Министерство жилищно-коммунального хозяйства РСФСР
Ордена Трудового Красного Знамени
Академия коммунального хозяйства им. К.Д.Памфилова

С о г л а с о в а н о
Зам.начальника
Главного управления жилищного хозяйства
Минжилкомхоза РСФСР

В. В. М и х а й л о в с к и й
13 января 1983г.

Р Е К О М Е Н Д А Ц И И
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СРОКОВ СЛУЖБЫ КОНСТРУКЦИИ ПОЛНОСБОРНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Отдел научно-технической информации АКХ
М о с к в а 1 9 8 3

gost.e-ecolog.ru

УДК 69.059.4

Настоящие рекомендации содержат методику определения сроков службы конструкций полносборных жилых зданий и мероприятия по увеличению их срока службы. Изложен приближенный метод определения экономически целесообразного срока службы жилых зданий.

Рекомендации разработаны отделом жилых и коммунальных зданий АКХ им. К.Д.Памфилова (канд. техн.наук Э.И.Шифрина, разд. I–IУ) и ЦНИИЭПжилища (д-р техн.наук Б.М.Колотилкин, разд. У) и предназначены для научно-исследовательских, проектных и ремонтно-строительных организаций, занимающихся разработкой новых конструкций и ремонтом эксплуатируемых зданий.

Замечания и предложения по рекомендациям просьба направлять по адресу: 123373. Москва, Д-373. Волоколамское шоссе, 116. Академия коммунального хозяйства им. К.Д.Памфилова, отдел жилых и коммунальных зданий.

© АКХ им. К.Д.Памфилова, 1983

Уточнение нормативных сроков службы полносборных жилых зданий - проблема, имеющая большое народнохозяйственное значение, так как при этом решаются задачи нового строительства и сохранения существующего жилищного фонда.

Постановка этой проблемы обусловлена тем, что практика показала необоснованность назначения сроков службы конструкций полносборных зданий по аналогии со зданием старой застройки. Особенности применяемых материалов и конструктивных решений требуют более точного научного подхода к этой задаче, сложность которой заключается в относительной кратковременности существования полносборных зданий. Имеющийся в настоящее время опыт их эксплуатации позволяет изучить процесс износа отдельных элементов (кровель, стыков, полов) и выявить тенденцию накопления повреждений в конструкциях с длительным сроком службы. Выявление закономерностей изменения состояния конструкций и экстраполяция их для будущих отрезков времени дают возможность прогнозировать срок службы конструкций и здания в целом.

Методика определения срока службы конструкций полносборных жилых зданий, разработанная в 1980 г., позволяет ориентировочно оценить срок службы конструкций по их техническому состоянию. Исходными данными для прогноза являются данные об аналогичных эксплуатируемых конструкциях и результаты лабораторных испытаний отдельных элементов и узлов конструкций на определенные воздействия. С помощью методики были определены сроки службы отдельных элементов домов некоторых типовых серий, по которым удалось собрать статистические данные об изменении состояния элементов во времени.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы, определяющие путь дальнейших исследований:

существует ряд элементов зданий, для которых фактические сроки службы значительно ниже нормативных. Это относится, в первую очередь, к рулонным кровлям, стыкам наружных стеновых панелей, полам из линолеума и поливинилхлоридных плиток;

в некоторых видах сборных железобетонных элементов стен и перекрытий, срок службы которых определяет срок службы всего здания, в первый период эксплуатации возникают значительные повреждения, что не дает оснований рассчитывать на использование их в течение всего нормативного срока службы. Примерами таких элементов являются: тонкостенные вибропрокатные плиты, применявшиеся для стен и перекрытий, плоские плиты перекрытий толщиной 10 см, некоторые виды ячеистобетонных крупных блоков. Обследования показывают, что трещины и прогибы, возникшие в этих конструкциях, имеют тенденцию увеличения во времени;

некоторые конструкции, состоящие из нескольких материалов, имеющих различную долговечность, не могут обеспечить требуемый срок службы в связи с тем, что не предусмотрено замены материалов с меньшим сроком службы без разрушения всей конструкции.

Трехслойные стеновые панели с утеплителями, имеющими срок службы 20–30 лет, не могут рассчитываться на 100–150-летний срок службы. Срок службы стояков отопления составляет 30 лет, но в некоторых типовых сериях стояки расположены в стыках стен. Это приводит к необходимости установки новых стояков вне панели в случае отказа существующих.

В результате пересмотра действующих нормативных сроков службы конструкций должны быть решены следующие вопросы:

снижение нормативных сроков службы конструкций эксплуатируемых зданий из вибропрокатных плит и других в соответствии с их фактическим состоянием и прогнозируемым сроком службы;

улучшение качества материалов, производства работ и эксплуатации элементов зданий, фактический срок службы которых значительно ниже существующего нормативного;

повышение ремонтопригодности комплексных конструкций или проектирование их из материалов, имеющих одинаковую долговечность.

Эти вопросы могут быть решены только путем проведения комплекса мероприятий, носящих настолько разнообразный характер, что они нуждаются в создании общей системы, охватывающей все этапы проектирования, строительства и эксплуатации зданий. Важно отметить, что эти мероприятия должны быть направлены скорее на упорядочение срока службы конструкций, чем на его увеличение в каждом конкретном случае.

В работах Б.М.Колотилкина доказано, что не всегда экономически целесообразно увеличивать срок службы здания, так как срок его морального износа может быть значительно меньше срока физического износа. Существует некоторый оптимальный срок службы для жилого здания, который позволяет минимизировать эксплуатационные затраты. Здесь должен существовать двоякий подход: увеличение срока службы конструкций в пределах долговечности использованных в них материалов и установление рациональных сроков службы элементов, заменяемых в эксплуатационный период, с обязательным обеспечением ремонтопригодности конструкций.

Первый вопрос может быть решен мероприятиями технологического характера на стадии изготовления, производства работ и эксплуатации конструкций. На основе изучения изменения состояния конструкций во времени и исследования процесса накопления повреждений могут быть разработаны мероприятия по улучшению технологии изготовления, выполнения работ на строительной площадке, организации инструментального контроля и методов ремонта.

Вопрос об установлении рациональных сроков службы конструкций с учетом разнородных материалов, входящих в них, не подвергался детальному изучению, отсутствует и общий подход к этой проблеме.

В настоящей работе сделана попытка систематизации всех мероприятий, которые могут быть рекомендованы в целях увеличения сроков службы отдельных конструкций и назначения рациональных сроков службы с учетом долговечности материалов, из которых они изготовлены.

I. НОРМИРОВАНИЕ СРОКОВ СЛУЖБЫ КОНСТРУКЦИИ

Принятые в настоящее время нормативные сроки службы каменных зданий определяют их в пределах 100–150 лет. Основные несущие конструкции зданий имеют срок службы, равный сроку службы здания. Для всех остальных конструкций сроки службы установлены с учетом из замены в течение периода эксплуатации здания.

Анализ действующих нормативных сроков службы показывает, что все элементы зданий, применяемые в современном полносборном каменном строительстве, можно разделить на группы по их срокам службы. В табл. I приведены сроки службы элементов полносборных и каменных зданий и определен относительный показатель

$$\tau = t_{эл} / T_{зд} ,$$

где $t_{эл}$ – нормативный срок службы элемента; $T_{зд}$ – нормативный срок службы здания.

Таблица I

Элемент	Срок службы по существующим нормам $t_{эл}$, годы	$\tau = t_{эл} / T_{зд}$
I группа		
Фундаменты	100–150	I
Стены	100–150	I
Перекрытия	100–150	I
Покрытия (совмещенная группа)	125–150	I

Продолжение табл.I

Элемент	Срок службы по существующим нормам $t_{эл}$, годы	$\tau = t_{эл} / T_{зд}$
Балконы	100-150	I
Внутренние несущие стены	100-150	I
Каркас	100-150	I
Лестницы	100	0,7-I
II группа		
Перегородки	60-75	0,6-0,5
Оконные и балконные блоки	40-50	0,4-0,3
Внутренние двери	50	0,5-0,3
Облицовка фасадов	50	0,5-0,3
Полы паркетные	50-80	0,5
III группа		
Полы из линолеума	20	0,2-0,I
Отделка внутренняя	3-8	0,02-0,08
IУ группа		
Отделка наружная (окраска)	5-6	0,06-0,03
Кровля рулонная	I2	0,I2-0,08

Как можно видеть из табл.I, в первую группу входят все основные несущие конструкции, срок службы которых равен сроку службы здания, следовательно, показатель τ =I. В этой группе только по элементам лестниц наблюдается некоторое снижение показателя (τ =0,7). Ко второй группе относятся элементы, срок службы которых составляет приблизительно половину срока службы здания (τ =0,3-0,6). В третью группу выделены только полы из линолеума (τ =0,2-0,I). Четвертую группу составляют отделки конструкций и рулонная

кровля (τ =0,08-0,12). Эти элементы подлежат 50 раз замене в течение срока эксплуатации здания.

В табл.I можно видеть разброс значений показателя τ, что создает неопределенность в планировании ремонтов. Например, срок службы лестниц определен 100 лет, тогда для здания со сроком службы 125-150 лет необходимо заменить лестницы, при этом новые элементы после замены не исчерпают своего срока службы. Таким образом, заложенная в нормативах неопределенность предполагает необязательность соблюдения установленных нормативов, что на практике приводит к невозможности четко обеспечить выполнение планово-предупредительных ремонтов.

Представляется целесообразным установить более четкие нормативные требования к срокам службы элементов зданий. Здесь имеются два этапа: первый - нормирование требуемых сроков службы элементов и согласование их со сроком службы здания; второй - уточнение и определение сроков службы различных видов конструкций.

В соответствии с первым этапом следует четко установить для каждой группы элементов нормативную кратность сроков их службы и всего здания (показатель τ).

На основании анализа состояния различных видов эксплуатируемых конструкций можно предложить следующие нормативы: элементы несущих конструкций здания τ =1; перегородки, столярные изделия, полы паркетные, облицовка фасадов τ =0,5; полы из линолеума τ =0,2; кровля рулонная τ =0,1; отделка внутренняя и наружная (окраска) τ =0,05.

Имея такие нормативы при проектировании здания заданной категории долговечности, можно подбирать элементы, имеющие соответствующие сроки службы.

Вторым этапом является определение сроков службы каждого элемента с учетом изменения состояния во времени. Целью этих исследований является уточнение нормативных сроков службы различных видов конструкций с учетом эксплуатационных воздействий. Взаимосвязь между этими двумя этапами можно проиллюстрировать следующим примером.

Пусть проектируется здание со сроком службы 100 лет, в котором можно использовать три типа перегородок, нормативный срок службы которых составляет: t_1 =25 лет; t_2 =45 лет; t_3=70 лет. Соответственно показатели отношения $\tau = t_{эл} / T_{зд}$ составят: τ_1 =0,25; τ_2 =0,45; τ_3 =0,7.

Согласно предлагаемой системе нормирования перегородки относятся ко II группе с τ =0,5. Этому требованию более всего соответствует второй тип (τ_2=0,45). Если принять перегородки третьего типа, то после их замены они будут использоваться только половину своего срока службы.

Здесь рассматривается случай замены элемента при ремонте на однотипный. Можно предположить, что на оставшийся срок эксплуатации элемент заменяется менее долговечным, при этом технико-экономические показатели будут соблюдены, однако, как правило, менее долговечные элементы не отвечают пожарным и иным требованиям к зданию данной категории.

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКОВ СЛУЖБЫ КОНСТРУКЦИЙ ПО ИХ ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

Методика определения сроков службы конструкций эксплуатируемых зданий основана на исследовании изменения состояния конструкций в процессе эксплуатации, определении законов распределения значений их характеристик, установлении нормативных и предельных значений параметров и прогнозировании изменения этих параметров с учетом условий эксплуатации.

Сбор данных об изменении состояния конструкций во времени

Исходные данные для прогнозирования сроков службы конструкций могут быть получены двумя путями: проведением лабораторных испытаний или сбором статистических данных об изменении состояния конструкций в эксплуатации.

При лабораторных испытаниях фиксируется изменение одного или нескольких параметров в зависимости от воздействий, моделирующих процесс эксплуатации. Таким моделированием являются циклы нагружения или замораживания, ускоренные испытания при более жестких режимах работы и т.п.

Получение исходных данных для расчета при лабораторных испытаниях состоит из трех этапов:

1) исходные данные перед испытаниями: количество образцов, методика испытаний, характеристики испытываемой конструкции;

2) исходные данные при испытаниях: значения параметров S_i при соответствующих значениях воздействий P_i, моделирующих условия эксплуатации;

3) обработка результатов испытаний: получение зависимости $S = f(p)$; переход от $S = f(p)$ к $S = f(t)$.

Сбор статистических данных об изменениях состояния конструкций во времени позволяет получить законы распределения значений параметров, характеризующих их состояние, а также обобщить зависимости изменения параметров, которые можно использовать в дальнейшем для прогнозирования срока службы аналогичных конструкций.

Сбор данных об эксплуатируемых конструкциях предполагает систематическое проведение инструментального контроля состояния определенного количества конструкций. При этом необходимо руководствоваться ГОСТ 17510-79 "Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдения".

Объем выборки должен обеспечивать получение достоверных результатов. Если целью наблюдений является получение обобщенных закономерностей изменения параметров, которые затем будут распространены на все конструкции данного вида (на всю генеральную совокупность), то необходимо учитывать общее количество элементов или зданий, находящихся в эксплуатации в одинаковых условиях.

Для случая нормального распределения значений исследуемых параметров число объектов наблюдения можно определять по формуле

$$n = t^2 V^2 / \delta^2, \qquad (1)$$

где V - коэффициент вариации; t - показатель достоверности; δ - показатель точности.

Для получения этих параметров необходимо определить среднее арифметическое всех измеренных значений параметра

$$M = \Sigma Si/n \qquad (2)$$

и среднеквадратическое отклонение всех значений от средней величины

$$\sigma = \pm\sqrt{\Sigma x^2/(n-1)}, \qquad (3)$$

где Σx^2 - сумма квадратов всех отклонений от среднего арифметического.

Коэффициент вариации (%) определяется по формуле

$$V = \pm 100\sigma/M. \qquad (4)$$

Показатель точности (средняя ошибка, выраженная в процентах от соответствующего среднего арифметического) определяется по формуле

$$\delta = \pm 100\sigma/M\sqrt{2n}. \qquad (5)$$

t зависит от заданной вероятности (табл.2), характеризующей надежность получаемого результата, которая принимается: $P = 0{,}95$ - общая предварительная оценка; $P = 0{,}99$ - достаточный критерий надежности; $P = 0{,}999$ - критерий максимальной строгости.

Таблица 2

Вероятность результата P	Показатель t	Вероятность результата P	Показатель t
0,683	I	0,97	2,I7
0,7	I,04	0,98	2,33
0,75	I,I5	0,99	2,58
0,8	I,28	0,995	2,8
0,85	I,44	0,997	3

Продолжение табл.2

Вероятность результата P	Показатель t	Вероятность результата P	Показатель t
0,9	I,64	0,999	3,29
0,95	I,96	0,9995	3,5
0,955	2	0,9999	4
0,96	2,05		

При небольшом количестве эксплуатируемых элементов или зданий объем выборки определяется по формуле

$$n = t^2 V^2 N / (N \delta^2 + t^2 V^2), \qquad (6)$$

где N - общее количество эксплуатируемых конструкций.

Корректировка объема выборки проводится по графикам (рис.I), который построен по формуле

$$n^* = N_1 n / (N - 1 + n). \qquad (7)$$

Кривые I00,200,300,750,I000,2000,3000,5000 характеризуют общее число элементов, из которого производится выборка.

Определение необходимого количества объектов наблюдения иллюстрируется примером I.

П р и м е р I. Определить с точностью δ =5% и доверительной вероятностью P =0,95 необходимое количество объектов наблюдения за раскрытием трещин на фасадах домов сер. II-57, если известно, что общее количество домов этой серии N =280, коэффициент вариации показателя плотности трещин по предыдущим наблюдениям принимаем V =I0%.

По табл.I определяем для P =0,95 t_P = I,96.

По формуле (6) находим

$$n = \frac{I,96^2 \cdot I0^2 \times 280}{280 \cdot 5^2 + I,96^2 \cdot I0^2} = I4,56.$$

Поскольку общее количество домов данной серии невелико, проводим корректировку объема выборки по графикам (см. рис.I) или формуле (7) n^* =I4 (домов).

При сборе статистических данных с целью прогнозирования срока службы конструкций необходимо фиксировать следующие

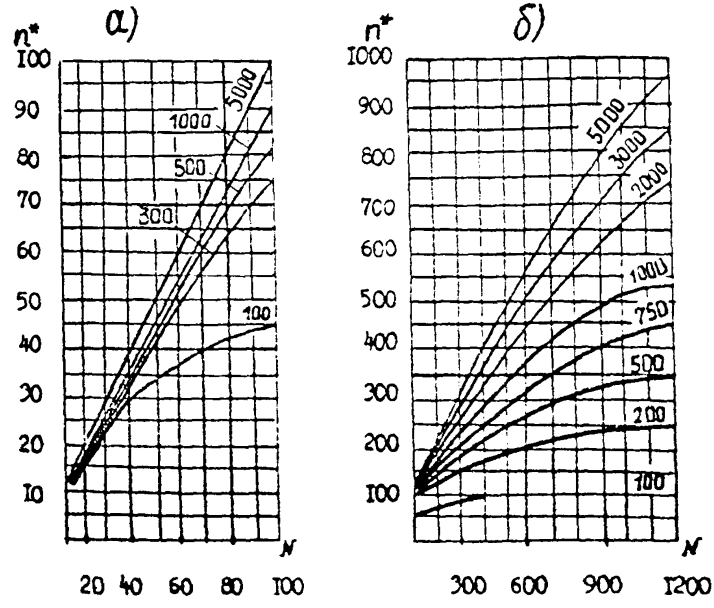

Рис.I. Графики для определения откорректированного числа испытываемых элементов в зависимости от количества элементов в зоне:

а - при N от 20 до 100; б - при N от 300 до 1200

показатели: характеристика конструкции (конструктивное решение, материалы, размеры); характеристика условий эксплуатации и режима работы; значения наблюдаемых параметров, характеризующих состояние конструкции S_i и соответствующий им срок ее эксплуатации t_i.

Получение статистических данных производится в такой последовательности:

предварительный этап - обоснование объема выборки для наблюдений;

наблюдения - фиксация значений параметров S_i и соответствующих им сроков эксплуатации; характеристика наблюдаемых конструкций;

обработка результатов - определение зависимости $S=f(t)$ и аппроксимация эмпирической зависимости теоретической кривой.

Определение параметров, характеризующих состояние конструкции, производится с учетом специфики работы конструкции в здании, а также на основании предварительных наблюдений за аналогичными конструкциями.

Для определения сроков службы несущих и ограждающих конструкций при наблюдениях следует фиксировать следующие параметры: срок эксплуатации (наработка), срок последнего ремонта, прочность материала, геометрические размеры, ширина раскрытия трещин, плотность трещин (для наружных ограждающих конструкций), деформации (прогиб, отклонение), показатель звукоизоляции, характеристики теплоизоляции конструкции, наличие протечек, влажность материала, наличие коррозии закладных деталей.

При наблюдениях за элементами отделки зданий (окраска, облицовка, полы) и кровли основными характеристиками являются следующие: срок эксплуатации после последнего ремонта, относительная площадь повреждения - отдельно по каждому виду повреждения (трещины, вздутия, разрушения и т.п.); характеристика материалов (прочность, влажность и др.).

По каждому из наблюдаемых параметров должны быть определены предельно допустимые ($S_{пред.}$) и нормативные ($S_н$) значения параметров. Нормативные значения параметров принимаются по соответствующим стандартам, СНиП и др. нормативным док ментам. Предельно допустимое значение параметра характеризует его предельное состояние, которое для несущих конструкций определяется в соответствии с "Методическими рекомендациями по определению допустимых в эксплуатации значений параметров предельных состояний несущих конструкций жилых зданий" (ОНТИ АКХ, 1977). Для ограждающих конструкций предельные значения устанавливаются экспериментально или

назначаются ориентировочно увеличением нормативного значения на 10–15% с последующей проверкой принятых значений при испытаниях.

Предельные значения параметров элементов отделки здания могут определяться экспертным путем или сопоставлением стоимости ремонта при различных видах повреждений.

Учет условий эксплуатации

Полученные исходные данные для определения срока службы конструкции должны быть откорректированы с учетом условий эксплуатации. Для оценки влияния условий эксплуатации применимы экспериментальные и статистические методы. Учет условий эксплуатации при расчетах можно осуществлять с помощью коэффициента условий эксплуатации $K_э$. При лабораторных испытаниях определяется влияние каждого фактора в отдельности.

Ряд эксплуатационных факторов не поддается воспроизведению в лабораторных условиях и требует изучения их только на эксплуатируемых зданиях, для чего применяется статистический метод определения $K_э$.

При изучении влияния нескольких факторов на состояние конструкции соответствующие коэффициенты $K_э$ можно получить, варьируя значения одного фактора от максимума до минимума, оставляя при этом средние значения всех других факторов.

Например, имея уравнение зависимости состояния конструкции от трех факторов

$$У = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 , \qquad (8)$$

где $У$ – параметр, характеризующий состояние конструкции; x_1, x_2, x_3 – факторы, влияющие на состояние конструкции, можно определить $K_э$ для каждого фактора.

В общем виде предлагаемый метод можно представить состоящим из следующих этапов:

1) определение значени $X_{i\,min}$ и $X_{i\,max}$;

2) определение средних значений $\bar{x}_2$ и $\bar{x}_3$;

3) подстановка в выражение (I) $\bar{x}_2$ и $\bar{x}_3$ и решение уравнения при $x_{I\,min}$ и $x_{I\,max}$, при этом получим соответствующие значения y_I и y_2;

4) коэффициент $K_э$ по x_I определится как

$$K_э = y_I/y_2 . \qquad (9)$$

Для оценки влияния факторов на состояние конструкций при одновременном действии нескольких факторов целесообразно применять многофакторный регрессионный анализ, который позволяет получить зависимость и определить весомость каждого фактора.

Пример 2. На основании инструментальных обследований крупнопанельных жилых домов сер. П-49 и П-57 определено влияние ряда факторов на параметр состояния стен, характеризующих наличие протечек.

Требуется определить коэффициенты условий эксплуатации по данным уравнения зависимости состояния стен от ряда факторов. В качестве показателя уравнения принят относительный показатель поврежденности стены протечками n/N, где n и N соответственно количество квартир с протечками и общее количество квартир в доме.

Получено уравнение зависимости состояния стен от изученных факторов:

$$y = 0{,}654 + 0{,}001x_I - 0{,}374x_2 + 0{,}208x_3 + 0{,}063x_4 + 0{,}035x_5 + \\ + 0{,}0001x_I^2 + 0{,}042x_2^2 - 0{,}032x_3^2 - 0{,}006x_4^2 - 0{,}013x_5^2 - \\ - 5\times 10^{-6}x_I^3 - 0{,}001x_2^3 + 0{,}001x_3^3 + 0{,}0002x_4^3 + 0{,}001x_5^3 , \qquad (10)$$

где x_I - средняя ширина шва между панелями (мм); x_2 - срок эксплуатации здания (годы); x_3 - срок эксплуатации стен после их последнего ремонта (годы); x_4 - значение адгезии герметика к граням панелей (кг/см^2); x_5 - уклон балконных плит (%).

Из выражения (10), подставляя соответствующие значения факторов, определим максимальные и минимальные значения переменной y. При x_I = 0,001 (min); x_2 = 12,18; x_3 = 5,08; x_4 = 11,96; x_5 = 7,66 y_{min} = 1,074. При x_I = 35,5 (max) и тех же значениях (x_2 ... x_5) y_{max} = 1,11. Тогда

$$K_{э1} = \frac{1{,}11}{0{,}074} = 1{,}03.$$

При $x_1 = 15{,}7$; $x_2 = 2$ (*min*); $x_3 = 5{,}08$; $x_4 = 11{,}86$; $x_5 = 7{,}66$ $y_{2\,min} = 0{,}65$. При $x_1 = 15{,}7$; $x_2 = 17$ (*max*); $x_3 = 5{,}08$; $x_4 = 11{,}86$; $x_5 = 7{,}66$ $y_{2\,max} = 2{,}12$. Тогда

$$K_{э2} = \frac{2{,}12}{0{,}65} = 3{,}26.$$

Использование полученных коэффициентов условий эксплуатации может осуществляться на различных этапах прогнозирования сроков службы. Если испытания или натурные наблюдения проводились при одних условиях эксплуатации, а данные используются для конструкции, работающей в других условиях, то коэффициент условий эксплуатации вводится в уравнение $S_1 = f(t)$ и превращает его в уравнение вида

$$S_1 = K_э f(t).$$

Можно использовать коэффициенты условий эксплуатации для корректировки непосредственно сроков службы конструкций.

Определение срока службы эксплуатируемых конструкций

Срок службы конструкций эксплуатируемых зданий определяется по данным наблюдений за изменением состояния конструкции в предшествующий период. Если объем выборки обеспечивает получение достоверных данных, то результаты наблюдений можно использовать для оценки срока службы всей совокупности аналогичных конструкций. В некоторых случаях задача сводится к оценке оставшегося срока службы той конструкции или группы конструкций, за которыми ведется наблюдение.

Использование данных об отказах

При организации наблюдений за конструкциями, находящимися в условиях эксплуатации, необходимо предварительно планировать эти наблюдения с целью получения достаточно точных и достоверных результатов.

Исходные данные для расчетов, полученные при наблюдениях, организованных в соответствии с требованиями ГОСТ 17510-79, можно использовать для определения срока службы конструкции (или наработки на отказ) с помощью метода максимального правдоподобия, на котором основаны рекомендации ГОСТ 17509-72 "Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Методы определения точечных оценок показателей надежности по результатам наблюдений".

При использовании данного метода необходимо задаться доверительной вероятностью для доверительных границ искомого показателя (срока службы, наработки на отказ), определить критерий отказа, а также определить закон распределения значений показателя.

В разд. IУ настоящей работы показано определение срока службы рулонной кровли домов сер. П-18 на основе данных, соответствующих одному из стандартных планов наблюдений. Для определения сроков службы конструкций можно использовать данные о проведенных ремонтах с целью устранения отказов (протечек, промерзаний и т.п.). Это в основном относится к заменяемым элементам, срок службы которых значительно ниже срока службы всего здания, таким как кровля (рулонная), герметизирующее заполнение стыковых соединений, отделочные слои конструкций, полы (линолеум) и т.п.

Исходными данными для расчетов могут служить результаты лабораторных или натурных испытаний группы образцов, при которых фиксируется время наступления отказа. В этом случае используется стандартный план наблюдений $[NUN]$, что согласно ГОСТ 17510-79 означает наблюдения за N объектами до их полного выхода из строя. При этом отказавшие объекты (образцы) не восстанавливаются и не заменяются новыми.

Для экспериментальных данных функция эмпирического распределения отказов имеет вид:

$$F(t_i) = (1/N) \sum_{k=1}^{i} n(t_k), \qquad (11)$$

где N - общее количество элементов (образцов), за которыми ведется наблюдение; n - число элементов, в которых зафиксирован отказ.

Среднее время эксплуатации образцов до отказа определяется по формуле

$$T = \sum_{i=0}^{\infty} [F(t_{i+1}) - F(t_i)]\, t_i . \qquad (12)$$

Вероятность безотказной работы, которая позволяет обосновать межремонтный срок (t_p), можно определить по формуле

$$P(t_p) = 1 - F(t_p). \qquad (13)$$

Пример 3. Под наблюдение поставлено 100 образцов, окраска которых проведена в одно время. Отказом отделочного слоя условно будем считать повреждение окраски на площади не менее 20% площади образца. Требуется определить средний срок службы окрасочного слоя и целесообразный межремонтный срок для фасадов здания исходя из технического состояния отделочного слоя (без учета экономических факторов).

По результатам наблюдений, которые велись в течение 10 лет, получены следующие данные об отказах:

t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n(t_i)$	0	0	1	3	12	22	31	20	9	2

По формуле (11) вычислим эмпирическую функцию распределения отказов отделочного слоя, которую запишем в табличной форме:

t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F(t_i)$	0	0	0,01	0,04	0,16	0,38	0,69	0,89	0,98	1

Средний срок службы отделочного слоя (лет) определяется по формуле (12):

$$T = \sum_{i=1}^{10} [F(t_{i+1}) - F(t_i)]\, t_i = 3 \times 0{,}01 + 4(0{,}04 - 0{,}01) +$$
$$+ 5(0{,}16 - 0{,}04) + 6(0{,}38 - 0{,}16) + 7(0{,}69 - 0{,}38) +$$
$$+ 8(0{,}89 - 0{,}69) + 9(0{,}98 - 0{,}89) + 10(1 - 0{,}98) = 6{,}67.$$

Расчеты показывают, что окраску данного вида можно рассчитывать на срок службы около 6 лет.

Для определения периодичности ремонта фасада воспользуемся формулой (I3), определив вероятность безотказной работы отделочного слоя в течение трех лет:

$$P(3) = I - F(3) = I - 0,0I = 0,99.$$

Определив такие же показатели для t = 4,5 и 6 лет, получим график (рис.2), по которому, задавшись допустимой вероятностью, можно определить целесообразный межремонтный срок. Принимая вероятность 0,95, что для данной конструкции вполне достаточно, получим межремонтный срок t_p = 3,5 г.

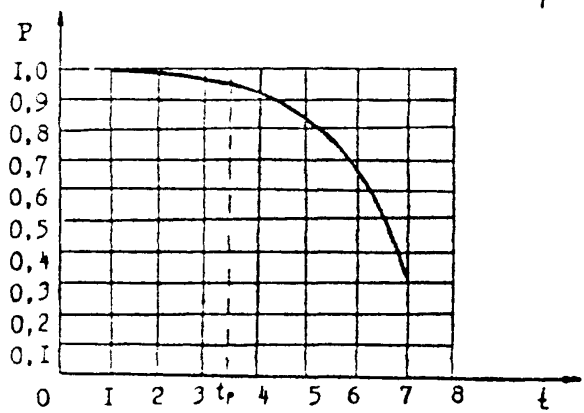

Рис.2 К примеру 3

Прогнозирование по изменению параметра

Для конструкций, в которых отказы возникают вследствие длительного накопления повреждений, при наблюдениях фиксируется изменение во времени параметра, определяющего отказ. Для выравнивания эмпирических значений и приведения функции любого вида к функции, линейно зависимой от срока эксплуатации (наработки), можно воспользоваться нормированной функцией, определяющей работоспособность элемента (4).

Обработка данных производится в такой последовательности:

I) определение показателей среднего изменения параметра $S(t)$ и показателя приработки S, если наблюдения ведутся от начала эксплуатации, по одной из формул:

$$S(t) = V_c \cdot t^{\alpha}; \qquad (14)$$

$$S(t) = a \cdot e^{V_c t} - \psi \quad \text{или} \quad \ln a + V_c \cdot t; \qquad (15)$$

$$S(t) = at/V_c + t \quad \text{или} \quad [\psi(t)]^{-1} = V_c/at; \qquad (16)$$

$$S(t) = S_1 + \sum_{i=1}^{n} V_i t^i, \qquad (17)$$

показатели: α - для степенной функции; α - для экспоненциальной; коэффициента a_i для многочлена n-й степени;

2) проводится преобразование значений $[S_i(t) - S_1]$ по формулам для зависимостей:

линейной

$$\mathcal{L} = [S_i(t) - S_1]/(S_n - S); \qquad (18)$$

степенной

$$S_1 = \sqrt[\alpha]{[\psi(t) - \psi_1]/(\psi_{in} - \psi_1)}; \qquad (19)$$

экспоненциальной

$$\mathcal{L} = \ln[S_i(t)/a]/\ln[S_n/a]; \qquad (20)$$

для многочлена n-ой степени

$$\mathcal{L}_i = t_i/T_i, \qquad (21)$$

где V_c - показатель скорости (интенсивности) изменения параметра в единицу времени; V_i - то же, для i-го члена многочлена; S_i - среднее изменение параметра в интервале

времени; S_1 - показатель изменения параметра в период приработки; $S_п$ - предельное отклонение параметра без учета приработки; $S_{іп}$ - то же, с учетом приработки; t_i - наработка (время эксплуатации) i -го элемента; T_i - ресурс (срок службы) i -го элемента;

3) для значений S_i и t_i (где i = I,2, ... n - число измерений) находят среднее квадратическое отклонение преобразованных значений от теоретических:

$$\sigma_2 = \sqrt{(1/N_2 - 1) \cdot \sum_{i=1}^{n} \sum_{x=1}^{n_i} (a'_{ix})^2}, \qquad (22)$$

где n и N_2 - общее число наблюдаемых элементов и сделанных измерений;

4) средний срок службы определяется по формуле

$$T_{ср} = \left[1/n - (e-1)\right] \cdot \sum_{i=e}^{n} t_i \sqrt{S_n / S_i(t)}, \qquad (23)$$

где (e - I) - число элементов, находящихся в периоде приработки; $t_п$ - время окончания приработки.

Остаточный ресурс наблюдаемого элемента (оставшийся срок эксплуатации до отказа):

для степенной функции

$$t_{ост} = t_i \left[\left(\Delta S / S(t) \right)^{1/\mu} - 1 \right], \qquad (24)$$

где $\Delta S = S_{пред} - S_{норм}$;

для остальных функций

$$t_{ост} = t_i \left[(1/S) - 1 \right], \qquad (25)$$

где t_i - момент контроля параметра.

Пример 4. Наблюдения за состоянием утеплителя (пенобетона) в панели чердачного перекрытия показали, что после пяти лет эксплуатации его прочность (кг/см^2) составила $R = 32$. Расчетная прочность $R_н = 35$, а предельно допустимая для данной конструкции $R_{пр} = 28$.

Определить оставшийся срок службы утеплителя, если известно, что изменение его прочности (кг/см^2) можно описать функцией вида $S(t) = at^n$.

Находим:

$$\Delta S = R_{пр} - R_н = 28-35 = -7;$$
$$S(t) = R - R_н = 32-35 = -3.$$

По формуле (24) определим оставшийся срок службы (r):

$$t_{ост} = 5\left[\left(\frac{7}{3}\right)^{1/0,5} - 1\right] = 21,5$$

Прогнозирование по изменению нескольких параметров

При инструментальных наблюдениях за состоянием эксплуатируемой конструкции можно оценить изменения нескольких параметров, характеризующих их работоспособность. Учет изменения этих параметров позволяет наиболее точно оценить предполагаемый срок службы конструкции. Все измеряемые параметры могут быть объединены в одномерную функцию, которая определяет характер изменения работоспособности конструкции во времени. Учет нескольких параметров при оценке изменения состояния конструкций во времени целесообразен при наблюдениях за несущими конструкциями, при этом следует фиксировать параметры, характеризующие их предельные состояния.

Прогнозирование долговечности конструкции с использованием обобщенного параметра производится следующим образом:

определяются относительные значения первичных параметров по формуле

$$S_i(t) = \left[S_i(t) - S_{пред.}\right] \Big/ \left(S_н - S_{пред.}\right), \qquad (26)$$

где $S_i(t)$ – измеренные значения данного параметра, соответствующие наработке t; $S_{пред.}$ – предельно допустимое значение параметра, определяется по рекомендациям, указанным на

отр. I4; $S_н$ - нормативное значение параметра, причем $0 \leq S_i(t) \leq 1$, если $S_i(t) = S_н$, то $\hat{S} = I$, а при $S_i(t) - S$ $\hat{S}(t) = 0$.

Далее производится оценка значимости первичного параметра для оценки состояния конструкции с помощью весовых коэффициентов, которые характеризуют влияние каждого параметра на работоспособность конструкции:

$$K_i = P_i / \Sigma P_i, \qquad (27)$$

где P_i - вероятность наступления отказа по i -му параметру.

Условиями определения весовых коэффициентов являются следующие:

$$\sum_{i=1}^{n} K_i = I \quad и \quad 0 < K_i < 1.$$

Эти коэффициенты определяются на основе данных о частоте возникновения отказов конструкции по причине достижения данным параметром своего предельного значения. Ориентировочные весовые коэффициенты для некоторых конструкций приведены в табл.3. Оценку весомости параметров для конкретной конструкции иллюстрирует пример 5.

Таблица 3

Конструкция	Параметр	Весовой коэффициент
Наружные стены однослойные	Прочность	0,004
	Ширина трещин	0,024
	Плотность трещин	0,0I7
	Водопроницаемость	0,85
	Сопротивление теплопередаче	0,I05
Перекрытия из ребристых вибропрокатных плит	Прогиб	0,88
	Ширина раскрытия трещин	0,07
	Плотность трещин	0,05

Продолжение табл.3

Конструкция	Параметр	Весовой коэффициент
Кровля, крыша	Водопроницаемость	0,9
	Коэффициент сопротивления теплопередаче конструкции крыши	0,I

Примечание. Весовые коэффициенты получены по результатам анализа статистических данных по различным сериям.

Обобщенный параметр, определяющий степень работоспособности конструкции по множеству контролируемых параметров, определяется по формуле

$$Q_{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^{n} K_i \left[\hat{S}_i(t) \right] \Big/ \sum_{i=1}^{n} K_i \quad , \tag{28}$$

где K_i - весовые коэффициенты.

В качестве прогнозируемого уравнения принята линейная функция вида

$$F(m) = Q(t_n) + \Delta Q_{n-1}\, m \quad , \tag{29}$$

где m - шаг прогнозирования.

Расчет ориентировочного срока службы для ребристых панелей перекрытия выполнен в примере 5.

Пример 5. При обследованиях перекрытий из вибропрокатных ребристых плит определялись прогибы S_1, ширина раскрытия трещин S_2 и плотность трещин S_3. Получены кривые распределения значений измеренных параметров, которые приведены на рис.3.

По каждому параметру определены предельные значения параметров, которые соответствуют:

$$S_1^{пр} = 0{,}01\,\ell \; ; \quad S_2^{пр} = 2 \text{ м/м}^2; \quad S_3^{пр} = 2 \text{ мм}.$$

Для вычисления весовых коэффициентов по каждому параметру определим вероятность достижения каждым параметром предельного значения. При этом воспользуемся интегральной функцией:

$$P(\alpha < x < \beta) = \Phi^*\left[(\beta - m)/\sigma\right] - \Phi^*\left[(\alpha - m)/\sigma\right], \tag{30}$$

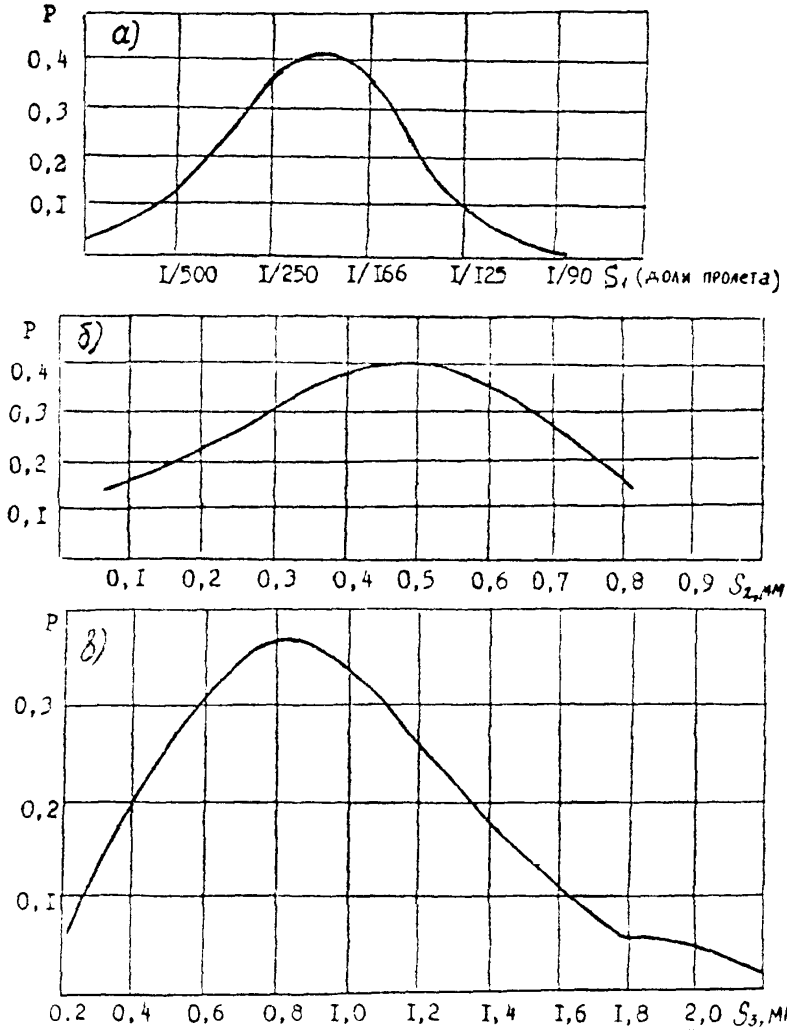

Рис.3. Кривые распределения характеристик перекрытий домов: а - прогибов; б - ширины раскрытия трещин; в - плотности трещин

где m, $б$ - соответственно математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение значений параметра.

Определим вероятность появления значений в интервале от 0 до 0,02 ℓ для параметра S_1 (прогиб) по формуле (30):

$$(0 < x < 0{,}01) = \Phi^{*}\frac{0{,}01-0{,}005}{0{,}002} = \Phi^{*}\frac{0-0{,}005}{0{,}002} = 0{,}927.$$

Значения Φ^{*} определяются по таблицам*.

Вероятность значений $S_1 > 0{,}02\,\ell$ составит $P_1(X_1 > 0{,}02\,\ell) = 1 - 0{,}927 = 0{,}073$.

Аналогично определяются вероятности превышения значений по двум другим параметрам, которые составили:

$$P_2(x_2 \geq 2) = 0{,}004;$$
$$P_3(x_3 \geq 2) = 0{,}006.$$

Рассматривая эти три параметра, определяющие отказ плиты перекрытия, определим удельный вес каждого параметра по формуле (22):

$$K_I = \frac{0{,}073}{0{,}073 + 0{,}004 + 0{,}006} = 0{,}88;$$

$$K_2 = 0{,}05;\ K_3 = 0{,}07.$$

Для расчета сроков службы использованы обобщенные данные обследований ребристых вибропрокатных плит, проводившихся в 1965-1969 гг. НИИЖБ, ЦНИИТЭП, АКХ и МосжилНИИпроектом.

Данные о наблюдениях за изменением значений параметров ребристых плит приведены в табл.4.

Таблица 4

Срок эксплуатации t, г	Прогиб S_1, мм	Плотность трещин S_2, м/м^2	Ширина раскрытия трещин, мм
3	15	0,01	0,4
6	18	0,02	0,6
9	21	0,025	0,8
Предельно допустимые значения			
—	60	2	2
Нормативные значения			
—	20	0,5	1

* См. Е.С.Вентцель "Теория вероятностей". М.: Наука, 1975.

Проводим преобразования значений параметров по формулам (26), (28). Данные расчетов по определению обобщенного параметра Q приведены в табл.5.

Таблица 5

t	$\hat{S}_1$	$\hat{S}_2$	$\hat{S}_3$	$\hat{S}_1 k_1$	$\hat{S}_2 k_2$	$\hat{S}_3 k_3$	Q
3	I,I25	I,326	I,6	0,99	0,067	0,II2	I,I69
6	I,05	I,32	I,4	0,924	0,066	0,098	I,088
9	0,975	I,3I	I,2	0,858	0,065	0,084	I,007

Из прогнозирующего уравнения (24) выразим приращение обобщенного параметра:

$$\Delta Q_{n-1} = Q(t_n) - Q(t_{n-1}) = \quad I,007 - I,088 = -0,08I.$$

Тогда прогнозирующее уравнение принимает вид:

$$I,007 - 0,08I m = 0,$$

откуда число шагов прогнозирования

$$m = I,007/0,08I = I2,43$$

и срок службы (лет) вибропрокатных плит составит

$$T = m\Delta t = I2,43 \times 3 = 37,29.$$

Ш. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЧИН ОТКЛОНЕНИЯ СРОКОВ СЛУЖБЫ КОНСТРУКЦИЙ ОТ НОРМАТИВНЫХ

Методы расчетов, приведенные в разд.П, позволяют определить ориентировочные сроки службы эксплуатируемых конструкций и учесть реальные условия их эксплуатации. После определения предполагаемых фактических сроков службы элементов или конструкций проводится сравнение с нормативными и определяются элементы, по которым наблюдается отклонение от нормативных значений.

Изучение причин отклонения фактических сроков службы от нормативных показывает, что в большинстве случаев имеется некоторое "слабое звено", которое и дает снижение срока службы конструкции. Такое "слабое звено" может представлять отдельный узел конструкции или ее участок. Например, срок службы трехслойной панели определяется по наименьшему сроку

службы одного из слоев (при условии невозможности его замены), тогда при использовании недолговечного утеплителя срок службы панели не будет соответствовать требуемому показателю $\mathcal{T} = 1$.

Другой вид "слабого звена" - участок конструкции, где наиболее вероятны отказы, например, отказы кровли в местах примыканий, протечки стеновых панелей у оконных проемов. Такого вида слабые звенья возникают в связи с тем, что режим работы отдельных участков конструкции более тяжелый и к ним предъявляются более высокие требования.

Возможен и технико-экономический аспект определения "слабого звена". Если сроки службы всех узлов конструкции примерно одинаковы, то слабым звеном является тот узел, где стоимость устранения отказа максимальная. Если сроки службы узлов различны, то "слабое звено" можно определить как произведение стоимости устранения одного отказа на частоту отказов.

Методы поиска "слабого звена"

I. Технический аспект

А. По параметру конструкции, превышение которого дает наиболее частые отказы, исходные данные: статистика отказов однотипных объектов с одинаковыми условиями эксплуатации, сроками службы и сроками ремонта, общее количество отказавших объектов N, измеряемые параметры S_1; S_2; S_3.

Номер отказавшего объекта	Параметр, по причине превышения которого произошел отказ
I	S_1
2	S_2
3	S_3
...	...
N	S_n

Определяются число отказавших объектов по причине превышения каждого из трех параметров $n_{s_1}, n_{s_2}, n_{s_3}$

и удельный вес каждого из них

$$k_1 = n_{s_1} / N; \quad k_2 = n_{s_2} / N \qquad k_3 = n_{s_3} / N$$

"Слабым звеном" будет тот параметр, для которого k_{max}. В примере 5 после определения весовых коэффициентов можно сделать вывод, что "слабым звеном" ребристых плит является их деформативность, так как по прогибу К = 0,88.

Б. По участку конструкции исходные данные: статистические данные по группе наблюдаемых конструкций, имеющих одинаковые условия эксплуатации, сроки службы, сроки ремонта, общее число отказавших конструкций N, участки, в которых произошел отказ.

Номер отказавшего объекта	Номер участка, в котором произошел отказ
I	I
2	III
3	IУ
4	II
...	...

Определяются число отказов по каждому участку

$$n_I; \quad n_{II}; \quad n_{III}; \quad n_{IV}; \ldots$$

и удельный вес этих отказов

$$\nu_1 = n_I / N; \quad \nu_2 = n_{II} / N; \ldots .$$

"Слабым звеном" будет тот участок, для которого ν_{max}. Этот метод использован для расчетов, выполненных в разд. IУ.

П. Экономический аспект

А. По стоимости устранения отказа исходные данные: объекты имеют одинаковый срок службы, срок последнего ремонта,

фиксируются отказы и подсчитывается стоимость их устранения, которые оформляются по следующему образцу.

Номер отказавшего объекта	Вид отказа, место отказа	Стоимость устранения

"Слабым звеном" будет тот участок или параметр, отказ по которому влечет за собой максимальные затраты.

Б. По стоимости устранения отказов с учетом их частоты исходные данные: по группе объектов, имеющих одинаковый срок службы и срок последнего ремонта, фиксируется количество отказов, их вид и определяется стоимость их устранения по следующей форме.

Номер отказавшего объекта	Вид отказа	Количество отказов	Стоимость устранения	
			одного отказа	всех отказов

После определения "слабого звена" конструкции проводятся исследования с целью выявления причин возникновения повреждений именно этих участков или узлов. Исследования включают изучение технологии изготовления конструкции, условий ее эксплуатации, проведение лабораторных и натурных экспериментов.

Так, путем исследований было установлено, что повышенная деформативность ребристых плит появляется в результате следующих причин: изготовление плит из мелкопесчаного бетона, обладающего повышенной ползучестью; повреждение плит при транспортировке и монтаже вследствие их недостаточной жесткости (высота ребра - 8 см, толщина плиты - 2 см при размерах плит "на комнату").

Выявление причин возникновения повреждений в отдельных участках конструкций позволяет приступить к разработке мероприятий по их устранению.

IУ. МЕРОПРИЯТИЯ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ СРОКОВ СЛУЖБЫ КОНСТРУКЦИЙ

Общий подход

Выполненные исследования и разработанные предложения, изложенные в предыдущих разделах настоящей работы, являются подготовительным этапом к разработке мероприятий по увеличению сроков службы конструкций. Общий подход по каждой из рассматриваемых конструкций можно представить в следующем виде:

определение срока службы конструкции и показателя τ (см. разд.П);

сравнение с нормативным показателем $\tau_н$ для данной группы конструкции (см. разд.I);

в случае $\tau < \tau_н$ поиск "слабого звена" и выявление причин его возникновения (см. разд.Ш);

мероприятия по устранению "слабого звена" с проверкой результатов (см. разд.IУ).

В связи с разнообразием причин, вызывающих отклонение сроков службы конструкций от нормативных, разработка мероприятий по увеличению сроков службы конструкций должна проводиться конкретно для каждого вида конструкций с учетом реальных условий их производства и эксплуатации.

Перечень мероприятий, направленных на увеличение сроков службы конструкций полносборных жилых зданий

I. При проектировании: изменение конструкции ненадежного или недолговечного узла; замена материалов; изменение сечения элемента с увеличением расчетной нагрузки (учет физической работы конструкции).

П. При изготовлении: изменение характеристик исходного сырья; совершенствование технологии; устранение дефектов изготовления.

Ш. При транспортировке и хранении: улучшение условий транспортировки; соблюдение правил складирования и режима хранения готовых изделий.

IУ. При возведении здания: улучшение технологии производства работ на стройплощадке; замена материалов заделки; соблюдение размеров и допусков.

У. При эксплуатации: систематический контроль состояния конструкции; комплекс вопросов улучшения качества ремонта; работа с населением по обеспечению сохранности жилищного фонда.

Каждое из перечисленных мероприятий может быть расчленено на отдельные конкретные вопросы, решаемые применительно к данному виду конструкции. Использование предлагаемого подхода к разработке мероприятий по увеличению срока службы конструкций рассматривается на примере исследования изменения состояния рулонных кровель жилых домов в процессе эксплуатации.

Пример разработки мероприятий по увеличению срока службы рулонной кровли жилых домов

Для расчетов использованы данные обследований полносборных жилых зданий, проведенные отделом изысканий института МосжилНИИпроект в 1975-1980гг. Обследования проводились с целью постановки домов на капитальный ремонт по методике, разработанной в АКХ. Полученные данные позволяют показать весь комплекс расчетов по разработке мероприятий по увеличению срока службы рулонных кровель на примере жилых домов сер. П-18.

Определение среднего срока службы рулонной кровли домов сер. П-18

В соответствии с ГОСТ 17510-79 использован план наблюдений $[\mathcal{N}uT]$, т.е. фиксировалось общее количество обследованных кровель $\mathcal{N}$, количество участков с повреждениями ($U = d$) и срок эксплуатации кровли T.

При расчетах приняты следующие допущения. Поскольку каждое повреждение кровли может привести к протечке в квартире,

а устранение протечки приводит к необходимости ремонта минимум одного помещения, то условно принято, что одно повреждение приводит к отказу участка кровли над одним помещением (комнатой, кухней и т.п.). Тогда общее количество обследованных кровель будет определяться количеством помещений на этаже (включая холлы-коридоры и лестничную клетку), что составляет 33 помещения в одном доме сер. П-18. При определении срока эксплуатации кровля, исходя из существующей практики, в расчетах принят не срок службы дома к моменту обследования, а срок эксплуатации кровли после ее последнего ремонта, так как при ремонте кровли в большинстве случаев производится замена покрытия. Данные предыдущих исследований и анализа статистики также указывают на более тесную корреляцию между характеристиками состояния кровли и сроком эксплуатации после последнего ремонта по сравнению со сроком службы здания к моменту его обследования.

Для получения наиболее однородных данных из всех обследованных домов выделяем группы с одинаковым сроком эксплуатации после последнего ремонта кровли. Расчет ведем для домов со сроком эксплуатации кровли после ремонта 0,5-3 года.

В результате обработки результатов обследований получены исходные данные для расчетов, которые приведены в табл.6.

Таблица 6

Срок эксплуатации, г	Количество обследованных помещений (последний этаж), шт.	Количество повреждений кровли
0,5	66	I4
I	66	33
2	99	I4
3	I32	43
	$\Sigma = N = 263$	

Расчет проводится в предположении, что наработка на отказ подчиняется нормальному закону распределения. Проводившийся ранее статистический анализ данных о состоянии кровли в период эксплуатации позволил апроксимировать эмпирические значения нормальным законом распределения.

Средний срок службы кровли определим по формуле

$$\hat{T} = \kappa \hat{\sigma} + T , \qquad (31)$$

где T - срок наблюдений; κ - коэффициент, определяемый по табл.3 прил.3 ГОСТ 17510-79; $\hat{\sigma}$ - точечная оценка среднеквадратического отклонения.

$$\hat{\sigma} = \{T - 1/d \Sigma t_i\} / \{[(N-d)/d] f_1(\kappa) - \kappa\} , \qquad (32)$$

где d - количество дефектов; t_i - наработка на отказ i-го элемента; $f_1(\kappa)$ - функция, определяемая по табл.3 прил.3 упомянутого стандарта в зависимости от коэффициента κ.

Для вычислений по приведенным формулам определяем суммарную наработку (табл.7).

Таблица 7

d_i	t_i	t_i^2
14	0,5 x 14 = 7	$0,5^2$ x 14 = 3,5
33	1 x 33 = 33	1^2 x 33 = 33
14	2 X 14 = 28	2^2 x 14 = 112
43	3 x 43 = 139	3^2 x 43 = 387
Σd = 104	Σt_i = 207	Σt_i^2 = 535,5

По формуле (32) с использованием табл.3 прил.3 к ГОСТ 17510-79 путем пробных подстановок определяем κ=1,45,

$f_1(k) = 0,15$. Подставляя полученные значения в формулу (32), получим

$$\hat{\sigma} = 1,04$$

и средний срок службы (г)

$$T = 1,45 \times 1,04 + 3 = 4,51.$$

Доверительные границы значений $\hat{T}$ и $\hat{\sigma}$ определим по формулам:

нижняя и верхняя границы $\hat{T}$:

$$T_н = \hat{T} - u_\beta (\hat{\sigma}/\sqrt{n}) \sqrt{f_2(k)} \; ; \qquad (33)$$

$$T_в = \hat{T} + u_\beta (\hat{\sigma}/\sqrt{n}) \sqrt{f_2(k)} \; ; \qquad (34)$$

нижняя и верхняя границы $\hat{\sigma}$:

$$\sigma_н = \hat{\sigma} - z_\beta (\hat{\sigma}/\sqrt{n}) \sqrt{f_3(k)} \; ; \qquad (35)$$

$$\sigma_в = \hat{\sigma} + z_\beta (\hat{\sigma}/\sqrt{n}) \sqrt{f_3(k)} \; . \qquad (36)$$

В формулах (33)-(36) значения u_β, z_β и $f_3(k)$ определяются по табл. 2 и 3 прил.3 ГОСТ 17510-79 в зависимости от доверительной вероятности β и коэффициента К.

Принимая $\beta = 0,90$, получаем

$T_н = 4,116$; $\sigma_н = 0,74$;

$T_в = 4,904$; $\sigma_в = 1,33$.

Таким образом, интервал (4,116 - 4,904) с вероятностью 0,9 покрывает истинное значение среднего срока службы рулонной кровли домов сер. П-18, полученное по данной выборке.

Представляет интерес сравнение полученных значений с результатами обработки статистических данных по состоянию кровель 85 домов сер. П-18 со сроком эксплуатации 1-8 лет.

Оценки распределения времени возникновения отказов (протечек) для этой выборки составили $T=4,22$ г. и $\sigma = 1,5$ г. Эти значения очень близки к точечным оценкам, полученным в настоящем примере($T = 4,5$ г. и $\sigma = 1,45$ г.).

Сравнение фактического срока службы рулонной кровли с нормативным

В результате расчетов определено, что средний срок службы рулонной кровли домов сер.П-18 по данной выборке составил 4,5 г. В соответствии с предложениями по нормированию сроков службы (см. разд.I настоящих рекомендаций) для рулонных кровель показатель $\tau = 0,1$, т.е. при сроке службы здания 125 лет срок службы кровли должен быть 12,5 г. (по существующим нормам срок службы рулонных кровель 12 лет).

Сравнение полученных и нормативных значений показывает, что фактический срок службы рулонной кровли почти в три раза меньше нормативного. Для определения причин столь значительного отклонения необходимо было проанализировать данные о состоянии кровли.

Выявление причин отклонения фактического срока службы от нормативного (поиск "слабого звена")

Обследование кровли домов сер. П-18 заключалось в визуальном осмотре всей поверхности кровли, измерении уклонов плоских кровель, а также осмотре помещений последнего этажа с целью выявления протечек. При осмотре кровли выявились повреждения кровли: протечки, вздутия и отслоения рулонного ковра, трещины и т.п. Для фиксации мест повреждений использовалась координатная сетка, которая позволяла зафиксировать местоположение дефекта (рис.4). По оси x отмечались расстояния от середины здания в долях от половины длины здания, т.е. $X_i = a_i/(L/2)$. Это дало возможность сравнивать данные по домам с различным числом секций.

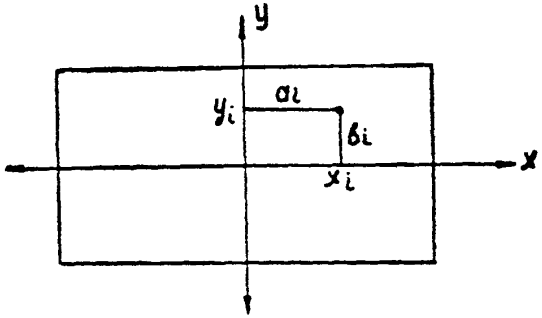

Рис.4. Координатная сетка привязки местоположения дефектов

Собранные данные позволяют выявить "слабое звено", т.е. участки, имеющие наибольшие повреждения, в соответствии с предложенным методом (см. разд. Ш, п.I,Б).

В результате обследований кровель I5 домов сер. П-I8 определено количество повреждений в системе координат по длине и ширине здания. (табл.8).

Таблица 8

Интервалы координат x, y	Количество повреждений n	Удельный вес $\gamma = n/\nu$
По длине здания		
0-0,I	I0	0,07
0,II-0,2	5	0,03
0,2I-0,3	I2	0,09
0,3I-0,4	I8	0,I2
0,4I-0,5	2I	0,I4
0,5I-0,6	I7	0,I2
0,6I-0,7	2I	0,I4

Продолжение табл.8

Интервалы координат x, y	Количество повреждений n	Удельный вес $\gamma = n/N$
0,7I-0,8	2I	0,I4
0,8I-0,9	I8	0,I2
0,9I-I	8	0,06
	N = I5I	
По ширине здания		
0-0,I	26	0,I8
0,II-0,2	22	0,I5
0,2I-0,3	2I	0,I4
0,3I-0,4	I5	0,I
0,4I-0,5	I9	0,I3
0,5I-0,6	II	0,08
0,6I-0,7	7	0,05
0,7I-0,8	I2	0,08
0,8I-0,9	II	0,08
0,9I-I	0	0
	N = I44	

Полученные результаты дают возможность построить гистограмму распределения вероятности возникновения повреждений кровли в различных участках кровли по длине и ширине здания (рис.5, а,б).

Построены эмпирические зависимости для домов сер. К-7 и П-I8 с различными сроками эксплуатации (рис.6).

Из графиков видно, что характер расположения повреждений в кровлях домов с различными сроками эксплуатации существенно не меняется. В соответствии с расположением воронок и других выступающих элементов на кровле можно определить наиболее уязвимые места, где вероятность возникнове-

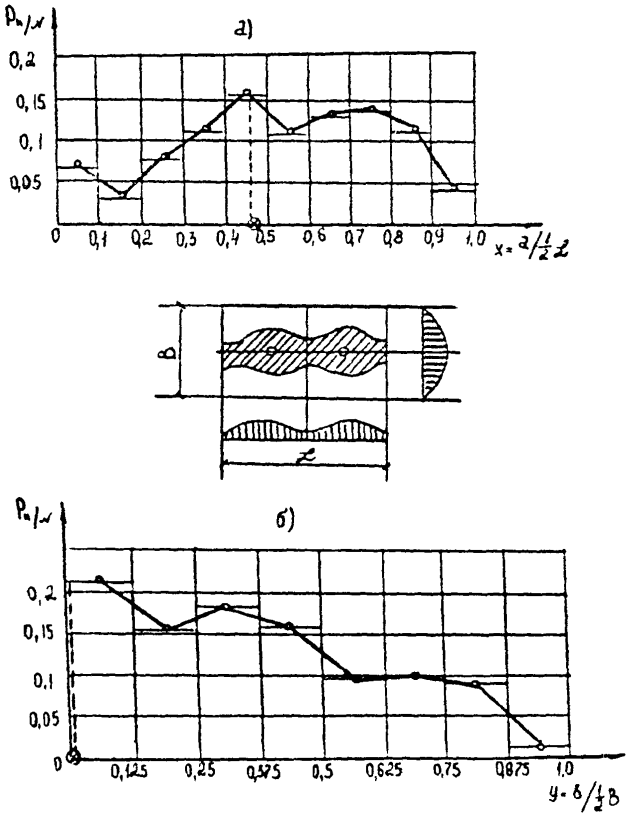

Рис.5. Гистограммы распределения вероятности возникновения повреждений кровли домов сер II-18 на участках:

а - по длине здания; б - по ширине здания; ⊗ - расположение воронок водостока

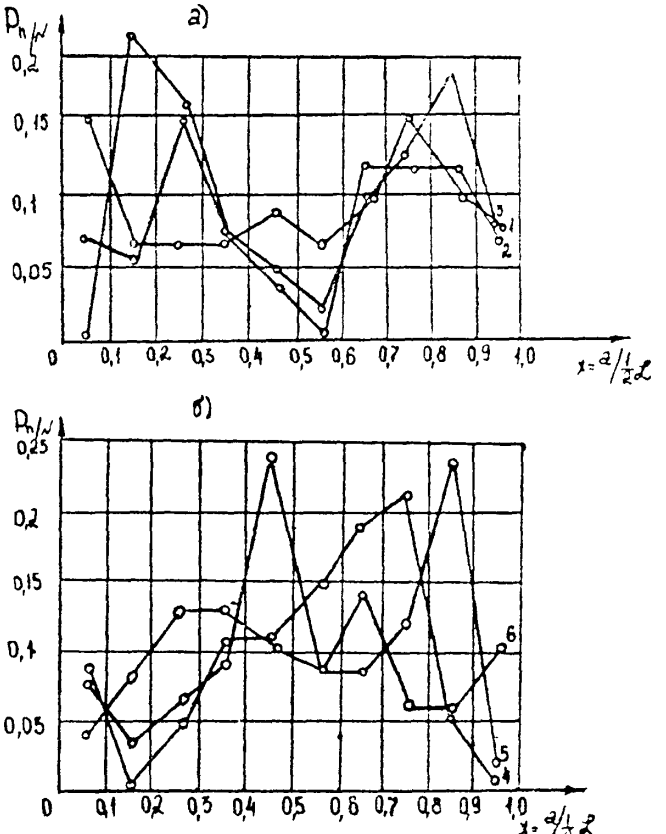

Рис.6. Полигон распределения вероятности возникновения повреждений кровли домов серий:

а - К-7; б - II-I8; I - срок эксплуатации после ремонта I-2 г.; 2 - то же, 3-4 г.; 3 - то же, 5,7,9 лет; 4 - то же, 0-Iг.; 5 - то же, 2-3 г.; 6 - то же, 4-6 лет

ния повреждений наибольшая. Эти участки отмечены в таблицах, а также на рис.5. Имеющиеся статистические данные позволяют получить аналогичные результаты и по некоторым другим сериям; графики на рис. 7 и 8 позволяют определить "слабое звено" для кровель домов серии К-7 и I-515.

Анализ этих результатов показывает, что вероятность повреждений рулонной кровли наибольшая в местах примыканий к выступающим элементам и у воронок внутренних водостоков. Мероприятия по увеличению срока службы кровли должны способствовать повышению надежности участков примыканий, которые, как показали исследования, являются "слабым звеном" данной конструкции. Пользуясь имеющимися статистическими данными и предложенными методами, определим изменения срока службы рулонной кровли в связи с проведением мероприятий по устранению "слабого звена".

Мероприятия по увеличению сроков службы рулонных кровель домов сер.П-I8

Выполненные расчеты показали, что мероприятия по увеличению сроков службы рулонной кровли домов серии П-I8 должны быть направлены в первую очередь на повышение надежности участков примыкания рулонного ковра к выступающим элементам и воронкам внутренних водостоков.

При разработке настоящей методики мы не располагаем статистическими данными по состоянию кровель после ремонта с применением указанных рекомендаций. Для ориентировочной оценки изменения состояния кровли предполагаем, что количество отказов на участках примыканий рулонного ковра снизится до минимальных значений (см. табл.8). Определив разность между ν_{max} и ν_{min}, получим, что количество отказов уменьшится на $80\%\left[\left(\nu_{max}-\nu_{min}\right)/\nu_{max} = 0{,}8\right]$.

Принятое допущение является весьма условным, и дальнейшие вычисления выполнены только с целью показать возможный метод оценки эффективности проведения ремонтных мероприятий. При расчетах воспользуемся одной из характеристик на-

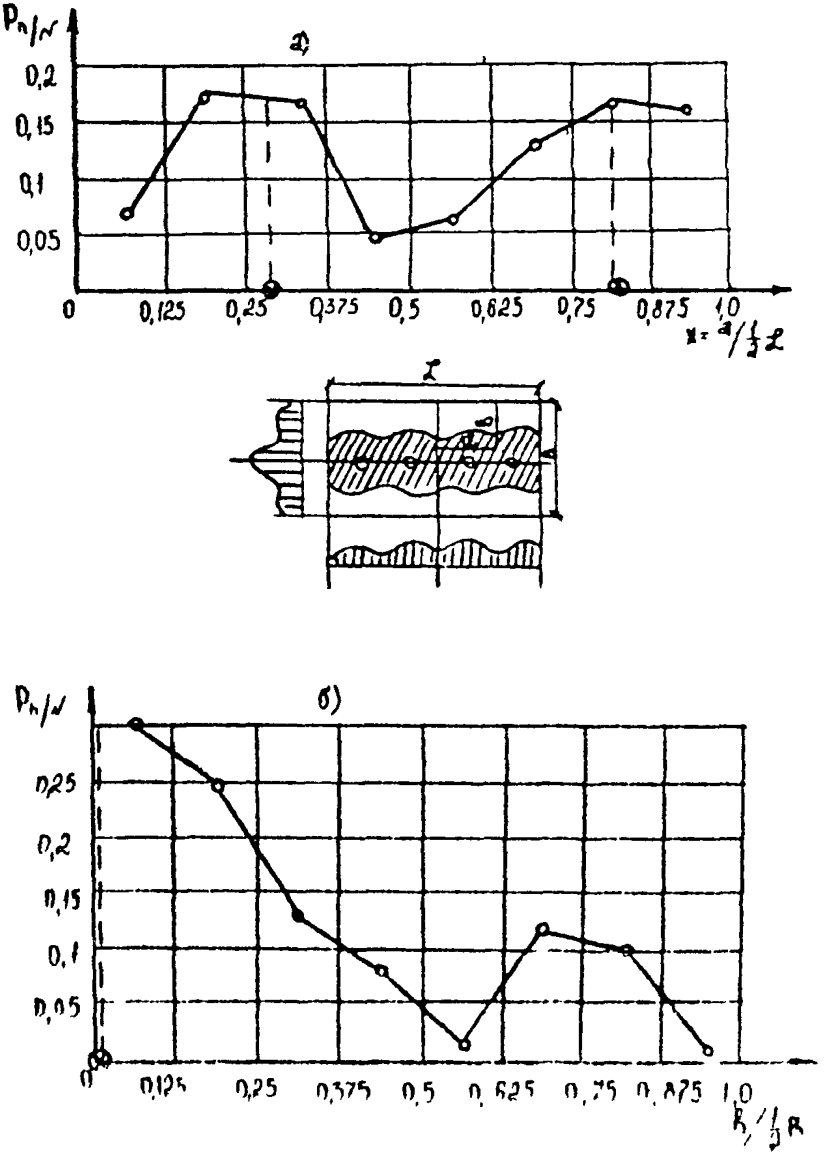

Рис.7. Полигоны распределения вероятности возникновения повреждений кровли на участках:

а - по длине здания; б - по ширине здания (сер. К 7); в - расположение вороной водостока

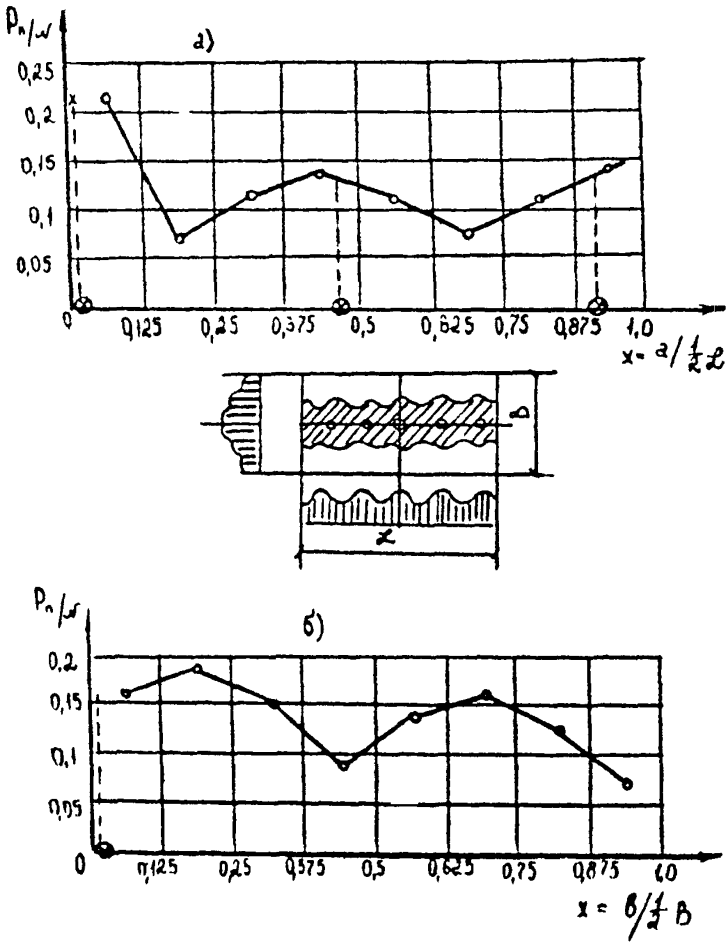

Рис.8. Полигоны распределения вероятности возникновения повреждений кровли домов сер. I-515 на участках:

а - по длине здания; б - по ширине здания; ⊗ - расположение воронок водостока

дежности - вероятностью безотказной работы за время t, определяемой по формуле

$$P(t) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\Phi^*\left[(t-\hat{T})/\hat{\sigma}\right], \qquad (37)$$

где $\hat{T}$ и $\hat{\sigma}$ - точечные оценки распределения (математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение); $\Phi^*(x)$ - интегральная функция, определяемая по табл.7 приложения 3 ГОСТ 17509-72.

Для t = 4,5 г., соответствующему среднему сроку службы кровли до ремонта, P (4,5) = 0,5. Срок службы кровли после проведения ремонтных мероприятий определим из предположения, что вероятность безотказной работы к тому же сроку повысится на 80% и составит P_1 (4,5) = 0,9.

По формуле (37)

$$P_1(4,5) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\Phi^*\left[(4,5-\hat{T}_1)/1,04\right] = 0,9,$$

где $-\Phi^*\left[(4,5-\hat{T})/1,04\right] = 0,8$ определяем как $\Phi^*(x)$ с учетом изменения знака $-\Phi^*(x) = \Phi^*(-x)$ $\hat{T} \simeq$ 6 лет.

Расчеты показывают, что повышение надежности участков сопряжения кровли повышает средний срок службы всей кровли. Данный пример носит методический характер, так как для получения количественной оценки эффективности мероприятий необходимо иметь достоверные статистические данные по отремонтированной конструкции. Для предварительных расчетов можно использовать данные лабораторных испытаний отдельных узлов с последующей их проверкой в натурных условиях.

Предложенная методика позволяет обосновать целесообразность проведения конкретных мероприятий по повышению срока службы отдельных конструкций и на основании расчетов назначать наиболее эффективные мероприятия, оказывающие существенное влияние на повышение надежности и долговечности конструкций зданий.

У. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Понятие о нормальном сроке службы жилых зданий

Нормальный физический срок службы – это средний период материального изнашивания и амортизации жилого здания как потребительной стоимости, причем средняя продолжительность сохранения потребительной стоимости может обеспечиваться различными путями и потому различаться численно.

Аналитически нормальный физический срок службы $\mathcal{D}_н$ жилого здания (лет) найдем как среднюю арифметическую взвешенную, выведенную из физических сроков службы конструкций и систем технических устройств с весами, соответствующими их стоимости:

$$\mathcal{D}_н = K\left[\sum_{i=1}^{n} c_i d_i^{-1}\right]^{-1}, \qquad (38)$$

где C_i – стоимость конструкций (систем устройств) i-го типа, руб.; d_i – нормальный физический срок службы конструкций (систем устройств) i-го типа, лет; K – первоначальная (балансовая) стоимость жилого здания, руб.

В табл.9 приводится пример расчета нормального срока службы жилого здания по физическому износу (на 1 м^2 общей площади).

Среднегодовой износ Q, %/год, и Q', руб/год, или ту среднюю меру, в которой жилое здание утрачивает свою потребительную стоимость и стоимость в функции нормального физического срока службы $\mathcal{D}_н$ жилого здания, эксплуатируемого в данных природно-климатических условиях при заданной системе технического обслуживания и ремонтов, найдем по формулам

$$Q = 100\,\mathcal{D}_н^{-1}; \qquad (39)$$

$$Q' = K\mathcal{D}_н^{-1}. \qquad (40)$$

Таблица 9

Группа элементов здания i	Стоимость C_i, руб.	Срок службы (жизни) d_i, лет	Стоимость годового материального износа		Нормальный физический срок службы $D_н$, лет
			$C_i d_i^{-1}$, руб.	% к первоначальной стоимости здания	
I	II0	I50	0,72	0,36	-
2	55	40	I,37	0,69	-
3	35	20	I,75	0,87	-
По зданию в целом	200	-	3,85	I,92	52

Теперь нетрудно записать объективную закономерность материального износа объекта $Q(t)$, %/год, и $Q'_1(t)$, руб/год, в функции нормального физического срока службы $D_н$, лет, и прослуженного срока t, лет, следующими линейными зависимостями:

$$Q(t) = 100 D_н^{-1} t \; ; \qquad (4I)$$

$$Q'_1(t) = K D_н^{-1} t \; . \qquad (42)$$

Таким образом, нормальный физический срок службы жилого здания есть экономическая категория, связанная с оценкой единовременных затрат (первоначальная стоимость) и текущих расходов на ремонты здания. Мерой оценки такого срока службы как экономической категории становится экономический срок службы жилого здания.

Приближенный метод определения экономически целесообразного срока службы жилых зданий

Приближенный метод определения и прогнозирования экономического срока службы $D_э$, лет, жилых зданий по физиче-

скому износу основан на использовании трех параметров, имеющих определяющее значение для оценки взаимосвязанных свойств долговечности, безотказности и ремонтопригодности: стоимости капитального ремонта R, руб., периодичности капитального ремонта t_p, лет, восстановительной стоимости B, руб. Расчеты экономической эффективности капитальных вложений в строительстве на основе приведенных затрат излагаются в СН 423-71 и СН 509-78.

В соответствии с линейной зависимостью (42) между среднегодовым материальным износом и стоимостью затраты R_i, руб., на i-ый капитальный ремонт запишем в виде

$$R_i = t_p B D_э^{-1}, \qquad i = 1, 2, \ldots, n, \tag{43}$$

откуда

$$D_э = t_p B R_i^{-1}, \tag{44}$$

или

$$D_э = t_p / \gamma_i, \tag{45}$$

где $\gamma = R_i / B$ - коэффициент или относительная мера целесообразности ремонта.

При $R_n = 0{,}5\,B$ затраты на капитальный ремонт будут равны неамортизированной части здания. Тем самым затраты R_n на последний капитальный ремонт, даже если он будет единственным за весь срок службы объекта, не должны превышать половины восстановительной стоимости:

$$\max R_n = 0{,}5\,B. \tag{46}$$

Поэтому коэффициент целесообразности ремонта может изменяться до $\gamma_{max} = 0{,}5$.

Экономически целесообразные сроки службы $D_э$ каменного жилого здания рассчитываются при следующих исходных данных (табл.10). Стоимость одного капитального ремонта определена из расчета годовых амортизационных отчислений d_{r_i} (% от B)

и среднего удорожания ремонтных работ l_i в сравнении со стоимостью аналогичных работ в новом домостроении.

Таблица 10

Показатель	Периодичность капитального ремонта t_p, лет			
	15	20	25	30
Восстановительная стоимость жилого здания B_i тыс.руб.	400	402	404	407
Коэффициент удорожания ремонта с увеличением периодичности (t_p) q_i	I	I,03 / I*	I,07 / I	I,I / I
Стоимость одного ремонта, тыс.руб. $R_i = d_{z_i} B q_i t_p l_i$	72	99 / 97*	I28 / I20	I60 / I46
Коэффициент целесообразности ремонта $\gamma_i = \frac{R_i}{B_i}$	0,I8	0,246 / 0,24I*	0,3I7 / 0,298	0,394 / 0,358
Экономический срок службы, лет $T_э = \frac{t_p}{\gamma_i}$	84	82 / 83*	78 / 84	76 / 86
Число капитальных ремонтов $j = \frac{T_э}{t_p} - 1$	5	3	2	2
Суммарные затраты на капитальный ремонт за срок службы $T_э$, тыс.руб. $R_z = \sum R_i \ldots$	360	297	256	320
То же, % от B	90	74	66	79
Удельные суммарные затраты на капитальный ремонт, руб/г. $r = R_z / T_э$	4,3	3,6	3,3	4,2

* В знаменателе указаны цифры, соответствующие значению $q_i = I$.

Комбинируя разные уровни восстановительной стоимости жилых зданий различной капитальности и долговечности, периодичности и стоимости ремонтов, можем указанным методом найти приближенные значения оптимального срока службы жилых зданий по физическому износу. Посмотрим, насколько отвечают этому требованию сроки службы жилых зданий, принятые в нормах амортизационных отчислений и рассматриваемые как целесообразные (табл.II).

Таблица II

Показатель	Здания каменные		
	особо капитальные	обыкновенные	облегченные
Нормативный срок службы, T_i, лет	I50	I25	I00
Нормативная периодичность выборочного капитального ремонта t_p, лет	6	6	6
Нормативные амортизационные отчисления на капитальный ремонт в % от восстановительной стоимости:			
годовые a_z	I	I,I	I,2
за один межремонтный период продолжительностью t_p $R'_i = a_z t_p$	6	6,6	7,2
То же, с учетом влияния возраста здания, к = I,I–I,08 $R_i = \kappa a_z t_p \ldots$	6,6	7,2	7,8
Коэффициент целесообразности капитального ремонта $\gamma_i = R_i / B$	0,066	0,072	0,078
Экономически целесообразный срок службы здания, лет. $T_{эi} = t_p / \gamma_i$	9I	83	77
		В среднем 80	
	В среднем 85		

Анализ моделей (43)-(46) и табл.10 позволяет сделать следующие выводы:

экономический срок службы жилого здания есть величина переменная, которая в зависимости от технических и экономических характеристик конструкций, систем технических устройств и других факторов может принять то или иное значение;

при принятых исходных данных экономически целесообразный срок службы $T_э$ = 78 лет ($\sim$ 80 лет) соответствует периодичности ремонтных работ $t_р$ = 25 лет. В этом случае суммарные и удельные суммарные затраты на капитальный ремонт наименьшие при практически одинаковой восстановительной стоимости здания.

gost.e-ecolog.ru