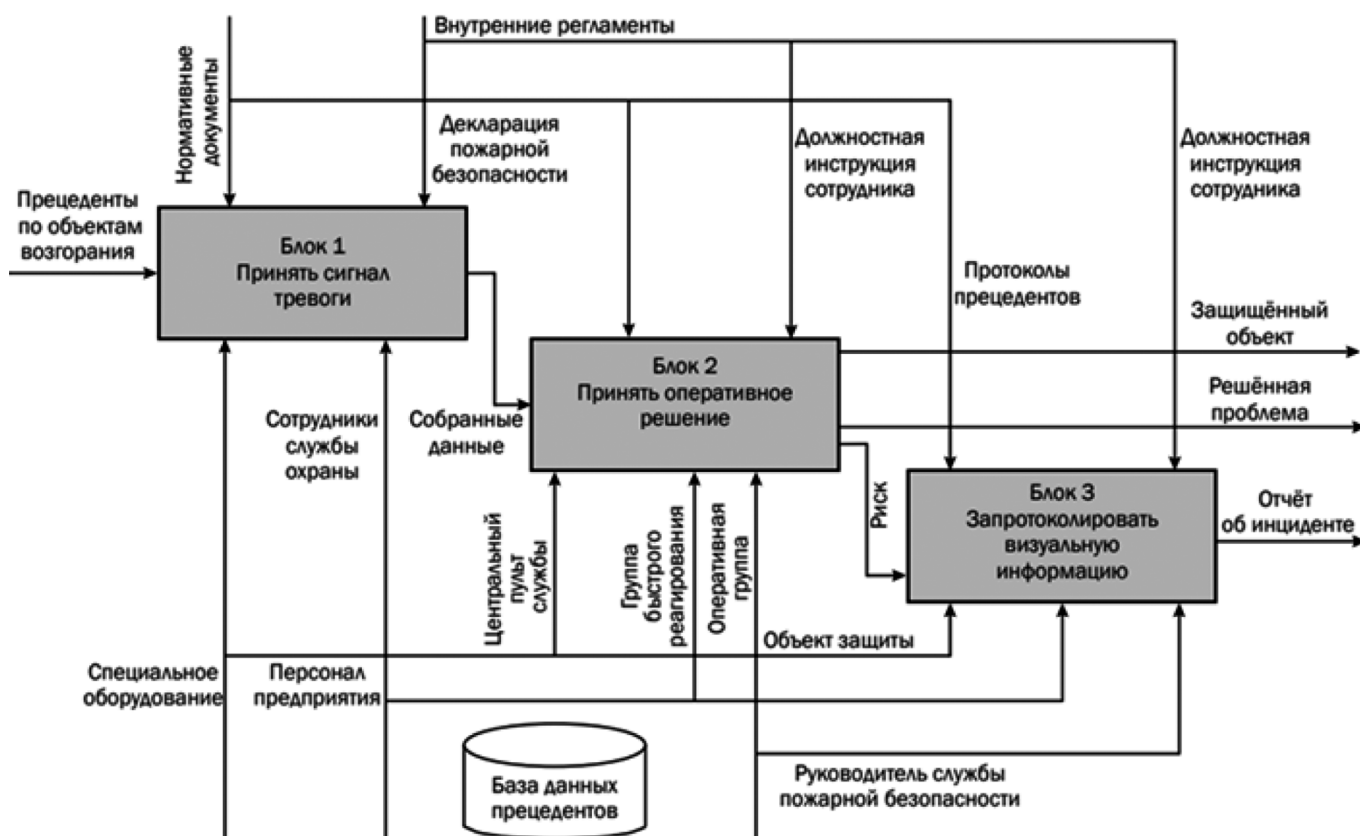


Рис. 3. Декомпозированная диаграмма процесса принятия решений

Государственная противопожарная служба (пожарный надзор) служит механизмом реализации функций, описанных в блоках 2 и 3. Результатом работы всех трех блоков является «Охраняемый объект».

Мы разбиваем функциональный блок 3 «Обработка структурированных данных по вариантам использования» (рис. 3) на четыре процесса: «Получение сигнала тревоги», «Поиск в базе данных прецедентов», «Принятие оперативного решения» (на основе анализа прошлого опыта) и «Запись визуальной информации»[6].

Модель организации службы пожарной безопасности IDEFO должна быть интегрирована в информационную систему поддержки принятия решений (DSS) путем доступа к базе данных вариантов использования. Заключительный модуль системы предназначен для автоматической генерации протоколов для регистрации параметров каждого варианта использования [3].

Чтобы автоматизировать регистрацию прецедентов в базе данных, необходимо разработать набор критериев для оценки прецедентов пожарной безопасности на нефтеперерабатывающих заводах. Однако возникает проблема, связанная с тем, что на практике причинно-следственная связь между своевременным применением технологий антикризисного управления на объектах и попытками справиться с чрезвычайными ситуациями

с использованием технологий управления в обычных режимах работы пока не ясна. Ключевым вопросом, требующим исследования, например, в рамках проектов систем поддержки принятия решений, является своевременное выявление кризисных ситуаций, которые существенно отличаются от обычных и не могут быть разрешены исключительно методами управления персоналом.

Для решения одной из задач информационной модели прецедентного метода в рамках системы безопасности нефтеперерабатывающего завода важно гармонично интегрировать технологии антикризисного мониторинга и управления с процедурами управления ресурсами, инфраструктурой, нормативными актами и общим мониторингом объекта.

В статье приведен пример базы данных вариантов использования и представлена структурированная структура данных (таблица 1), организованная в соответствии с едиными параметрами. Эта структура включает конкретные параметры прецедента, параметры реагирования и подробную информацию о силах и ресурсах, задействованных в тушении пожара.

Математически структуру фрейма можно представить следующим образом:

Таблица 1.

Пример фрейма из базы данных прецедентов. Пожар в насосной цеха № 6

Номер параметра	Показатели	Значения
1	Вид пожара (ЧС)	Пожар в насосной цеха №6
2	Вид ГЖ (ЛВЖ)	Смесь нефтепродуктов
3	Ширина насосной, м	16
4	Длина насосной, м	42
5	Общая площадь, м ²	672
6	Время свободного развития пожара, мин	11
7	Путь, пройденный огнём, м	13,2
8	Площадь пожара, м ²	547,11
9	Количество личного состава, чел.	43
10	Количество пожарных автомобилей	3
11	Количество отделений	11
12	Обстановка на 10-й минуте пожара	Горение в насосной. Прибывает ПЧ-1 в составе отделения на АЦ, отделения на ПНС и отделения на ППК-37,5
13	Рекомендации руководителю тушения пожара на 10-й минуте пожара	1. АЦ-40 с ПЧ-1. 1-й ход установить на ПГ-293, проложить магистральную линию, звеном ГДЗС подать ствол ГПС-600 на тушение с восточной стороны насосной. 2. ПНС-110 установить на ПВ 83-1/12. 3. ППК-37,5 в резерв
14	Обстановка на 16-й минуте пожара	Горение продолжается. Увеличивается температура. Прибывает ПЧ-2 в составе трёх отделений
15	Рекомендации РТП на 16-й минуте пожара	1. АВ-40 с ПЧ-2. Установить на ПВ 83-1/12, 1/12 проложить магистральную линию, звеном ГДЗС подать ствол ГПС-600 на тушение с западной стороны насосной. 2. АЦ-40 с ПЧ-2. Установить на ПГ-35, проложить магистральную линию, подать ствол ГПС-600 на тушение насосной через оконный проём. 3. 2-й ход АЦ-40. Установить на ПГ-4 и проложить магистральную линию, подать два ствола на охлаждение кровли
16	Обстановка на 20-й минуте пожара	Горение продолжается. Прибывают АЦ-40 с СПЧ-1, АЦ-40 с СПЧ-34
17	Рекомендации РТП на 21-й минуте пожара	1. АЦ-40 установить на ПГ-36 и проложить магистральную линию. 2. Звеном ГДЗС ПЧ-2 подать ствол ГПС-600 на тушение насосной западной стороны. 3. АЦ-40 в резерв. Подать один ствол ГПС-600 на тушение насосной через оконный проём
18	Обстановка на 29-й минуте пожара	Горение локализовано. Прибывает АЦ-40 с СПЧ-1
19	Рекомендации РТП на 29-й минуте пожара	АЦ-40 и личный состав в резерв
20	Обстановка на 33-й минуте пожара	Пожар ликвидирован
21	Рекомендации РТП на 33-й минуте пожара	РТП осматривает место пожара, уточняет причину его возникновения, прибывшим подразделениям даёт команду «Отбой»
22	Вывод	Для тушения пожара в насосной необходимо сосредоточить силы и средства по повышенному вызову № 3

<наименование слота>: $\{(N_i, Z_i)\}, \{C_i\}$,

где N_i — имя параметра, Z_i — его значение, C_i — связь с другими слотами.

В качестве примера приводится план тушения пожара в насосном цехе нефтеперерабатывающего завода, где разработана структура, состоящая из 22 параметров, как показано в таблице 1. Для лиц, принимающих решения, предлагается рекомендация по определению ранга пожара, которая помогает установить условный показатель его сложности и оценить необходимые ресурсы для его тушения (параметр 22, см. таблицу 1).

Анализ установок пожаротушения на различных нефтеперерабатывающих заводах привел к разработке базы знаний, состоящей из 10 вариантов использования, структурированных в виде фреймов в представленном формате. Чтобы проиллюстрировать метод поиска вариантов использования, мы рассмотрим конкретный фрейм, используя семь из 22 параметров (см. таблицу 1):

- P1 — Ширина насосной станции;
- P2 — Длина насосной станции;
- P3 — Общая площадь;
- P4 — Время возникновения пожара;
- P5 — Площадь пожара;
- P6 — Количество персонала;
- P7 — Количество пожарных машин.

Классифицируются десять кадров из базы данных вариантов использования, причем каждый кадр характеризуется семью выбранными параметрами, которые имеют числовые значения (таблица 2).

Расстояние между объектами будет определяться расстоянием между кластерами, которое может быть рассчитано с использованием методов «ближайшего соседа» или «дальнего соседа». В решении может использоваться алгоритм иерархического агломеративного метода. Как правило, расстояние между объектами измеряется с использованием формулы евклидова расстояния;

$$P(a, b) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ai} - x_{bi})^2}$$

где a и b — точки в n -мерном пространстве; i — порядковый номер признака; x_{ai} и x_{bi} — координаты точек a и b по признаку i .

Данные объединяются в таблицу, известную как матрица расстояний. Из этой матрицы выбираются наименьшие значения и группируются в кластеры. Используя метод «ближайшего соседа» для кластерного анализа, формируются два кластера (P_r и P_m), расстояние



Рис. 4. Алгоритм анализа фреймов из базы данных precedентов по методу «ближайшего соседа»

между которыми является наименьшим значением. Результатом этого процесса является иерархическая классификация фреймов. Обобщенный алгоритм анализа фреймов из базы данных вариантов использования проиллюстрирован на рисунке 4.

В статье представлены информационные методы анализа данных для реализации метода precedентов ис-

Таблица 2.

Выборка групп параметров

Показатели фреймов	Фреймы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P1	16	56	14	74	10	20	30	24	48	15
P2	42	92	34	60	10	18	30	34	56	15
P3	672	5152	476	4440	100	360	900	816	2688	255
P4	11	-	11	13	-	16	21	8	19	9
P5	547	1230	476	3582	13	110	740	200	2500	255
P6	43	84	11	76	7	13	54	16	46	23
P7	3	6	3	10	1	2	5	2	7	4

пользования в системе пожарной безопасности нефтеперерабатывающих заводов с учетом фреймовой модели хранения данных в базе знаний.

В примере продемонстрирована реализация предложенной методологии создания базы данных сценариев использования и сравнения кадров из базы данных сценариев пожаротушения на типичной нефтеперерабаты-

вающей насосной станции. Это позволяет перейти от качественного анализа исходных параметров к полной автоматизации количественного анализа. Это достигается путем организации данных в области хранения вариантов использования на основе заранее определенного набора параметров, а компьютерная реализация этого подхода является направлением будущей работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов С.Г., Михайлова М.Ю. Обзор моделей для интеллектуальных методов поддержки принятия решений, основанных на онтологии организационного управления в программных проектах // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки» — 2024 — №12. С. 59–65.
2. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Теория активных систем: состояние и перспективы. М.: Синтег, 1999. 128 с.
3. Туликов Д.В. Модели и алгоритмы поддержки принятия решений по обеспечению пожарной безопасности на промышленных предприятиях: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Туликов Дмитрий Владимирович. Саратов.: Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., 2015. 103 с.
4. Минаев В.А., Топольский Н.Г. Методы и модели управления пожарными рисками на основе теории активных систем // Материалы международной научно-практической конференции «Теория активных систем (ТАС — 2014)». М.: ИПУ РАН, 2014. С. 175–176.
5. Николайчук О.А. Методы, модели и инструментальное средство для исследования надёжности и безопасности сложных технических систем: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.01 / Ольга Анатольевна Николайчук. Иркутск: ИДСТУ СО РАН, 2011. 268 с.
6. РД IDEF 0 — 2000. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ. М.: Госстандарт России, 2000. 75 с.
7. Гудин С.В., Мусайбеков А.Г., Хабибулин Р. Ш. Обзор применения метода прецедентов в управлении безопасностью сложных систем // Информационные системы и технологии. 2019. №2 (112). С. 103–112.
8. Larose, Daniel T. (2002) Discovering knowledge in data: an introduction to data mining / Daniel T. Larose and Chantal D. Larose. Second edition. 366 с.
9. Мусайбеков А.Г., Хабибулин Р.Ш. Технология ситуационного управления пожарной безопасностью нефтеперерабатывающего предприятия на основе метода прецедентов // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы техносферной безопасности — 2019». М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. С. 69–75.

© Аксенов Сергей Геннадьевич (beregpiya@mail.ru); Мугинова Елена Радиковна (pavel1112w@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»