

**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ»
«ТЕХДИАГНОСТИКА»**

**Специализированный центр по диагностированию оборудования
на объектах сероводородсодержащих нефтегазовых месторождений
и газоперерабатывающих заводов ОАО «Газпром»**

**СИСТЕМА МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ПО КРИТЕРИЯМ РИСКА ОТКАЗА**

**(В СВЕТЕ ТРЕБОВАНИЙ ЗАКОНА О ТЕХНИЧЕСКОМ РЕГУЛИРОВАНИИ)
ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ГАЗОХИМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПО ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ
СЕРОВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ ГАЗА, КОНДЕНСАТА И НЕФТИ**

**ПРОСПЕКТ РЕЗУЛЬТАТОВ РАЗРАБОТОК
К 15-ЛЕТИЮ ОРГАНИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

о «Системе методов управления безопасностью технологического оборудования по критериям риска отказа»

Одним из основных направлений обеспечения работоспособности и оценки эффективности функционирования технологического оборудования в соответствии с Федеральными законами «О техническом регулировании» и «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» является осуществление комплексных мероприятий по регулированию, поддержанию и повышению безопасности не только наиболее ответственных элементов оборудования, но и в целом газохимических комплексов нефтяной и газовой промышленности. Важнейшим показателем этой безопасности являются количественно определенные параметры рисков, характеризующие вероятность возникновения отказов, аварий и катастроф, а также последствия и ущербы от них. Разработки теоретических и прикладных вопросов безопасности и рисков стали в последнее десятилетие предметом ряда федеральных целевых, отраслевых и региональных научно-технических программ. В их реализации участвуют ведущие академические и научные исследовательские организации страны, отраслевые научные, конструкторские и технологические институты, вузы и специализированные центры.

Повышенной сложностью анализа безопасности и рисков отличаются объекты газохимических комплексов по добыче, транспортировке и переработке сероводородсодержащих газов и конденсата. Это обусловлено сочетанием многофакторных механических, термических, коррозионных, эрозионных, вибрационных, сейсмических, аэрогидродинамических процессов и повреждений несущих конструкций, а также опасными воздействиями рабочих сред на человека и окружающую природную среду.

Наиболее углубленные и систематические исследования указанных проблем создания и функционирования технологического оборудования, работающего в контакте с сероводородсодержащими газами и жидкостями, в нашей стране выполнены ОАО «Системы и технологии обеспечения безопасности. Техдиагностика» - специализированным центром по диагностированию оборудования на объектах сероводородсодержащих нефтегазовых месторождений и газоперерабатывающих заводов ОАО «Газпром». Проспект этого центра является обобщающим научным и производственным информационным материалом, дающим представление о комплексности проблемы оценки безопасности и рисков с учетом особенностей такого эксплуатационного фактора, как наличие сероводорода в рабочем процессе.

Научные исследования и прикладные разработки ОАО «Техдиагностика» в творческом сотрудничестве с головными организациями Газпрома, Ростехнадзора, с академическими институтами и вузами, с создателями диагностических систем позволили построить единую систему анализа и управления безопасностью с использованием критериев риска отказа с варьируемой тяжестью последствий. Проспект построен по достаточно ясному логическому принципу - в нем отражена постановка проблемы, определяющие факторы отказов, структура методов анализа безопасности, категорирование рисков, основы нормирования отказов, пространственные модели рисков, этапность мероприятий по поддержанию вероятностей отказов на разных стадиях эксплуатации. Большой полнотой отличаются разделы проспекта по схемам, методам, уравнениям и моделям анализа рисков отказов при реализации общегосударственной политики в области технического регулирования промышленной безопасности и предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Несомненная роль заданного уровня технической диагностики, установления базовых параметров прочности, ресурса и рисков с построением сводных графиков-матриц областей уровней рисков проявляется при принятии обоснованных решений на продолжение эксплуатации оборудования в пределах и за пределами установленных сроков, на проведение ремонтно-восстановительных работ или на остановку эксплуатации.

Научно-методический раздел проспекта содержит данные о разработанных руководящих и нормативных документах ОАО «Техдиагностика», о приборном обеспечении при выполнении обследований технического состояния оборудования и о расчетном обосновании предельных состояний.

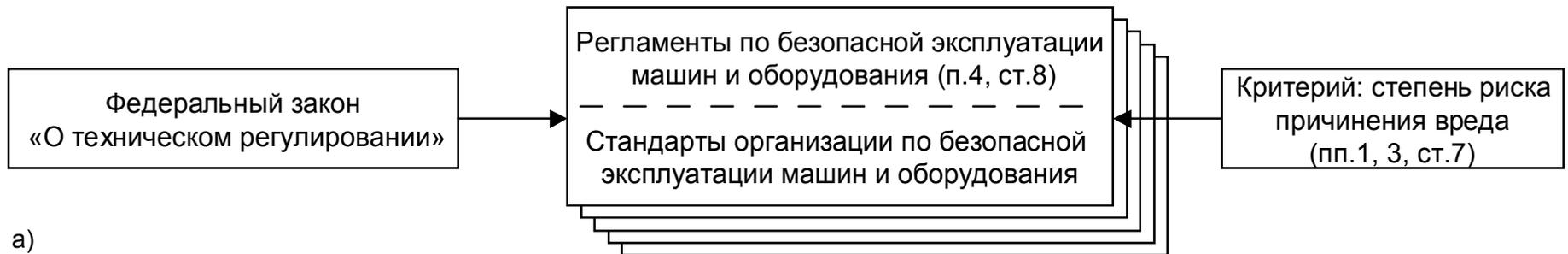
В дальнейших разработках ОАО «Техдиагностика» должны получить свое развитие такие вопросы, как расширенная критериальная база рисков (индивидуальные, социальные и экономические риски отказов, аварий и катастроф), введение в анализ проектных, запроектных и гипотетических аварийных ситуаций, разработка методов защиты объектов ГХК в зависимости от уровней и классификации рисков, построение единых систем мониторинга состояния объектов и автоматизированных систем защиты. Содержащаяся в проспекте информация создает основу баз знаний и банков данных для реализации этих новых задач.

Проспект будет полезен для большого круга специалистов не только в специфической сфере анализа прочности, ресурса и рисков оборудования, характеризуемого повышенным содержанием сероводорода в рабочем технологическом процессе, но и в других областях нефтегазохимии, энергетики, трубопроводного транспорта, металлургии. Он будет способствовать становлению в нашей стране новых подходов к техническому регулированию, основанных на реализации унифицированных государственных требований к обеспечению и повышению комплексной безопасности с использованием единых критериев риска для населения, объектов техносферы и окружающей природной среды.

16.06.2006 г.

Член-корреспондент Российской Академии Наук Н.А.Махутов

1. Актуальность разработки и применения системы обосновывается изменениями в государственном подходе к безопасной эксплуатации оборудования промышленных объектов с учетом степени риска причинения вреда (рисунок 1а) и определяется значительным превышением фактических и прогнозных показателей техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС) на объектах газохимического комплекса (ГХК) нефтяной и газовой промышленности по критериям РД 03-418 (рисунок 1б)

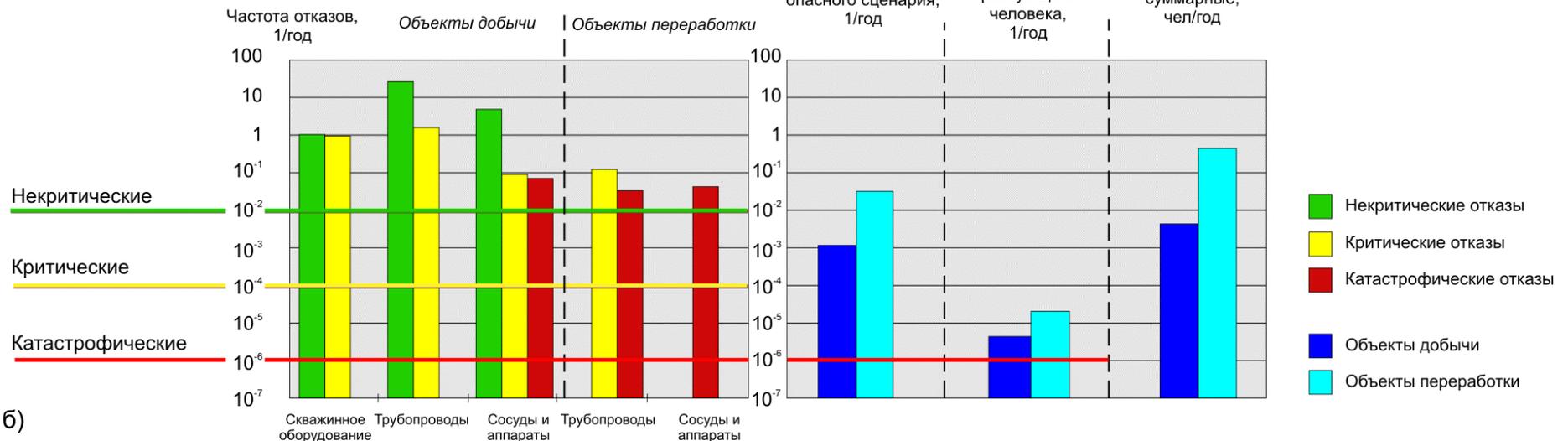


а)

Критерии по РД 03-418 для категорий тяжести последствий:

Фактические данные за 25 лет эксплуатации ГХК

Прогнозные данные из деклараций ПБ по нефтяной и газовой промышленности



б)

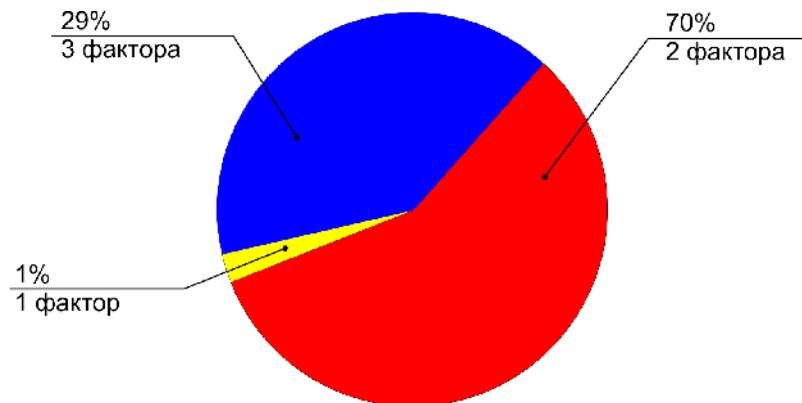
Рис. 1. а) критерий – безопасности эксплуатации машин и оборудования, б) фактические и прогнозные показатели техногенных ЧС по объектам ГХК, нефтяной и газовой промышленности.

II. Проблема обеспечения безопасности и предупреждения отказов, аварий и ЧС при эксплуатации технологического оборудования ГХК под воздействием сероводородсодержащих сред имеет ряд особенностей. Основные из них: коррозионный износ стенки, сульфидное коррозионное растрескивание металла под напряжением (СКРН) и водород индуцированное растрескивание (ВИР). Причем СКРН и ВИР вызывают скрытые внутри стенки дефекты, способные повлечь за собой внезапный отказ (разрушение) оборудования. В исследовании проблемы предупреждения отказов, аварий и ЧС при длительной эксплуатации оборудования, подверженного воздействию сероводородсодержащих сред, рассмотрен отечественный и зарубежный опыт, нормы и правила проектирования и конструирования, изготовления и эксплуатации. Выполнен анализ причин около 2000 случаев повреждений и разрушений элементов оборудования Оренбургского ГХК за 25 лет с начала эксплуатации. Результаты анализа представлены на рисунках 2 и 3.

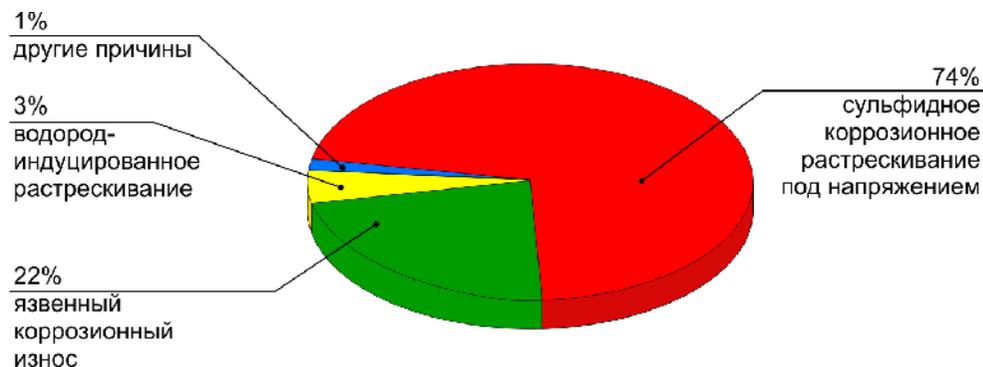


Рис. 2. Причинно-следственные связи исправного и неисправного состояния, отказов, аварий и ЧС при эксплуатации оборудования ГХК

Количественное распределение факторов причин отказов



Распределение фактора «эксплуатационные повреждения»



Распределение фактора «ошибка»

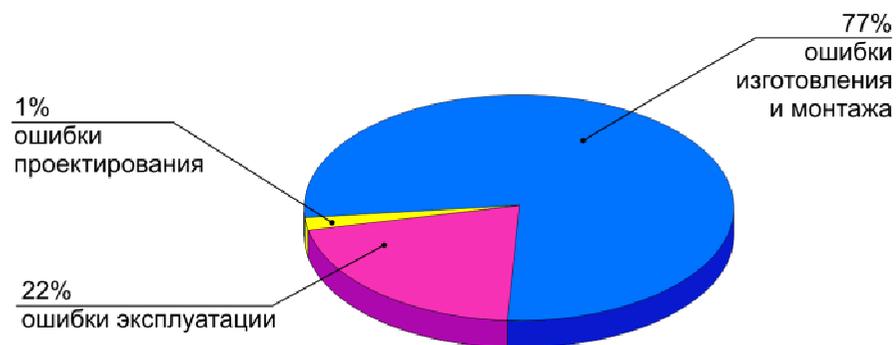


Рис. 3. Распределения причин повреждений и разрушений элементов оборудования ОГХК за 25 летний период

По результатам анализа сделаны выводы: основной причиной аварий и ЧС служат отказы элементов оборудования; причины отказов элементов оборудования имеют системный многофакторный характер, практически во всех случаях проявилась коррозионная специфика рабочей среды, а также ошибки проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации; отказы можно предупредить при условии своевременного, т.е. «раннего», выявления повреждений и других дефектов в элементах оборудования, оценки опасности эксплуатации повреждённых элементов и принятия соответствующих предупредительных мер.

III. На основе работ известных ученых в области надежности и безопасности опасных конструкций и результатов выполненных исследований поставлена и решена задача разработки основ концепции и методов управления безопасностью и предупреждения отказов, аварий и ЧС при эксплуатации оборудования ГХК по критериям риска и вероятности отказа.

Сущность концепции заключается в классификации всего множества единиц оборудования ГХК по уровням безопасности – риска отказа элементов оборудования и применении дифференцированных, соответствующих риску управляющих воздействий по коррекции безопасности и мониторингу состояния. Управляющие воздействия планируются и осуществляются на системной основе путем применения определенных:

- методов, объемов и периодичности контроля и коррекции состояния элементов оборудования по критериям выявляемости повреждений;**
- методов прогнозирования ресурса безопасной эксплуатации оборудования по критериям вероятности и риска отказа его элементов.**

Для реализации концепции обоснованы и разработаны структурная схема системы методов управления безопасностью при эксплуатации оборудования ГХК (система) и модель входящего в нее технологического комплекса методов мониторинга состояния и профилактики отказов оборудования ГХК.

Разработаны технические и технологические решения, нормативное и методическое обеспечение элементов системы:

- политики предприятия, эксплуатирующего оборудование, основанной на положениях государственных, отраслевых и собственных нормативных, методических и др. документов, устанавливающих ответственность, полномочия, нормативы и критерии безопасности, финансирование, планирование и производство работ, учет и отчетность, и многие другие правила и процедуры, в совокупности определяющие системность действий предприятия по поддержанию допустимого уровня безопасности при эксплуатации оборудования и предупреждению ЧС;**
- мониторинга состояния и профилактики отказов оборудования, основанных на информационно-аналитическом обеспечении методов поддержания состояния оборудования на требуемом уровне безопасности;**
- анализа качества работ, эффективности системы и разработки корректирующих мер;**
- совершенствования системы путем пересмотра действующих и разработки новых документов, нормативов и критериев; повышения уровня квалификации специалистов; развития материально-технической базы и адаптации методов и средств обследования и коррекции состояния элементов оборудования с учетом специфики ГХК.**

Как показано на рисунке 4, наряду с другими системами разработанная система соответствующим образом включается в систему управления промышленной безопасностью опасных производственных объектов ГХК.

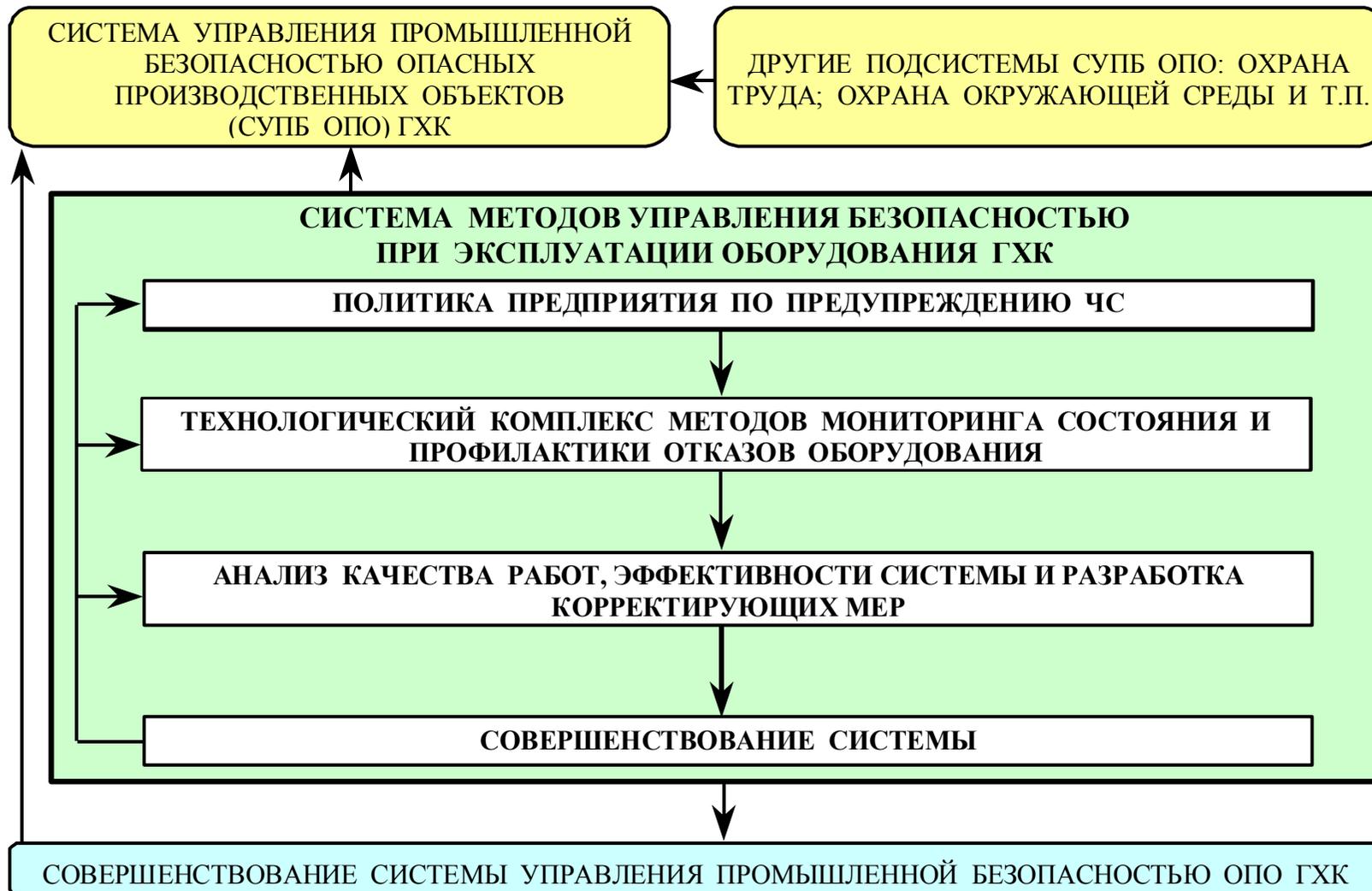


Рис. 4. Структурная схема системы методов управления безопасностью при эксплуатации оборудования ГХК

Как показано на рисунке 5, предложенная система интегрируется на объектовом уровне в государственные системы промышленной безопасности и предупреждения и ликвидации ЧС.

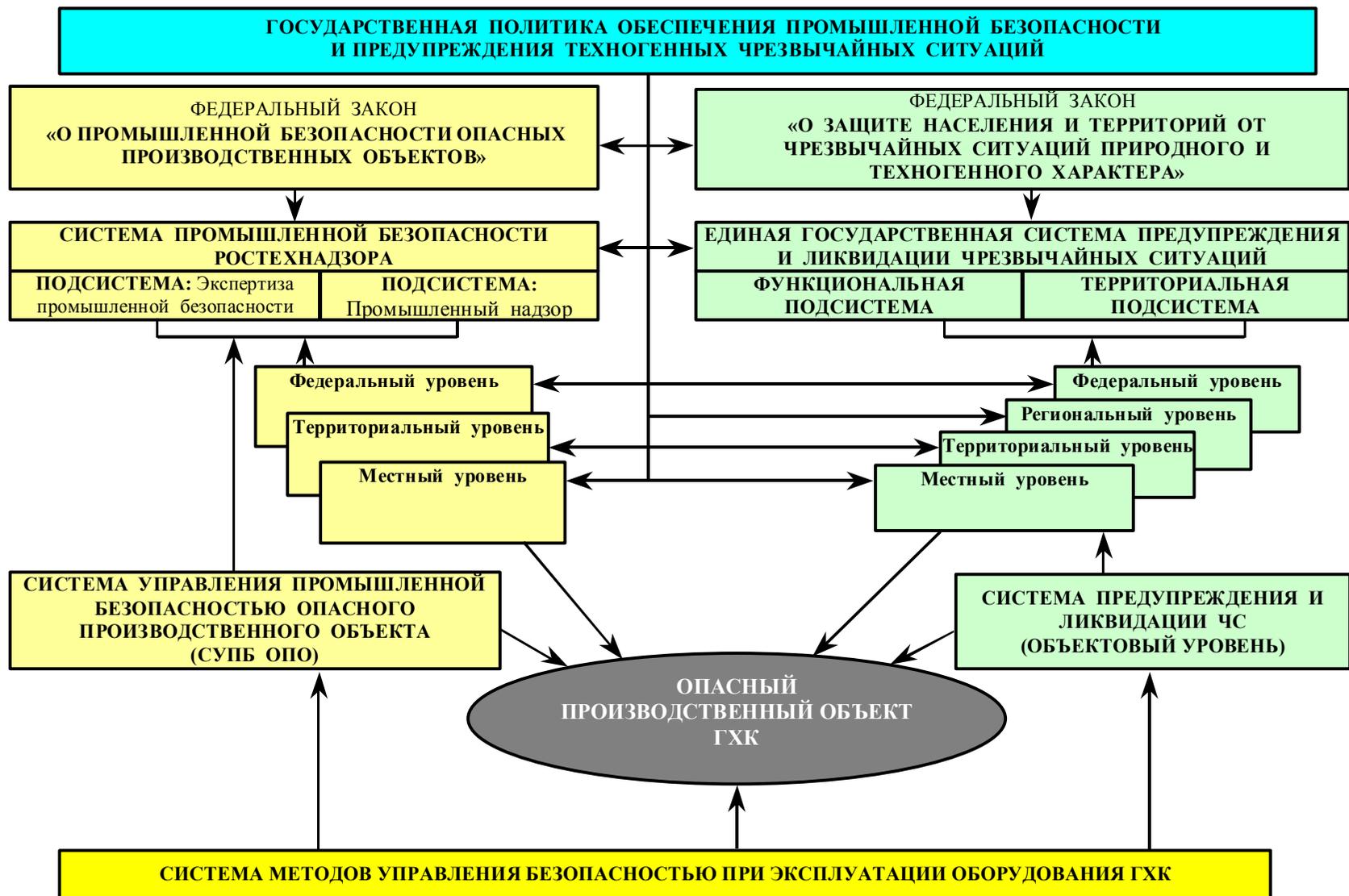


Рис. 5. Схема интеграции предложенной системы в государственные системы промышленной безопасности и предупреждения ЧС

Как представлено на рисунке 6, предложенная система возлагает на себя также решение части задач государственных систем промышленной безопасности, предупреждения и ликвидации ЧС.



Рис. 6. Задачи предложенной системы в реализации государственной политики обеспечения промышленной безопасности и предупреждения и ликвидации ЧС

Модель технологического комплекса методов мониторинга состояния и профилактики отказов оборудования (технологический комплекс) представлена на рисунке 7.

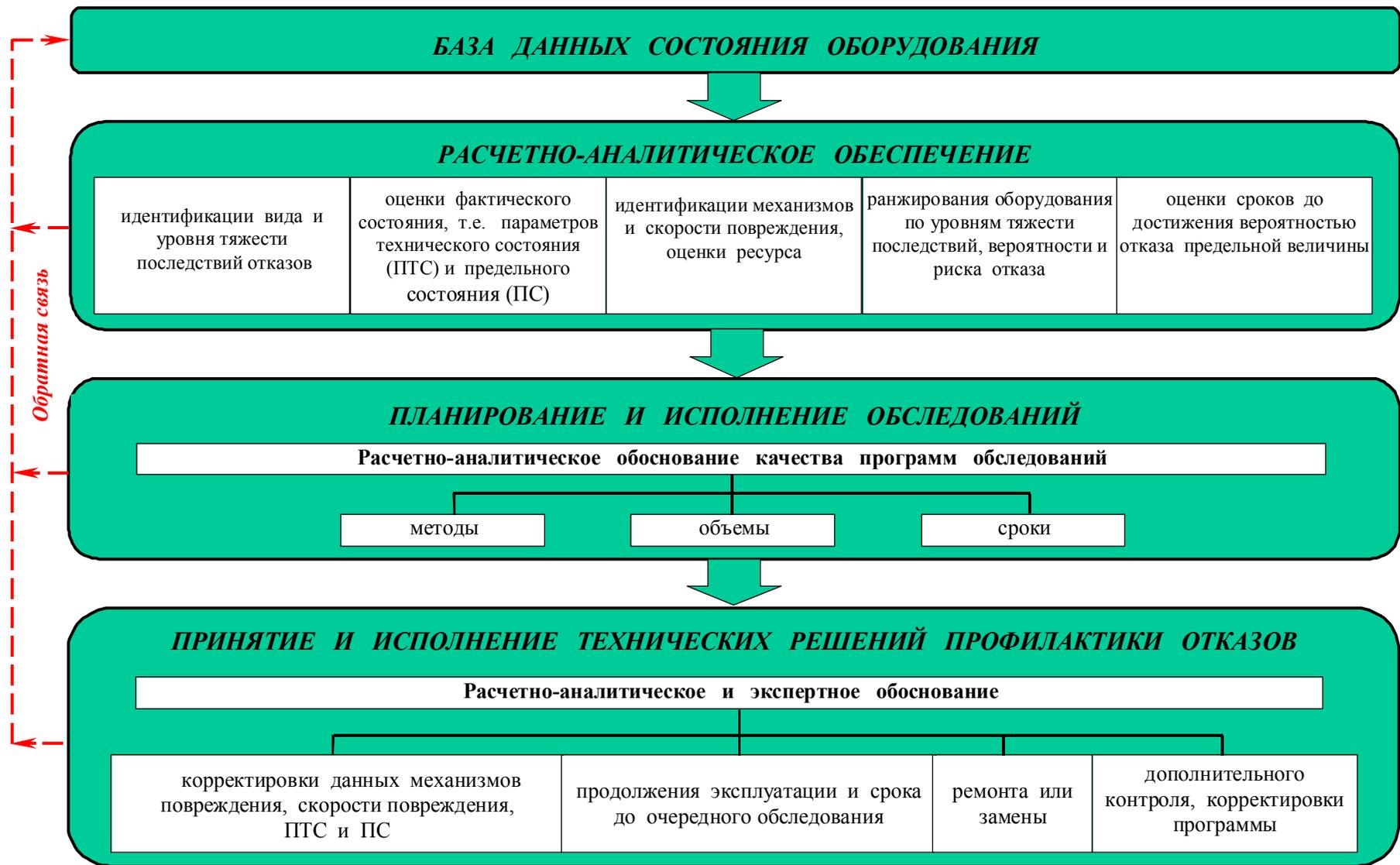


Рис. 7. Модель технологического комплекса методов мониторинга состояния и профилактики отказов оборудования ГХК

Для установления уровня риска отказа элементов оборудования ГХК (Ra_{1+5}) обоснован и разработан график-матрица полуколичественного анализа (рисунок 8), где уровни риска определяются по критериям уровней вероятности (Va_{1+5}) и тяжести последствий (C_{1+5}) отказа.

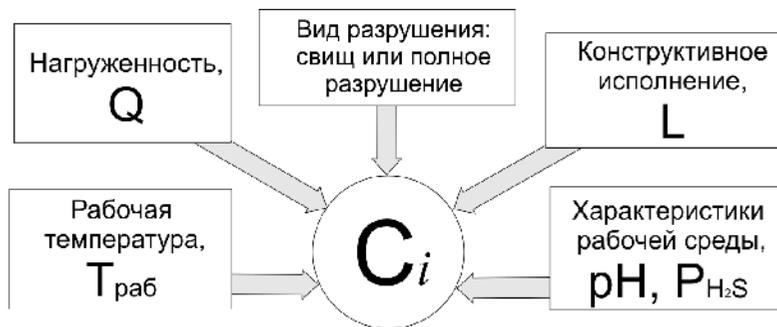
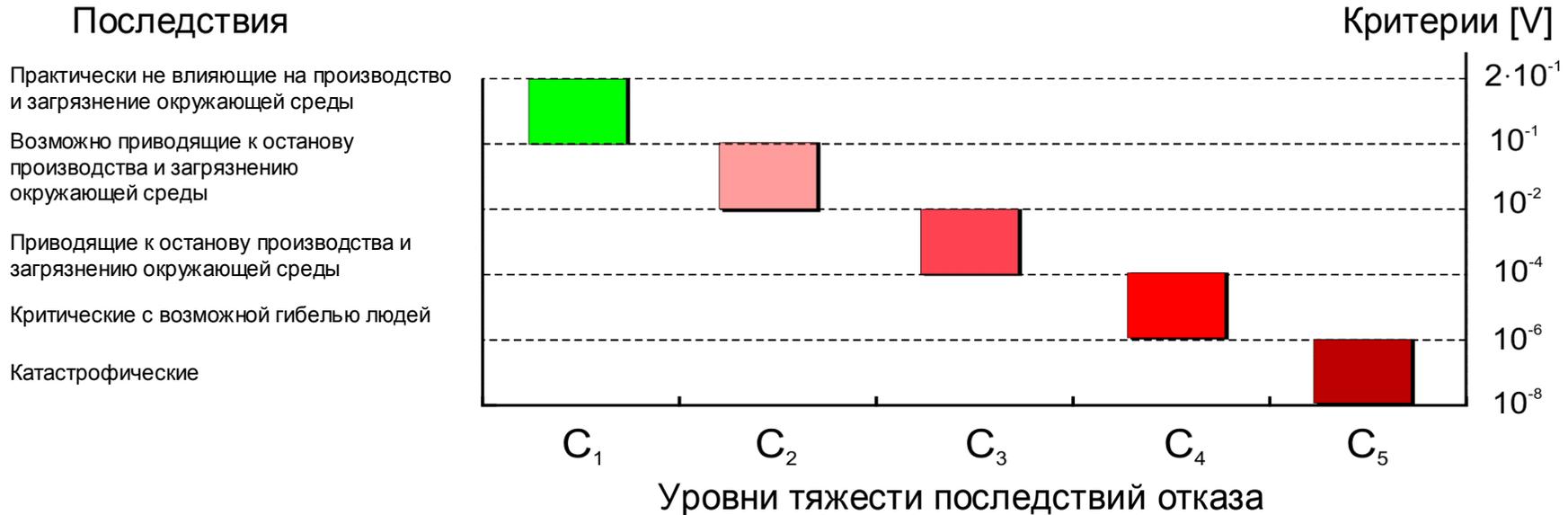
Уровни вероятности отказа	Va_5					
	Va_4					
	Va_3					
	Va_2					
	Va_1					
		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
		Уровни тяжести последствий				

Ra_5 – высокий риск;
 Ra_4 – риск выше среднего;
 Ra_3 – средний риск;
 Ra_2 – низкий риск;
 Ra_1 – очень низкий риск

Рис. 8. График-матрица полуколичественного анализа риска отказа элементов оборудования ГХК

Уровни тяжести последствий отказа как возможной аварии устанавливаются по обоснованным в исследовании критериям в зависимости от параметров оборудования, рабочей среды и вида возможного разрушения, выражение (1).

По результатам анализа многих отечественных, зарубежных и международных норм установлены представленные на графике (рисунок 9) критерии предельных значений вероятности для каждого уровня тяжести последствий отказа.



$$C_i = f(Q, T_{раб}, L, pH, P_{H_2S}) \quad (1)$$

Рис. 9. Критерии уровней тяжести последствий и предельные значения вероятности отказа

Последовательность возникновения неблагоприятных событий, приводящих к авариям и ЧС оборудования ГХК, и условие нормирования допустимых значений вероятности возникновения неблагоприятных событий при профилактике аварий и ЧС (где $[V]$ – допустимое значение вероятности отказа по определенной тяжести последствий) показана на рисунке 10, выражение (2)

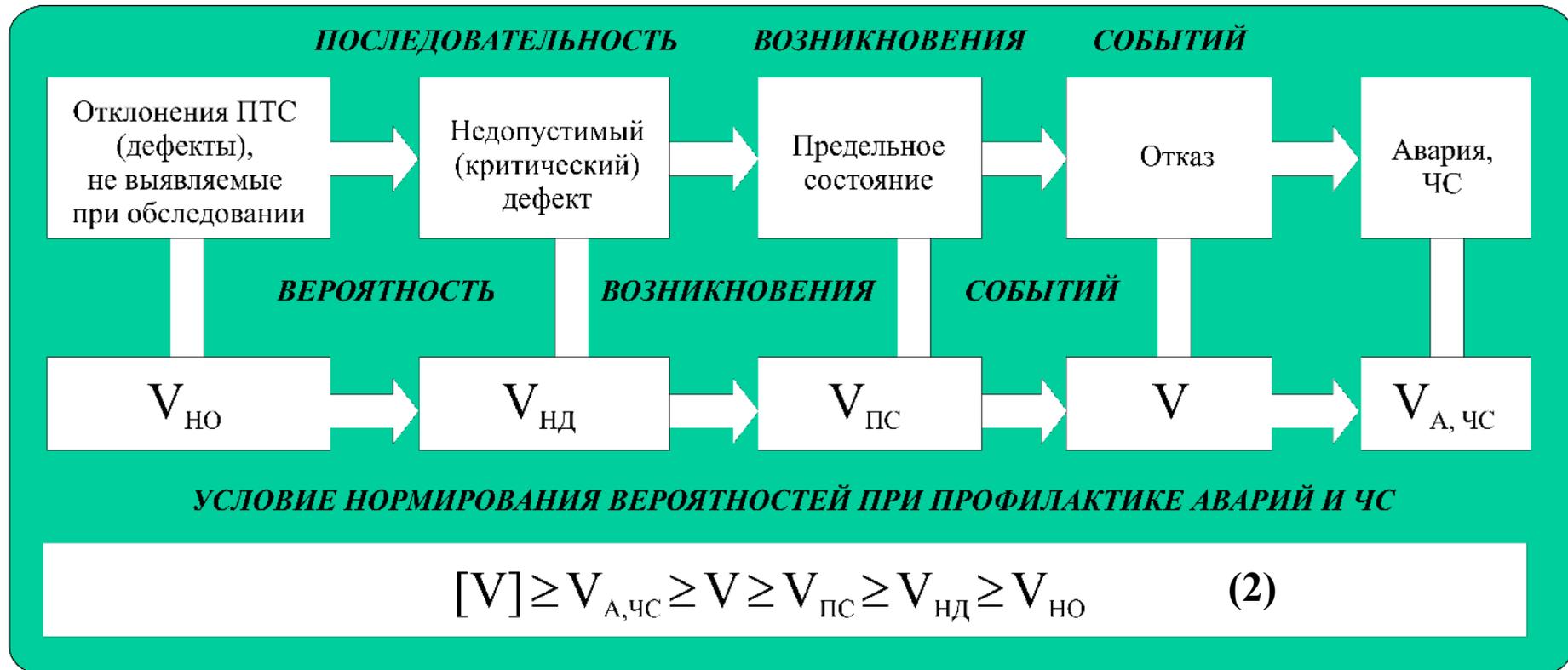
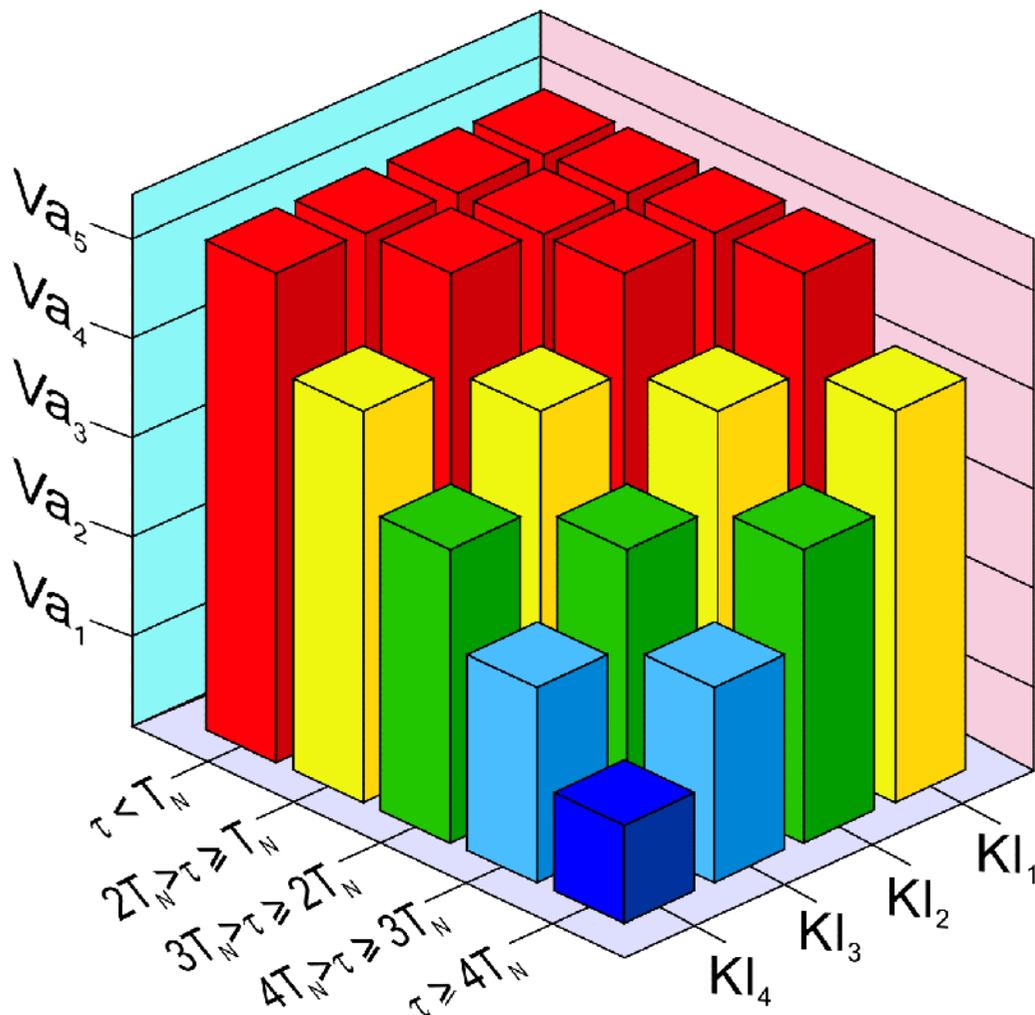


Рис. 10. Последовательность и условия нормирования вероятности возникновения неблагоприятных событий, приводящих к авариям и ЧС оборудования ГХК.

Поскольку аварии и ЧС события редкие, и достоверной статистики отказов, приведших к ним, по каждому из элементов оборудования нет, определение интенсивности и вероятности возможных аварий и ЧС в предложенной системе осуществляется по данным обследования элементов оборудования.

Распределение элементов оборудования по уровням вероятности отказа (рисунок 11) осуществляется по установленной зависимости, выражение (3), от прогнозного значения остаточного ресурса работы до перехода конструктивных элементов оборудования в предельное состояние с учетом уровня качества обследования.



Va_i – уровень вероятности отказа

KI_i – уровень качества обследования

T_N – нормативный период эксплуатации между обследованиями

τ – остаточный ресурс

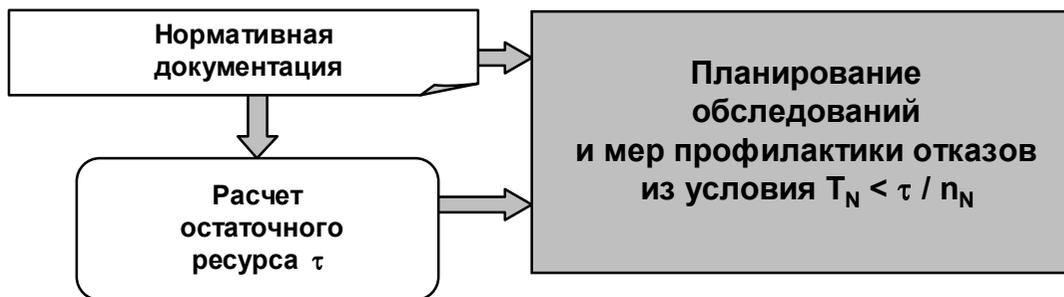
$$Va_i = f(\tau, KI_i) \quad (3)$$

Рис. 11. График зависимости уровней вероятности отказа элементов оборудования от остаточного ресурса и качества обследования

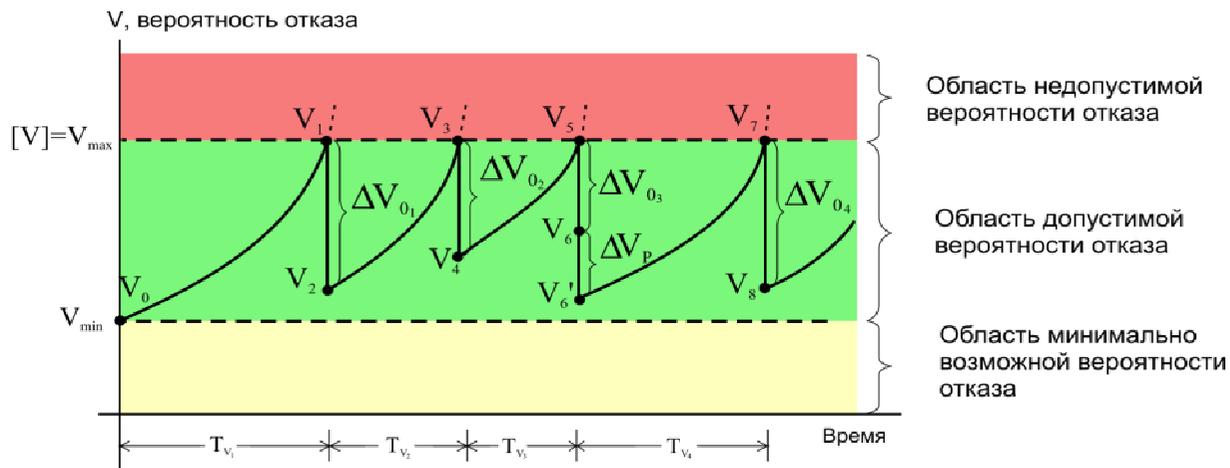
Планирование обследований (рисунок 12) и мер профилактики отказов для элементов оборудования, отнесенных к уровням риска отказа Ra_1 - Ra_4 , осуществляется по результатам нормативных детерминированных расчетов остаточного ресурса их работы.

Планирование обследований оборудования с уровнем риска отказа Ra_5 , а по решению менеджмента объекта и с уровнем риска Ra_4 , осуществляется по результатам расчета времени эксплуатации до достижения значения вероятности отказа предельной величины.

I вариант: для элементов с $Ra_1 - Ra_4$ производится расчет τ



II вариант: для элементов с Ra_5 (Ra_4) производится расчет T_v

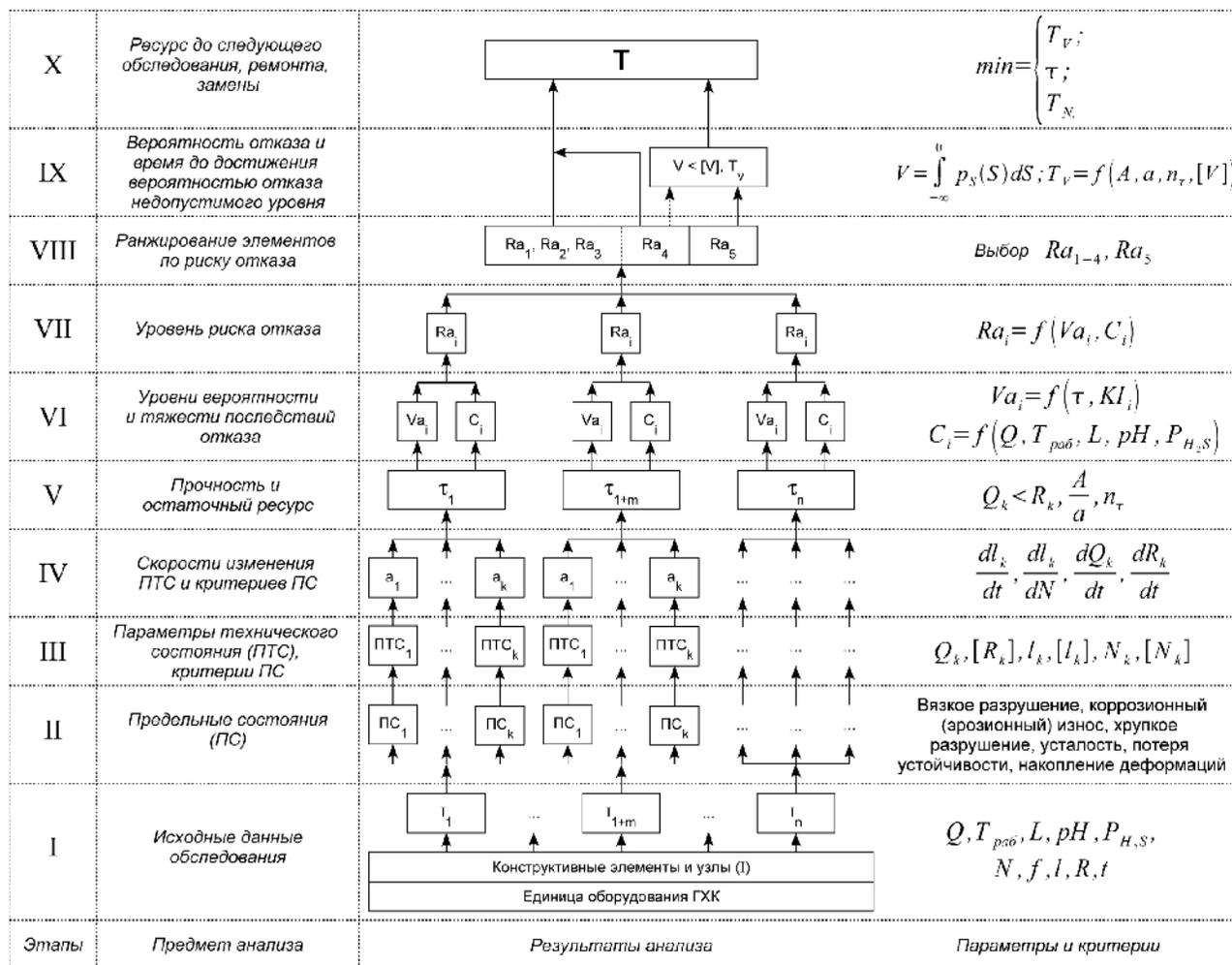


ΔV_{0-1-4} – изменение вероятности отказа по результатам обследования

ΔV_p – изменение вероятности отказа за счет ремонта повреждённого элемента

Рис. 12. Варианты установления сроков обследования оборудования по критериям риска и вероятности отказа

Для анализа состояния и планирования обследований элементов оборудования по критериям риска и вероятности отказа разработана представленная на рисунке 13 модель.



Q - обобщенная нагрузка;
 $T_{РАБ}$ - рабочая температура;
 L - конструктивное исполнение;
 pH, P_{H_2S} - характеристики рабочей среды;
 N, f - обобщенные условия эксплуатации;
 I - обобщенная характеристика дефектов;
 R - обобщенная несущая способность;
 t - наработка с начала эксплуатации;
 $Q_k, [R_k], I_k, [I_k], N_k, [N_k]$ - текущие значения ПТС и ПС;
 $a = dl_k/dt, dl_k/dN, dQ_k/dt, dR_k/dt$ - скорость изменения ПТС;
 τ - расчетная величина остаточного ресурса;
 A - разность между значением ПТС и ПС;
 Va_i - уровень вероятности отказа;
 KI_i - уровень качества обследования;
 C_i - уровень тяжести последствий отказа;
 Ra_i - уровни риска отказа;
 V - вероятность возникновения отказа;
 $p_S(S)$ - плотность вероятности резерва прочности;
 $[V]$ - допустимый уровень вероятности отказа;
 T_V - время до достижения $[V]$;
 T_N - период эксплуатации между обследованиями;
 n_N, n_V - коэффициенты запаса;
 T - назначенный срок до обследования, ремонта, замены

Рис. 13. Модель анализа состояния, риска отказа, прогнозирования ресурса и планирования обследований элементов оборудования ГХК по критериям риска и вероятности отказа

IV. По результатам анализа выборки данных о повреждениях и разрушениях металла элементов оборудования ГХК и нормативных технических документов поставлена и решена задача обоснования выбора, достоверности методов контроля и качества программ обследования оборудования ГХК.

Сделан представленный на рисунке 14 выбор и классификация методов контроля. К основным методам отнесены: ВИК, УЗТ, УЗД, капиллярная, магнитная и токовихревая дефектоскопия, контроль твердости и металлография, а также расчетные методы.

Методы контроля	Поверхностные дефекты					Внутренние дефекты			Физико-химические свойства металла
	Трещины	Вздутия	Коррозионные утонения	Язвы, дефекты сварки	Вмятины, задиры	Трещины	Расслоения	Объемные дефекты	
Визуально-измерительный	2	3	2	3	3	-	-	-	-
Ультразвуковая толщинометрия	-	3	3	1	-	-	2	-	-
Ультразвуковая дефектоскопия	3	-	2	1	-	3	3	3	-
Капиллярная дефектоскопия	3	-	-	1	-	-	-	-	-
Вихретоковая дефектоскопия	3	-	-	1	-	-	-	-	-
Магнитная дефектоскопия	3	-	-	1	-	2	-	-	-
Радиография	1	-	-	1	-	1	-	2	-
Тепловизионный контроль	1	1	-	-	-	-	-	-	-
Безобразцовый контроль твердости	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Металлография	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Механические и другие лабораторные испытания образцов металла	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Неразрушающий спектральный анализ химического состава металла	-	-	-	-	-	-	-	-	3

- - не применяется;

1 - низкая эффективность (выявление дефекта без идентификации значений и (или) размеров);

2 – средняя эффективность (выявление дефекта с достоверностью идентификации значений и (или) размеров менее 70%);

3 - высокая эффективность (выявление дефектов или отклонений ПТС с достоверностью идентификации значений и (или) размеров не менее 70%).

 - основные методы контроля

Рис. 14. Результаты выбора и классификации методов контроля по степени выявляемости характерных дефектов оборудования ГХК

Построен представленный на рисунке 15 график зависимости уровня качества программ обследования от количества независимых контролей по критерию вероятности необнаружения дефектов (V_{HO}).

Установлена возможность обеспечения величины вероятности необнаружения дефектов ниже предельных значений вероятности отказа элементов, выражение (4).

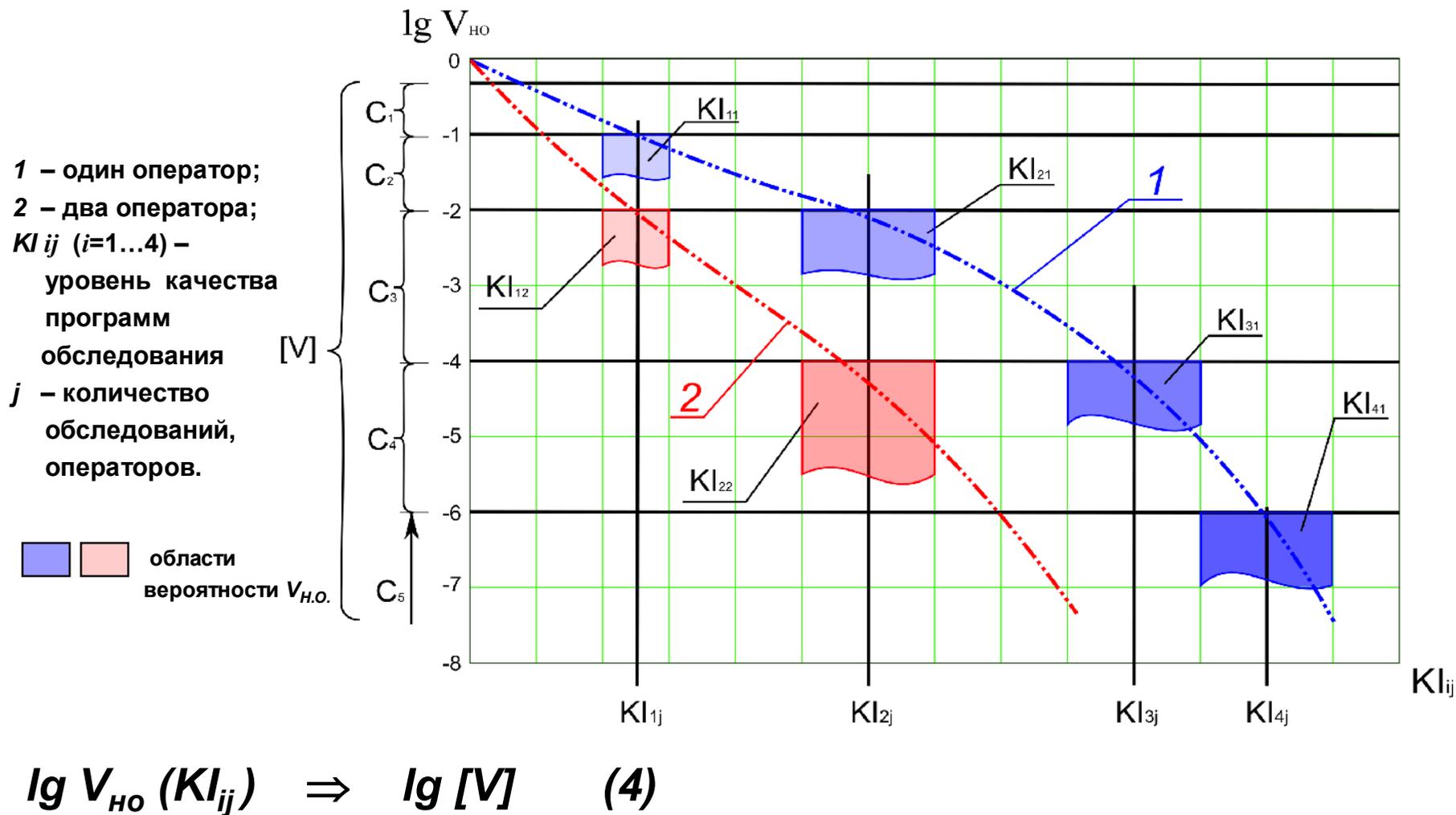


Рис. 15. График зависимости V_{HO} дефектов от количества независимых контролей

Обоснованы критерии качества программ обследования для различных уровней риска отказа элементов оборудования, где вероятность необнаружения дефекта не более предельного значения вероятности отказа элемента, выражение (5).

$$V_{HO} (Ra_i (C_i)) \leq [V (C_i)] , \quad i=1 \dots 5 \quad (5)$$

где:

$Ra_i (C_i)$ – уровни риска отказа элементов, соответствующие уровням тяжести последствий отказа;

$V_{HO} (Ra_i (C_i))$ – вероятность необнаружения дефекта в элементе с уровнем риска отказа Ra_i по уровням тяжести последствий C_i ;

$[V(C_i)]$ – допустимое значение вероятности возникновения отказа для элементов оборудования с определенным уровнем тяжести последствий C_i

Для обоснования качества программ обследования элементов оборудования по результатам анализа риска отказа разработана представленная на рисунке 16 модель установления поэлементного качества обследования с заданной вероятностью необнаружения дефектов.

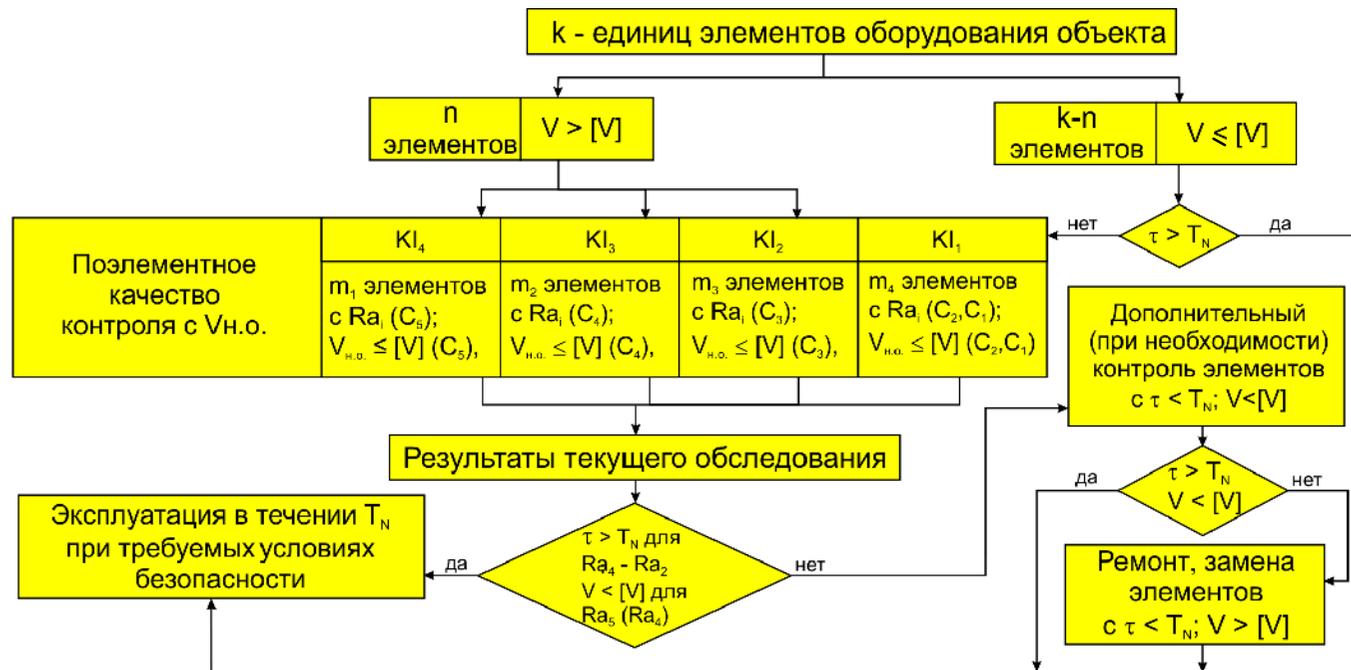


Рис. 16. Модель обоснования уровней качества обследования элементов оборудования ГХК

У. Основываясь на работах известных ученых в области НК, накопленном опыте, нормативных методиках, поставлена и решена задача адаптации приборных комплексов и повышения достоверности НК основного металла, сварных швов и механических свойств металла элементов оборудования ГХК, стойкого к СКР. На рисунке 17 представлены дефектограммы УЗК в плане, по сечениям и металлографический снимок образца с ВИР при различной настройке чувствительности аппаратуры.

Получены новые, отличные от требований ГОСТ 22727, параметры УЗК по выявлению ВИР, обеспечивающие выявляемость ступенек слияния ВИР с погрешностью не выше 10%

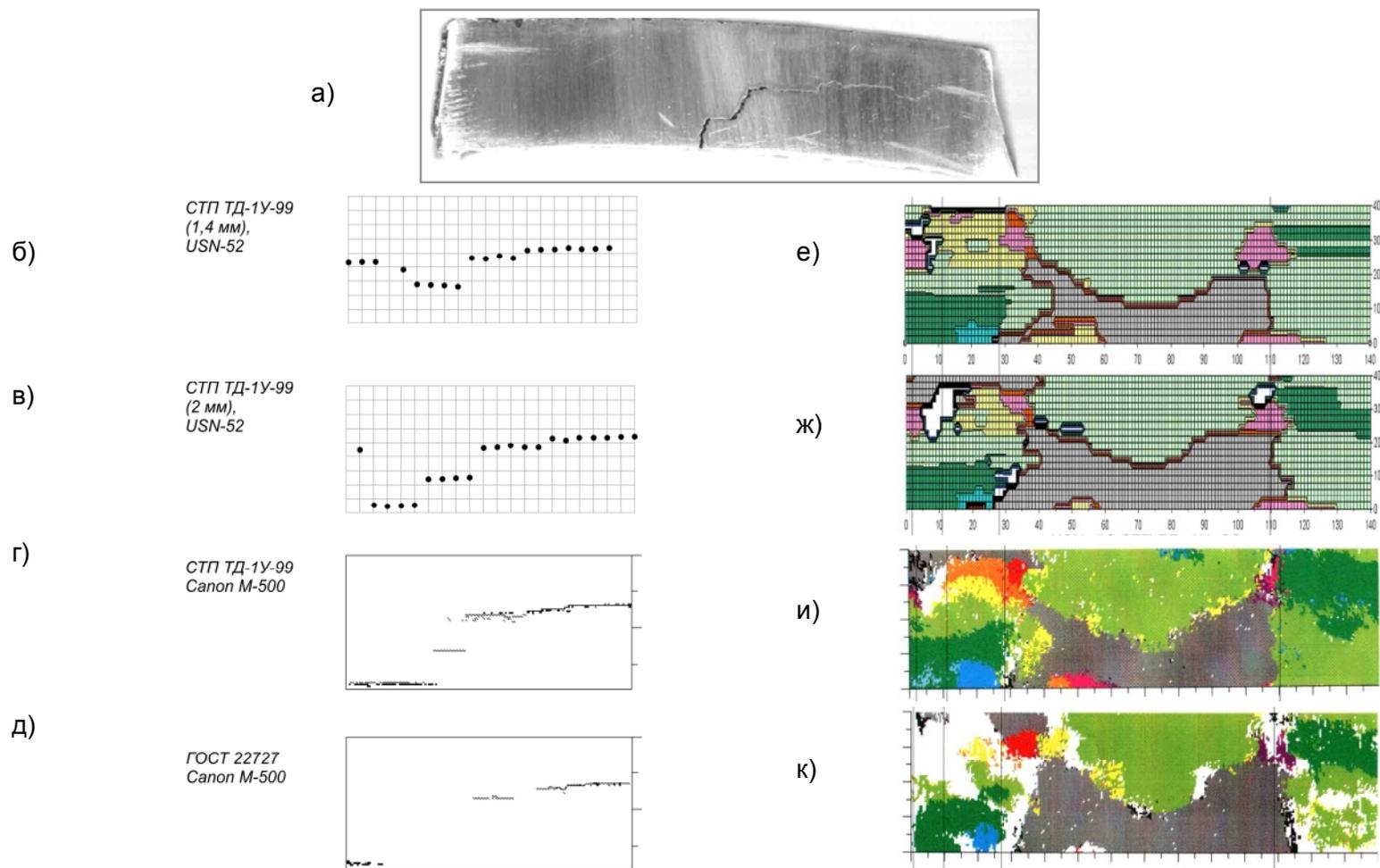
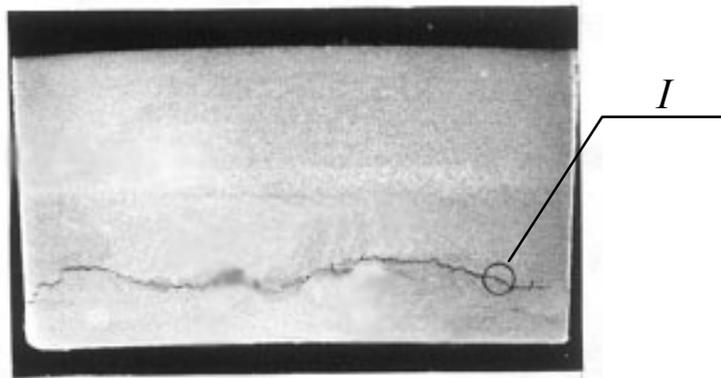
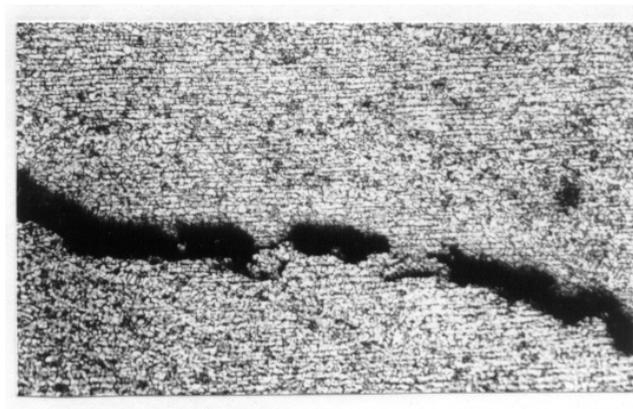


Рис. 17. Ультразвуковые исследования дефектов типа ВІР. «а» - сечение стенки трубы с дефектом; «б», «в», «г», «д» - дефектограммы «в сечении» при чувствительности 1,4 мм, 2,0 мм, 2,0 мм, 3,0 мм соответственно; «е», «ж», «и», «к» - дефектограммы «в плане» при чувствительности 1,4 мм, 2,0мм, 2,0 мм, 3,0 мм соответственно.

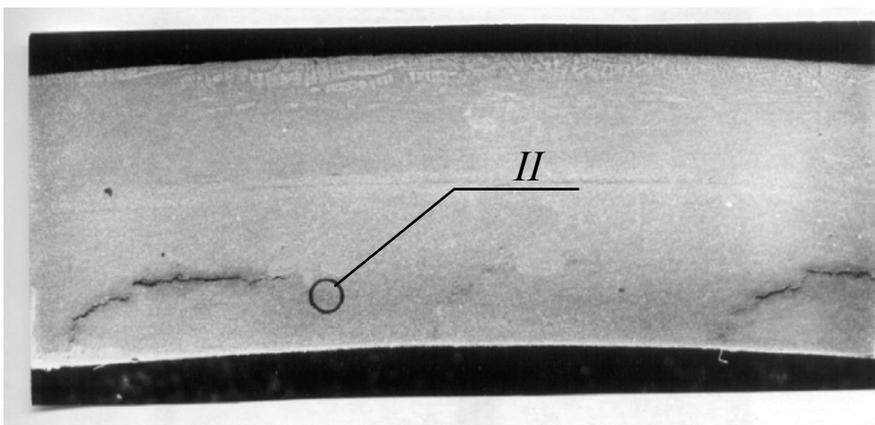
Типичные повреждения от ВИР в стенке трубопровода, выявленные по результатам УЗК, приведены на рисунке 18.



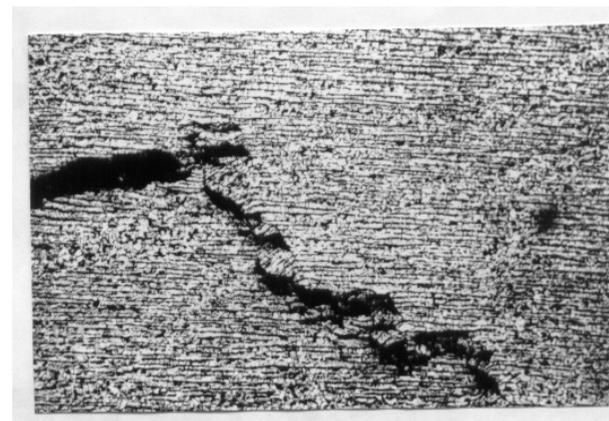
а) Типичное повреждение от ВИР, увеличение x2



б) фрагмент I, увеличение x63



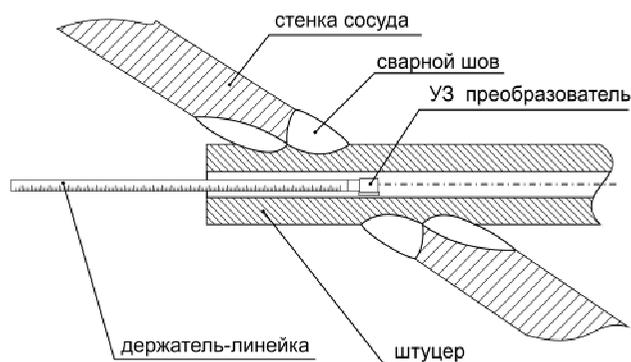
в) Типичное повреждение от ВИР, увеличение x2



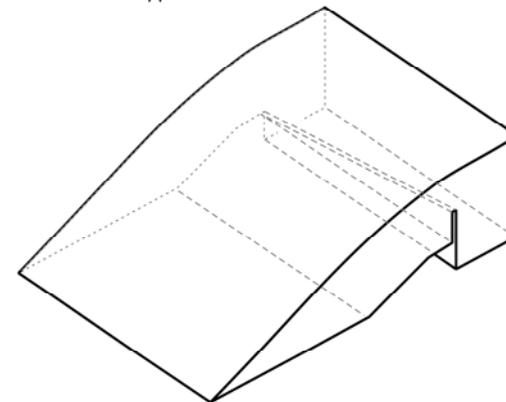
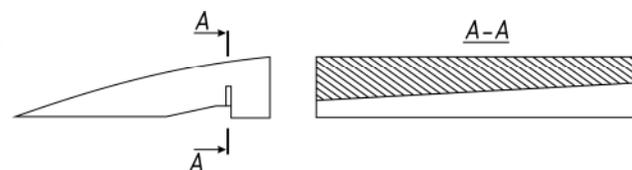
г) фрагмент II, увеличение x63

Рис. 18. Типичные повреждения металла от ВИР в стенке трубопровода сырьевого H_2S -содержащего газа

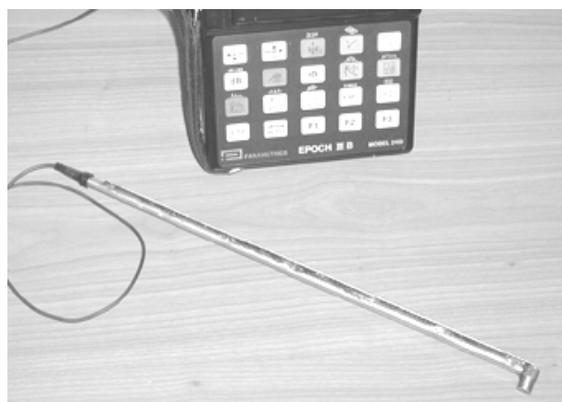
Разработаны приспособления и образцы (рисунок 19), позволяющие осуществлять УЗ контроль и получать, с доверительной вероятностью не ниже 0,7, параметры несплошностей в сварных швах вварки штуцеров малых (до 100 мм) диаметров и штуцеров тангенциальной конструкции, ранее в соответствии с НД не контролировавшихся. Впервые выполнен контроль более 3 тысяч подобных штуцерных узлов сосудов ГХК. Более чем в тысяче из них выявлены несплошности. Более пятисот сварных швов отремонтировано, остальные по результатам расчета прочности и ресурса находятся в подконтрольной эксплуатации.



Приспособление для УЗК сварных швов вварки патрубков



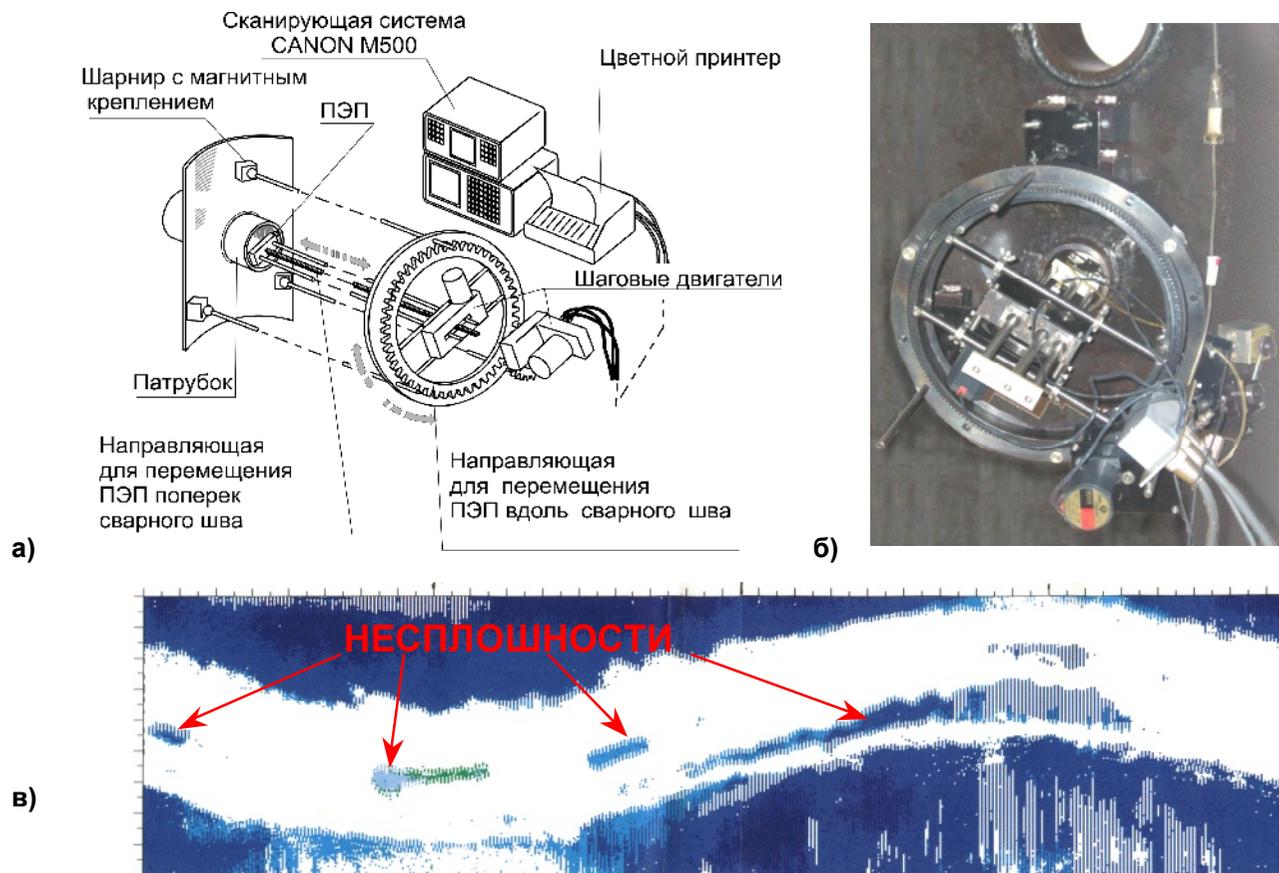
Образец-имитатор с трещиноподобным дефектом переменной глубины



Дефектоскоп ЕРОСН-IIIВ, укомплектованный приспособлением

Рис. 19. Приспособления и образцы для адаптации приборов УЗК и повышения выявляемости несплошностей угловых сварных швов сосудов

Для осуществления мониторинга состояния угловых сварных швов сварки штуцеров с несплошностями разработано и применяется представленное на рисунке 20 приспособление, обеспечивающее автоматизированный контроль сварных швов и мониторинг их состояния путем сравнения дефектограмм.



«а» - схема приспособления, «б» - конструктивное исполнение приспособления, «в» - дефектограмма сварного шва сварки штуцера тангенциальной конструкции

Рис. 20. Приспособление для автоматизированного УЗ контроля сварных швов сварки штуцеров

Установлены новые корреляционные зависимости (6, 7) «твердость-предел текучести ($\sigma_{0,2}$)» и «твердость - предел прочности (σ_B)» (рисунок 21 а, б) для соответствующих приборов и условия измерения твердости безобразцовым методом и приборами, позволяющие осуществлять, с погрешностью не выше 5%, мониторинг предела прочности и, с погрешностью не выше 9%, мониторинг предела текучести сероводородстойких сталей оборудования ГХК в процессе длительной эксплуатации (рис 21 в):

$$\sigma_{0,2} = -5,471 \cdot 10^{-3} \cdot HV^2 + 3,808 \cdot HV - 91 \quad (6)$$

$$\sigma_B = -5,31 \cdot 10^{-3} \cdot HL^2 + 6,118 \cdot HL - 1080 \quad (7)$$

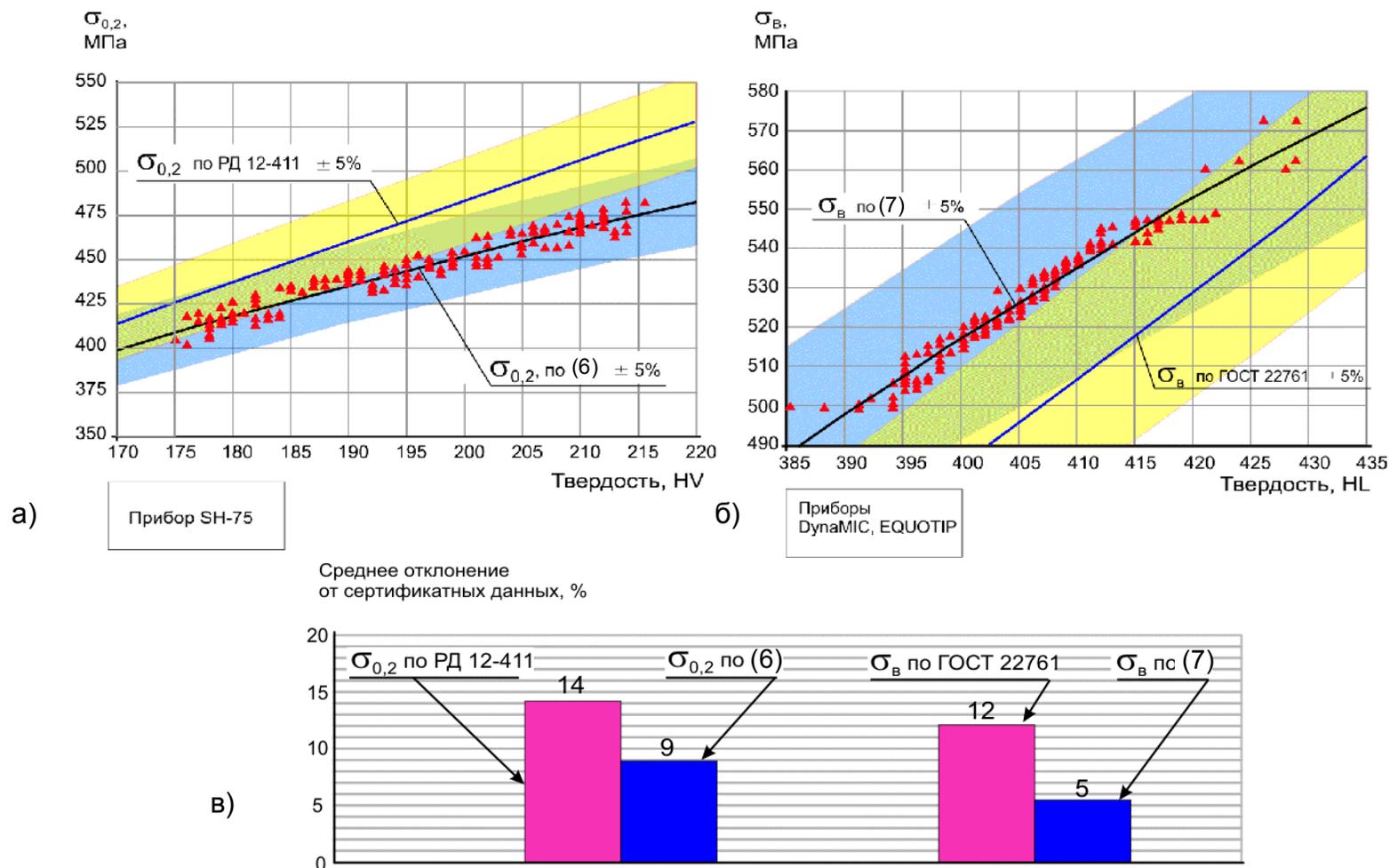


Рис. 21. Графики зависимости «твердость- $\sigma_{0,2}$ » (а), «твердость - σ_B » (б) и погрешность оценки $\sigma_{0,2}$ и σ_B (в)

VI. На основе нормативных методик и трудов известных ученых поставлена и решена задача исследования прочности и ресурса элементов оборудования с наиболее характерными дефектами, обоснования параметров и критериев оценки риска и вероятности их отказа.

На рисунке 22 представлены результаты исследования прочности натурального сосуда с непроваром сварного шва вварки люка-лаза, где размер непровара равен толщине стенки обечайки. Фактические деформации сравнивались с расчетными.

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНАЯ ЦИСТЕРНА ПОСЛЕ ИСПЫТАНИЯ



ЗАВИСИМОСТЬ «ДАВЛЕНИЕ – ДЕФОРМАЦИЯ» ДЛЯ ОБЕЧАЙКИ

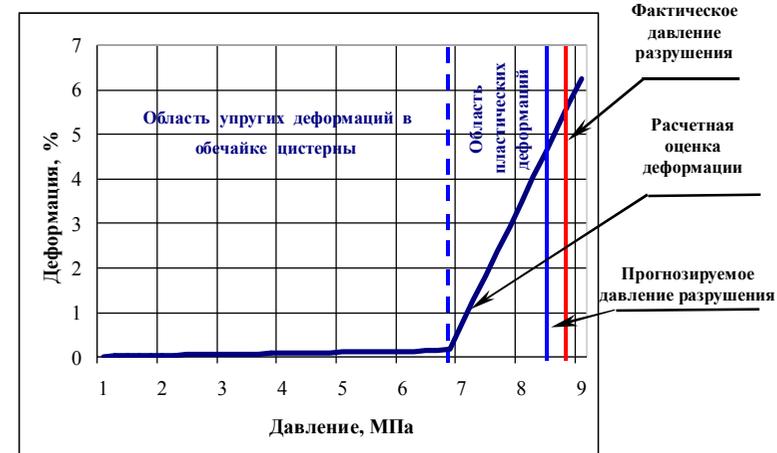
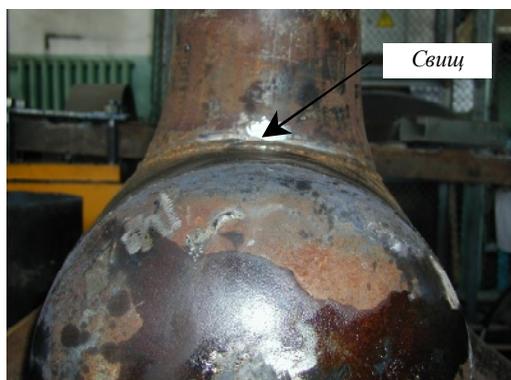


Рис. 22. Расчетные и экспериментальные исследования прочности. Результаты исследования прочности железнодорожной цистерны пропан-бутана с дефектом сварного шва горловины люка-лаза

На рисунке 23 представлены результаты исследования прочности одной из моделей сосудов с дефектами сварных швов варки штуцеров.

Исследования показали, что расчетные методы реализованные в компьютерных комплексах LS-DYNA, COSMOS, могут обеспечивать достаточную достоверность результатов оценки прочности и ресурса элементов оборудования ГХК с различными дефектами в детерминированной и вероятностной постановке задачи. Погрешность в сторону запаса составляет 5÷15% в области рабочих и 5÷10% в области предельных давлений. Непровары сварных швов варки штуцеров не приводят конструкцию в предельное состояние при статическом и квазистатическом режиме нагружения, при условии, что размеры сварных швов не выходят за пределы, допускаемые ГОСТ 5264.

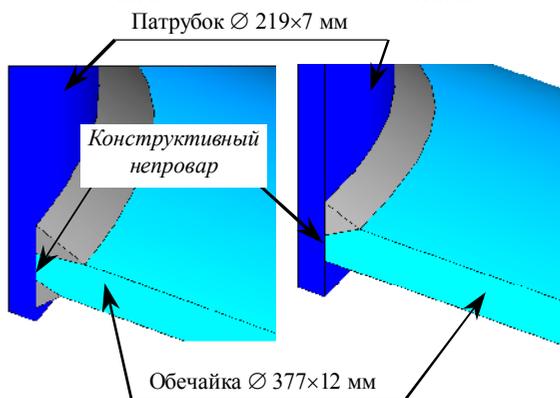
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПОСЛЕ ИСПЫТАНИЯ



РАЗРУШЕНИЕ ОБЕЧАЙКИ В ЗОНЕ СВАРНОГО ШВА ШТУЦЕРНОГО УЗЛА ТИПА II



РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ ДЕФЕКТНОГО УЗЛА ТИП II ТИП III



ЗАВИСИМОСТЬ «ДАВЛЕНИЕ – ДЕФОРМАЦИЯ» ДЛЯ ОБЕЧАЙКИ

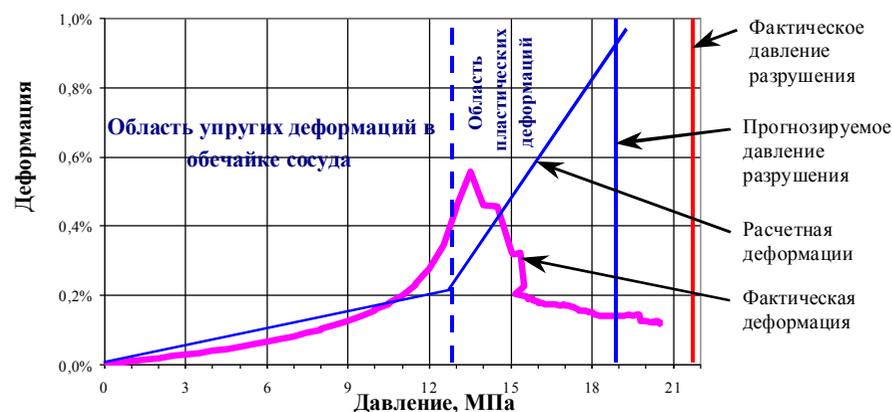
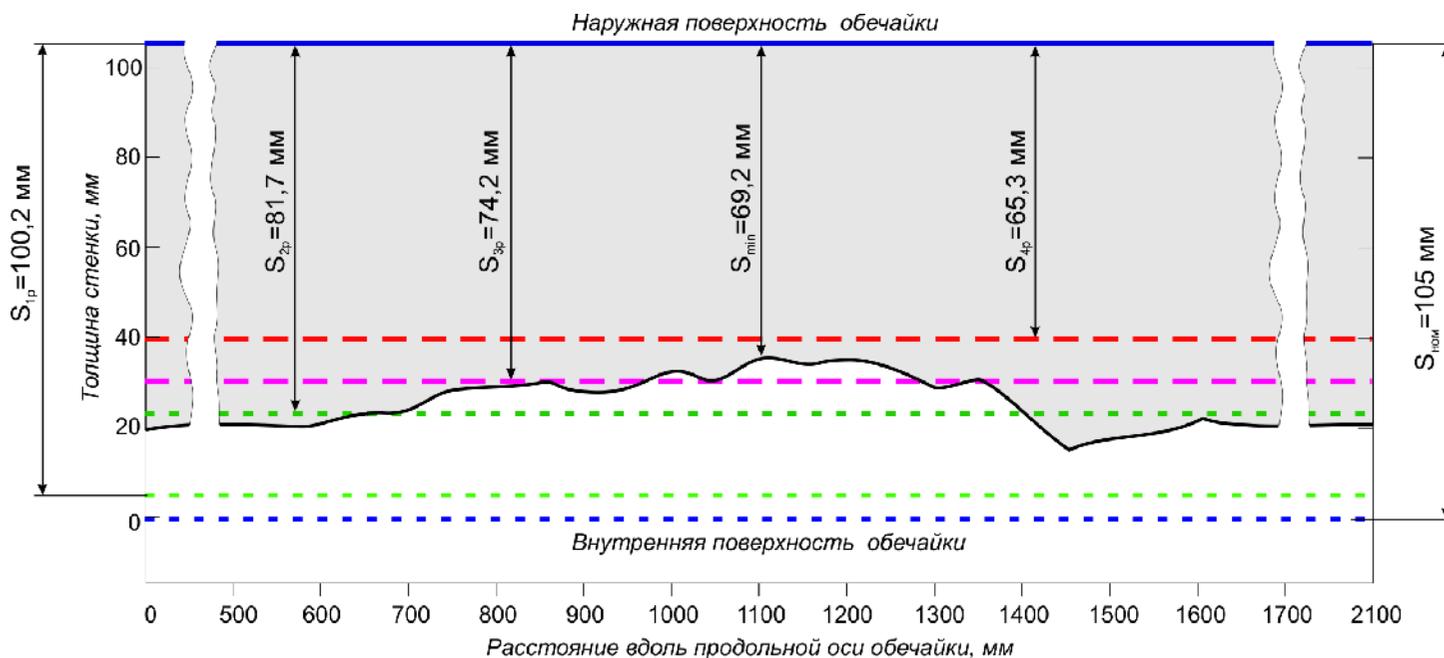


Рис. 23. Расчетные и экспериментальные исследования прочности. Результаты исследования прочности модели сосуда с дефектами штуцерных узлов.

Исследования ресурса (τ) и вероятности отказа (V) выполнено по исходным данным, полученным при измерениях на шестидесяти обечайках абсорберов Астраханского ГПЗ с различными износами стенки. Пример износа стенки представлен на рисунке 24.



$S_{ном}$ – номинальная исполнительная толщина стенки;
 $S_{1р}$ – расчетная толщина стенки обечайки абсорбера по проекту ($P_{расч}=74$ кгс/см²);
 $S_{2р}$ – расчетная толщина стенки при рабочем давлении ($P_{раб}=60$ кгс/см²) с учетом нормативных механических свойств металла;
 $S_{3р}$ – расчетная толщина стенки при рабочем давлении ($P_{раб}=60$ кгс/см²) с учетом фактических свойств металла;

$S_{4р}$ – расчетная толщина стенки при рабочем давлении ($P_{раб}=60$ кгс/см²) с учетом фактических свойств металла и снижения коэффициента запаса прочности (без учета влияния H_2S , для временной эксплуатации);
 S_{min} – минимальная измеренная толщина стенки

Рис. 24. Схема износа (утонения) стенки обечайки абсорбера АГПЗ

В основу исследования положена классическая (по Болотину В.В. и др. авторам) зависимость вероятности отказа и безотказной работы элементов оборудования от наработки и ресурса до отказа (рисунок 25). Из зависимости следует, что при более высоком ресурсе до отказа конструкция имеет более низкую вероятность отказа.

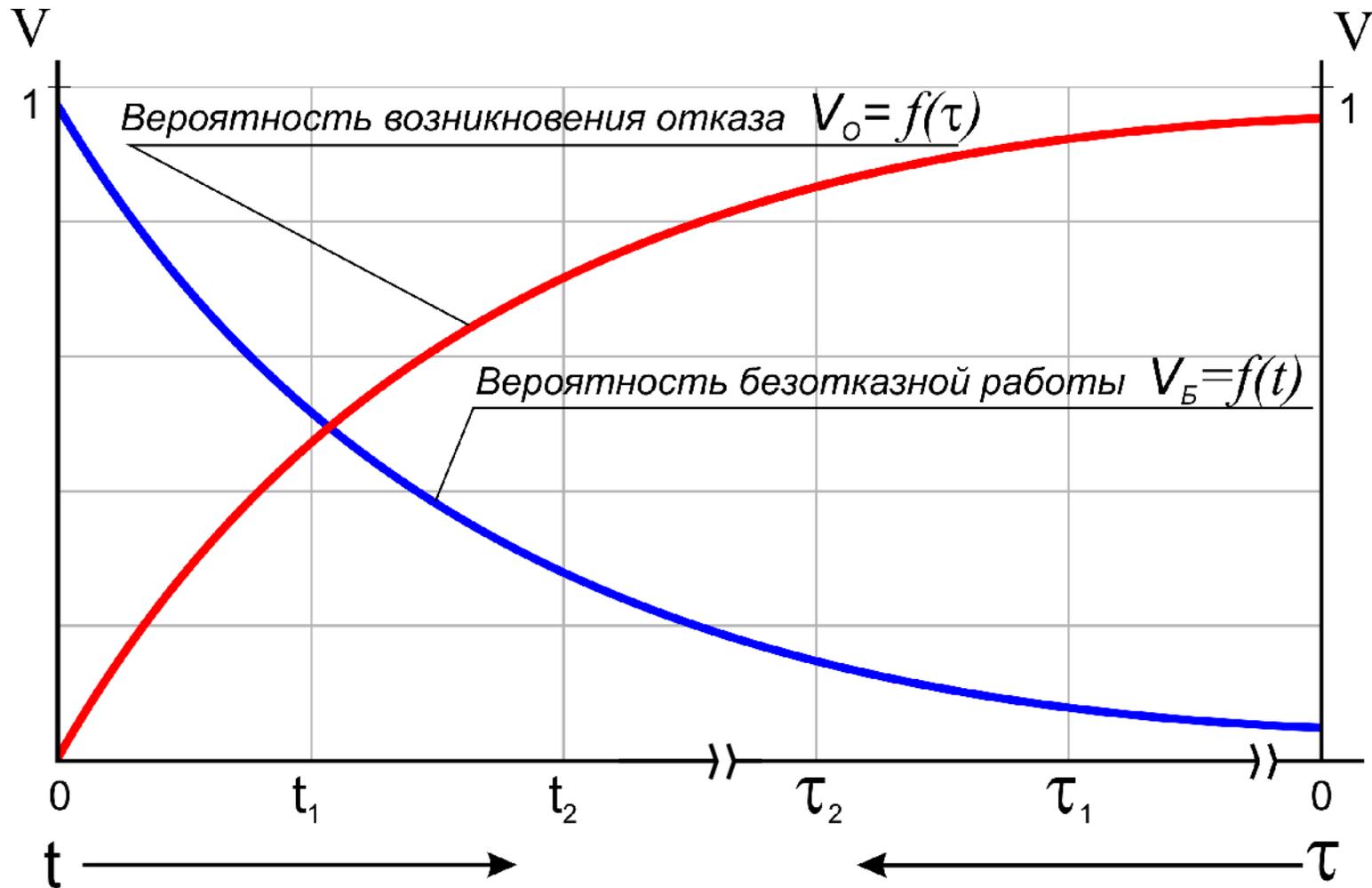


Рис. 25. Графики зависимости вероятности отказа (V_o) и безотказной работы (V_b) от наработки (t) и ресурса до отказа (τ) элементов оборудования

Графическая иллюстрация вероятностно-статистического подхода к оценке и прогнозированию вероятности отказа элементов оборудования в общем случае представлена на рисунке 26, где показано изменение во времени статистических характеристик прочности и нагрузки как случайных величин.

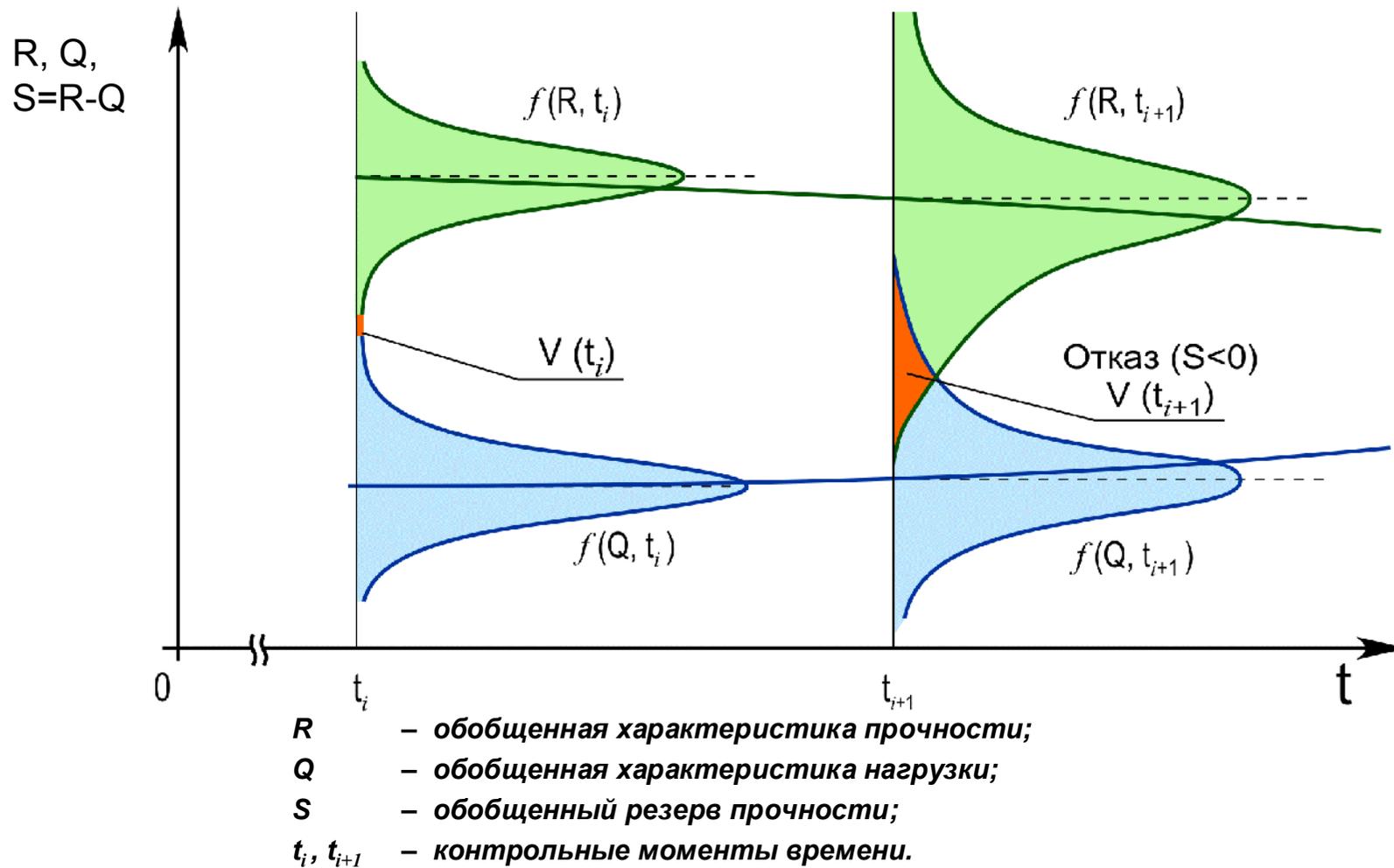


Рис. 26. Графическая иллюстрация вероятностно-статистического подхода к оценке и прогнозированию вероятности отказа

Исследования показали наличие тесной корреляционной связи с коэффициентом до -0,9 между вероятностью отказа ($\lg V$) и расчетным ресурсом (τ) работы элементов до наступления предельного состояния. График зависимости представлен на рисунке 27.

Путем нанесения на представленном графике зависимости « $\lg V$ от τ » зон допустимых значений вероятности отказа и зон деления τ на участки кратные нормативному времени (T_N) эксплуатации между обследованиями оборудования ГХК, получены зоны областей риска отказа разноповрежденных элементов для каждого из уровней тяжести последствий возможного отказа. На рисунке 27 представлен такой график для уровня тяжести последствий отказа по C_5 . Построены также подобные графики для уровней тяжести последствий по C_4, C_3, C_2, C_1

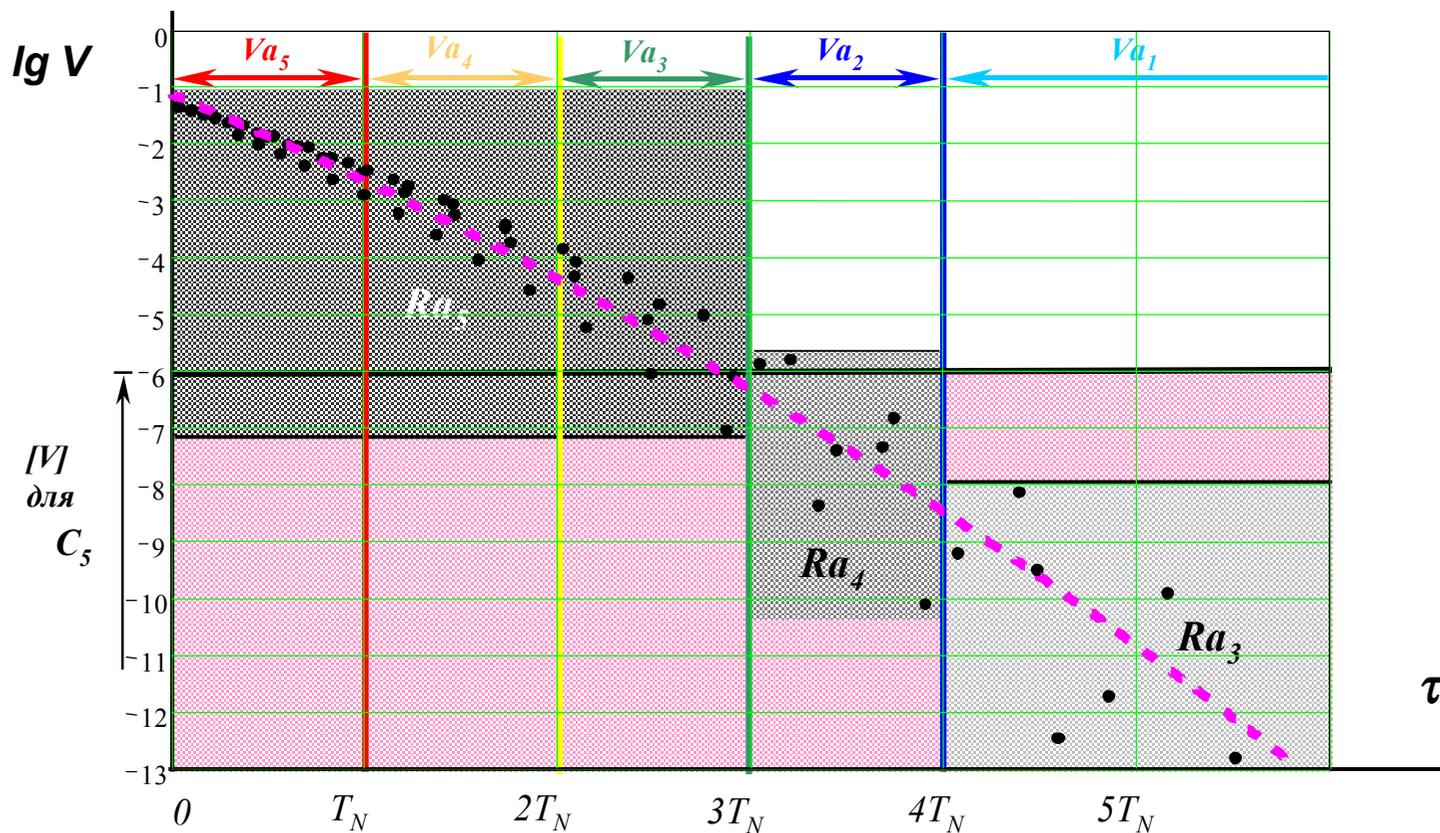


Рис. 27. График зависимости значений V от τ и области уровней риска отказа по тяжести последствий C_5

Путем совмещения графиков и зон уровней риска отказа построен представленный на рисунке 28 совмещенный график–матрица полуколичественного анализа риска отказа поврежденных элементов оборудования ГХК по критериям вероятности и тяжести последствий отказа.

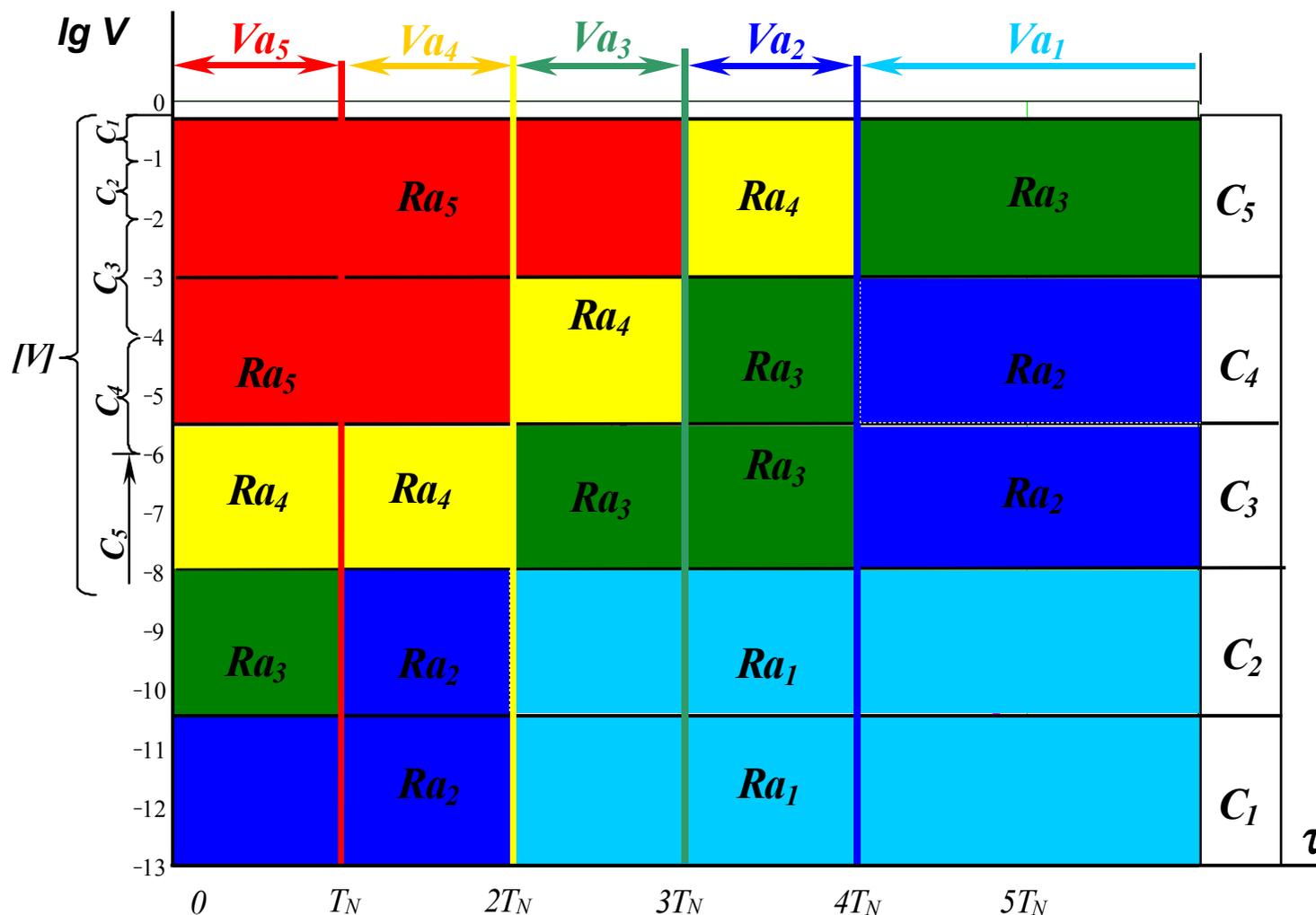


Рис. 28. Сводный график-матрица областей уровня риска отказа элементов оборудования в зависимости от уровня вероятности (Va_i) и тяжести последствий (C_i) отказа

VII. Для управления большими массивами данных по оборудованию ГХК поставлена и решена задача разработки базы данных (схема представлена на рисунке 29) по систематизации исходных и аналитических данных состояния элементов оборудования и их ранжирования по нагруженности, поврежденности, остаточному ресурсу работы, уровням вероятности и риска отказа, сроку эксплуатации до следующего обследования, ремонта или замены.

ИСХОДНЫЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Исходные данные	Аналитические данные фактического состояния	Аналитические данные по оборудованию с высоким риском отказа
<ul style="list-style-type: none"> - материальное исполнение - конструктивное исполнение - рабочая среда и параметры оборудования - результаты обследований - ремонты и замены 	<ul style="list-style-type: none"> - механизмы повреждения и ПТС - ведущие механизмы повреждения - предельные состояния - резервы прочности и ресурса - уровни вероятности - тяжести последствий и риск отказа - назначенный ресурс до следующего обследования 	<ul style="list-style-type: none"> - по ведущим механизмам повреждения и наиболее поврежденным элементам - оценки сроков достижения вероятностью отказа предельной величины - назначенный ресурс до следующего обследования, ремонта, замены

РАНЖИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

По нагруженности			По коррозионной активности продукта			
Высокая	Средняя	Низкая	Высокая	Средняя	Низкая	
По температуре			По механизму повреждения			
Высокая	Средняя	Низкая	Хрупкость	Усталость	Коррозия	Нет износа
По виду возможного отказа						
Утечка продукта (местная коррозия)	Утечка продукта (растрескивание)	Хрупкое разрушение	Формоизменение	Потеря устойчивости		
По уровням вероятности и тяжести последствий отказа						
5	4	3	2	1		
По уровню риска						
Высокий	Выше среднего	Средний	Низкий	Очень низкий		
По сроку до следующего обследования, ремонта, замены						
До 1 месяца	До 0,5 года	До 1 года	До 4 лет	До 8 лет	До 12 лет	

Рис. 29. Схема систематизации исходных и аналитических данных по оборудованию ГХК

В качестве примера выборки из базы данных на рисунке 30 показано распределение сосудов Оренбургского газопромышленного управления по уровням тяжести последствий, вероятности и риска отказа.

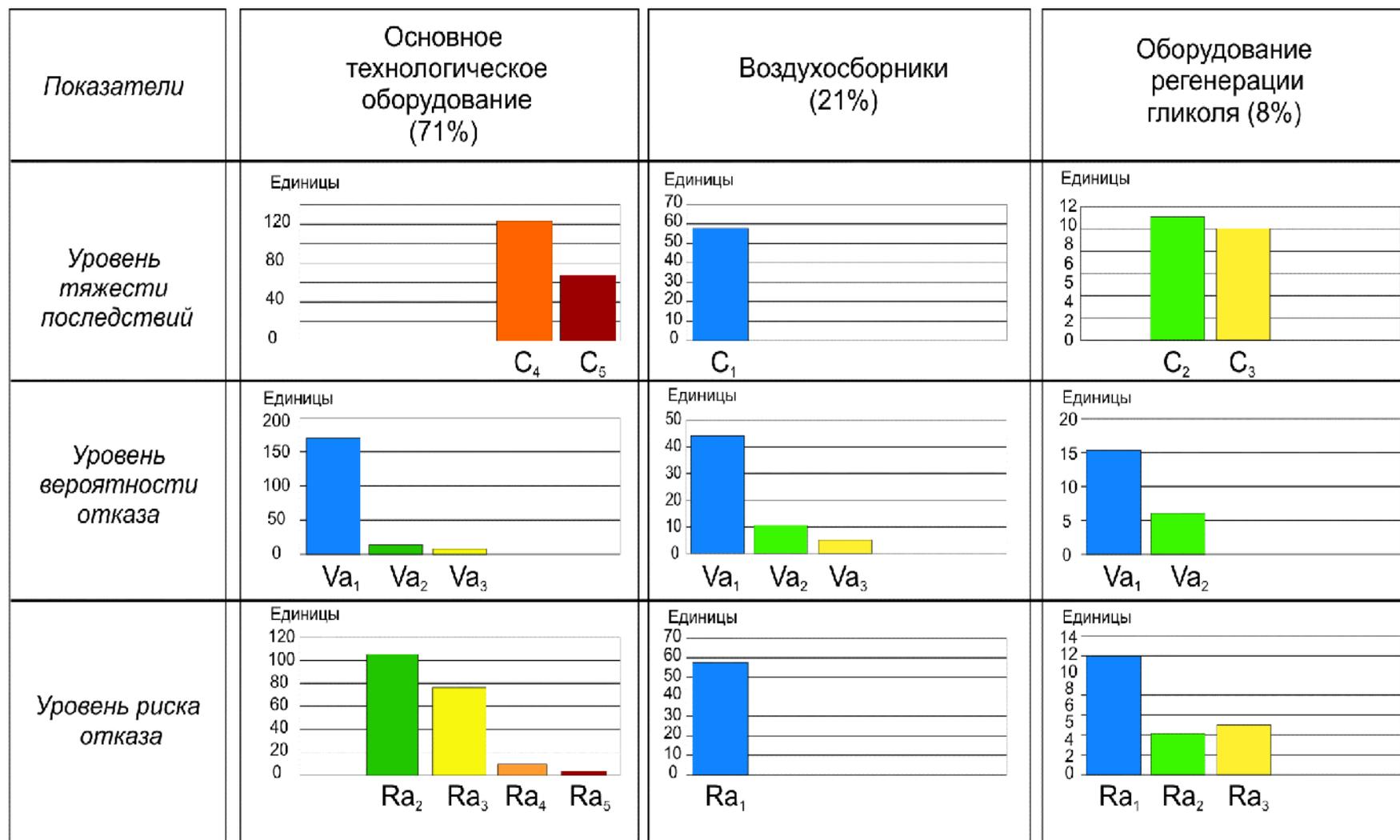


Рис. 30. Распределение сосудов ОГПУ по уровням тяжести последствий, вероятности и риска отказа.

Основываясь на технических решениях базы данных, для управления уровнем безопасности эксплуатации оборудования ГХК по критериям риска и вероятности отказа разработана представленная на рисунке 31 принципиальная схема замкнутого цикла движения информационного потока базы данных в процессе подконтрольной эксплуатации поврежденных элементов оборудования.

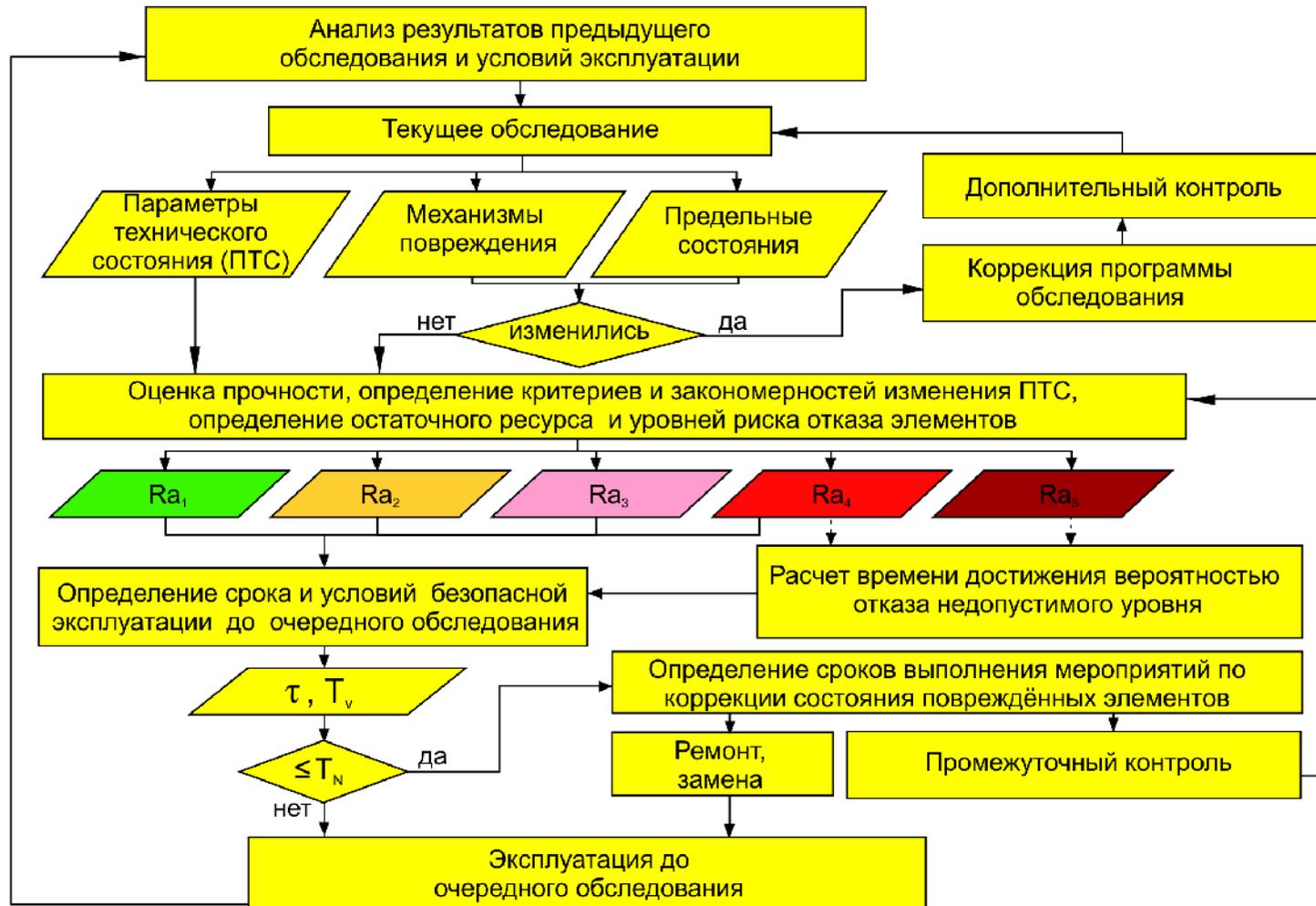
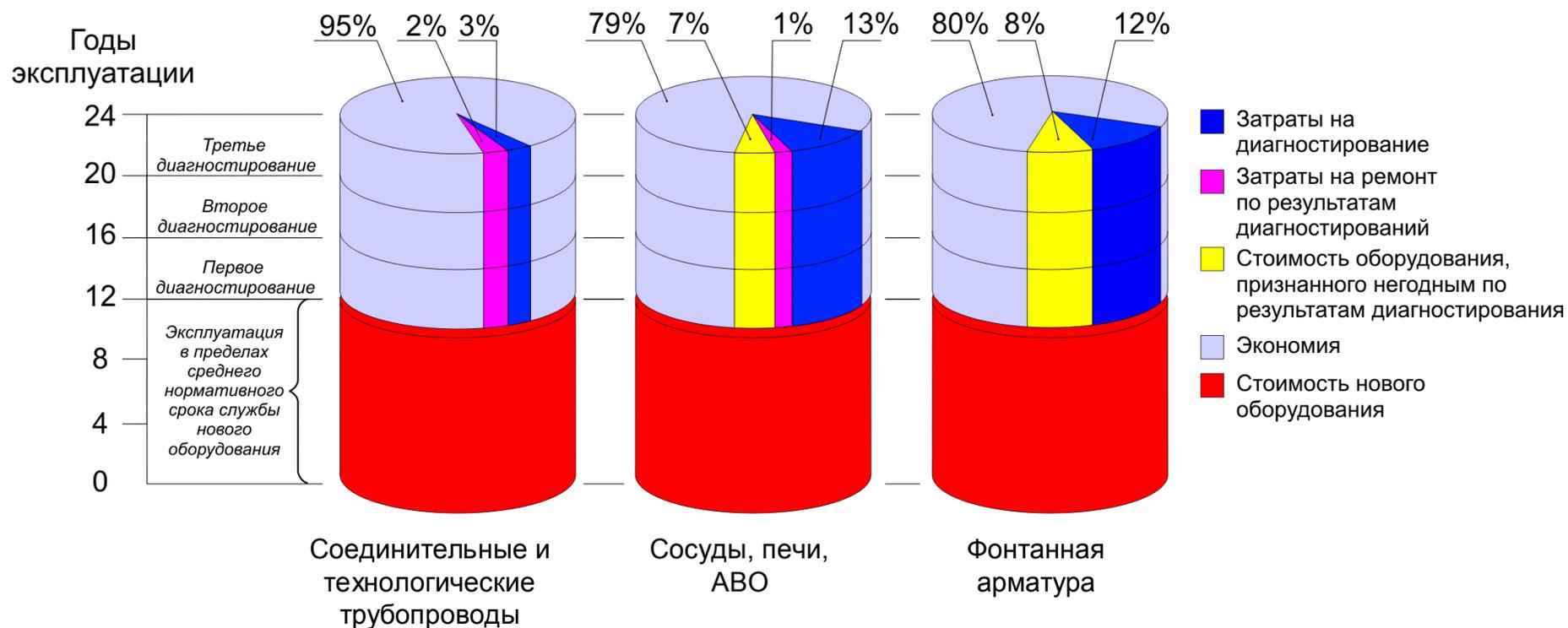


Рис. 31. Замкнутый цикл информационного потока данных при подконтрольной эксплуатации элементов оборудования по критериям риска и вероятности отказа

VIII. Для нормативного обеспечения системы разработаны и введены в действие НД по диагностированию и ремонту оборудования, учитывающие повреждающее воздействие сероводородсодержащих сред:

- 1. Положение об организации технического обслуживания, ремонта и замены арендованных и собственных основных средств ООО "Оренбурггазпром" по фактическому техническому состоянию (утв. ОАО "Газпром" 27.01.2003 г., согл. Госгортехнадзором России 15.11.2002 г.);**
- 2. Положение о диагностировании технологического оборудования и трубопроводов Астраханского газоперерабатывающего завода (утв. РАО «Газпром» 01.06.1996 г., согл. Госгортехнадзором России 30.05.1996 г.);**
- 3. Положение о диагностировании технологического оборудования и трубопроводов предприятия "Оренбурггазпром", подверженных воздействию сероводородсодержащих сред (утв. ОАО "Газпром" 30.05.1998 г., согл. Госгортехнадзором России 27.05.1998 г.);**
- 4. Положение о диагностировании технологического оборудования и трубопроводов газонефтедобывающих и перерабатывающих предприятий ОАО "Газпром" (утв. ОАО "Газпром" 16.12.2000 г., согл. Госгортехнадзором России 05.12.2000 г.);**
- 5. Положение об организации ремонта основных производственных средств газонефтедобывающих и перерабатывающих предприятий ОАО "Газпром" (утв. ОАО "Газпром" 16.12.2000 г., согл. Госгортехнадзором России 05.12.2000 г.);**
- 6. Методика диагностирования технического состояния фонтанных арматур скважин, подверженных воздействию сероводородсодержащих сред на объектах газодобывающих предприятий ОАО «Газпром» (утв. ОАО «Газпром» 23.12.2000 г., согл. Госгортехнадзором России 20.12.2000 г.);**
- 7. Стандарты предприятия, инструкции и положения, определяющие специальные требования по видам НК, обучению и аттестации специалистов НК, поверочным расчетам прочности и качеству работ.**

IX. Представленные на рисунке 32 результаты анализа показывают экономическую эффективность применения предложенной системы за счет продолжения эксплуатации оборудования ГХК, выработавшего проектный срок службы, без учета финансовых и других потерь от возможных отказов, аварий и ЧС.



Условия: - средний нормативный срок службы нового оборудования составляет 12 лет;
 - нормативный срок эксплуатации между обследованиями составляет 4 – 12 лет.

Результат: - к настоящему времени экономия средств за счет продления срока службы оборудования по результатам обследования составляет 80-95% стоимости нового оборудования.

Рис. 32. Анализ экономической эффективности обследования оборудования Оренбургского ГХК

Х. По результатам внедрения концепции и системы разработана представленная на рисунке 33 схема оптимизации методов, объемов и сроков обследования оборудования путем коррекции состояния и риска отказа поврежденных элементов. Расчеты и результаты внедрения показывают возможность перераспределения до 50% средств и сил эксплуатирующей организации с элементов оборудования с уровнем риска отказа Ra_1, Ra_2 на элементы с уровнем риска отказа Ra_5, Ra_4, Ra_3 .

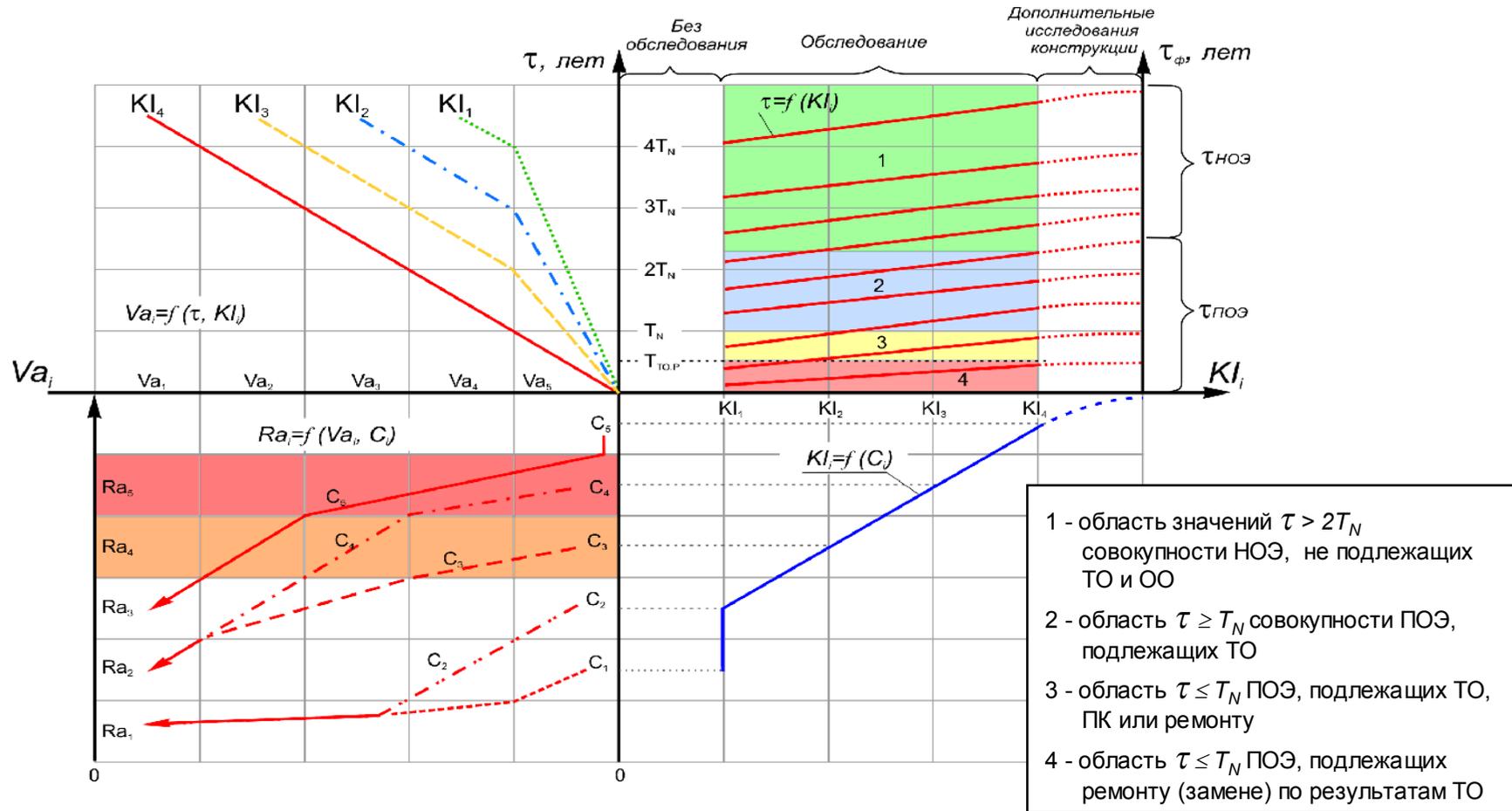


Рис. 33. Схема оптимизации методов, объемов, сроков обследования и коррекции состояния оборудования ГХК по критериям $[V]$ и T_N

XI. Создана и развивается научно-техническая база исследовательских, диагностических и экспертных работ (рисунки 34-38). Специалистами предприятия проводятся работы по следующим областям неразрушающего контроля:

- **ультразвуковой контроль (рисунок 34);**
- **визуальный и измерительный контроль (рисунок 35 а);**
- **капиллярная дефектоскопия (рисунок 35 б);**
- **магнитопорошковый контроль (рисунок 35 в);**
- **спектральный анализ химического состава металлов, определение марки стали (рисунок 35 г);**
- **вихретоковый контроль (рисунок 35 д);**
- **измерения твердости (рисунки 35 е, ж);**
- **контроль методом акустической эмиссии (рисунок 35 и);**
- **магнитоанізотропный контроль НДС (рисунок 35 к);**
- **тепловой контроль (рисунок 35 л);**
- **металлографические исследования (рисунок 36);**
- **вибродиагностика насосно-компрессорного оборудования (рисунок 37);**
- **диагностирование и ремонт подземных трубопроводов (рисунок 38).**



а)



б)



в)

Рис. 34. Приборное обеспечение ультразвукового контроля: а) ультразвуковой дефектоскоп USN-52; б) ультразвуковой дефектоскоп «Epoch-IIIB», в) ультразвуковая сканирующая система «Canon M500 / 600»



а)



б)



в)



г)



д)



е)



ж)



и)



к)



л)

Рис. 35. Приборное обеспечение методов неразрушающего контроля:
а) набор инструментов для визуального и измерительного контроля; б) комплект капиллярной дефектоскопии; в) магнитопорошковый дефектоскоп Y-6; г) комплекс для проведения спектрального анализа состава металла SPECTROPORT-F; д) вихретоковый дефектоскоп LOCATOR UH-B; е) безобразцовые твердомеры; ж) стационарный твердомер HBRV-187,5; и) акустико-эмиссионный комплекс A-Line 32D; к) прибор «Комплекс 2.05» для контроля НДС; л) инфракрасный преобразователь изображения «Thermo Tracer TH 5104»



а)



б)

Рис.36. Приборное обеспечение металлографических исследований:
а) переносной микроскоп ММПУ;
б) электронный растровый сканирующий микроскоп АВТ-32

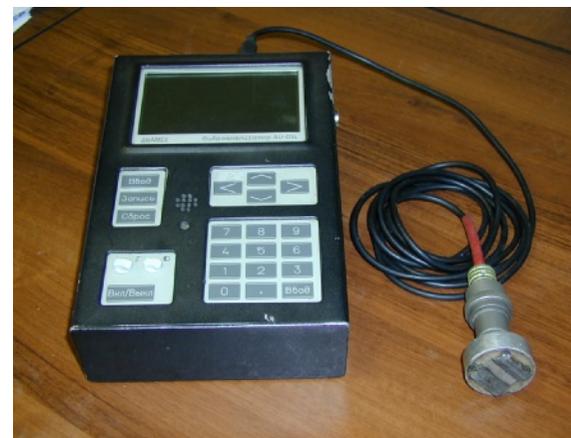
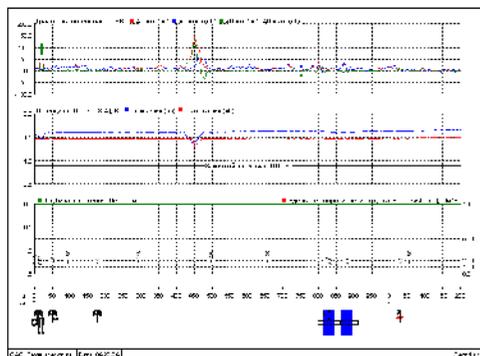


Рис.37. Приборное обеспечение вибродиагностики НКО:
вибронализатор АУ-014



а)



б)



в)



г)

Рис. 38. Диагностирование и ремонт подземных трубопроводов:
а) выполнение электрометрического диагностирования;
б) пример рабочей трассовки с нанесёнными результатами измерений;
в) земляные работы на действующем трубопроводе;
г) ремонт изоляции, нанесение полимерной ленты.

Расчетно-экспериментальный центр ОАО «Техдиагностика» обеспечен необходимыми расчетными программными комплексами, специалистами, аттестованными по нормам расчета на прочность и имеющими ученые степени, полученные за работы в области прочности конструкций.

Расчетно-экспериментальный центр проводит:

- **поверочные (нормативные) расчеты на прочность с учетом критериев всех возможных предельных состояний;**
- **расчеты остаточного ресурса;**
- **уточненные расчеты и исследования прочности и остаточного срока службы высоконагруженных и повреждённых несущих элементов;**
- **оптимизацию диагностических и профилактических работ.**

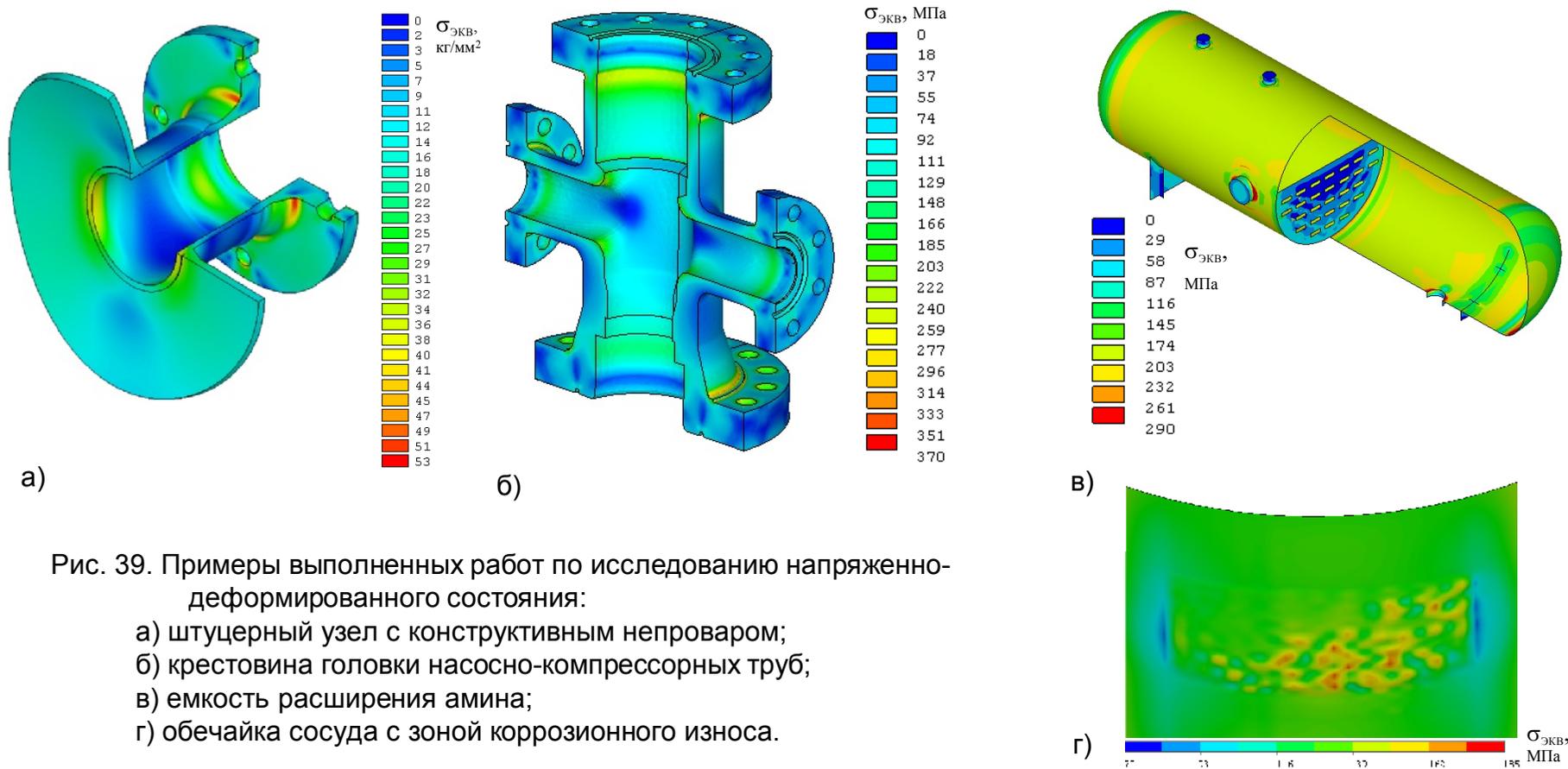


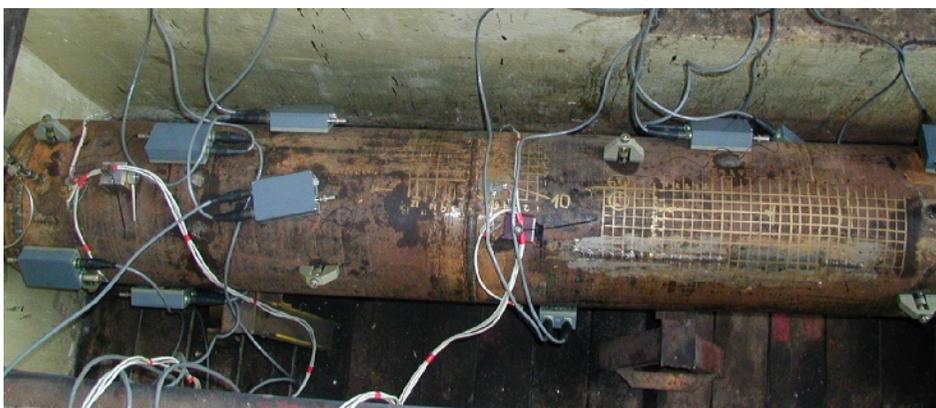
Рис. 39. Примеры выполненных работ по исследованию напряженно-деформированного состояния:

- а) штуцерный узел с конструктивным непроваром;
- б) крестовина головки насосно-компрессорных труб;
- в) емкость расширения амина;
- г) обечайка сосуда с зоной коррозионного износа.

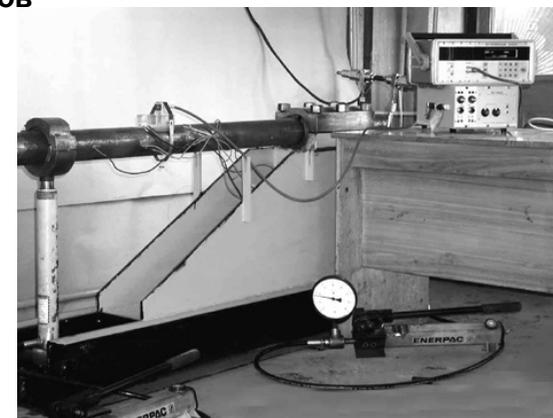
Разработаны и используются специальные стенды, в том числе модели сосудов, имеющие искусственно созданные дефекты, имитирующие непровары сварных швов, язвенную коррозию, утонения стенки и другие дефекты (рисунок 40)



а) экспериментальные сосуды, имеющие искусственно созданные дефекты в сварных швах варки патрубков



б) экспериментальный сосуд с искусственными дефектами



в) испытательный стенд исследования НДС

Рис. 40. Исследовательские стенды.

XII. Основные преимущества применения предлагаемой системы в сравнении с известными методами поддержания безопасного состояния технологического оборудования ОПО заключаются: в применении дифференцированных по уровням риска отказа элементов оборудования управляющих воздействий по коррекции их безопасности и мониторингу состояния; в простоте и достоверности методов установления уровней риска и вероятности отказа элементов оборудования; в системном понижении риска и вероятности отказа элементов оборудования за счет раннего обнаружения повреждений, своевременного планирования и исполнения профилактических мер по восстановлению надежности и долговечности эксплуатации поврежденных элементов оборудования; в повышении эффективности мер по поддержанию безопасного состояния оборудования путем распределения их соответственно уровням риска отказа поврежденных элементов оборудования.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны новая концепция, система методов, параметры, критерии, модели и схемы управления безопасностью и предупреждения отказов, аварий и ЧС при эксплуатации оборудования ГХК, учитывающие специфическое воздействие сероводородсодержащих сред, и, позволяющие обеспечить вероятность отказа его элементов в допустимой области значений на прогнозируемый период.

2. Обоснованы и разработаны условия и приспособления, позволившие повысить достоверность выявления и расширить контролепригодность элементов по специфическим для оборудования ГХК дефектам и параметрам технического состояния.

3. Созданы база нормативных документов, техническая база проведения исследований и работ по обследованию оборудования ГХК и база данных о состоянии оборудования.

4. Система методов управления безопасностью при эксплуатации оборудования апробирована на Оренбургском и Астраханском ГХК. Прогнозируемые по результатам обследований сроки и уровни безопасности эксплуатации оборудования подтверждаются на практике.

Как независимая экспертная организация ОАО «Техдиагностика» предлагает свои услуги по обследованию оборудования газовой, нефтяной, нефтехимической и других отраслей промышленности в любое время, в любом месте, в любых объемах и за умеренную цену.

Цель ОАО «Техдиагностика» - снижение риска аварий и выхода оборудования из строя. Сотрудничество с нашим предприятием – гарантия высокого качества работ при минимальных затратах.

Наш адрес:

460047, Россия, г.Оренбург, ул.Юных Ленинцев, 22

тел. +7 (3532) 63-84-07, факс. +7 (3532) 62-94-41

E-mail: contact@tdiag.ru

Подробнее о нашем предприятии в Интернете: www.tdiag.ru