

На правах рукописи

МУНИРОВА ЛИЛИЯ НАИЛЬЕВНА

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК ПРИ СВЕРХНОРМАТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Специальность 05.26.03 – “Пожарная и промышленная безопасность”
(Нефтегазовая отрасль)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа - 2005

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Технологические установки и объекты нефтепереработки относятся к сложным технологическим системам, где ведется переработка углеводородного сырья в товарные продукты или полуфабрикаты, предназначенные для дальнейшей переработки. К элементам этой системы относятся не только оборудование, но и строительные сооружения (эстакады, постаменты-этажерки, фундаменты под оборудование и др.). Предъявляя к ним определенные требования с позиций технологии производства, как правило, не учитываются условия длительной эксплуатации конструкций, часто при агрессивном воздействии среды. Исследования показывают, что износ строительных конструкций в производствах с химически агрессивными реагентами протекает быстрее, чем предусмотрено нормами. При этом кроме прямого ущерба, необходимо учитывать потери вследствие нарушения функционирования объекта.

В соответствии с Федеральным законом № 116 - ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», сооружения опасных производственных объектов должны отвечать требованиям безопасной эксплуатации. Срок службы большинства сооружений нефтеперерабатывающего комплекса РБ составляет более 40 лет. Многие из них находятся в аварийном или предаварийном состоянии, что ставит под угрозу безопасную работу технологической системы в целом. Известны примеры, когда в аварийной ситуации отказы нескольких или даже одного элемента сооружения, приводили к цепному развитию аварии (так называемый эффект «домино»). В связи с опасностью развития подобных ситуаций необходимо заменить неисправные конструкции и сооружения, что невозможно, так как это ведет к остановке всего технологического процесса. Решение проблемы состоит в продлении срока эксплуатации существующих сооружений. Для этого, согласно РД 03-484-02 «Положение о порядке продления срока безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений на опасных производственных объектах», требуется провести оценку их фактической надежности и определить условия их дальнейшей безопасной эксплуатации.

Цель работы. Оценка надежности железобетонных конструкций технологических установок при сверхнормативной эксплуатации в слабоагрессивной среде и определение условий для продления срока службы.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) анализ методик и нормативных документов по обследованию сооружений;
- 2) анализ повреждений сооружений, характерных для нефтеперерабатывающих предприятий и причин их возникновения;
- 3) оценка влияния повреждений на фактическую надежность конструкций, на примере железобетонной этажерки под оборудование одного из нефтеперерабатывающего заводов г.Уфы;
- 4) определение остаточного ресурса конструкций;
- 5) разработка мероприятий по продлению срока безопасной эксплуатации конструкций этажерки.

Научная новизна работы характеризуется следующими результатами:

- 1) определены количественные показатели степени снижения несущей способности конструкций, эксплуатируемых в слабоагрессивных средах, по категориям технического состояния;
- 2) предложены коэффициенты условия работы (η), учитывающие сверхнормативную эксплуатацию в слабоагрессивной среде, которые позволяют создать необходимый резерв долговечности при проектировании, а также определять остаточный запас прочности при эксплуатации. Для сжатых элементов $\eta = 1,07$, для изгибаемых $\eta = 1,11$.

Практическое значение работы заключается в следующем:

- разработана методика оценки технического состояния сооружений, позволяющая оперативно оценить их поврежденность;
- получены данные о фактической надежности железобетонных конструкций технологических установок при сверхнормативной эксплуатации;

- разработаны мероприятия, позволяющие продлить срок безопасной эксплуатации конструкций этажерки установки сернокислотного алкилирования 25 - 4/2 ОАО «НОВОЙЛ» при сверхнормативной эксплуатации

Апробация работы. Основные положения работы докладывались:

- на VI научно-технической конференции «Проблемы строительного комплекса России», г.Уфа, 2002г.;

- VII научно-технической конференции «Проблемы строительного комплекса России», г.Уфа, 2003г.;

- научно-практической конференции «Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности объектов трубопроводного транспорта углеводородного сырья», г.Уфа, 2004г.;

- II Межотраслевой научно-технической конференции «Проблемы совершенствования дополнительного профессионального и социогуманитарного образования специалистов ТЭК», г.Уфа, 2005.

Публикации. По материалам исследований опубликованы тезисы 12 докладов.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, содержит 120 страниц машинописного текста, в том числе 19 рисунков, 19 таблиц, 13 фотографий, список использованных источников из 130 наименований, 4 приложения.

Основное содержание работы

Во введении обоснованы актуальность рассматриваемой темы и научное значение, изложены цели и задачи исследования.

Первая глава посвящена проблеме надежности промышленных сооружений. Обзор публикаций показал, что в настоящее время сложились две тенденции развития теории надежности. В одной из них основное внимание уделяется обеспечению проектной надежности, основанной на коэффициентах запаса. Второе направление теории надежности рассматривает проблему долговечности, как замедление скорости ухудшения свойств конструкций (процессов коррозии, гниения, накопления повреждений и т.п.). Таким образом, исследо-

вание эксплуатационной надежности сооружений заключается в решении следующих задач:

1) выявление конструктивных элементов, не отвечающих требованиям нормальной эксплуатации и снижающих общий уровень надежности сооружения, путем сбора информации об отказах конструкций и вызвавших их причин;

2) определение действительной надежности и остаточных коэффициентов запаса при длительной эксплуатации сооружений в конкретных условиях. Для этого необходимы сведения о фактических характеристиках материалов конструкций;

3) корректирование нормативов периодичности обследований и ремонтов на основании данных о закономерностях темпов износа в зависимости от условий и времени эксплуатации.

Анализ аварий на основе статистической информации показал, что наиболее ответственными в аварийных ситуациях являются несущие конструкции перекрытия. Разрушения стальных сооружениях чаще происходят из-за потери устойчивости элементов. Причиной обрушения железобетонных конструкций являются коррозионные повреждения бетона и арматуры.

Также в этой главе проводится исследование современного состояния сооружений предприятий нефтепереработки. Специфика нефтеперерабатывающего производства (токсичность, взрывоопасность и т.д.) обуславливает вынос технологического оборудования на открытые площадки. Анализ конструктивных решений сооружений показал, что для размещения оборудования наиболее распространены каркасные схемы. Отличительной особенностью эксплуатационной среды таких сооружений является повышенная агрессивность в сочетании с неблагоприятным температурно-влажностным режимом. Результатом воздействия агрессивных жидких и газовых сред является ускоренное развитие коррозии материалов, как оборудования, так и строительных конструкций. Влияние агрессивных факторов среды усиливается прямыми атмосферными воздействиями. Однако наиболее значительные повреждения произошли в результате пожаров и взрывов.

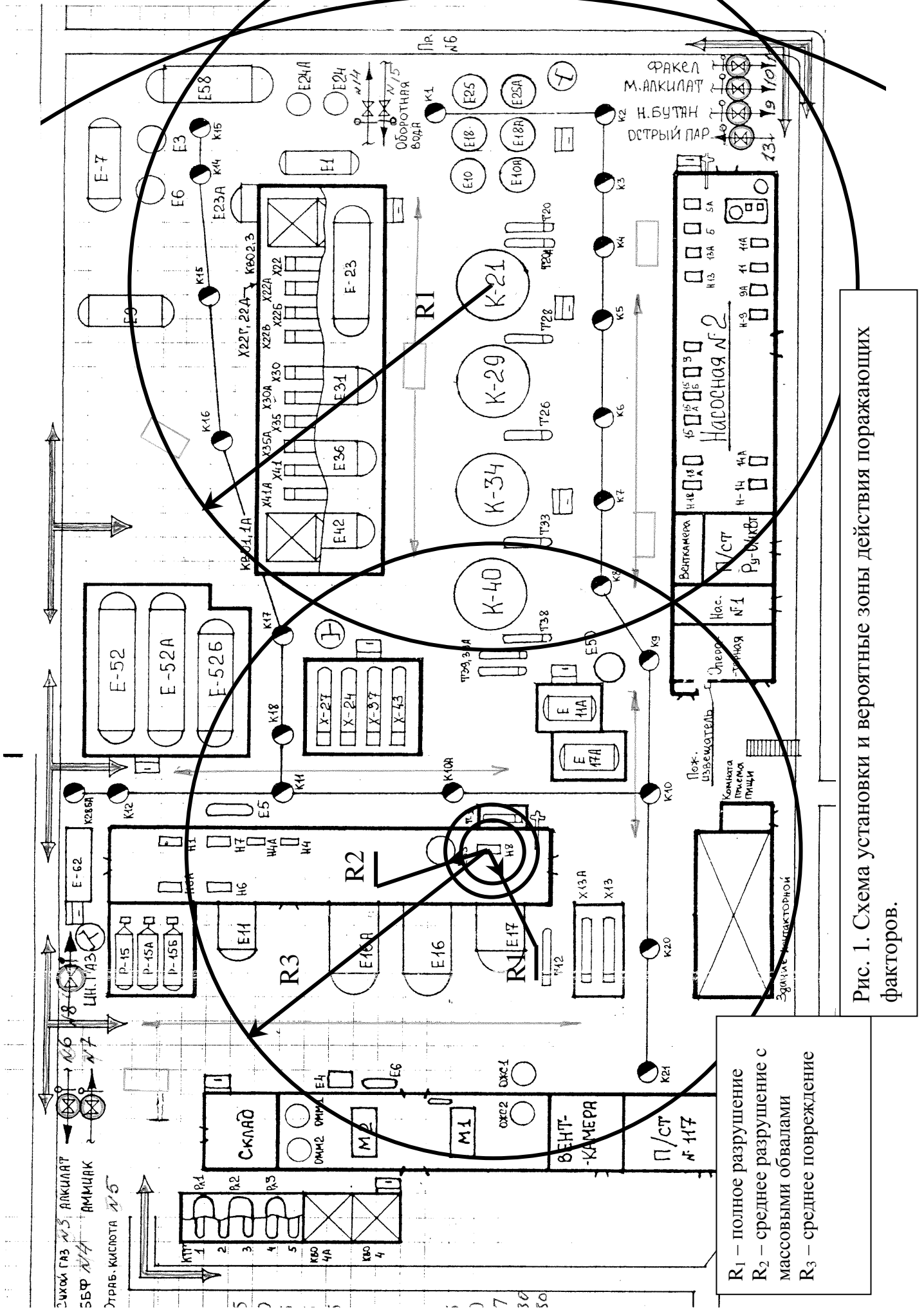
Проведенный анализ позволил условно разделить факторы, снижающие эксплуатационную надежность сооружений, на следующие виды:

- прямые атмосферные воздействия (многократные попеременные "увлажнение-высушивание", "замораживание-оттаивание" и др.);
- эксплуатация в агрессивных газовых и жидких средах;
- повреждения, полученные в результате замены технологического оборудования;
- повреждения, полученные в результате аварийных ситуаций.

Вторая глава посвящена объекту и методике исследования. Объектом исследования выбрана этажерка для оборудования, которая находится на установке сернокислотного алкилирования 25-4/2 ОАО «НОВОЙЛ». Этажерка построена в 1959 г. и представляет собой двухэтажное каркасное сооружение, выполненное из монолитного железобетона. Она состоит из колонн, главных и вспомогательных балок и плит перекрытия. Габаритные размеры сооружения в плане составляют 32,0 x 9,0 м. Перекрытие первого этажа располагается на отм. +4.000м, второго – на отм. +10.000 м. Проектная прочность бетона конструкций $R_b = 110 \text{ кг/см}^2$, что соответствует бетону класса В20. Арматура выполнена из стали Ст-3.

На данной этажерке располагается емкостное и холодильное оборудование блока ректификации. Опасными веществами установки являются воспламеняющиеся газы – изобутан, бутилен, пропан, смесь углеводородных газов, а также горючие жидкости – алкилат. Анализ количеств данных веществ позволяет отнести установку к опасным производственным объектам.

Согласно декларации безопасности установки, при развитии наиболее опасной ситуации (полная разгерметизация колонны К-21) этажерка оказывается в зоне полных разрушений. В наиболее вероятной аварийной ситуации (полная разгерметизация напорного трубопровода насоса Н-8) этажерка находится в радиусе слабых разрушений (рис. 1). Следовательно, существует опасность обрушения конструкций, ослабленных длительным износом, от воздействия ударных нагрузок. Это может вызвать дополнительные разрушения оборудова-



R₁ – полное разрушение
 R₂ – среднее разрушение с
 массовыми обвалами
 R₃ – среднее повреждение

Рис. 1. Схема установки и вероятные зоны действия поражающих факторов.

ния. Дальнейшим продолжением аварии могут быть неконтролируемые химические реакции и физические взрывы, которые могут произойти при разрушении сосудов, находящихся под давлением.

Также в этой главе проведен анализ нормативных документов и методик, используемых при оценке технического состояния сооружений и их остаточного ресурса. Соответствующие нормативные документы Ростехнадзора, в частности РД-22-01-97, устанавливая требования к проведению оценки безопасности эксплуатации производственных зданий и сооружений, не содержат методики обследования. Применение существующие методик затруднительно из-за различий в терминологии технических состояний.

Предложена методика, в которой критерии повреждений конструкций и категории их технического состояния приведены в соответствие с классификацией, установленной в нормативных документах. При этом главным фактором, определяющим состояние конструкции при предварительном осмотре, являются повреждения, влияние которых оценивается по 5-бальной шкале (табл.1). Для оценки состояния достаточно хотя бы одного признака, приведенного в характеристиках.

Общая поврежденность сооружения определяется по известной формуле:

$$\varepsilon = \frac{\alpha_1 \varepsilon_1 + \alpha_2 \varepsilon_2 + \dots + \alpha_i \varepsilon_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_i$ – максимальная поврежденность отдельных видов конструкций; $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i$ – коэффициенты значимости соответствующих конструкций, принимаются для плит перекрытий и покрытий $\alpha = 2$, для балок $\alpha = 4$, для ферм $\alpha = 7$, для колонн $\alpha = 8$, для несущих стен и фундаментов $\alpha = 3$, для прочих конструкций $\alpha = 2$.

В зависимости от общей поврежденности сооружения дается оценка технического состояния сооружения в целом.

С целью установления фактических прочностных свойств материалов конструкций проводятся инструментальные обследования. Степень коррозии бетона определялась по изменению величины водородного показателя рН, пу-

тем нанесения на скол бетона 0,1% -го раствора фенолфталеина в этиловом спирте. Определение предела прочности бетона конструкций на сжатие проводилось неразрушающим ударно-импульсным методом с помощью прибора «ОНИКС –2.4». Толщина защитного слоя определялась электромагнитным методом с помощью прибора «Поиск–2.3».

Таблица 1 - Критерии оценки технического состояния железобетонных конструкций по внешним признакам

Категории технического состояния конструкций		Признаки, характеризующие состояния конструкций	Поврежденность ε	Категория повреждения
1	Работоспособное	Коррозионные повреждения отсутствуют Ориентировочная прочность бетона не ниже проектной.	0	А
2		Незначительные нарушения защитного слоя. Ориентировочная прочность бетона ниже проектной не более 10%.	0,05	
3	Ограниченно-работоспособное	Незначительное обнажение арматуры, начало в ней коррозионных процессов. Снижение ориентировочной прочности бетона до 20%.	0,15	Б
4		Многочисленные нарушения защитного слоя. Значительное обнажение арматуры. Снижение ориентировочной прочности бетона до 30%. Сверхнормативные трещины и прогибы.	0,25	
5	Неработоспособное (аварийное)	Массовое отслоение защитного слоя бетона, оголение, местами разрывы арматуры. Слоистая ржавчина или язвы, вызывающие уменьшение площади сечения арматуры более 15%. Снижение прочности бетона более 30%.	0,35	В

В третьей главе приведены результаты исследований. В целях обследования газовой среды установки был произведен отбор проб воздуха. Полученные концентрации газов в сочетании с «нормальным» режимом влажности позволили отнести эксплуатационную среду к слабоагрессивной. Повреждения конструкций, выявленные в ходе визуального осмотра, носят эксплуатационный характер. Наиболее поврежденными оказались конструкции перекрытия. На поверхности плит обнаруживаются пятна ржавчины вследствие коррозии арматуры, трещины, разрушение бетона защитного слоя, оголение и интенсивная коррозия арматуры (фото 1, 2). Часть плит была подвергнута вымораживанию, о чем свидетельствует потемнение поверхности бетона. Кроме

этого, в ряде случаев имеет место пропитывание плит нефтепродуктами. Подобные повреждения обнаружены и у балок перекрытий. В отличие от плит, разрушение бетона и обнажение арматуры в балках происходит в ребрах.



Фото 1. Разрушения конструкций перекрытий



Фото 2. Разрушения конструкций перекрытий и колонн

Колонны подверглись коррозии в меньшей степени (фото 2, 3). Здесь повсеместно прослеживается шелушение граней вследствие коррозии бетона, разрушение бетона стыков колонн между собой, в ряде случаев с обнажением рабочей арматуры. В некоторых колоннах имеются значительные по длине верти-

кальные трещины, вызванные нарушением сцепления арматуры с бетоном вследствие ее коррозии.

Визуальный осмотр показал, что техническое состояние конструкций зависит от вида и места их расположения. Так, под перекрытием влажность и концентрация агрессивных веществ выше, чем на нижних отметках этажей. При этом конструкции перекрытия работают на изгиб, что сопровождается возможностью образования и раскрытия трещин в бетоне, способствующих проникновению влаги и агрессивных реагентов, вызывающих коррозию арматуры. Кроме того, плиты перекрытия, являясь тонкостенными конструкциями, имеют наименьшую толщину защитного слоя.



Фото 3. Разрушение стыков колонн

По результатам визуального осмотра (табл. 2) было определено среднее значение поврежденности каждой группы элементов по известной формуле:

$$\frac{\sum \varepsilon_i \cdot i}{\sum i} \quad (2)$$

Общая поврежденность сооружения, определенная по формуле (1), составила $\varepsilon = 0,28$. Таким образом, техническое состояние обследуемой этажерки можно характеризовать как «ограниченно работоспособное», т.е. имеются повреждения, снижающие несущую способность конструкций, но отсутствует опасность

внезапного разрушения. Однако при дальнейшем их развитии или в случае аварийной ситуации они могут стать причиной разрушения.

Таблица 2 - Результаты оценки технического состояния конструкций этажерки по внешним признакам

Конструкции	Категория технического состояния	Оценка по визуальным критериям	Количество, %	Средняя поврежденность
Плиты перекрытия (90 шт.)	работоспособное	2	23	0,15
	ограниченно-работоспособное	3	56	
		4	20	
неработоспособное	5	1		
Ригели (36 шт.)	работоспособное	2	30	0,13
	ограниченно-работоспособное	3	50	
Балки (112 шт.)	работоспособное	2	3	0,14
		35		
	ограниченно-работоспособное	3	39	
неработоспособное	4	17		
	5	6		
Колонны (54 шт.)	работоспособное	2	35	0,13
	ограниченно-работоспособное	3	50	
		4	15	

В целях установления фактических прочностных свойств материалов конструкций были проведены инструментальные исследования состояния бетона и арматуры. Фактический класс бетона определялся статистическим методом по формуле

$$B = \check{R}_B (1 - t_\alpha \cdot v), \quad (3)$$

где \check{R}_B – средняя прочность бетона на сжатие по данным инструментального контроля, МПа;

v – коэффициент вариации;

t_α – коэффициент Стьюдента;

B – класс бетона.

Результаты исследований (табл. 3) позволяют сделать следующие выводы:

- прочность бетона конструкций этажерки снижена по сравнению с проектной. Бетон 80% колонн и балок соответствует классу В15, остальных - В12,5. У плит перекрытий снижение прочности произошло в большей степени. Так, классу В15 соответствует бетон примерно 20% плит, прочность более половины плит (56%) отвечает классу В12,5. Оставшиеся плиты имеют еще более низкую прочность – В10.

Глубина карбонизации бетона защитного слоя в конструкциях «работоспособного» состояния не превышает половины толщины защитного слоя. В конструкциях «ограниченно-работоспособного» состояния этот показатель составляет половину (для колонн) или близок к толщине защитного слоя.

Таблица 3 - Результаты определения фактических характеристик бетона

Оценка состояния конструкций	Средняя прочность бетона на сжатие \check{R}_b , МПа	Коэффициент вариации v , %	Класс бетона на сжатие В	Толщина защитного слоя, мм		Глубина карбонизации, мм	
				проект.	факт.		
Колонны 2	23,4	14	В15	25	20-23	7-13	
	3	19,5	11				В15
	4	13,3	3,6				В12,5
Главные балки 1	21,2	9	В15	35	26-30	7-16	
	2	21,7	14,5				В15
	3	20,3	14,1				В15
	4	17,9	16				В12,5
	5	17,5	14				В12,5
Второстепенные балки 2	21,2	12	В15	25	21-25	9-18	
	3	19,4	13				В15
	4	16,4	12,2				В12,5
Плиты перекрыт. 2	19,5	8	В15	10	8-13	6-9	
	3	18,8	15				В12,5
	4	14,6	13				В10
	5	13,3	12				В10

Определение толщины защитного слоя показало отклонения от проектных значений на 20-30%. Этим объясняются многочисленные нарушения защитного слоя даже в тех конструкциях, где прочность бетона снижена незначи-

тельно. Кроме того, проектная толщина защитного слоя бетона вспомогательных балок и плит не соответствует требованиям предела огнестойкости конструкций. Выявленные отклонения и разрушения еще больше снижают предел огнестойкости этих конструкций.

Проверка фактического армирования прибором «ПОИСК –2.3» показала полное соответствие фактического армирования проектным данным. Для приведения проектной марки стали Ст-3 в соответствие с классом по ныне действующему СНиП 2.03.01-84*, было проведено контрольное вскрытие бетона на всех типах конструкций. В результате установлено, что по профилю арматура соответствует классу А- II.

По результатам инструментальных исследований была выполнена оценка несущей способности с помощью проектно-вычислительного комплекса SCAD. Для сравнения были смоделированы две расчетные схемы с одинаковым количеством конечных элементов, но с различными жесткостными характеристиками: проектными и фактическими. Анализ и сравнение результатов статического расчета показывает, что внутренние усилия и напряжения по фактическим значениям превышают проектные. Вследствие этого, значительно увеличилась требуемая площадь сечения арматуры. Результаты подбора арматуры показывают, что сечение на некоторых участках плит и балок недостаточно для размещения рабочей арматуры. Таким образом, для приведения этажерки в исправное состояние необходимо усиление элементов с недостаточным армированием.

Четвертая глава посвящена оценке критериев технического состояния - коррозионного износа и снижения несущей способности. В настоящее время существуют математические модели, основанные на том, что критерием долговечности является срок до начала коррозии арматуры, т.е. время, необходимое для коррозионного повреждения защитного слоя бетона на всю его глубину T_k . При всем многообразии моделей срок T_k обобщено можно представить известным уравнением:

$$T_k = \frac{L^2}{K}, \quad (4)$$

где L – глубина коррозии (толщина покрытия или защитного слоя бетона);

K – константа скорости коррозии.

Применение на практике таких моделей требует экспериментального определения K , поэтому при прогнозировании долговечности, применяют выражение (4), исключая при этом значение K . Тогда прогнозируемый срок $t_{\text{расч}}$ (год), в течение которого бетон сохранит защитные свойства по отношению к арматуре, может быть рассчитан по формуле:

$$t_{\text{расч}} = \frac{a^2 \cdot t_{\text{обсл}}}{L_{\text{обсл}}^2}, \quad (5)$$

где a – толщина защитного слоя;

$L_{\text{обсл}}$ – глубина карбонизации на момент исследования;

$t_{\text{расч}}$ – расчетное время эксплуатации.

Результаты расчета по формуле (5) показали, что конструкции соответствующие «работоспособной» категории технического состояния, имеют большой резерв долговечности без применения средств вторичной защиты, т.к. выполняется условие $L_0 < a$ (табл. 4). Долговечность остальных конструкций различна. Так, колонны и главные балки имеют достаточный резерв благодаря большей толщине защитного слоя бетона и сравнительно малой глубине нейтрализации. Расчет для вспомогательных балок показал, что резерв защитной способности бетона практически израсходован и недостаточен для межремонтного срока. Защитные способности бетона плит этой же категории по отношению к арматуре исчерпали себя 9 лет назад, в результате чего произошло отслоение нейтрализованного защитного слоя с обнажением и интенсивной коррозией арматуры. Для продления срока службы этих конструкций необходимо выполнить восстановление защитного слоя с предварительной очисткой их поверхности от загрязнений и продуктов коррозии.

СНиП 2.03.11–85 не предусматривает вторичную защиту конструкций от коррозии в слабоагрессивной среде, т.е. долговечность должна обеспечиваться

за счет собственной стойкости. Тем не менее, бóльшая часть конструкций показала недостаточную стойкость в данных условиях эксплуатации. В связи с этим для стабилизации во времени коррозионных процессов одним из решающих условий, помимо восстановления защитного слоя, является защитное покрытие всех конструкций.

Таблица 4 - Результаты оценки долговечности конструкций этажерки

Тип конструкции	Толщина защитного слоя бетона для рабочей арматуры а, мм		Глубина карбонизации бетона L_0 , мм	Резерв по сроку службы конструкций, год
	по проекту	фактическая (min...max)		
Колонны	25	20...23	7...13	(+62)...(>100)
Главные балки	35	26...30	7...16	(+75)...(>100)
Вспомогательные балки	25	21...25	9...18	(+16)...(>100)
Плиты	10	8...13	6...9	(-9)...(>100)

Сравнение двух видов антикоррозионной защиты: лакокрасочных и торкретных, выявило ряд преимуществ последних по целому ряду показателей, в том числе главному – сроку службы защитного действия покрытия. Долговечность лакокрасочных покрытий недостаточна для обеспечения межремонтного срока, равного 20 годам. Возможность увеличения предела огнестойкости нанесением торкретного покрытия также выступает в пользу последнего.

Другим критерием оценки технического состояния конструкций является снижение их несущей способности, обусловленное уменьшением расчетных характеристик вследствие воздействия агрессивной среды. Известно, что надежность является функцией коэффициентов запаса. При этом фактическая надежность зависит от того, насколько реализованы случайные факторы, учитываемые этими коэффициентами. При длительной эксплуатации резерв надежности, обеспечиваемый коэффициентом запаса прочности, может быть полностью поглощен, что приведет конструкцию в предельное состояние. В связи с этим представляет интерес оценка фактического уровня надежности, т.е. остаточного коэффициента запаса прочности.

Если за условие надежности принимается условие прочности, обобщенно представленное известным уравнением, то критерием надежности является несущая способность.

$$\sigma_p = \sigma \cdot \eta, \quad \sigma_p^t = \sigma \cdot \eta^t, \quad (6)$$

где σ_p, σ_p^t – разрушающие напряжения, характеризующие несущую способность конструкций в начале эксплуатации и через время t ;

σ – напряжение от внешней нагрузки,

η, η^t – коэффициенты запаса прочности конструкции на начало эксплуатации и через время t .

Предполагая, что нагрузка за время эксплуатации остается постоянной, из (7) следует

$$\sigma = \frac{\sigma_p}{\eta} = \frac{\sigma_p^t}{\eta^t}. \quad (7)$$

Поскольку уменьшение расчетных характеристик обусловлено воздействием эксплуатационной среды, то снижение несущей способности конструкций отражает степень влияния среды:

$$\Theta = \frac{\sigma_p}{\sigma_p^t}, \quad (8)$$

При известном начальном коэффициенте запаса прочности из (7) можно определить остаточный:

$$\theta = \frac{\sigma_p}{\sigma_p^t} = \frac{\eta}{\eta^t} \quad (9)$$

По результатам статического расчета (см.гл.4), по проектным и фактическим характеристикам, определены степень влияния среды и коэффициент запаса прочности конструкций этажерки. За напряжения, характеризующие несущую способность колонн, приняты продольные усилия N , балок и плит перекрытий – изгибающий момент M . По результатам расчетов (табл. 5) построены графики.

Из рис. 2 видно, что влияние агрессивной среды в большей степени отразилось на плитах перекрытия и балках. При этом снижение несущей способно-

сти у плит происходит интенсивней, чем у балок. Несмотря на то, что фактическая несущая способность конструкций оказалась ниже расчетной ($\Theta > 1$), часть конструкций сохраняют работоспособное состояние, обладая резервом несущей способности в среднем 8 % для колонн и 18 % для конструкций перекрытия. Для конструкций достигших предельного состояния, потеря прочности составляет в среднем 17% для колонн и 35% для конструкций перекрытия. Из этого следует, что сохранение работоспособного состояния всех конструкций было бы возможно при изначальном повышении несущей способности на 9% и 17% соответственно.

Таблица 5 - Степень влияния среды на конструкции этажерки и остаточные коэффициенты запаса прочности

Оценка технического состояния конструкций	Колонны		Балки		Плиты перекрытия	
	η_1	$\Theta = N/N_1$	η_1	$\Theta = M_p/M_{p1}$	η_1	$\Theta = M_{xy}/M_{xy1}$
0	-	-	-	-	0,89	1,13
1	0,93	1,08	0,85	1,18	0,85	1,18
2	0,9	1,11	0,81	1,23	0,79	1,26
3	0,86	1,17	0,78	1,29	0,74	1,35
4	0,72	1,25	-	-	0,67	1,49

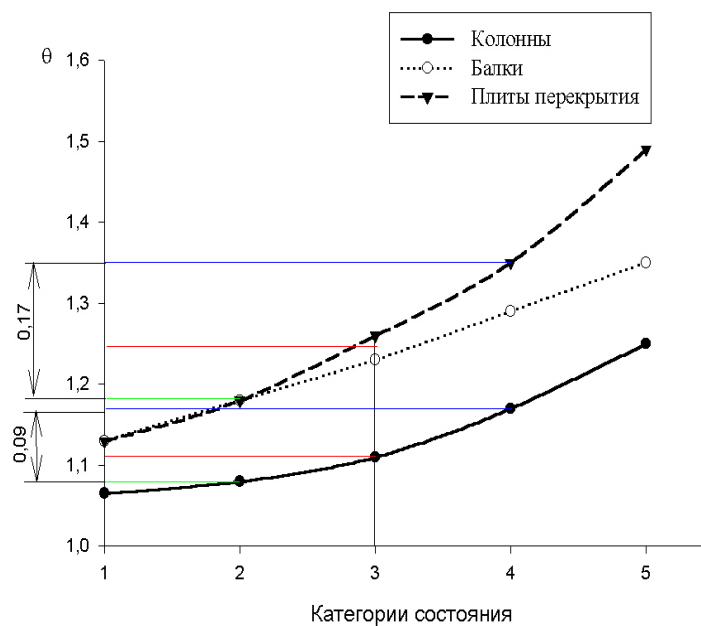


Рис. 2. Зависимость технического состояния от степени влияния среды.

Из рис. 3 видно, что коэффициент надежности η_1 при одинаковом техническом состоянии наиболее израсходован также у плит перекрытий. При этом имеется некоторый резерв, обеспечивающий работоспособное состояние при дальнейшем его снижении в среднем до 10 % для колонн и 20 % для плит и балок.

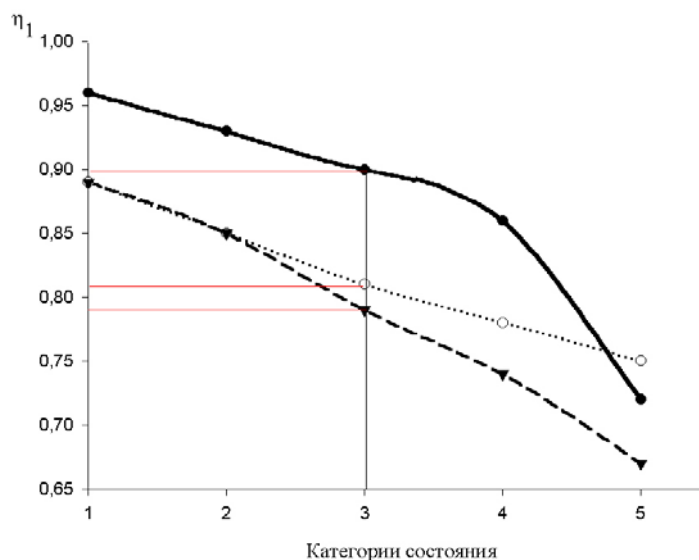


Рис. 3. Зависимость технического состояния от коэффициента запаса

Зависимость коэффициента надежности от степени влияния среды (рис. 4) показывает, что понижение его до 15% одинаково отражается на несущей способности конструкций независимо от их типа. При его дальнейшем снижении несущая способность у балок и плит перекрытия исчерпывается интенсивней, чем у колонн. Достижение необходимого запаса несущей способности в 9% для колонн и 17% для конструкций перекрытия обеспечивается увеличением коэффициента надежности на 7% и 11% соответственно.

Рассмотренный выше коэффициент надежности затронул две стороны безопасности: одна из них связана с условиями работы, другая с длительностью эксплуатации. Отсутствие данных по износу конструкций за предыдущий период не позволяет трактовать его как коэффициент, учитывающий фактор времени. В связи с этим, данный коэффициент по своему значению более всего соответствует коэффициенту условий работы.

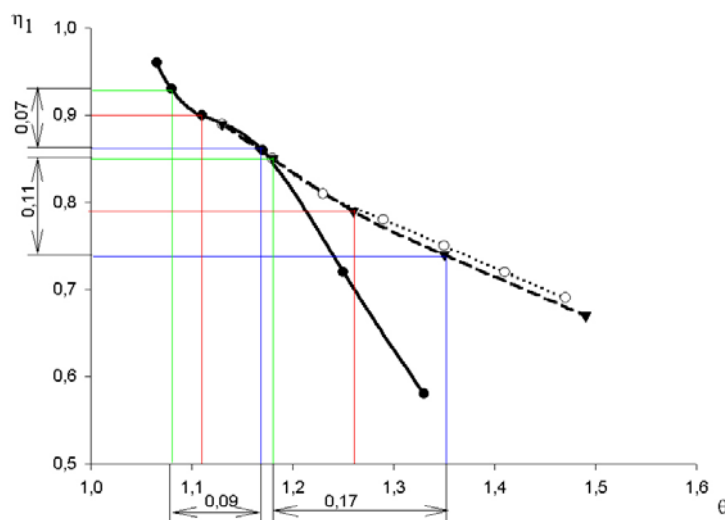


Рис. 4. Зависимость коэффициента запаса от степени влияния среды.

Проведенный анализ также показал, что резерв надежности конструкций зависит не только от степени агрессивности среды, а также от их типа и расположения, что не учитывается в действующих нормах.

Общие выводы

1. Проведена оценка фактической надежности железобетонной этажерки под оборудование при сверхнормативной эксплуатации в слабоагрессивной среде.

2. Показано, что одним из факторов, обеспечивающих безопасную эксплуатацию оборудования, является надежность сооружений технологических установок. Неработоспособное состояние конструкций таких сооружений может послужить причиной вторичной аварии.

Выявлены повреждения, характерные для сооружений НПЗ, а также установлены факторы, снижающие их эксплуатационную надежность.

3. Разработанная методика апробирована при проведении экспертизы безопасной эксплуатации ряда сооружений ОАО «НОВОЙЛ».

4. Обследование этажерки под оборудование на установке сернокислотного алкилирования 25-4/2 ОАО «НОВОЙЛ» позволило установить, что ее техническое состояние можно характеризовать как «ограничено работоспособное».

Определены конструктивные элементы, снижающие общий уровень надежности. Установлено, что отклонения по толщине защитного слоя бетона снижают предел огнестойкости конструкций.

5. Определена фактическая долговечность конструкций этажерки по признаку сохранности арматуры. Установлено, что для продления срока службы более 50 % конструкций требуется восстановление защитного слоя бетона. Однако, с учетом недостаточной стойкости бетона в данных условиях, оптимальным является устройство защитных покрытий для всех конструкций.

6. Анализ влияния эксплуатационной среды показал, что элементы сооружений имеют различные характеристики надежности. В связи с этим, предложено дифференцировать коэффициент условий работы в зависимости от типа конструкций и срока эксплуатации.

7. Определены количественные показатели степени снижения несущей способности конструкций, эксплуатируемых в слабоагрессивных средах, по категориям технического состояния. Сохранение работоспособного состояния при сверхнормативной эксплуатации возможно при изначальном повышении несущей способности на 9% для колонн и 17% для конструкций перекрытия. Достижение необходимого запаса несущей способности обеспечивается увеличением коэффициента надежности на 7% и 11% соответственно.

8. Результаты проведенных исследований внедрены при разработке проекта и проведении капитального ремонта конструкций этажерки на установке серноокислотного алкилирования 25-4/2 ОАО «НОВОЙЛ».

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Капитонов С.М., Мунирова Л.Н., Кведер Е.В. Повреждения и дефекты несущих и ограждающих конструкций предприятий нефтехимического комплекса в процессе их длительной эксплуатации // Проблемы строительного комплекса России: Материалы VI Международной научно-технической конференции. – Уфа: УГНТУ, 2002.

2. Кведер Е.В., Мунирова Л.Н., Капитонов С.М. О специфике проведения технико-инструментальных обследований строительных конструкций зданий и сооружений нефтехимического комплекса // Проблемы строительного комплекса России: Материалы VI Международной научно-технической конференции. – Уфа: УГНТУ, 2002.

3. Мунирова Л.Н., Абызгильдина С.Ш. О надёжности и долговечности строительных конструкций зданий и сооружений с позиций промышленной безопасности предприятий нефтехимии и нефтепереработки // Проблемы строительного комплекса России: Материалы VI Международной научно-технической конференции. – Уфа: УГНТУ, 2002.

4. Мунирова Л.Н. Промышленная безопасность предприятий нефтеперерабатывающей промышленности с позиций устойчивой и надёжной работы многоэтажных сборно-монолитных ж/б этажерок-постаментов // Проблемы строительного комплекса России: Материалы VI Международной научно-технической конференции. – Уфа: УГНТУ, 2002.

5. Мунирова Л.Н., Капитонов С.М. Об учете внешних факторов, обуславливающих снижение несущей способности ж/б сборно-монолитных конструкций этажерок-постаментов // Проблемы строительного комплекса России: Материалы VII Международной научно-технической конференции. – Уфа: УГНТУ, 2002.

6. Давлетбаев Н.В., Капитонов С.М., Мунирова Л.Н. Повреждения и рекомендации по восстановлению несущей способности конструктивных элементов сборно-монолитных ж/б этажерок-постаментов // Проблемы строительного комплекса России: Материалы VII Международной научно-технической конференции. – Уфа: УГНТУ, 2002.

7. Мунирова Л.Н. Методика проведения технико-инструментальных обследований фактического состояния сборно-монолитных ж/б этажерок-постаментов // Проблемы строительного комплекса России: Материалы VII Международной научно-технической конференции. – Уфа: УГНТУ, 2002.

8. Кведер Е.В., Мунирова Л.Н., Кроткова Л.В., Капитонов С.М. Особенности поверочных расчетов по оценке остаточной фактической несущей способности конструктивных элементов сборно-монолитных ж/б этажерок-постаментов // Проблемы строительного комплекса России: Материалы VII Международной научно-технической конференции. – Уфа: УГНТУ, 2002.

9. Мунирова Л.Н. Результаты обследований ж/б конструкций этажерки на установке алкилирования 25-4/2 НУНПЗ // Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности объектов трубопроводного транспорта углеводородного сырья: Тезисы докладов научно-практической конференции. – Уфа: ТРАНСТЭК, 2004.

10. Мунирова Л.Н. Фактическое состояние конструкций этажерки под оборудование после сверхнормативной эксплуатации в неблагоприятных условиях // Проблемы совершенствования дополнительного профессионального и социогуманитарного образования специалистов ТЭК: Материалы II Межотраслевой научно-технической конференции. – Уфа: ИПК УГНТУ, 2005.

11. Мунирова Л.Н. Резерв прочности конструкций открытых сооружений, эксплуатируемых в агрессивной среде // Проблемы совершенствования дополнительного профессионального и социогуманитарного образования специалистов ТЭК: Материалы II Межотраслевой научно-технической конференции. – Уфа: ИПК УГНТУ, 2005.

12. Мунирова Л.Н. Оценка технического состояния конструкций зданий и сооружений НПЗ // Проблемы совершенствования дополнительного профессионального и социогуманитарного образования специалистов ТЭК: Материалы II Межотраслевой научно-технической конференции. – Уфа: ИПК УГНТУ, 2005.