

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БРЕСТСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

Кафедра металлических и деревянных конструкций

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к разделу "Усиление несущих металлических конструкций"
по курсу "Металлические конструкции"

Для студентов специальности

- 1202 "Промышленное и гражданское строительство"
- 1205 "Сельскохозяйственное строительство"
- 1206 "Городское строительство"

г. Брест - 1983 г.

УДК 624.014.0593:621.791

Настоящие методические указания содержат вопросы обследования основных несущих строительных металлических конструкций, включая определение реальных нагрузок и воздействий, степени агрессивности внутрицеховой среды, качества стали, анализа физического и коррозионного износа, проверочные расчеты и методику обработки результатов измерений.

Также изложены основные конструктивные решения и рекомендации по усилению и расчету несущих элементов, сварных соединений и методики расчета с учетом физического и коррозионного износа металлических конструкций. Методика расчета иллюстрируется примерами.

Составитель: Н.Н. Мурашко

Рецензенты: кафедра металлических и деревянных конструкций Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института; канд. техн. наук Ю.М. Сергеев - зав. лабораторией "Специальные конструкции" ИСиА Г'остроя ВССР.

Брестский инженерно-строительный институт

1983 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года" утвержденных XXVI съездом КПСС, в качестве одной из основных задач капитального строительства определено: "Концентрировать капитальные вложения на главных направлениях, на важнейших пусковых объектах и, прежде всего, на реконструкции и техническом перевооружении действующих предприятий".

Настоящие методические указания разработаны в свете "Основных направлений ..." и во исполнение инструктивного письма Минвуза СССР № 19 от 10 августа 1981 года "О совершенствовании подготовки студентов строительных специальностей в области реконструкции и технического перевооружения действующих предприятий", а также приказа ректора № 809 от 28 сентября 1981 года в улучшении профессиональной подготовки специалистов по эксплуатации, ремонту и реконструкции промышленных и гражданских зданий и сооружений.

Следует отметить, что вводимые для изучения вопросы эксплуатации металлических конструкций, систематизации наблюдений за их состоянием, натурных обследований, технических решений и методов расчета при реконструкции производственных зданий и сооружений до настоящего времени не нашли отражения в учебной литературе.

Цель методических указаний - познакомить студентов с задачами натурных обследований несущих металлических конструкций, основными конструктивными решениями по укреплению элементов и их соединений, а также методами расчета с учетом физического и коррозионного износа.

В связи с введением в действие (1 января 1982г.) новой главы СНиП II-23-81 "Стальные конструкции" методические указания разработаны с соблюдением требований настоящих норм и буквенных обозначений соответствующих СТ СЭВ 1565-79. Расчетные формулы представлены в виде пригодном для разных систем физических величин и для любых значений расчетных сопротивлений.

Указания могут быть использованы при чтении спецкурса и разработке дипломных проектов, а также при выполнении работ по обследованию конструкций проектными, научно-исследовательскими и монтажными организациями. Они также могут быть использованы инженерно-техническими работниками служб эксплуатации производственных зданий и сооружений.

1. ОБСЛЕДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Обследование представляет собой комплекс мероприятий, дающих более точный материал, характеризующий конструкции здания и их износ, позволяющий оценить степень пригодности конструкций к дальнейшей эксплуатации. На основе обследования разрабатываются конструктивные мероприятия и рекомендации по усилению несущих конструкций. В задачи обследования входит выявление соответствия несущих металлоконструкций проекту и имеющихся в них дефектов и повреждений, полученных в процессе изготовления, транспортировки, монтажа и эксплуатации; уточнение фактических воздействий на конструкции и характеристик материала, а также расчетная проверка несущей способности и анализ степени износа конструкций. Необходимость обследования может быть вызвана следующими причинами: длительностью срока службы, расширением или реконструкцией здания, изменением действующих нагрузок, а также аварийным состоянием конструкций. Обследование выполняется при отсутствии технической документации, отступлений от проекта металлических конструкций, представляющих опасность для их несущей способности, а также наличием опасности их хрупкого разрушения (особенно стальных конструкций, изготовленных из кипящих сталей).

В общем случае обследование строительных металлических конструкций подразделяется на следующие этапы:

1) натурное обследование конструкций, включающее визуальный осмотр и инструментальную проверку их состояния с последующим составлением ведомостей дефектов и повреждений;

2) обмер конструкций с последующим составлением обмерочных чертежей;

3) определение или уточнение нагрузок и воздействий и агрессивности внутренней среды;

4) определение физико-механических свойств и химического состава металла конструкций;

5) выполнение проверочных расчетов с учетом коррозионных потерь и физического износа конструкций, фактических размеров и нагрузок;

6) анализ результатов обследования и составление технического заключения по состоянию конструкций.

Перечень работ по обследованию конструкций представлен на рис. 1.

1. Натурному обследованию предшествует сбор технической документации и сведений по эксплуатации металлических конструкций, после чего составляются заготовки - ведомости для нанесения обнаруженных дефектов и повреждений конструкций. Заготовки должны содержать в

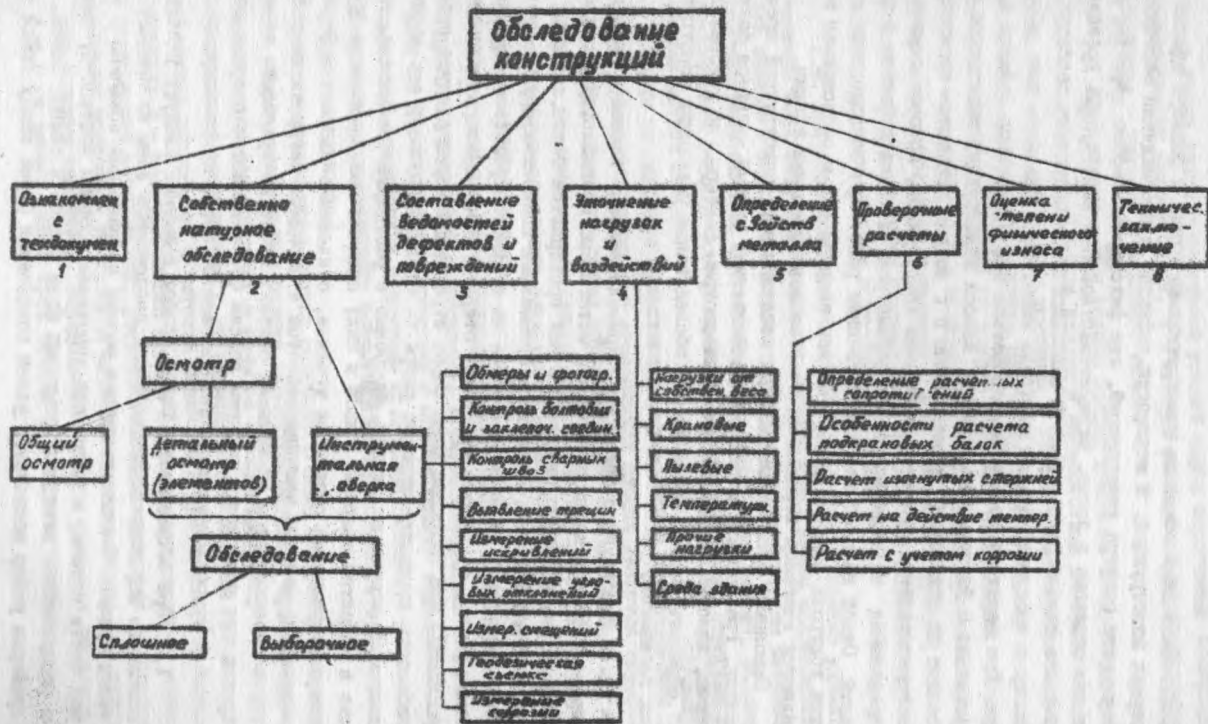


Рис.1. Структура работ по обследованию конструкций.

схематичном виде основных конструктивных схемы и размеры зданий и несущих конструкций. В ведомости дефектов и повреждений заносятся результаты осмотра конструкций, где фиксируется место дефекта, дается его описание и эскиз. Освидетельствование конструкций проводится не менее одного раза в год. В зависимости от состояния конструкций осмотр и инструментальный контроль может быть сплошным или выборочным. При осмотрах должны фиксироваться все замеченные дефекты и повреждения и факторы физического износа конструкций независимо от степени их опасности. Одновременно с осмотром элементов производится инструментальная проверка состояния конструкций, которая служит для определения их количественных параметров, а также дефектов и повреждений. Одной из наиболее ответственных работ при обследовании является контроль сварных швов, так как сварной шов и околшовная зона являются наиболее вероятными очагами возникновения трещин.

Основными элементами несущих металлических конструкций промышленных, гражданских и сельскохозяйственных зданий являются балки, фермы, колонны, связи. Поэтому рассмотрим факторы, на которые следует обращать особое внимание при обследовании указанных конструктивных элементов.

1.1. Конструкции покрытия. Криволинейность поясов и решетки ферм, особенно скатных элементов, остаточные прогибы ферм; состояние узлов ферм, особенно опорных. В них проверяются болты, сварные швы, искривление фасонки, надежность примыкания элементов друг к другу. Особо тщательно следует проверять на предмет образования трещин фасонки узлов, к которым примыкают стержни с большими растягивающими усилиями. При опирании ферм через струганный торец следует проверить плотность контакта опорного ребра со столиком по всей его ширине; состояние монтажных стыков, особенно в растянутых элементах, наличие и качество сварных швов в них; наличие соединительных прокладок в стержнях из стальных уголков, отклонение плоскости фермы от вертикали; наличие эксцентриситетов в передаче нагрузки на узлы фермы, состояние узлов примыкания связей; качество крепления элементов кровли или прогонов к верхним поясам ферм, качество сварных соединений и коррозионные повреждения элементов ферм; искривления связей.

1.2. При обследовании балок особое внимание следует уделять: состоянию верхнего шовной зоны на предмет выявления трещин. Появление трещин разных направлений возможно в верхней части стенки, а также под короткими ребрами жесткости; качеству и расположению заводских стыковых швов поясов и стенок балок, швов приварки ребер жесткости; узлам соединения балок между собой на спо-

рах, а также улам с передачей усилий через строганные поверхности; коррозионному износу балок, и в первую очередь их горизонтальных элементов - нижнего и верхнего пояса.

1.3. При обследовании колонн особое внимание следует уделять: общей геометрической форме колонн и соответствию их проектному положению; местным погибам и вмятинам и другим механическим повреждениям поясов и элементов решетки преимущественно в нижней части колонн, которые могут возникнуть от ударов грузами, работающими механизмами. Все это может привести к местным обмяткам кромок прокатных и листовых элементов колонн и появлению в них поперечных трещин; монтажным стыкам колонн, качеству сварных швов в них; коррозионным повреждениям колонн, главным образом в уровне пола цеха.

1.4. При обследовании связей особое внимание должно уделяться: наличию всех элементов связевых конструкций; общим искривлениям ветвей связей и элементов соединительной решетки; местным механическим повреждениям связей; состоянию узлов крепления связей, ригелей или искривлений фасонки или разрушений по ширине швам; стыковым соединениям поясов связей.

Одним из наиболее существенных повреждений металлических конструкций эксплуатирующихся в агрессивных средах является коррозионный износ. Интенсивность и вид коррозионного износа зависит от многих факторов, в том числе: степени агрессивности среды; материала конструкций (марки стали или алюминиевого сплава); вида и состояния защитного покрытия и др.

При осмотре и обследовании следует обратить внимание на вид коррозии (равномерная, язвенная), а также попытаться определить причины ее возникновения (протечки с кровли или из водосточков, контакт элементов конструкций с другими металлами (алюминий со сталью и т.п.); отсутствие лакокрасочных покрытий, неадекватность технологического оборудования и пр.).

Оценка коррозионного износа включает в себя следующие операции:

1 - общая качественная оценка характера коррозии при которой устанавливается вид коррозии и зоны ее распространения; 2 - подготовка поверхности конструкций с инструментальным замером путем зачистки в местах замеров от пластовой ржавчины и прищипок значного покрытия; 3 - количественная оценка степени коррозионного износа металлических конструкций, устанавливаемая параметрами: а) степень поражения коррозией по площади поверхности элементов; б) действительные толшины элементов, определяемые в трех сечениях по длине элементов и не менее, чем в трех точках в каждом сечении.

Величина коррозионных потерь находится в зданиях с неагрессивной и слабо агрессивной средой как разница между средней толщиной элемента, определенной по результатам 3-5 замеров штангенциркулем, и замерами с игольчатыми наконечниками. В зданиях со среднеагрессивной и сильноагрессивной средой как разница между средней толщиной элемента и показаниями приборов с игольчатыми наконечниками. При необходимости углубленного измерения коррозионных поражений металлоконструкций может использоваться металлографический метод.

4 - оценка состояния лакокрасочных покрытий, включающая качественную и количественную стороны. При этом определяется процент разрушения покрытия по площади с помощью специальной прозрачной пластинки с делительной сеткой, или путем измерения толщины покрытия с помощью толщиномеров, а также сплошности покрытия с помощью дефектоскопов и прочности адгезии к металлу методом "решетки" по ГОСТ 1540-69.

2. Обмеры конструкций имеют целью установить соответствие их геометрических характеристик проекту, а при отсутствии комплектной документации - восполнить ее путем составления обмерочных чертежей. Обмерочные чертежи включают монтажные схемы (планы, разрезы) несущих и связевых конструкций, основные геометрические параметры элементов (пролеты, длины, высоты и поперечные сечения), а также геометрические характеристики соединений (высоты и длины сварных швов, диаметры заклепок и болтов и т.п.). При обмерах составляются эскизы основных узлов и соединений конструкций. Обмеры носят, как правило, выборочный характер. При однотипных конструктивных элементах детально обмеряются: стропильные фермы - каждая десятая, но не менее двух в температурном блоке; колонны - не менее одной от каждого типоразмера в температурном блоке; связи по фермам - все связи между двумя стропильными фермами; связи по колоннам - один диск каждого типоразмера по каждому ряду и в каждом температурном блоке.

2.1. Обработка результатов измерений. При замерах толщин элементов необходимо сгруппировать результаты для однотипных элементов, то есть элементов, имеющих одинаковую начальную толщину.

Весь диапазон разделяется на несколько (8-10) интервалов и подсчитывается количество замеров m_i , приходящееся на i -ый разряд. Частоту, соответствующую данному разряду находим разделив это число на общее число замеров $P_i = m_i/N$ (1). Значения чисел, находящиеся на границе двух разрядов принадлежат обоим разрядам.

Определяется также среднее арифметическое M_x и среднее квадратичное отклонение σ_x данной группы замеров, служащее мерой рассеивания:

$$M_x = \sum_{i=1}^n X_i P_i \quad (2), \text{ где } X_i - \text{среднее значения } i\text{-го разряда}$$

$$S_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 P_i} \quad (3)$$

Таблица, в которой приведены разряды в порядке их расположения вдоль оси абсцисс и соответствующие частоты, называется статистическим рядом. Пример обработки результатов замеров толщины однотипных раскосов стропильных ферм приведены в таблице I.

Для нахождения минимально возможной величины толщины элемента можно воспользоваться правилом "трех сигм", то есть

$$t_{min} = m_x - 3 S_x \quad (4)$$

Количество замеров элементов N_i устанавливается в зависимости от величины коэффициента вариации V_i , относительной точности исследований ξ и доверительной вероятности P . Количество предварительно проведенных замеров толщины однотипных элементов, необходимых для определения величины коэффициента вариации, можно принять 20 ± 30 .

$V_i = S_x / m$ (5), где S_x - среднее квадратическое отклонение; m - математическое ожидание (среднее арифметическое). Допустимая ошибка ξ устанавливается в пределах 0,01-0,05, а доверительную вероятность P достаточно принять в пределах 0,9-0,95. Необходимое число замеров N_i определяется по формуле $N_i = V_i^2 \delta_p^2 / \xi^2$ (6), где δ_p - нормированное отклонение, которое принимается из специальных таблиц.

3. Проверка и уточнение реальных нагрузок и воздействий является составной частью обследования и производится для конструкций, несущая способность которых проверяется статическим расчетом, а также имеет целью выявить причины возникновения повреждений.

Собственный вес несущих металлических конструкций составляет незначительную часть от действующей нагрузки и для проверочных расчетов принимается по чертежам КМД, а при отсутствии последних вычисляется по результатам обмеров конструкций.

Фактическая нагрузка от веса железобетонных плит, утеплителя, цементной или асфальтовой стяжки уточняется замерами их толщин и определением объемной массы. При этом за нормативную нагрузку принимается среднее значение не менее 3-х замеров.

Нормативные нагрузки от оборудования определяются по паспортам и согласовываются с технологическими службами. Нормативные вертикальные крановые нагрузки определяются по весовым характеристикам кранов, которые обычно указаны в паспортах кранов. При отсутствии документации по весовым характеристикам мостовых кранов вертикальные давления колес кранов могут быть определены путем взвешивания крана гидравлическими домкратами.

Значительную дополнительную нагрузку на несущие металлоконструкции могут создавать отложения пыли на кровле. Плотность пылевых от-

СТАТИСТИЧЕСКИЙ РЯД ЗАМЕРОВ ТОЛЩИНЫ ВЕРХНИХ ПОЛОК
ДВУТАВРОВЫХ КРАНБАЛОК ПОДВЕСНОГО ПУТИ

Таблица I

Интервалы разряда	l_i мм	10,65 10,75	10,75 10,85	10,85 10,95	10,95 11,05	11,05 11,15	11,15 11,25	11,25 11,35	11,35 11,45	11,45 11,55	Сумма результатов
Представитель разряда	X_i	10,70	10,80	10,90	11,00	11,10	11,20	11,30	11,40	11,50	
Число замеров	m_i	8	7	5	9	4	6	6	5	3	53
Частота	$P_i = m_i/N$	0,151	0,132	0,094	0,170	0,075	0,113	0,113	0,094	0,057	
	$X_i \cdot P_i$	1,616	1,426	1,025	1,87	0,823	1,266	1,277	1,072	0,656	11,05
	$X_i - m_x$	-0,35	-0,25	-0,15	-0,05	0,05	0,15	0,25	0,35	0,45	
	$(X_i - m_x)^2$	0,1225	0,0625	0,0225	0,0025	0,0025	0,0225	0,625	0,1225	0,2025	
	$t_i = (X_i - m_x)^2 P_i$	0,0135	0,00825	0,0021	0,00043	0,00019	0,00254	0,00706	0,01152	0,01154	0,062

$$N = 53; \quad m_t = 11,05; \quad \sigma = \sqrt{\sum t_i} = \sqrt{0,062} = 0,25;$$

$$t_{min} = m_t - 3\sigma = 11,05 - 3 \times 0,25 = 10,3 \text{ мм.}$$

можений колеблется в среднем до 1500 кг/м^3 . Фактическая пылевая нагрузка подсчитывается по объему отложений пыли и ее объемной массе. При этом в расчетах учитывается только нагрузка от внешних источников пыли (СН-125-72). Атмосферные нагрузки определяются по СНиП "Нагрузки и воздействия".

Расчетные нагрузки определяются умножением нормативных нагрузок на коэффициент надежности по нагрузкам (γ_f).

Следует отметить, что при вычислении расчетных нагрузок целесообразно нормативные нагрузки также умножить на коэффициент надежности по назначению (γ_n), хотя рекомендуется его вводить при определении несущей способности конструкции.

Значения некоторых коэффициентов надежности по нагрузкам (γ_f) приведены в таблице 2. Коэффициенты надежности по назначению принимаются согласно Правилам учета степени ответственности зданий и сооружений и колеблются в основном в пределах $\gamma_n = 0,9-1,0$ [1].

3.2. Внутрицеховая среда. Степень агрессивности внутрицеховой среды определяет характер и величину коррозионного износа металлических конструкций. Она устанавливается по СНиП II-28-73 в зависимости от температурно-влажностного режима цеха и содержания в ней химических реагентов.

Задачей натурного изучения среды при обследовании стальных конструкций является определение параметров температурно-влажностного режима воздуха и содержания в нем химических реагентов, обусловивших их причины и степени соответствия требованиям долговечности конструкций.

Изучение эксплуатационной среды при обследовании конструкций включает в себя следующие работы: 1. Ознакомление с технологическими особенностями производства и установление зон выделения пыли, газов, влаги, тепла. 2. Определение температурно-влажностного режима внутрицеховой среды. Измерение температуры и влажности в характерных точках по объему здания. 3. Измерение содержания химических реагентов и пыли в воздухе внутри обследуемого здания.

При интенсивных пылевыделениях определяется запыленность воздуха и дисперсионного состава пыли. Выполняется отбор проб для определения химического состава пыли.

4. Изучение внешней воздушной среды, включающее определение тех же параметров, что и внутренней. Измерения характеристик внутрицеховой среды должны привязываться к соответствующим значениям наружного воздуха. 5. Химический анализ жидкостей, выделяющихся из технологических агрегатов и трубопроводов (проливов) при их воздействии на стальные конструкции.

Следует отметить, что измерение температуры и влажности воздуха

проводится как в летний, так и в зимний периоды года. Замеры агрессивности газов должны зафиксировать пики выделяемых вредных и связываются к основным технологическим операциям. При замерах следует исключить влияние воздействия источников тепла на показания приборов. Результаты замеров каждого параметра во всех точках должны обеспечить возможность статистической обработки.

Таблица 2

№ пп	Наименование нагрузок	γ_f
1	Масса строительных металлоконструкций	1,05
2	Масса бетонных (с плотностью $\rho > 1600 \text{ кг/м}^3$), железобетонных, каменных, армокаменных и деревянных конструкций	1,1
3	Масса бетонных (с плотностью $\rho < 1600 \text{ кг/м}^3$), изоляционных выравнивающих и отделочных слоев (плиты, скорлупы, материалы в рулонах, засыпки, стяжки и т.п.) выполняемые:	
3.1	в заводских условиях	1,2
3.2	на строительной площадке	1,3
3.3	(пароизоляция из рулонных материалов, гидроизоляция)	1,3
3.4	(стяжка асфальтовая, асфальтобетонная и т.п.)	1,3
3.5	(утеплитель-минералватные плиты и т.п.)	1,2
4	От мостовых кранов при расчете поперечных рам	1,1
5	От снегового покрова:	
5.1	при отношении нормативной нагрузки от массы покрытия к нормативной нагрузке от снегового покрова ≥ 1	1,4
6	От ветровых воздействий	1,2

4. Чтобы выполнить проверочные расчеты необходимо установить качество стали. Это один из главных факторов, определяющих способность элементов конструкций противостоять разрушению. Оно зависит от марки стали и технологии ее изготовления и предопределяется ее химическим составом и, в основном, размером зерна, формой и распределением структурных составляющих, методом раскисления, а также характером предшествующих деформационных и термических воздействий.

Целью оценки качества стали является определение марки материала, примененной в обследуемых конструкциях. При определении качества металла производится оценка следующих основных свойств, которые являются главными в работе строительных металлоконструкций: прочность, пластичность, ударная вязкость, характеризующая склонность стали к хрупкому разрушению и свариваемость.

В первую очередь следует установить расчетное сопротивление стали и возможность применения сварки при усилении. Исходными материалами для оценки качества стали являются рабочие чертежи и сертификаты на металл, электроды, сварочную проволоку и метизы. При отсутствии сертификатов или недостаточности имеющихся в них данных, а также в случае, если сертификатные данные дают основание предполагать наличие существенных отклонений основных характеристик металла от действующих норм, необходимо выполнить дополнительные испытания материала конструкций. Дополнительные испытания производятся также при обнаружении в элементах конструкций повреждений, особенно в виде трещин.

Для того, чтобы выявить возможность применения сварки при усилении, необходимо знать химический состав стали. Следует отметить, что для несущих металлических конструкций, выполненных из кипящих сталей и подверженных опасности хрупкого разрушения, необходимо в обязательном порядке производить химанализ стали. При дополнительных испытаниях определяют следующие показатели: 1. механические свойства при статическом растяжении образцов (предел текучести, временное сопротивление, относительное удлинение); 2. ударную вязкость при температурах +20°C; -20°C; -40°C после механической обработки; 3. химический состав - содержание в стали углерода, кремния, марганца, серы и фосфора; 4. распределение сернистых включений способом отпечатков по Бауману.

Отбор образцов для механических испытаний и проб для химического анализа производится отдельно для элементов одного вида проката. Образцы для механических испытаний вырезаются из сортового и фасонного проката - вдоль направления прокатки, а из листового и широкополосного - поперек направления прокатки. Вырезка заготовок из элементов (ГОСТ 7564-73) и взятие проб (ГОСТ 7565-73) производится на участках наименьших силовых воздействий (например, неприкрепляемые полки уголков стержней у фасонки и т.д.). При этом должна обеспечиваться прочность и устойчивость ослабленных элементов. Примеры мест вырезки и размеры заготовок для механических испытаний образцов металла ферм приведены на рис. 2. Таким образом, расчетное сопротивление материала может определяться испытанием стандартных образцов, вырезанных из конструкции, или принимается равным $R_s = 17 \text{ кн/см}^2$. Металл для химического анализа отбирается сверлением по всей толщине проката и, по возможности, равномерно по всему поперечному сечению элемента в количестве не менее 50г. Допускается отбор стружки по всей толщине проката в средней трети ширины элемента или полки профиля. Химический анализ стали производится по ГОСТ 22536.1-77+22536.6-77.

О качестве стали и ее сопротивляемости хрупкому разрушению судят на основании сопоставления результатов дополнительных испытаний с нормами химического состава и механических свойств материала, регламентированного действующими СНиП для данной конструкции. Уточнение марки стали, использованной в конструкции, производится по химсоставу выявленному при анализе проб. Содержание отдельных химических элементов должно быть в пределах, указанных в соответствующих ГОСТах. Особое внимание следует обратить на выявление степени раскисления углеродистой стали, которая устанавливается по содержанию кремния.

Свариваемость стали определяется по результатам химического анализа: содержание углерода (С); кремния (S_i); серы (S) и фосфора (P). Удовлетворительная свариваемость для углеродистой стали обеспечивается при содержании: углерода $\leq 0,25\%$; кремния $\leq 0,3\%$; серы $\leq 0,055\%$; фосфора $\leq 0,05\%$. Суммарное содержание прочих элементов не должно превышать 0,3%.

Для легированных сталей свариваемость можно оценить по суммарному содержанию примесей легирующих компонентов в процентах, приведенных к углеродистому эквиваленту.

5.1. Общие положения. Напряженное и деформативное состояние элементов обследуемых несущих конструкций выполняется с целью выявления соответствия их несущей способности фактическим нагрузкам согласно требованиям действующих в настоящее время норм проектирования, с целью установления фактических запасов прочности и жесткости конструкций, а также для анализа причин их повреждений.

Проверочные расчеты обследуемых конструкций выполняются в следующих случаях: при изменении нагрузок и воздействий не предусмотренных проектом; при отклонении конструктивной формы и площади сечения несущих элементов от проектных; при несоответствии расчетной схемы конструкций, принятой в проекте, фактической схеме работы; при обнаружении повреждений или других нарушений нормального состояния конструкций; при коррозионном износе конструкций с ослаблением сечений элементов более чем 15% площади; при выявлении, что качество стали несущих конструкций ниже проектного.

Полный перерасчет конструкций производится, когда изменилась величина проектных нагрузок или обнаружались нагрузки и воздействия, не предусмотренные проектом. В остальных случаях проверочным расчетам подлежат отдельные несущие элементы конструкций.

Проверочные расчеты металлических конструкций отличаются от расчетов на стадии проектирования тем, что они учитывают фактические характеристики конструктивной формы и материала конструкций, влияние конкретных дефектов и повреждений в каждом элементе.

Проверочные расчеты обследуемых стальных конструкций выполняются по методике расчетных предельных состояний по СНиП II-23-81. При этом крайне важно принять расчетную схему, наиболее близко отвечающую действительной работе.

Следует отметить, что при проверочном расчете конструкций, запроектированных до 1955 года, с использованием для характеристик стали данных технической документации необходимо перейти от допускаемых напряжений к расчетным сопротивлениям стали в соответствии с методикой расчета по предельным состояниям. Расчетное сопротивление стали R в функции допускаемого напряжения [6] приближенно находится по формуле: $R = [\sigma] K_3 / \gamma_m$, где K_3 - коэффициент запаса, определяемый в зависимости от года проектирования; γ_m - коэффициент надежности по материалу, принимаемый по таблице (2) СНиП II-23-81.

5.2. Расчет стальных конструкций с учетом коррозии.

При коррозионных поражениях свыше 15% по сечению несущих элементов проверочные расчеты следует производить с их учетом. Проверка прочности и устойчивости элементов стальных конструкций производится по формулам СНиП [1], но с учетом относительных коэффициентов коррозионных потерь.

Относительные коэффициенты коррозионных потерь определяются следующим образом [4]:

1. Угловой профиль:

а) центрально-растянутые - $K_1 = (\Delta_w^{\max} - \Delta_i^{\min}) / \Delta_w^{\max} = \Delta_n^{\max} / \Delta_w^{\max}$;

б) центрально-сжатые - $K_2 = (\bar{\Delta}_w - \bar{\Delta}_i) / \bar{\Delta}_w = \bar{\Delta}_n / \bar{\Delta}_w$;

в) изгибаемые - $K_3 = K_2 (1 - \bar{\Delta}_w / h)$, где h - высота сечения.

2. Фасонный прокат (швеллеры, двутавры, гнутые профили):

а) центрально-растянутые - $K_4 = (1 - P/2) \Delta_n^{\max} / A_n$;

б) центрально-сжатые - $K_5 = (1 - P/2) \bar{\Delta}_n / A$;

в) изгибаемые - $K_6 = K_5 (1 - \bar{\Delta}_n / h)$;

3. Трубчатые профили:

а) центрально-растянутые - $K_7 = (1 - 1/2) \Delta_i^{\min} / \Delta_w^{\max}$;

б) центрально-сжатые - $K_8 = (1 - 1/2) \bar{\Delta}_i / \bar{\Delta}_w$;

4. Круглый профиль сплошного сечения:

а) центрально-растянутые - $K_9 = 1 - (2\Delta_i^{\min} / D_w)$;

Здесь: Δ_w - толщина сечения элемента, определяемая штангенциркулем; Δ_i - толщина сечения элемента, определяемая приборами с игольчатыми ножками; P - периметр сечения; A, A_n - площадь сечения элемента брутто и нетто.

С чертой даны средне-статистические значения параметров. Проверка прочности элементов с учетом коррозии производится по формулам:

1. Угловой профиль:

- а) центрально-растянутые $- \sigma = N/K_1 A_n \leq R_y \gamma_c$; $\sigma = N/K_1 A_n \leq R_u \gamma_c / \gamma_u$ при $R_u / \gamma_u > R_y$ (7);
 б) центрально-сжатые $- \sigma = N/K_2 A_n \leq R_y \gamma_c$; $\sigma = N/K_2 A_n \leq R_u \gamma_c / \gamma_u$ при $R_u / \gamma_u > R_y$ (8);
 в) изгибаемые $- \sigma = M/K_3 W_{n.min} \leq R_y \gamma_c$; $\tau = Q S / J (\bar{\Delta}_m - \bar{\Delta}_l) \leq R_s \gamma_c$ (9)

2. Фасонный прокат (швеллеры, двутавры, гнутые профили):

- а) центрально-растянутые $- \sigma = N/K_4 A_n \leq R_y \gamma_c$; $\sigma = N/K_4 A_n \leq R_u \gamma_c / \gamma_u$ при $R_u / \gamma_u > R_y$ (10);
 б) центрально-сжатые $- \sigma = N/K_5 A_n \leq R_y \gamma_c$; $\sigma = N/K_5 A_n \leq R_u \gamma_c / \gamma_u$ при $R_u / \gamma_u > R_y$ (11);
 в) изгибаемые $- \sigma = M/K_6 W_{n.min} \leq R_y \gamma_c$; $\tau = Q S / J (\bar{\Delta}_m - \bar{\Delta}_l) \leq R_s \gamma_c$ (12)

3. Трубчатые профили

- а) центрально-растянутые $- \sigma = N/K_7 A_n \leq R_y \gamma_c$; $\sigma = N/K_7 A_n \leq R_u \gamma_c / \gamma_u$ при $R_u / \gamma_u > R_y$ (13);
 б) центрально-сжатые $- \sigma = N/K_8 A_n \leq R_y \gamma_c$; $\sigma = N/K_8 A_n \leq R_u \gamma_c / \gamma_u$ при $R_u / \gamma_u > R_y$ (14)

4. Круглый профиль сплошного сечения:

- а) центрально-растянутые $- \sigma = N/K_9 A_n \leq R_y \gamma_c$; $\sigma = N/K_9 A_n \leq R_u \gamma_c / \gamma_u$ при $R_u / \gamma_u > R_y$ (15)

Проверка устойчивости с учетом коррозии производится по формулам:

1. Угловой профиль:

- а) центрально-сжатые $- \sigma = N/K_2 \varphi A \leq R_y \gamma_c$ (16);
 б) изгибаемые $- \sigma = M/K_3 \varphi_5 W_0 \leq R_y \gamma_c$ (17)

2. Фасонный прокат (швеллеры, двутавры, гнутые профили):

- а) центрально-сжатые $- \sigma = N/K_5 \varphi A \leq R_y \gamma_c$ (18);
 б) изгибаемые $- \sigma = M/K_6 \varphi_5 W_0 \leq R_y \gamma_c$ (19)

3. Трубчатые профили:

- а) центрально-сжатые $- \sigma = N/K_8 \varphi A \leq R_y \gamma_c$ (20)

Определение степени коррозионного износа и расчет подъездных путей с учетом коррозии здания набивки сферы иглы Минского ГПЗ-11 [10] показан в примере I.

5.3 Оценка степени физического износа металлических конструкций

В процессе эксплуатации производственных зданий в металлических конструкциях неизбежно возникают различные повреждения. Эти повреждения, развиваясь и накапливаясь с течением времени, определяют физический износ конструкций. Причиной возникновения повреждений явля-

ются силовые воздействия, главным образом, от мостовых кранов, эксплуатационные - в виде всевозможных ударов, вырезов, неизбежные в эксплуатации, и действие окружающей среды, выражающееся в температурных, химических и электрохимических воздействиях. В то же время в конструкциях неизбежны такие повреждения и изменения, которые либо не могут быть устранены (усталостные микротрещины, местные пластические деформации и т.д.), либо не устраняются, но которые могут стать очагами зарождения макроповреждений. Такие повреждения также растут и накапливаются во времени. Для того, чтобы учесть те и другие повреждения при оценке износа, необходима соответствующая мера износа.

Степень опасности отдельных повреждений не всегда может быть выявлена. Оценить в этом случае износ конструкции по потере ее несущей способности достаточно трудно. В то же время появляющиеся повреждения ликвидируются в процессе эксплуатации, в результате чего элементы конструкций восстанавливаются. С этой точки зрения универсальным при оценке износа является технико-экономический подход.

Так как износ металлических конструкций происходит в результате их употребления, связанный с накоплением в них различных повреждений и утратой при этом их потребительской стоимости, то в качестве меры износа могут быть приняты затраты, которые необходимо произвести для ликвидации накопившихся повреждений. С другой стороны, введение такого показателя износа позволяет исключить натуральные измерители различных повреждений в конструктивных элементах, сделать их сопоставимыми и выразить износ единым параметром. Отнеся принятую меру износа к полной стоимости конструкций в современных ценах (восстановительной стоимости) и выразив неустранимую долю износа (уменьшение сечения элементов, вследствие коррозии, накопление усталостных явлений и т.д.) как некоторую функцию времени, можно представить полный износ объекта или элемента конструкции в виде двучленной формулы:

$$U = \frac{C_{\text{рем.}}}{C_{\text{восст.}}} \cdot 1000 + \varphi(t), \quad (21)$$

где: U - степень износа в процентах; $C_{\text{рем.}}$ - стоимость ремонтных затрат на восстановление элементов; $C_{\text{восст.}}$ - восстановительная стоимость элемента; $\varphi(t)$ - доля накопившегося неустранимого износа в процентах; t - время эксплуатации в годах.

Стоимость затрат на восстановление и ремонт конструкций устанавливается на основании результатов обследования, рекомендаций по устранению дефектов и повреждений и сметных единичных расценок на ремонтные работы, т.е. зависит от сметных расценок на ликвидацию повреждений и объема повреждений. Эта величина определяется выражением:

$$C_{\text{рем}} = C_{\text{рем.}} \cdot V, \quad (22)$$

где: $C_{\text{рем}}$ - единичная сметная расценка на ремонтные работы;

V - объем ремонтных работ.

Восстановительную стоимость конструкций $C_{\text{восст}}$ можно выразить также в виде произведения сметных цен конструкций в деле на массу конструкций: $C_{\text{восст}} = C_{\text{в.ост.}} \cdot G$, (23)
где: $C_{\text{восст}}$ - единичная стоимость 1 т конструкций данного типа в деле; G - вес конструкций, определенный по проектной документации.

В первом приближении можно принять, что к концу полного срока эксплуатации T_n элемента неустраняемый износ $\varphi(t)$ составит 35% (условная величина). Тогда скорость неустраняемого износа в процентах в год составит $K = 35/T_n$.

Полный срок службы связан с нормативным зависимостью:

$$T_n = t + T_n \cdot e^{(-t/T_n)} \quad (24)$$

Нормативный срок службы отдельных конструктивных элементов T_n в зависимости от режима работы здания представлен в таблице 3 [12].

Таблица 3.

№ пп	Вид конструктивного элемента	Режим работы здания			
		Л (легкий)	С (средний)	Т (тяжелый)	ВТ (весьма тяжелый)
1	Конструкции покрытия	75	65	55	45
2	Колонны	85	75	65	55
3	Подкрановых конструкции	65	50	35	20
4	Прочие конструкции	100	85	75	60

* Подставив полученные выражения в (21), получим формулу для оценки износа конструктивных элементов в развернутом виде:

$$U = (U_{\text{рем}} \cdot V) / 1000 + C_{\text{восст}} \cdot G + 35t/t + T_n \cdot G \quad (25)$$

При оценке степени износа всего сооружения в целом суммирование степеней износа отдельных конструктивных элементов производится с учетом их удельного веса в общей стоимости металлоконструкций:

$$U = \sum_{i=1}^n U_i \cdot \chi_i \quad (26)$$

где U_i - степень износа конструктивных элементов; χ_i - удельный вес стоимости данных конструктивных элементов в общей стоимости всех металлоконструкций

$$\chi_i = C_{\text{восст}}^i / \sum C_{\text{восст}}^i \quad (27)$$

где $C_{\text{восст}}^i$ - единичная стоимость конструктивных элементов из стали 3, принимаемая по таблице 4.

Ориентировочные значения χ_i для конструкций производственных зданий приводятся в таблице 5.

Осредненные значения сметных единичных
расценок на 1т конструкций в деле

Таблица 4

№ п/п	Конструкции	Единичная расценка в руб.	О б о с н о в а н и е
1	Фермы стропильные	236	ЕРЕР 14-33; 14-34; 14-35 Ценник № I, II, Бп.39,40,41
2	Сплошные подкрановые балки вместе с тор- мовыми конструкц.	230	ЕРЕР 14-39; 14-40; 14-41; Ценник № I, II, Бп.69,70,71
3	Колонны составные	245	ЕРЕР 14-15; 14-17; 14-18 Ценник № I, II, Бп.46,55,56
4	Связи по фермам	240	ЕРЕР 14-46, Ценник № I, II, Бп. 101
5	Связи по колоннам	264	ЕРЕР 14-45, Ценник № I, II, Бп. 101
6	Крановый рельс	157	
7	Детали крепления рельса	354	

Следует отметить, что поскольку степень износа является осредненным показателем состояния конструкции, то ее оценка производится по данным выборочного обследования.

Все работы по ликвидации дефектов и повреждений можно разделить на следующие группы: вложение дополнительного металла при восстановлении конструкций; восстановление соединительных элементов конструкций и сплошности металла (замена заклепок и болтов, восстановление сварных швов, заверка трещин); рихтовка конструкций; восстановление антикоррозионной защиты; устройство подмостей для проведения ремонтных работ.

Осредненные значения коэффициента K_4

Таблица 5

№ п/п	Грузопод- ъемность кранов	Значения коэффициентов K_4 для конструкций			
		Покрyтия	Колонны и верт. связи	Подкрановых	Прочих
1	до 15т	0,35±0,45	0,30±0,40	0,10±0,20	0,05±0,10
2	30-50т	0,30±0,40	0,20±0,35	0,15±0,25	0,05±0,10
3	75-100т	0,25±0,30	0,30±0,35	0,25±0,30	0,05±0,10
4	125-150т	0,20±0,25	0,35±0,40	0,30±0,35	0,05±0,10
5	175-250т	0,15±0,20	0,35±0,40	0,35±0,40	0,05±0,10

Оценку степени физического износа металлических конструкций можно производить по упрощенной методике, вводя следующие допущения: износ основных элементов (фермы, колонны и т.д.) приравняется износу второстепенных (связи, фонари и т.д.); значение единичной расценки $C_{восст.}$ можно принять постоянным и равным 240 руб за тонну конструкций в деле; влияние отдельных повреждений на износ конструкций выражается в виде коэффициента d - "меры износа". Значения d для основных типов повреждений и видов конструкций выбираются из специальных таблиц. Таким образом, доля устранимого износа выражается через число повреждений, меру износа и вес конструктивного элемента:

$$U_i = 1/G_{эл.} \cdot \sum_{i=1,2,\dots}^n N_i d_i \quad (28)$$

где N_i - количество однотипных повреждений; $G_{эл.}$ - вес конструктивного элемента в тоннах.

Оценка износа основных несущих металлических конструкций 18-метрового пролета цеха № I корпуса № I Минского государственного подшипникового завода ПТЗ-II, выполненного автором [9] показана в примере 2.

6. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа данных технической документации, результатов натурного обследования конструкций, уточнения нагрузок и воздействий и исследований внутрицеховой среды, анализа свойств металла, результатов проверочных расчетов и количественной оценки степени износа, составляется техническое заключение, которое является завершающим этапом обследования конструкций.

Техническое заключение, составленное по совокупности результатов обследования, включает следующие данные: особенности конструктивной формы обследуемых конструкций; степень надежности конструктивных решений и их недостатки; срок и особенности работы конструкций, особенности действующих нагрузок и воздействий, культуру эксплуатации конструкций; качество изготовления и монтажа конструкций; наличие повреждений, представляющих опасность для несущей способности конструкций и требующих немедленного устранения с указанием технических решений его выполнения; общую качественную оценку повреждений и конструкций и краткое описание характерных повреждений, с указанием очевидных или предполагаемых причин их возникновения; результаты количественной оценки степени износа и общую оценку состояния несущих стальных конструкций зданий; выводы о степени пригодности конструкций к дальнейшей эксплуатации с указанием необходимых условий ее обеспечения.

При применении в конструкциях кипящих сталей техническим заключением особо отмечаются факторы, влияющие на склонность стальных конструкций к хрупкому разрушению. Техническое заключение о состоянии стальных конструкций и возможности их дальнейшей эксплуатации является необходимым условием для разработки инженерных мероприятий по повышению их надежности и долговечности.

К наиболее распространенным мероприятиям могут быть отнесены: ремонт, усиление, замена, устройство страховочных конструкций, утепление конструкций и их элементов и др. Необходимые мероприятия должны осуществляться по специально разработанному проекту. Все работы по ремонту, усилению, разгрузке, полной или частичной замене, утеплению конструкций должны оформляться актами. Затем конструкции должны быть осмотрены и приняты техническим контролем.

7. ОСНОВЫ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ УСИЛЕНИЯ

Техническое заключение по усилению конструкций принимается на основании сравнения вариантов по приведенным затратам. При этом возможен вариант, предусматривающий уменьшение нагрузок (замена тяжелого утеплителя более легким, замена железобетонных плит покрытия стальным профилированным настилом и т.д.). Главными факторами, влияющими на выбор варианта, являются простота и удобство проведения работ по усилению, сокращение сроков работы, в том числе без остановки производства.

Существуют усиление конструкций под нагрузкой и с их предварительной разгрузкой. Понятно, что усиление под нагрузкой является менее трудоемким. Учитывая, что доля кратковременных нагрузок на несущие конструкции как правило составляет более 20%, в большинстве случаев можно произвести усиление не разгружая конструкций от постоянной нагрузки, что существенно влияет на сокращение его стоимости.

Для уменьшения трудоемкости работ по усилению рекомендуется крепление элементов усиления производить на сварке. При этом следует иметь в виду, что нагрев элементов в процессе сварки снижает несущую способность усиливаемых элементов. Степень снижения несущей способности зависит от тепловложения, определяемого режимом сварки, от толщины и ширины элемента, а также от направления сварки. Она может быть определена по специальному графику [8]. Для продольных швов снижение прочности не превышает 15%, для поперечных швов может достигать 40% от первоначальной несущей способности.

Усиления под нагрузкой рекомендуется производить при напряжениях, не превышающих $0,8 R$, так как в результате нагрева элементов происходит некоторая потеря их прочности, а также перераспределение напряжений, как по сечению самого элемента, так и между усиливающими эле-

ментами.

При усилении элементов с применением сварки обеспечивается непосредственное включение в работу нового металла. С увеличением нагрузки старый металл и дополнительный новый работают совместно в упруго-пластической стадии. За предельное состояние элементов, усиленных под нагрузкой, рекомендуется принимать такое состояние, когда в новом дополнительном элементе напряжения достигают расчетного сопротивления.

Конструктивные решения усиления, повышающие несущую способность весьма разнообразны, но их можно разделить на две группы: а) увеличение сечения элемента (или площади сечения швов в соединениях); б) изменение расчетной схемы.

7.1. Усиление растянутых стержней. Растянутые стержни усиливают, как правило, по всей длине путем увеличения сечения. Наиболее часто встречаются растянутые элементы в несущих конструкциях типа ферм. Усиление стержней ферм должно производиться так, чтобы центр тяжести усиленного сечения совпадал с центром тяжести основного сечения или был возможно ближе к нему. Основные типы усиления центрально растянутых элементов показаны на рис. 3.

Работа растянутого стержня, усиленного под нагрузкой, может характеризоваться следующими стадиями: I стадия - напряжения в усиливаемом элементе равны нулю (после усиления нагрузка не прикладывалась); II стадия - при увеличении нагрузки напряжения возрастают, достигая в основном сечении величины предела текучести; III стадия - при возрастании нагрузки происходит перераспределение напряжений между основным элементом и элементом усиления.

Предельное состояние усиленного под нагрузкой растянутого стержня наступает тогда, когда пластические деформации охватывают все усиленное сечение, и условие прочности по первой группе предельных состояний будет иметь следующий вид:

$$G = N / (A_{осн} + A_{ус}) \leq R_y \gamma_c \quad (29)$$

При $R_y / \gamma_c > R_y$ расчет на прочность растянутых элементов следует выполнять по формуле:

$$G = N / (A_{осн} + A_{ус}) \leq R_y \gamma_c / \gamma_m \quad (30)$$

Требуемая площадь усиления определяется

$$A_{ус}^* = N / R_y \gamma_c - A_{осн} \quad (31)$$

7.2 Усиление изгибаемых элементов. Изгибаемые элементы - это подкрановые балки, балки перекрытий и покрытия. Усиление балок можно производить увеличением сечения, изменением расчетной схемы, а также совместным применением обоих методов.

Усиление увеличением сечений элементов наиболее распространенный способ усиления. На рис. 4 приводятся некоторые традиционные варианты усиления балок по этому способу. Следует отметить, что для более

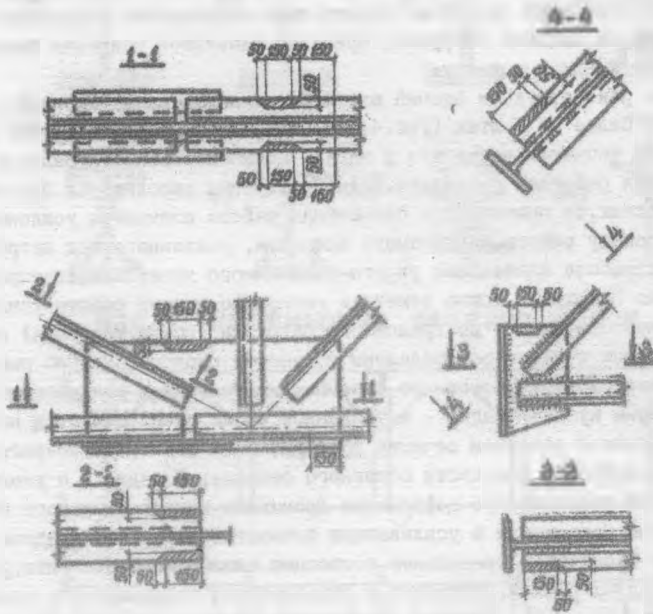


Рис. 2. Пример вырезки и размеры заготовок плоских образцов для испытания металла ферм.



Рис. 3. Типы усиления прямых стержней решетки ферм.

эффективной работы балки на изгиб целесообразно располагать материал усиления по возможности дальше от центра тяжести сечения. Для того, чтобы остаточный прогиб от сварки имел направление, противоположное прогибу от внешней нагрузки, приварку элементов усиления производят вначале к нижнему поясу.

При реконструкции зданий элементы усиления можно крепить к существующей балке на болтах (Рис. 4х). При применении болтов грубой и нормальной точности несколько в запас, можно считать, что балка и элементы усиления работают раздельно. Если соединения выполняются на высокопрочных болтах, то принимается совместная работа элементов усиления и балки.

В основу работы изгибаемого элемента, усиленного под нагрузкой, положена работа идеального упруго-пластичного материала, отвечающего диаграмме Прандтля. Можно отметить несколько стадий работы усиленного элемента: I стадия - до приложения нагрузки (после усиления) напряжения в основном сечении распределены по высоте пропорционально расстоянию от центра тяжести основного сечения; напряжения в усиливающих элементах равны нулю; II стадия - к усиленной балке прикладывается нагрузка. Напряжения в основном сечении и усиливающих элементах возрастают, достигая фибровой текучести основного сечения; III стадия - с увеличением нагрузки пластические деформации проникают внутрь основного сечения. Фибровые напряжения в усиливающих элементах достигают предела текучести; IV стадия - предельное состояние изгибаемого элемента, усиленного под нагрузкой, наступает с образованием пластического шарнира.

Для расчета изгибаемого усиленного элемента конструкции принята эпюра с распределением напряжений в сечении, ограничив развитие напряжений в крайних волокнах элементов усиления пределом текучести. Расчет на прочность элементов, изгибаемых в одной из главных плоскостей, следует выполнять по формуле: $\sigma = M_{max}/W_{n, min} \leq R_y \sigma_c$ (32) Усиление начинают с определения расстояния от опоры до элемента усиления из условия равенства предельного момента $M_{пред.}$, который может воспринять балка, моменту от внешней нагрузки M_x . Для равномерно распределенной нагрузки $M_{пр.} = W_{осн} \cdot R_y \sigma_c$; $M_x = q \cdot x(l-x)/2$; Затем, приравнявая $M_{пр.} = M_x$, определяем X . Расстояние от опоры до элементов усиления принимаем с учетом полного включения элементов усиления в работу, то есть $\sigma = X - (200+300)$ мм.

Определяем требуемые моменты сопротивления и инерции балки

$$W_{тр} = M_{max}/R_y \sigma_c \quad (33), \quad I_{тр} = W_{тр} \cdot h/2 \quad (34),$$

где h - высота балки.

$$\text{Требуемый момент инерции элементов усиления } J_{до}^{тр} = J_{тр} - J_{осн} \quad (35)$$

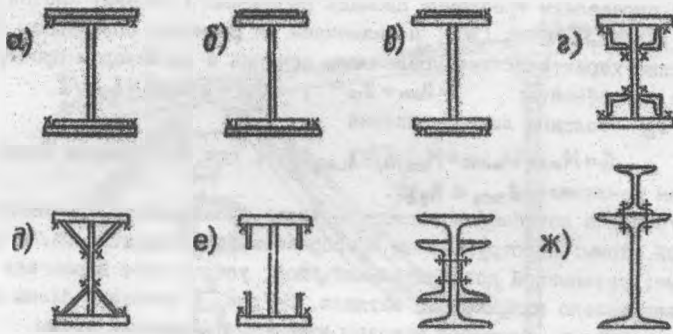


Рис.4. Увеличение сечения балок.

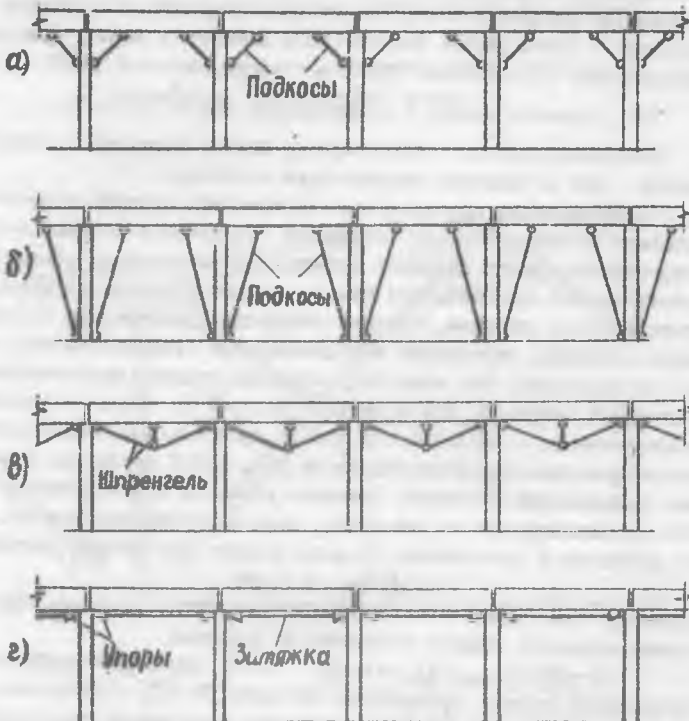


Рис.5. Усиления балок за счёт изменения расчётной схемы.

Далее определяем требуемую площадь поперечного сечения листов усиления $A_{yc}^{**} = 2J_{yc}^{**}/h^2$ (36), и назначаем их размеры. Определяем геометрические характеристики усиленного сечения и производим проверку несущей способности: $J = J_{осн} + J_{yc}$; $J_{yc} = 2A_{yc}(h + t_{yc})/2$ (36), где t_{yc} - толщина листа усиления

$G = M_{max}/W_{л.мид} = M_{max}h'/2J_{л.мид}$ (37), где h' - высота балки с учетом усиления; $G_{max} \leq R_y \gamma_c$.

Усиление изгибаемых элементов также производится изменением расчетной схемы: конструктивным преобразованием разрезных балок в неразрезные; установкой дополнительных опор; устройством шпренгеля или предварительно напряженной затяжки. На рис. 5 показаны схемы усиления изгибаемых элементов методом изменения расчетной схемы.

Следует отметить, что усиление методом изменения расчетной схемы производится в доступных местах нижнего пояса. При усилении методом увеличения поперечного сечения доступ к верхнему поясу может быть затруднен. В общем случае тип усиления зависит от многих факторов и производится в результате сравнения вариантов.

7.3. Усиление сжатых и внецентренно сжатых элементов.

Центрально сжатые и внецентренно сжатые элементы в конструкциях зданий - это в основном стержни ферм и колонн.

Усиление может производиться увеличением сечений стержней и изменением расчетной схемы. Увеличение поперечного сечения сжатых и внецентренно сжатых стержней усиливающими элементами является более универсальным способом. При этом различают усиление прямолинейных и криволинейных стержней. Большую опасность представляют искривленные сжатые стержни, получившие искривления при транспортировке, монтаже или эксплуатации. Как способы увеличения сечения прямолинейных и криволинейных стержней, так и методы проверки их несущей способности после усиления - различны. На рис. 3 представлены типы усиления сечений прямолинейных стержней, а на рис. 6, 8, 9 приведены схемы усиления искривленных стержней. Элементы усиления сжатых стержней могут быть установлены не на всю длину, если существующее сечение обладает достаточной прочностью. То есть должно выполняться условие:

$$G = N/A_{осн} \leq R_y \gamma_c \quad (38)$$

Проверку общей устойчивости сжатых симметрично усиленных прямолинейных стержней следует выполнять по формуле:

$G = N/\varphi(A_{осн} + A_{yc}) \leq R_y \gamma_c$ (39), где φ - коэффициент продольного изгиба, принимаемый по табл. 72 [1] в зависимости от наибольшей гибкости $\lambda = l_{0э}/i$. Значения φ следует определять по формулам (8, 9, 10) [1] в зависимости от величины условной гибкости

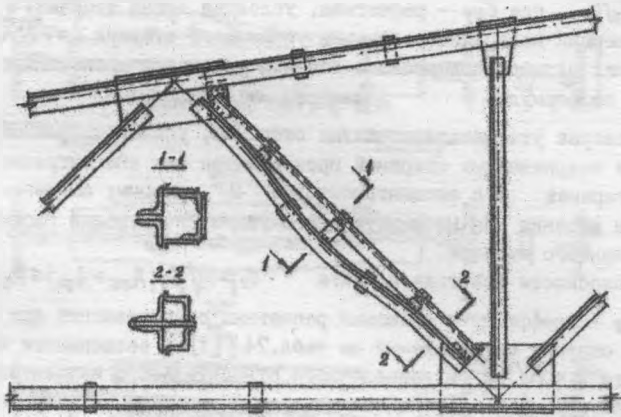


Рис. 6. Усиление стержней решетки ферм, имеющих искривления в плоскости фермы

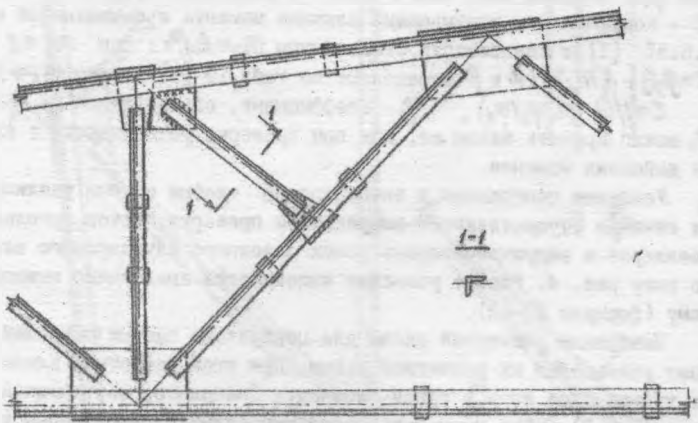


Рис. 7. Уменьшение расчетной длины сжатого раскоса фермы

$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E}$, где λ_{ef} - расчетная, условная длина стержня; i - радиус инерции поперечного сечения усиленного стержня $i = \sqrt{I / (A_{осн} + A_{ус})}$. Требуемая площадь поперечного сечения усиливающих элементов определяется по формуле:

$$A_{ус}^{тр} = N / \varphi_{осн} \gamma_c R_y - A_{осн} \quad (40)$$

Проверка устойчивости скатых стержней, усиленных несимметрично, а также искривленных стержней производится как внецентренно скатых стержней с эксцентриситетом "е", равным: смещению центра тяжести сечения для несимметричного усиления; стрелке прогиба для искривленного стержня.

$$G = N / \varphi_e (A_{осн} + A_{ус}) \leq R_y \gamma_c \quad (41),$$

где φ_e - коэффициент снижения расчетных сопротивлений при внецентренном скатии, определяемый по табл.74 [I] в зависимости от условной гибкости $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E}$ и приведенного относительного эксцентриситета $m_{ef} = \eta m$, где η - коэффициент влияния ф.мы сечения, определяемый по табл.73 [I]; $m = e (A_{осн} + A_{ус}) / W_c$ - относительный эксцентриситет, здесь e - эксцентриситет; W_c - момент сопротивления для наиболее слабого волокна усиленного сечения.

Из плоскости действия момента при изгибе в плоскости наибольшей жесткости ($J_x > J_y$) $G = N / C \varphi_y (A_{осн} + A_{ус}) \leq R_y \gamma_c \quad (42),$

где φ_y - коэффициент, вычисляемый по формулам (8,9,10) и табл.72 [I]; C - коэффициент, учитывающий влияние момента и вычисляемый согласно п.5.31 [I] в зависимости от величины $m_x = e_x / \rho_x$: при $m_x \leq 5$ $C = \beta / (1 + d m_x)$, (d и β определяют по табл.10 [I]); при $m_x \geq 10$

$C = 1 / (1 + m_x \varphi_y / \varphi_0)$, φ_0 - коэффициент, определяемый по прил.7 [I]; β_x можно принять таким же, как при проверке устойчивости в плоскости действия момента.

Усиление центрально и внецентренно скатых колонн увеличением их сечения осуществляется посредством приварки листов, уголков, швеллеров к наружной стороне полки сплошного двутаврового сечения по типу рис. 4. Расчет усиления выполняется аналогично вышеприведенному (формулы 39-42).

Изменение расчетной схемы для центрально скатых стержней означает уменьшение их расчетной длины. При этом расчетная длина стержня уменьшается лишь в одной плоскости (например, постановкой шпренгеля (рис.7) можно уменьшить расчетную длину раскоса фермы в ее плоскости в два раза).

Расчет стержней усиленных путем изменения расчетной схемы не отличается от обычного расчета на устойчивость.

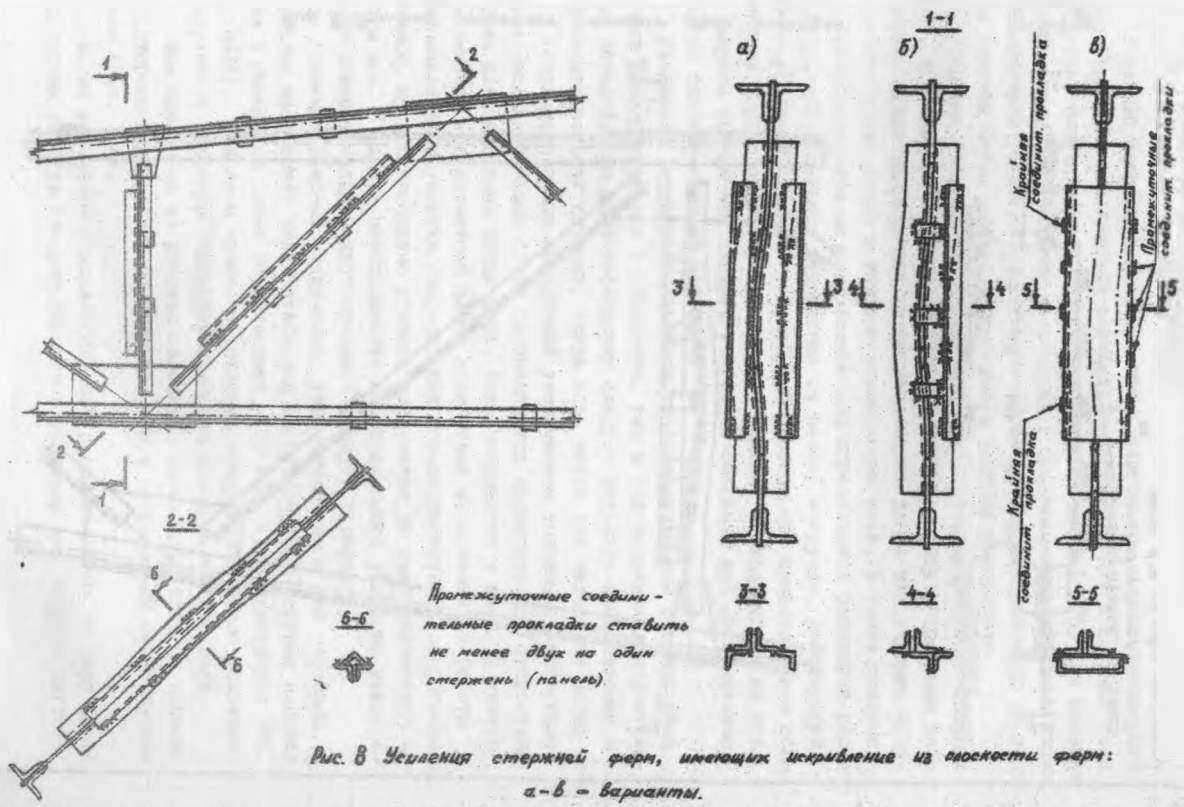


Рис. 8 Усиления стержней форм, имеющих искривление из плоскости форм:
а-в - варианты.

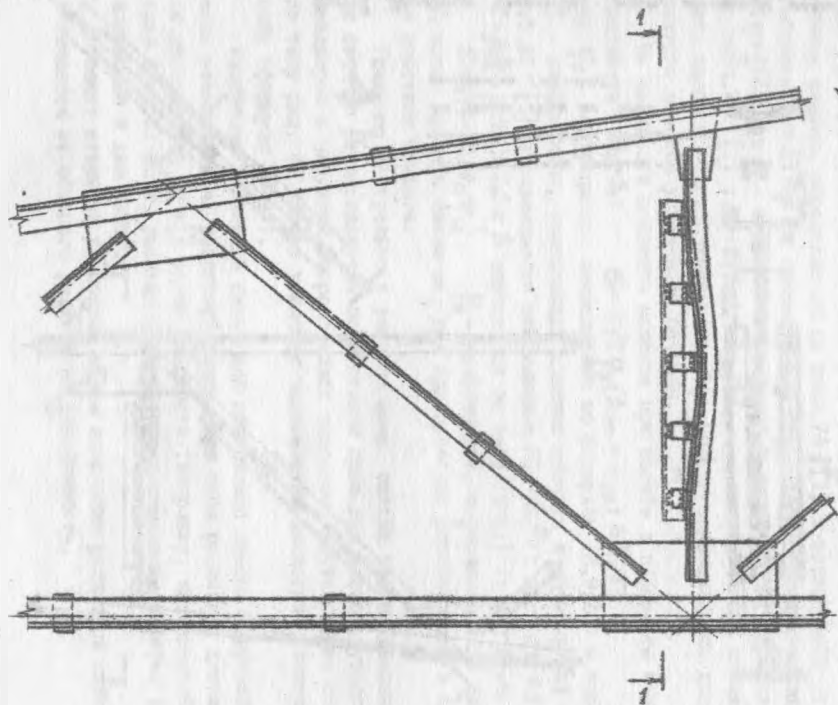
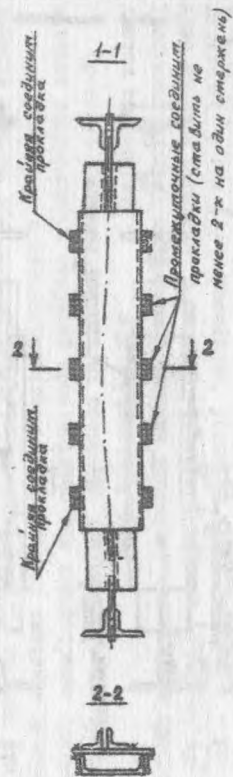


Рис. 9 Усиление стержневой решетки ферм, имеющих искривление в двух плоскостях.



7.4. УСИЛЕНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Усиление сварных соединений производится при выявлении несущей способности их в следующих случаях: при обнаружении в сварных швах дефектов, выходящих за пределы требований СНиП Ш-13-75; при наличии зазора между свариваемыми элементами в соединениях с угловыми швами, превышающего установленный ГОСТом 5264-69; при отступлениях от размеров сварных швов, заданных чертежом в сторону уменьшения.

Усиление сварных соединений при недостаточных размерах сварных швов, а также при наличии повышенных зазоров между сваренными элементами может выполняться путем увеличения длины или толщины существующих швов. Длина и толщина усиливающих швов, а также толщина направляемого слоя на усиливаемые швы определяется разностью расчетного усилия в сварном соединении от полной нагрузки, действующей после усиления, и расчетной несущей способности существующего соединения. При определении расчетного усилия, приходящегося на шов, в сварном соединении следует учитывать смещение его относительно центра тяжести сечения элемента.

Усиление соединений элементов увеличением длины сварных швов может выполняться как с введением, так и без введения дополнительных деталей, при этом последнему следует отдавать предпочтение и применять во всех случаях, когда есть место для наложения новых швов.

Усиление сварных соединений увеличением толщины существующих швов наплавкой новых слоев рекомендуется применять при отсутствии места для наложения новых швов. Если напряжения в швах, с учетом уменьшения его расчетной длины вследствие выключения из работы расплавленного участка сварного шва меньше расчетного сопротивления сварки, то целесообразно усилить соединение за счет увеличения высоты шва. В случае необходимости одновременного усиления увеличением длины и толщины швов начинать следует с первого.

Усиление сварных соединений увеличением длины или толщины сварных швов может выполняться под нагрузкой, при которых напряжения в имеющихся швах не превышает 150 МПа (для электродов Э42 и Э42А), при этом прочность сварных соединений после усиления возрастает пропорционально увеличению длины и толщины швов.

Для элементов из уголков наложение новых швов следует начинать со стороны пера уголка от той фасонки в направлении существующих швов (Рис. 10а).

После наложения усиливающего шва с одного конца по перу одного из парных уголков следует перейти к усилению шва второго парного

уголка с обратной стороны той же фасонки или с противоположного конца элемента у второй фасонки (Рис. 10в). После наложения всех швов по перу уголков следует переходить к наложению швов по обушку уголков в той же последовательности.

Наплавку швов производят последовательно слоями по 2мм. При этом высота шва после усиления не должна превышать по обушку уголка

$K_f^{об} \leq 1,2 t_f$ и по перу $K_f^n \leq t_f$. Наложение повторных слоев можно производить только после охлаждения предыдущего слоя до температуры ниже 100°C.

Усиление соединений металлических конструкций рассмотрим на примере усиления узлов стропильных ферм, как наиболее традиционных и широко применяющихся в конструкциях промышленных и гражданских зданий. На рис. 11 показаны возможные схемы усиления узлов сварных ферм. Следует отметить, что усиление узлов целесообразно производить с помощью сварки.

Расчет сварных швов, усиленных наплавкой (увеличением высоты шва) начинается с проверки возможности проведения такого способа усиления. Для этого определяют несущую способность шва в момент усиления с учетом уменьшения длины шва:

$$\text{по металлу шва} \quad T_u = N / \beta_f K_f (l_w - a) \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c$$

$$\text{по металлу границы сплавления} \quad T_u = N / \beta_f K_f (l_w - a) \leq R_{wg} \gamma_{wg} \gamma_c \quad (43)$$

где N - фактическое усилие в рассчитываемом шве (по перу или обушку) от нагрузок, действующих в момент усиления; обычно усилие от постоянных нагрузок; a - длина участка шва, выходящая из работы и зависящая от суммарной толщины свариваемого металла и толщины усиливаемого шва; ее принимают при увеличении высоты шва K_f : с 6мм до 8 мм - 30 мм; с 8 мм до 10 мм - 40 мм; с 10 мм до 12 мм - 50 мм; остальные обозначения согласно [1].

Проверку несущей способности усиленных сварных швов производят по формуле:

$$\text{по металлу шва} \quad T_u^{\text{об}} = N_u^{\text{об}} / 2 \beta_f K_f^{\text{об}} l_w^{\text{об}} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad T_u^n = N_u^n / 2 \beta_f K_f^n l_w^n \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c \quad (44)$$

по металлу границы сплавления

$$T_u^{\text{об}g} = N_u^{\text{об}g} / 2 \beta_f K_f^{\text{об}g} l_w^{\text{об}g} \leq R_{wg} \gamma_{wg} \gamma_c; \quad T_u^{ng} = N_u^{ng} / 2 \beta_f K_f^{ng} l_w^{ng} \leq R_{wg} \gamma_{wg} \gamma_c \quad (45)$$

где $N_u^{\text{об}}$ и N_u^n - усилия от полной расчетной нагрузки, приходящиеся соответственно на обушку и перо; $K_f^{\text{об}}$ и K_f^n - высота швов по обушку и перу после усиления.

Проверка несущей способности сварных швов, усиленных с помощью увеличения длины швов (Рис. 11 б) наваркой дополнительных швов по

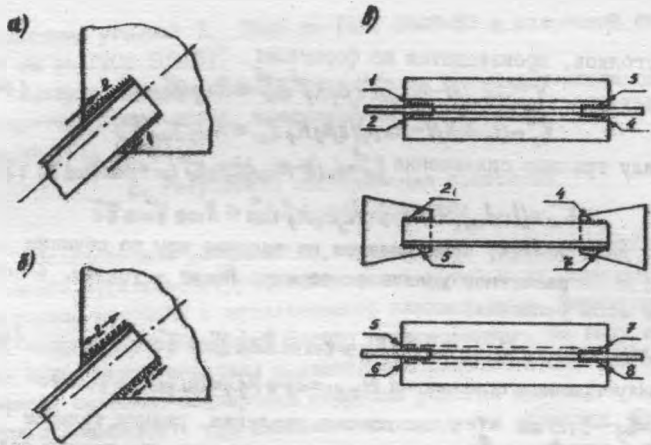


Рис. 10. Порядок наложения швов и направление сварки:
 а) увеличение длины швов;
 б) — — — — — толщины швов;
 в) порядок наложения швов;
 шпильки — ранее выполненные швы
 шпильки — дополнительные усиливающие швы.

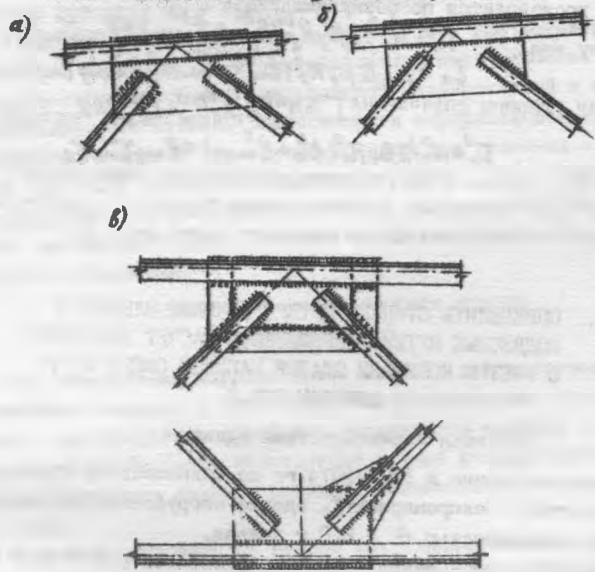


Рис. 11. Усиление концов сварных форм:
 а, б, в — варианты.

торцам уголков, производится по формулам:

$$\text{по металлу шва } T_w^{ob} = d_w(N - N_{wyc}) / 2\beta_f K_f^{ob} l_w^{ob} \leq R_{wf} \delta_{wf} \delta_c \quad (46)$$

$$T_w^n = (1 - d_w)(N - N_{wyc}) / 2\beta_f K_f^n l_w^n \leq R_{wf} \delta_{wf} \delta_c$$

$$\text{по металлу границы сплавления } T_w^{ob} = d_w(N - N_{wyc}) / 2\beta_f K_f^{ob} l_w^{ob} \leq R_{wz} \delta_{wz} \delta_c \quad (47)$$

$$T_w^n = (1 - d_w)(N - N_{wyc}) / 2\beta_f K_f^n l_w^n \leq R_{wz} \delta_{wz} \delta_c$$

где d_w - доля усилия, приходящаяся на сварные швы по обухам уголков; N - расчетное усилие в стержне; N_{wyc} - усилие, воспринимаемое швом усиления;

$$\text{по металлу шва } N_{wyc} = 2\beta_f K_f^{yc} l_{wyc} R_{wf} \delta_{wf} \delta_c \quad (48)$$

$$\text{по металлу границы сплавления } N_{wyc} = 2\beta_f K_f^{yc} l_{wyc} R_{wz} \delta_{wz} \delta_c$$

где $K_f^{yc} = t_f - 1 + 2$ мм - высота шва усиления, равная толщине полки уголка; $l_{wyc} = \delta_f$ - длина шва усиления, равная ширине полки уголка.

Проверка несущей способности сварных швов, усиленных с помощью увеличения длины швов (Рис. IIа) (за счет установки дополнительных фасонки) производится по формулам:

$$\text{по металлу шва } T_w^{ob} = N_w^{ob} / 2\beta_f K_f^{ob} (l_w^{ob} + l_{wyc}^{ob}) \leq R_{wf} \delta_{wf} \delta_c$$

$$T_w^n = N_w^n / 2\beta_f K_f^n (l_w^n + l_{wyc}^n) \leq R_{wf} \delta_{wf} \delta_c \quad (49)$$

$$\text{по металлу границы сплавления } T_w^{ob} = N_w^{ob} / 2\beta_f K_f^{ob} (l_w^{ob} + l_{wyc}^{ob}) \leq R_{wz} \delta_{wz} \delta_c \quad (50)$$

$$T_w^n = N_w^n / 2\beta_f K_f^n (l_w^n + l_{wyc}^n) \leq R_{wz} \delta_{wz} \delta_c$$

где l_{wyc}^{ob} , l_{wyc}^n - длины швов усиления по обуху и перу уголков.

Длины швов крепления дополнительных фасонки к существующим принимаются конструктивно, но не менее длины швов по обуху и перу уголков.

ПРИМЕР 1. ОПРЕДЕЛИТЬ СТЕПЕНЬ ПОТЕРИ СЕЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВЕСНЫХ ПУТЕЙ И ПРОИЗВЕСТИ РАСЧЕТ КРАНБАЛКИ С УЧЕТОМ КОРРОЗИИ ЗДАНИЯ НАЛИВКИ СФЕРЫ ИЖИЛ НА МИНСКОМ ГТЗ-П

1. Краткая характеристика здания

Здание построено в 1972-1974 гг по техническому проекту проекта этого института "Белпромпроект". Здание оборудовано двумя кранбалками грузоподъемностью $Q = 2,0$ т каждая.

Подвесные пути - металлические двутавровые балки I 20М по ГОСТ 8082-58. Крепление подвесного транспортного оборудования осуществляется посредством швеллеров С № 14 по ГОСТ 8082-72,

равнобоких уголков L 75x6 по ГОСТ 8509-57 и полосовой стали $t = 8$ мм по ГОСТ 103-57.⁹

Материал стальных несущих кранбалок - кипящая марганцевая малоуглеродистая сталь, поставляемая по группе В, пятой категории (марка ВСт. Зкпб).

2. Результаты обследования состояния металлоконструкций

Обследованием установлено, что несущие и вспомогательные элементы металлоконструкций подвесных путей и их узлы покрыты слоем рыхлой ржавчины и металлической влажной пыли. Металлоконструкции корродируют. Коррозия быстро прогрессирует. По виду коррозионных повреждений коррозия является поверхностной местной и неравномерной. Особенно подвержены коррозии участки кранбалок на опорах (полки кранбалок), где скапливаются продукты коррозии. Стенка прокатного двутавра подвержена коррозионным повреждениям в меньшей степени.

Стальные элементы крепления кранбалок к несущим конструкциям покрытия подвержены также коррозии, которая наиболее заметна на участках приварки их к закладным деталям.

В результате обследования выявлено, что все металлоконструкции подвержены коррозии, хотя они эксплуатируются не более пяти лет. Коррозия является общей поверхностной неравномерной и местной. Установлено, что степень агрессивности внутрицеховой среды внутри отапливаемого здания при группе воздуха А в условиях конденсации влаги ($\varphi > 75\%$) является среднеагрессивной [11]. Следует отметить, что вследствие коррозионных поражений стальных конструкций, выполненных из кипящей стали, несущие кранбалки подвержены опасности крупного разрушения.

3. Определение коррозионного износа подвесных путей

Для определения коррозионного износа, действительной площади поперечного сечения и относительного коэффициента коррозионных потерь, производилась обработка результатов замеров толщины элементов подвесных балочных конструкций в виде статистического ряда, которая позволяла выявить истинную (минимальную) толщину исследуемых марок.

Величина коррозионных потерь вычислялась как разница между проектной толщиной элемента и показаниями приборов с игольчатыми наконечниками (для среднеагрессивной среды). Так как на горизонт-

табальных элементах кранбалки скапливается наибольшее количество продуктов коррозии, то были проведены только замеры толщин полок двутавровых балок.

Таблица определения степени потерь сечения элементов

Таблица 6

№ пп	Наименование элементов	Сечение (мм)		Площадь (см ²)		$K = \frac{t_{\text{проект}} - t_{\text{изм}}}{t_{\text{проект}}}$	$\frac{t_{\text{проект}} - t_{\text{изм}}}{t_{\text{проект}}}$	Степень потерь сечения
		по проекту t	по замерам t	Апроект	$A_{\text{изм}}$			
1	Верхний пояс	I*36M 12,3	10,3	73,7	61,9	0,837	0,163	16,3
2	Нижний пояс	I*36M 12,3	10,4	73,7	61,9	0,845	0,155	15,5
3	Элементы раскрепления кранбалок	L75x8	L75x4,47	17,56	12,98	0,745	0,255	25,5

Анализ табличных данных показывает, что потери сечений элементов стальных конструкций подвешенного пути колеблются в пределах 16+26%, что указывает на быстро прогрессирующий коррозионный износ.

4. Расчет подвешенной кранбалки с учетом коррозии

Так как коррозионные потери составляют свыше 15% по сечению несущих элементов подвешенных кранбалок, то доверочные расчеты следует производить с их учетом.

Относительный коэффициент коррозионных потерь для двутавровых изгибаемых элементов определяется:

$$K_6 = K_5 \left(1 - \frac{\Delta A}{A}\right) = 0,763 \cdot \left(1 - \frac{0,25}{36}\right) = 0,758,$$

$$\text{где } K_5 = 1 - \frac{\sigma}{2} \cdot \frac{\Delta A}{A} = 1 - \frac{140}{2} \cdot \frac{0,25}{73,7} = 0,763$$

Определяем нормальные напряжения с учетом коррозии по прочности (12) и устойчивости (19)

$$\sigma = \frac{M}{K_6 \cdot W_{x, \text{млн}}} \leq R_y \gamma_c; \quad \sigma = \frac{501600}{0,758 \cdot 850} \leq 225 \cdot 0,9;$$

$$\sigma = 86,5 \text{ МПа} \ll R_y \sigma_0 = 202,5 \text{ МПа}$$

$$\sigma = \frac{M}{K_0 \varphi_s W_e} \ll R_y \sigma_0; \quad \sigma = \frac{501600}{0,758 \cdot 0,843 \cdot 850} \ll 225 \cdot 0,95;$$

$$\sigma = 92,5 \text{ МПа} \ll R_y \sigma_0 = 213,7 \text{ МПа}$$

где $\varphi_s = 0,843$ - вычислен по формуле (174) Приложения 7 [1]

Таким образом, коррозионный износ стальных кранбалок снижает их несущую способность и устойчивость на 24%. И несмотря на то, что нормальные напряжения в балках меньше расчетного сопротивления стали, найденная значительная величина степени коррозионного износа после пяти лет эксплуатации цеха предупреждает о необходимости защитных противокоррозионных мероприятий.

ПРИМЕР 2. ОЦЕНИТЬ СТЕПЕНЬ ИЗНОСА ОСНОВНЫХ НЕСУЩИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ 18-МЕТРОВОГО ПРОЛЕТА ЦЕХА № I КОРПУСА № I МИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПОДШИТНИКОВОГО ЗАВОДА ПЭ-11

1. Краткая характеристика объекта

Металлические конструкции цеха № I корпуса № I, построенного в 1949-50 гг., были запроектированы Харьковским отделением "Промстройпроект" и изготовлены из стали марки Ст. 3.

Поперечная конструкция цеха № I представляет собой однопролетную раму с жестким сопряжением ригеля с колоннами и заделкой последних в фундаментах.

Ригели рамы - сквозные стропильные фермы трапециевидного очертания с уклоном верхнего пояса $i = 1:10$. Колонны - сплошные сварные постоянного по высоте сечения: из двух I №36а, соединенных диском - 365x8 мм. Подкрановые балки - прокатные разрезные двутаврового поперечного сечения (I №45а). Верхний пояс усилен листом - 250x8 мм.

Цех № I оборудуется двумя мостовыми электрическими кранами грузоподъемностью $Q = 5$ т каждый.

2. Результаты обследования состояния металлических конструкций

Натурные обследования несущих конструкций произведены выборочным методом и включали семь стропильных ферм, колонны и подкрановые балки.

При обследовании обнаружены погнутости отдельных стержней ферм. Максимальная стрелка погнутостей не превышает 25 мм. Стропильные фермы имели значительные прогибы: по осям I4, I6, 2I они составляли 4,25 см.

Стальные колонны ряда "А" имеют вмятины и погнутости полок двутавров. Отдельные места колонн подвержены действию коррозии вследствие воздействия влаги и масел.

Наиболее поврежденным элементом подкрановых конструкций является верхний пояс подкрановых балок и узлы их крепления: нарушены болтовые и сварные соединения, имеется отклонение балок и рельса от проектного положения и т.д.

Подробные результаты обследования конструкций представлены в [9]. Ниже приводятся данные подсчета суммы произведений для стропильных ферм, колонн и подкрановых балок цеха № I в подсчете на один конструктивный элемент.

Степень износа определена по приближенной методике. При этом сумма обнаруженных повреждений каждого вида делилась на число обследованных элементов.

Таблица подсчета $\sum Ni di$ для отдельных конструктивных элементов

Таблица 7

№ пп	Наименование повреждений и отдельных работ	Число повреждений на один элемент N_i	Мера износа d_i	$N_i d_i$
1	2	3	4	5
а) Стропильная ферма				
1.	Погнутости раскосов	0,623	1,80ф	1,236ф
2.	Погнутости стоек	0,47	1,16ф	0,526ф
3.	Погнутости панелей нижнего пояса ферм	0,36	6,90ф	2,486ф
4.	Счистка конструкций от пыли, ржавчины и старой краски (как средне корродированных)	1,0	1,62	1,62
5.	Окраска конструкций покрытия за один раз масляной краской	1,0	1,96	1,96
6.	Устранено, перестановка и разборка подмостей	1,0	2,52	2,52

Итого: 4,236ф, 6,10

б) Колонна ряда "А"

Таблица 8

1	2	3	4	5
1.	Погнутости и прогибы подкрановой части колонны	2,25	3,8	8,55
2.	Местные вмятины	0,82	2,4	1,97
3.	Отклонение колонны от проектного положения	~25% колонн подлежат рихтовке	28,96 _к	7,236 _к
4.	Очистка конструкций колонн от пыли, ржавчины, старой краски (как средне корродированных)	I	1,62	1,62
5.	Окраска колонн за один раз каменноугольным лаком	I	2,44	2,44
6.	Устройство, перестановка и разборка подмостей	I	1,61	1,61

Итого: 7,236_к+16,19

в) Подкрановые балки

Таблица 9

1	2	3	4	5
1.	Отклонение балок от проектного положения	около 10% балок подлежат рихтовке	19,26 _к	1,926 _к
2.	Рихтовка кранового рельса	1,0	1,35	1,35
3.	Ослабление болтов крепления рельса	36	0,051	1,836
4.	Ослабление болтовых соединений в узлах в среднем	2	0,077	0,154
5.	Очистка балок от пыли, ржавчины, старой краски (как средне корродированных)	I	1,62	1,62
6.	Окраска балок за I раз каменноугольным лаком	I	2,44	2,44
7.	Устройство, перестановка и разборка подмостей	I	1,61	1,61

Итого: 1,926_к+9,01

Таблица подсчета полного износа элементов конструкций

Таблица 10

№№ пп	Наименование конструктивных элементов	Масса эл-та $G_{эл}$ (тс)	$U_1 = \frac{G_{эл} \cdot t}{T_N}$	t (лет)	T_N (лет)	$U_2 = \varphi(t)$ (%)	$U_{пол}$ (%)
			(%)				
1	Стропильные фермы	3,05	6,23	23	55	10,31	16,54
2	Колонны ряда "А"	2,32	14,21	23	65	5,76	19,97
3	Подкрановые балки	0,88	12,16	23	35	11,98	24,14

В таблице приведен подсчет полного износа конструктивных элементов как суммы $U = U_1 + U_2$ в соответствии с формулой (21). Нормативный срок службы конструкций T_N принят по таблице 3, а доля неустранимого износа U_2 вычислена по формуле (24).

Для оценки среднего износа металлоконструкций всего здания (формула 26) вычисление коэффициента K_i (27) приводится в табличной форме.

Значения K_i

Таблица 11

№№ пп	Элемент конструкций	К-во	Масса (тс)		Стоимость C_B (руб)		K_i
			эл-та	общая	единичная	общая	
1	Стропильные фермы	34	3,05	103,7	239-35	24801	0,498
2	Колонны	34	2,32	78,9	237-52	18734	0,371
3	Подкрановые балки	68	0,68	59,8	227-27	13587	0,131

Всего: 57122 1,0

В соответствии с полученными значениями K_i общий износ металлических конструкций цеха № I в среднем будет равен:

$$U = 16,54 \cdot 0,498 + 19,97 \cdot 0,371 + 24,14 \cdot 0,131 = 18,81 \%$$

Таким образом, полученные данные примера позволяют отметить следующее: после 23 лет эксплуатации несущих металлоконструкций цеха износ подкрановых балок составляет 24,1%, а конструкций покрытия и колонн соответственно 16,5% и 20%. Износ металлоконструкций в целом по зданию равен 18,8%.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП II-23-81. Стальные конструкции. Госстрой СССР. М., Стройиздат, 1982, с.96.
2. СНиП II-6-74. "Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования" М., Стройиздат, 1976.
3. Бюллетень строительной техники, № 7,8,9,II. Госстрой СССР. М., 1981г.
4. Инструкция по обследованию стальных конструкций производственных зданий заводов черной металлургии. МИСИ им.В.В.Куйбышева, М., 1977г.
5. Исследование долговечности строительных металлических конструкций в агрессивных средах никелевой промышленности. Отчет МИСИ им. В.В.Куйбышева, инв. № 6551670, М., 1977г.
6. Руководство по обследованию сварных стальных конструкций, выполненных из кипящей углеродистой стали, и разработке мероприятий предупреждающих их хрупкое разрушение. ЦНИПРОЕКТСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ, М., 1979г.
7. Усиление строительных металлических конструкций. МИСИ им. В.В. Куйбышева, М., 1977г.
8. Руководство по усилению элементов конструкций с применением сварки. ЦНИПРОЕКТСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ, М., 1979г.
9. Отчет по НИР 76095635. Исследование несущей способности и жесткости основных несущих конструкций 18-метрового пролета цеха № I корпуса № I на Минском ГПЗ-II. БИСИ, 1978 г.
10. Отчет по НИР 78054634. Исследование несущей способности и жесткости основных несущих конструкций здания набивки сферы иглы и компрессорной станции на Минском ГПЗ-II. БИСИ, 1979г.
11. СНиП II-28-73. Защита строительных конструкций от коррозии. М., 1973 г.
12. В.К. Городецкий и др. Правила технической эксплуатации заводов черной металлургии. Научно-технический отчет № 4688 МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1971 г.

Николай Николаевич Мурашио

Методические указания к разделу "Усиление несущих металлических конструкций" курса "Металлические конструкции" для студентов специальностей 1202, 1205.

Подписано к печати 3.04.83 г. Формат 60x84/16,
объем 2,0 уч. изд. л. Заказ № 102, тир. 500 экз.
Отпечатано на ротапринте БИСИ. Брест, ул. Московская, 267. Бесплатно.