

Лыфарь В. А.,  
Сафонова С. А.,  
Иванов В. Г.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНО- ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ С УЧЕТОМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РИСКА

*Описываются разработанные методы сбора и обработки информации, определения остаточного ресурса, планирования ремонтно-восстановительных работ путем оптимизации принятия решения на основе критериев допустимого риска и уровня надежности эксплуатационных характеристик оборудования. Предложенная технология позволяет совместить исследование причинно-следственных связей технологических процессов на базе «деревьев неисправностей» (FTA) и моделирования возможных последствий отказов.*

**Ключевые слова:** надежность, работоспособность, отказ, ресурс, ремонт, риск.

### 1. Введение

Одной из важнейших задач безопасного ведения технологических процессов является предупредительное воздействие на сложную химико-технологическую систему (СХТС) и ремонтно-восстановительные работы (РВР), а также профилактика аварийных событий на производстве.

Для достижения целей промышленной безопасности с оптимальными технико-экономическими показателями, необходимо планировать РВР с учетом реальных показателей риска предприятия. В соответствии с требованиями к системам управления промышленной безопасностью, необходимо разработать «Положение о системе управления промышленной безопасностью» (далее Положение СУПБ) и обеспечить пункт:

«ж) порядок планирования работ, осуществляемых в рамках системы управления промышленной безопасностью».

Это один из наиболее трудоемких видов работ по обеспечению требуемого уровня промышленной безопасности и одновременно — наиболее эффективный для профилактики аварий.

В мировой практике такой вид работ называется RBI (Risk Based Inspection) — анализ состояния сложной системы с учетом факторов риска. Основная цель такой работы — оптимизация усилий (затрат) при достижении приемлемого уровня техногенного риска.

При ведении технологических процессов на крупных химических и нефтехимических предприятиях, энергоемких производствах, средствах транспортировки энергоносителей и опасных веществ и других сложных химико-технологических системах от 25 до 60 процентов основных затрат приходится на обеспечение безаварийной работы. Это колоссальные средства, экономия которых, к сожалению, может обернуться внезапными потерями, значительно превышающими целевые прибыли производства, а также катастрофическими гуманитарными и экологическими последствиями для общества.

RBI применяется в таких областях, как нефтегазовая промышленность, энергетика, нефтепереработка,

нефтехимическая промышленность и трубопроводы. RBI-методология может применяться для статического оборудования, такого как:

- трубопроводные сети;
- резервуары высокого и атмосферного давлений;
- теплообменные/охлаждающие аппараты;
- фильтры;
- прочее статическое оборудование технологических производств.

В данной статье приводится обзор методов и средств оптимизации поддержки принятия решений по сохранению эксплуатационной надежности оборудования на приемлемом уровне в течение всего времени эксплуатации.

### 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Существует три основных вида технического обслуживания и ремонта:

1. Техническое обслуживание по событию (ТОС).
2. Планово-предупредительный ремонт (ППР).
3. Обслуживание по фактическому состоянию.

Третий вариант наиболее предпочтителен, так как может быть спланирован и оптимизирован по затратам, одновременно не исключая профилактических целей. Однако именно этот вариант требует диагностики и прогнозирования интенсивностей отказов и неисправностей оборудования в течение эксплуатации для установленного остаточного ресурса [1].

Остаточный ресурс оборудования и иные показатели технического состояния и надежности эксплуатируемого оборудования определяются специальными методами и процедурами с учетом зависимости вероятности отказа от времени эксплуатации.

Методы оценки риска выбираются в соответствии с задачей анализа и требованиями к проведению анализа риска [2].

Как только принято решение о проведении анализа риска, определены цели и область применения, должен быть выбран метод или методы анализа, исходя из приемлемости факторов.

К основным показателям надежности и риска можно отнести вероятность того, что авария (отказ) с определенными последствиями произойдет и предельно допустимое значение этой вероятности.

Применяемые современные методы основаны в основном на нормированном подходе к риску и не учитывают внутреннюю регуляторную функцию, естественно принадлежащую значению риска. Прежде чем задаваться таким значением, необходимо определить приемлемый уровень *ожидаемых* последствий. Этот уровень рекомендуется определять исходя из представления о возможности восстановления устойчивого развития предприятия при однократном наступлении негативных последствий, происходящих в результате реализации аварий или отказов на исследуемом объекте. Опираясь на приемлемую предельную величину  $E_{пр}$ , для каждой рассматриваемой ситуации аварии или отказа, приводящей к существенным потерям (различным для каждой  $i$ -й ситуации), возможно определить предельную вероятность их наступления  $P_{пр*i*}$ .

Более высокий уровень значимости могут иметь нормированные показатели риска, установленные законодательно и определенные нормативными документами (например, социальный и/или территориальный риск, приемлемый уровень которого установлен в декларации промышленной безопасности или иных документах, устанавливаемых нормативной базой).

Хронологически РВР необходимо проводить для того оборудования, вероятность отказа которого максимально превышает предельную допустимую величину. Для всех остальных элементов достаточно реализовать режим ремонта по запросу.

### 3. Объект, цель и задачи разработки

*Объект исследования* — процесс управления безопасностью производств, предупреждение и ликвидация крупных промышленных аварий на основе оценки потенциального техногенного риска.

Данная разработка проводится с целью создания методов и средств оптимизация принимаемых решений по организации ремонтно-восстановительных работ с учетом вероятности и тяжести предотвращаемых событий, что может существенно снизить затраты предприятий при сохранении должного уровня безопасности производства.

Так как риск характеризуется последствиями нежелательных событий и вероятностью их наступления, то для достижения поставленной цели необходимо выполнить четыре основных этапа исследования:

1. Идентификация и анализ опасностей.
2. Определение ущерба от рассматриваемых опасностей.
3. Определение вероятности реализации рассматриваемых опасностей для текущего состояния ведения технологических процессов и выявления связи и влияния элементов СХТС (для которых необходимо разработать хронологию и вид ремонтно-восстановительных работ) на вероятность реализации негативных последствий.
4. Оптимизация принятия решений относительно РВР.

### 4. Методы исследований опасности, риска и оптимизации принятия решений

**4.1. Методы исследования опасностей.** Выбор метода анализа для оценки риска является очень индивидуаль-

ным и осуществляется объединенными усилиями экспертов по надежности и эксплуатации системы. Выбор должен быть сделан на ранних этапах разработки программы и исследован на применимость.

При использовании следующих критериев выбор методов может быть упрощен:

а) сложность системы. Сложные системы, например, включающие резервирование или другие особенности, обычно требуют более глубокого уровня анализа, чем простые системы;

б) новизна системы. Вновь разрабатываемая система требует более тщательного анализа, чем разработанная ранее;

в) качественный или количественный анализ. Действительно ли количественный анализ необходим?

г) единичные или многократные неисправности. Существенно ли влияние комбинации неисправностей или ими можно пренебречь?

д) поведение системы зависит от времени или последовательности событий. Имеет ли значение для анализа последовательность событий (например, система отказывает только в случае, если событию А предшествует событие В, но не наоборот) или поведение системы зависит от времени (например, ухудшение режимов работы после отказа или выполнения функции)?

Для полного анализа системы может потребоваться применение нескольких методов.

**Исследование опасности и связанных с ней проблем (HAZOP).** HAZOP является формой анализа видов и последствий отказов (FMEA). Это процедура идентификации возможных опасностей по всему объекту в целом. Она особенно полезна при идентификации непредвиденных опасностей, заложенных в объекте вследствие недостатка информации при разработке, или опасностей, проявляющихся в существующих объектах из-за отклонений в процессе их функционирования.

Основными задачами метода являются:

- а) составление полного описания объекта или процесса, включая предполагаемые состояния конструкции;
- б) систематическая проверка каждой части объекта или процесса с целью обнаружения путей возникновения отклонений от проектного замысла;
- в) принятие решения о возможности возникновения опасностей или проблем, связанных с данными отклонениями.

Принципы исследований HAZOP могут применяться по отношению к техническим объектам в процессе их функционирования либо на различных стадиях проектирования. Исследование HAZOP, осуществляемое во время начальной стадии проектирования, может выполнять руководитель проекта.

Наиболее распространенная форма исследования HAZOP осуществляется на стадии рабочего проекта и носит название исследования HAZOP II.

Исследование HAZOP II предусматривает следующие этапы:

этап 1 — определение целей, задач и области применения исследования. Например, выделение опасности, характеризующейся только нелокальными последствиями или только локальными последствиями, участков промышленного объекта, подлежащих рассмотрению, и т. д.;

этап 2 — комплектование группы по исследованию HAZOP. Данная группа должна состоять из проектировщиков и эксплуатационников, обладающих достаточной

компетентностью для оценки последствий отклонений от условий функционирования системы;

этап 3 — сбор необходимой документации, чертежей и описаний технологического процесса. Сюда входят графики последовательности технологических операций; чертежи трубопроводов и измерительного оборудования; технические условия на оборудование, трубопроводы и измерительную аппаратуру; логические диаграммы управления технологическим процессом; проектные схемы; методики эксплуатации и технического обслуживания; методики реагирования на чрезвычайные ситуации и т. д.;

этап 4 — анализ каждой основной единицы оборудования и всего вспомогательного оборудования, трубопроводов и контрольно-измерительной аппаратуры с использованием документов, собранных на этапе 3. В первую очередь определяется цель проектирования технологического процесса, затем применительно к каждой линии и единице оборудования по отношению к таким переменным процесса, как температура, давление, расход, уровень и химический состав, применяются слова-указатели;

этап 5 — документальное подтверждение любого отклонения от нормы и соответствующих состояний. Кроме того, осуществляется выявление способов обнаружения и/или предупреждения отклонения. Данное документальное подтверждение обычно указывается на рабочих листах HAZOP.

**Анализ видов и последствий отказов (FMEA)** (IEC 60812:1985 «Методы анализа надежности систем. Метод анализа вида и последствий отказов (FMEA)», NEQ, аналог в РФ — ГОСТ 27.310-95).

FMEA представляет собой метод, преимущественно качественный (хотя его можно представить и в количественной форме), при помощи которого систематически идентифицируются последствия каждого отдельного компонента аварийных состояний. Этот метод способен переработать достаточное количество данных, прежде чем стать затруднительным для реализации. Кроме того, результаты могут быть легко перепроверены другим человеком, знакомым с системой.

Главными недостатками метода являются избыточность, исключение из рассмотрения восстановительно-ремонтных действий и сосредоточение на авариях единственного компонента.

**4.2. Методы определения последствий отказов, анализа риска и показателей надежности.** Под последствиями отказов (одиночных или комплексных) рассматриваемых элементов подразумевается наступление некоторого события (верхнего события в дереве отказов FTA), реализация которого приводит к значительным материальным потерям. К таким событиям относятся сценарии аварий с развитием разрушающих и поражающих воздействий; значительные поломки, приводящие к остановке работы блоков и производств, с возможными негативными последствиями для оборудования, приводящими к необходимости дорогостоящих ремонтно-восстановительных работ; выбросы опасных веществ, приводящие к загрязнению окружающей среды и тяжелым экологическим последствиям и т. д.

В результате анализа опасности, проведенного на предварительных этапах, моделируются негативные процессы методами, представленными в руководящих документах (РД) и другой литературе [3–12].

Основной прямой ущерб при авариях возникает в результате действия разрушающих факторов, таких как взрывы и пожары. Оценить количественные по-

казатели прямого ущерба можно путем моделирования возможных наиболее негативных сценариев развития аварий и учета степеней разрушений объектов, а также поражений людей при различных видах воздействия.

Методы моделирования и оценки последствий воздействия поражающих факторов пожаров и взрывов описаны в «Методике сбора и обработки исходных данных при заключении договора страхования в соответствии с требованиями Федерального Закона № 225-ФЗ «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте». При выполнении моделирования возможно возникнет необходимость использования вспомогательных моделей определения входных данных для выяснения масштабов аварий.

В результате последовательного моделирования на основании показателей разрушающих и поражающих воздействий для территорий, на которые они распространяются, определяются стоимостные характеристики прямых потерь и вычисляется PML (максимально возможный ущерб). Рекомендуется учитывать также отложенный ущерб (обусловленный вторичными потерями на ликвидацию последствий аварий, остановкой производства, недополученной прибылью и т. д.) как коэффициент 2,5 по отношению к прямому ущербу. Эта оценка допустима для большинства нефтехимических производств.

Расчеты ущерба, связанные с ликвидацией экологических последствий аварий, допускается проводить по рекомендуемым методикам и руководящим документам, используемым для разработки деклараций промышленной безопасности.

Риск определяется двумя основными показателями: мощностью негативных последствий стохастического события и вероятностью (частотой) их реализации.

Структура метода исследования риска от множественных источников опасности представлена на рис. 1.

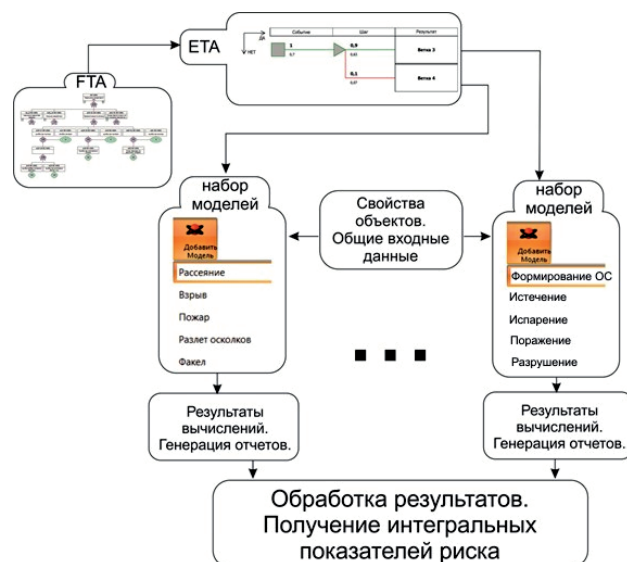


Рис. 1. Структура методов исследования техногенного риска

Наиболее рационально использовать следующие модели детерминированных процессов для определения основных показателей риска:

1. Распространение опасных веществ в атмосфере. Основана на гауссовой модели распространения

нейтрального газа в атмосфере под действием ветра с учетом стратификации атмосферных условий, вида местности и мощности источника выброса.

2. Взрывы. Основана на моделях взрывов конденсированных взрывчатых веществ, паро-воздушных смесей, физических взрывах первого (разрыв сосуда высокого давления) и третьего рода (BLEVE).

3. Осколки. Основана на моделировании разлета фрагментов оборудования или конструкций в атмосфере, возможности попадания в объекты, вероятного поражения людей, пробития оборудования и объектов.

4. Пожары. Основана на моделях пожара пролива, огненного шара, струйного факельного горения (вертикального, горизонтального).

5. Выброс газовой фазы из оборудования, находящегося в условиях повышенного внутреннего давления. Позволяет получить количественные динамические характеристики выброса газа или паров.

6. Выброс жидкой фазы из оборудования. Позволяет получить количественные динамические характеристики выброса жидкой фазы из емкостей типовых геометрических форм с учетом давления столба жидкости, внутреннего давления и возможности притока от смежного оборудования.

7. Испарение. Позволяет получить количественные динамические характеристики поступления паров в атмосферу при выбросе перегретых и некипящих жидкостей.

8. Поражение. Позволяет рассчитать вероятность смертельного, тяжелого и легкого поражения людей в результате воздействия теплового излучения, ударно-волнового воздействия, осколочного воздействия и ингаляционного отравления токсичной примесью в атмосфере.

9. Разрушение. Позволяет оценить уровень разрушений объектов в результате ударно-волнового воздействия с учетом прочностных и конструктивных особенностей объектов, вероятность пробития осколками металлических объектов.

Под стохастическим характером негативных событий подразумевается их «незапланированность» и случайная реализация во времени. Однако любые события имеют причинно-следственный характер. Наиболее точное определение аварии: «авария — это завершение процесса накопления отказов».

Данные о надежности элементов технологического процесса, уровне подготовки персонала необходимо собирать на основании опросных листов. При этом необходимо создать список элементов оборудования или элементарных блоков, для которых не исследуются причинно-следственные процессы отказов, а применяется экспериментальный метод определения показателей надежности.

**Для стохастических процессов элементарного оборудования:**

$T_a$  — среднее время безотказной работы оборудования (прибора, устройства), ч;

$\lambda_a$  — средняя интенсивность потока отказов оборудования (прибора, устройства), 1/ч;

$$T_a = \left( \sum_{i=1}^N T_i \right) / N; \lambda_a = 1/T_a,$$

где  $T_i$  — фактически отработанное время работы в  $i$ -м периоде, ч;  $N$  — количество отказов, произошедших за время испытаний (периодов работы);

$$Q(t) = \exp(-\lambda_a t),$$

где  $Q(t)$  — вероятность безотказной работы в течение периода  $t$ ;  $P(t) = 1 - \exp(-\lambda_a t)$  — вероятность отказа в течение периода  $t$ .

Информация по надежности оборудования может быть представлена в технической документации, научно-технической литературе, отчетах по исследованию надежности.

Рекомендуется проводить сбор эксплуатационной информации о работе оборудования за период эксплуатации (период наблюдения около 5 лет).

Сбор эксплуатационной информации проводится на конкретном предприятии по конкретной установке и состоит в поиске данных о фактическом времени работы конкретной единицы данного типа оборудования и количестве отказов за период наблюдения.

Источники информации:

- ремонтный журнал;
- журнал сдачи (приема) оборудования в ремонт (из ремонта);
- рапорт руководителя подразделения или ответственного за оборудование.

## 5. Средства реализации методов оценки риска

Реализовать методы оценки риска можно с помощью специализированного программного обеспечения.

Крупные аварийные события — явление редкое, следовательно, они могут рассматриваться как пуассоновские процессы.

В документе: «Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей» (IEC 61025:1990 «Анализ дерева неисправностей (FTA)», MOD, аналог ГОСТ Р 51901.13-2005) описываются основные подходы к анализу дерева неисправностей.

Анализ дерева неисправностей является одним из методов идентификации опасностей и оценивания риска. Анализ позволяет выявить пути реализации опасного события, однако в первую очередь анализ дерева неисправностей используется при оценке риска для определения вероятностей или частот неисправностей и аварий. Построение дерева неисправностей основано на установлении логики причинно-следственных связей событий, присущих объекту исследования при его эксплуатации.

Процесс построения дерева неисправностей представляет собой совокупность приемов, позволяющих создать форму упорядоченного графического представления логико-вероятностной связи случайных событий (нарушений, отказов, ошибок и т. д.), приводящих к реализации нежелательного события («верхнее событие»).

Логика причинно-следственных связей оформляется путем использования логических символов и «событий», объединенных этими символами [12].

Логические связи объединяют события в соответствии с их причинными взаимосвязями. Логическая связь реализуется с помощью следующих знаков (рис. 2).



Рис. 2. Логические управляющие элементы



— логический символ «AND» («И»). Итоговое событие происходит, если все исходные события происходят (случаются) одновременно. Такие события называю «совместными» (независимыми). Если события  $e_1, \dots, e_n$  объединяются по логическому AND, то вероятность реализации итогового события « $e$ » вычисляется по формуле:

$$P_e = \prod_{i=1}^n P_i;$$

— логический символ «OR» («ИЛИ»). Итоговое событие происходит, если происходит любое из исходных событий. События при этом также считаются «совместными» (происходят независимо друг от друга). Если события  $e_1, \dots, e_n$  объединяются по логическому знаку OR, то вероятность реализации события « $e$ » вычисляется по формуле:

$$P_e = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i);$$

— логический символ «XOR» («ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ»). Итоговое событие происходит, если происходит одно из исходных событий при условии, что остальные невозможны. Если события  $e_1, \dots, e_n$  объединяются по логическому знаку XOR, то вероятность реализации события « $e$ » вычисляется по формуле:

$$P_e = \sum_{i=1}^n P_i.$$

События представлены следующими типами (рис. 3).

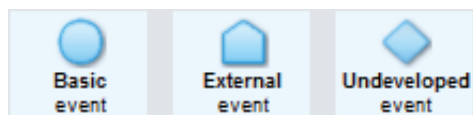


Рис. 3. Типы событий

— исходное событие (basic) — входное событие, описанное семантически и определенное стохастически;

— внешнее событие (external) — полученное в другом дереве неисправностей. Предназначено для возможной вставки из внешнего, ранее созданного источника (файла);

— неразработанное (undeveloped) — аналог исходному событию. Предназначено для подчеркивания возможности внешней разработки и получения вероятности иным способом.

Каждое событие содержит следующие данные:  
Id — уникальный идентификационный номер узла.  
Title — заголовок узла.

Description — описание узла. Рекомендуется коротко описать событие, представляющее отказ или опасность.

Memo — памятка для уточнений обстоятельств данного узла.

Element Type — тип элемента или логического знака узла.

Probability — вероятности события (расчетные или исходные: нижняя, средняя, верхняя).

Probability Art — свойство состояния узла. Если событие узла состоит из нескольких однотипных событий (например, отказ сборки  $K$  элементов одного типа с вероятностью отказа одного элемента  $p$ ), то возможны такие состояния событий.

— Independent — независимые (события, происходящие независимо друг от друга — совместные)

— вероятность отказа любого из  $K$  вычисляется по логической связи «OR»:  $P = 1 - (1 - p)^K$ ;

—  $L$  из  $K$  (число исходов, при которых отказов возможно не менее, чем  $L$  из  $K$  элементов) — вероятность отказа не менее чем  $L$  из  $K$  элементов вычисляется в соответствии с формулой Бернулли:

$$P = \sum_{i=L}^K \frac{K!}{i!(K-i)!} \cdot p^i \cdot (1-p)^{K-i}.$$

Сортировка ветвей FTA возможна по следующим характеристикам дерева:

— значение вероятностей узлов, включая верхнее событие;

— наборы аварийных сочетаний;

— элементы, сортируемые по влиянию «Бирнбаум»;

— элементы, сортируемые по «Фуссел-Весели» (Fussell-Vesely);

— элементы, сортируемые по критическому коэффициенту влияния.

Влияние вычисляется для событий и сортируется по убыванию на основании задаваемых свойств элементов дерева.

## 6. Представление результатов разработки

Использование разработанных специализированных программных средств позволяет создать базу знаний причинно-следственных связей возникновения и развития аварий в результате стохастических процессов отказов (FTA). На рис. 4 представлен модуль, позволяющий выполнить описанные выше методы с использованием средств автоматической оптимизации создания сортированного списка средств производства, подлежащих ремонтно-восстановительным процедурам с минимизацией затрат.

Работы, выполненные для химических предприятий Украины и Чехии, показали эффективность описанных подходов. При этом использовались различные версии программных средств. В Украине использовались средства национального института стандартов и технологий США (NIST), а в Чехии применялись программные средства, разработанные в Украине. На производственном совещании специалистов группы компаний Solway Group был отмечен высокий уровень детализации RBI и экономическая эффективность представленных украинскими специалистами разработок.

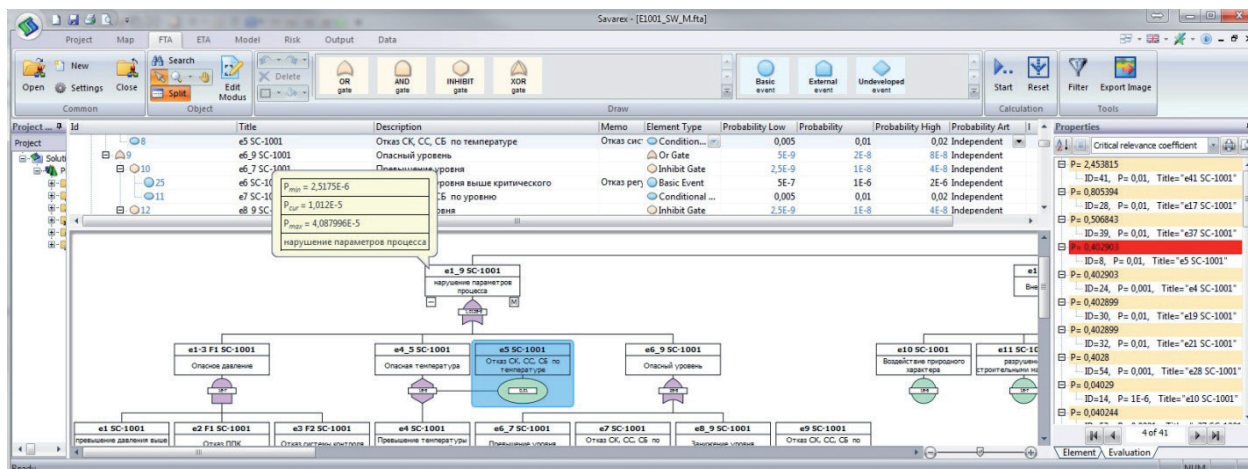


Рис. 4. Программные средства оптимизации РВР на основании показателей риска

## 7. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Разработан метод и программные средства, позволяющие реализовать RVI анализ с целью принятия решений относительно хронологии ремонтно-восстановительных работ элементов объектов повышенной опасности.
2. Предложены процедуры и метод оптимизации предлагаемых решений относительно ремонтно-восстановительных процессов при ведении эксплуатации технологических установок.
3. Предложенные разработки позволяют реализовать принцип «ремонта по состоянию» практически для любых предприятий химической промышленности и энергетики. При этом можно достичь экономии средств, выделяемых на капитальные ремонты, в среднем до 12 % от общих выделяемых средств на поддержание работоспособности производств.

## Литература

1. Громаков, Е. И. Техническое обслуживание и ремонт по состоянию оборудования с использованием карт Шухарта [Текст] / Е. И. Громаков, Т. В. Александрова, А. В. Рудаченко // Известия Томского политехнического университета. — 2010. — Т. 317, № 5. — С. 112–117.
2. Card, A. J. Rebalancing risk management-Part 1: The Process for Active Risk Control (PARC) [Text] / A. J. Card, J. R. Ward, P. J. Clarkson // Journal of Healthcare Risk Management. — 2014. — Vol. 34, № 2. — P. 21–30. doi:10.1002/jhrm.21155
3. Субботин, А. И. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств [Текст]: ПБ 09-540-03 / отв. разработ.: А. И. Субботин и др. — М.: Гос. унитар. предприятие «Науч.-техн. центр по безопасности в пром-сти Госгортехнадзора России», 2003. — 108 с.
4. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах [Текст]: Сборник документов / Колл. авт. — Серия 27. Выпуск 2. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002. — 208 с.
5. Бейкер, У. Взрывные явления. Оценка и последствия [Текст]: в 2-х кн.; пер. с англ. / У. Бейкер и др.; под ред. Я. Б. Зельдовича, Б. Е. Гельфанда. — М.: Мир, 1986. — 319 с.
6. Демьяненко, Г. П. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения [Текст]: справочник / Г. П. Демьяненко и др. — К.: Высшая школа. Главное изд-во, 1989. — 286 с.

7. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [Электронный ресурс]: Приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 года № 404. — Режим доступа: \www/URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_109874/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_109874/)
8. Белов, П. Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере [Текст] / П. Г. Белов. — М.: Академия, 2003. — 512 с.
9. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. — М.: Наука, 1969. — 576 с.
10. Саков, Г. П. Обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций [Текст]. Кн. 2. Оперативное прогнозирование инженерной обстановки в чрезвычайных ситуациях / Г. П. Саков, М. П. Цивилев, И. С. Поляков и др.; под общ. ред. С. К. Шойгу. — М.: ЗАО «ПАПИРУС», 1998. — 166 с.
11. Henley, J. Reliability Engineering and Risk Assessment [Text] / J. Henley, H. Kumamoto. — New York: Prentice-Hall, 1981. — 542 p.
12. Van den Bosch, C. J. H. Methods for the calculation of Physical Effects [Electronic resource] / Editors: C. J. H. van den Bosch, R. A. P. M. Weterings. — Ed. 3. — Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen, 1997. — Available at: \www/URL: <http://www.bib.uu.edu/fileadmin/fdocs/PGS2-1997.pdf>

## РОЗРОБКА МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОВЕДЕННЯ РЕМОНТНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ З УРАХУВАННЯМ ПОКАЗНИКІВ РИЗИКУ

Описуються розроблені методи збору та обробки інформації, визначення залишкового ресурсу, планування ремонтно-відновлювальних робіт шляхом оптимізації прийняття рішення на основі критеріїв допустимого ризику та рівня надійності експлуатаційних характеристик обладнання. Запропонована технологія дозволяє поєднати дослідження причинно-наслідкових зв'язків технологічних процесів на базі «дерев несправностей» (FTA) і моделювання можливих наслідків відмов.

**Ключові слова:** надійність, працездатність, відмова, ресурс, ремонт, ризик.

*Лыфарь Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра математики и физики, Восточнoукраинский национальный университет им. В. Дяля, Северодонецк, Украина, e-mail: lyfarva61@gmail.com.*

*Сафонова Светлана Александровна, кандидат технических наук, доцент, кафедра компьютерной инженерии, Восточнoукраинский национальный университет им. В. Дяля, Северодонецк, Украина, e-mail: safonovasa@ukr.net.*

*Иванов Виталий Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра высшей математики и компьютерных технологий, Институт химических технологий Восточнoукраинского национального университета им. В. Дяля, Рубежное, Украина, e-mail: vetgen@e-mail.ua.*

*Лифар Володимир Олексійович*, кандидат технічних наук, доцент, кафедра математики і фізики, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Северодонецьк, Україна.  
*Сафонова Світлана Олександрівна*, кандидат технічних наук, доцент, кафедра комп'ютерної інженерії, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Северодонецьк, Україна.  
*Іванов Віталій Геннадійович*, кандидат технічних наук, доцент, кафедра вищої математики і комп'ютерних технологій, Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, Рубіжне, Україна.

*Lyfar Volodymyr*, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine, e-mail: lyfarva61@gmail.com.  
*Safonova Svetlana*, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine, e-mail: safonovasa@ukr.net.  
*Ivanov Vitaly*, Institute of Chemical Technology, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Rubizhne, Ukraine, e-mail: vetgen@e-mail.ua

УДК 004.048

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.40778

Куц А. М.

## МЕТОД ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗАСОБАМИ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ТА ОТРИМАННЯ ГРУПОВОЇ ОЦІНКИ ДУМОК ЕКСПЕРТІВ

У роботі розглядається вирішення важливої практичної задачі обробки лінгвістичної експертної інформації, отримання групової оцінки думок експертів з урахуванням їх кваліфікації. Виявлена й обґрунтована можливість застосування для вирішення поставлених завдань методів теорії нечітких множин. Проведена чисельна апробація запропонованих в роботі методів.

**Ключові слова:** експертна інформація, кваліфікація експертів, групова експертна оцінка, нечітка логіка.

### 1. Вступ

Впровадження технологій штучного інтелекту та систем підтримки прийняття рішень в різноманітні сфери діяльності людини потребує вдосконалення методів обробки даних, які є основою для прийняття рішень в зазначених системах. Системи штучного інтелекту здебільшого працюють з експертною інформацією, способи представлення якої в базі знань системи мають важливе значення [1, 2]. До задач, які вирішуються за допомогою експертної інформації відносяться задачі планування, аналізу ризику, задачі класифікації та експертного оцінювання предметів та ін. Для прийняття обґрунтованих рішень необхідно спиратися на досвід, знання та інтуїцію фахівців. При цьому експертна інформація носить здебільшого нечіткий, лінгвістичний характер та сформульована у термінах природної мови.

Для обробки експертної інформації використовуються методи експертних оцінок — це наукові методи аналізу складних проблем. Експерти проводять інтуїтивно-логічний аналіз проблеми з кількісною оцінкою суджень, з формальною обробкою результатів. Їх узагальнена думка, отримана в результаті обробки індивідуальних оцінок, приймається як рішення проблеми. Тому питанню планування експерименту та узагальненню думок експертів приділяється велика увага [3, 4].

В експертизі зазвичай приймає участь група експертів і тільки в деяких випадках їх думки співпадають. Тому стадія обробки результатів, стадія виводу не менш важлива. Необхідно, щоб ці висновки витікали з матеріалів та відображали усе суттєве у них. У більшос-

ті експертиз використовується перевірка узгодженості думок експертів, не випадковості їх думок та правила середнього арифметичного або правила більшості. У той же час задачі, що виникають не відносяться до традиційних, бо частіше за все необхідно мати справу не з числовим матеріалом.

Саме тому задача побудови нових або удосконалення вже існуючих методів представлення та обробки нечислових даних, що отримані від експертів є актуальною.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Застосування методів аналізу та обробки експертної інформації залежить від характеру вимірювань. Неправильне використання результатів експертного оцінювання може призвести до помилкових висновків. Уникнути помилок можна лише дослідивши характер вимірювань і зумовлені ним можливі методи перетворення отриманої експертної інформації. В роботах Л. Д. Мешалкіна, А. І. Орлова, А. Н. Борисова, В. Б. Кузьміна та інших вчених досліджується проблема допустимості використання різних результатів експертних оцінок.

Вибір методу визначається характером аналізованої інформації. Для отримання якісних оцінок використовуються парні порівняння, множинні порівняння, методи ранжування і т. д. Для отримання кількісних оцінок використовуються безпосередня чисельна оцінка альтернатив, метод Черчмена-Акофа та ін. [4–6].

Зазначені методи дозволяють при використанні досвіду та знань людини компенсувати неповноту інформації