ЦНИИПРОМЗДАНИЙ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОРОБЧАТЫХ НАСТИЛОВ ДЛЯ ПОКРЫТИЙ И ПЕРЕКРЫТИЙ

МОСКВА 1987

gost.e-ecolog.ru

ГОССТРОЙ СССР
Центральный научно-исследовательский
и проектно-экспериментальный институт промышленных
зданий и сооружений
(ЦНИИпромзданий)

Р Е К О М Е Н Д А Ц И И
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОРОБЧАТЫХ НАСТИЛОВ ДЛЯ ПОКРЫТИЙ И ПЕРЕКРЫТИЙ

Москва 1987

УДК 692.5

Рекомендовано к изданию секцией несущих конструкций НТС ЦНИИпромзданий Госстроя СССР.

Рекомендации по проектированию и применению железобетонных коробчатых настилов для покрытий и перекрытий /Центр. научн.-исслед. и проектно-эксперим. ин-т промзданий и сооружений Госстроя СССР. - М.: ЦНИИ - промзданий, 1987. - 113 с.

Содержат материалы для конструирования как самих элементов, так и зданий различного производственного, общественного и гражданского назначения. Приведены методика и примеры расчета конструкций из тяжелого бетона на различных стадиях работы, область применения конструкций, конструктивные схемы зданий и узлы сопряжений элементов. Даны рекомендации по выбору материалов, арматуры и закладных изделий.

Для инженерно-технических работников научных, проектных, строительно-монтажных и транспортных организаций и предприятий стройиндустрии .

Табл. 8,илл. 30.

© Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений (ЦНИИпромзданий), 1987

ПРЕДИСЛОВИЕ

Рекомендации содержат сведения по проектированию и применению сборных железобетонных предварительно напряженных коробчатых настилов для покрытий и перекрытий зданий различного назначения.

В Рекомендациях приведены основные положения по проектированию; применяемые марки бетона, стали и вид закладных изделий; расчет коробчатых настилов по предельным состояниям первой и второй групп, на монтажные нагрузки, с учетом их пространственной работы, на динамические, температурные и огневые воздействия; конструктивные схемы зданий и узлы сопряжений коробчатых настилов; теплотехнический расчет конструкций покрытия с коробчатыми настилами; технология изготовления коробчатых настилов и правила их перевозки железнодорожным и автомобильным транспортом.

В Рекомендациях даны примеры расчета, охватывающие наиболее типичные случаи, встречающиеся в практике проектирования.

Рекомендации разработаны ЦНИИпромзданий Госстроя СССР (кандидаты техн. наук А.М.Манькин, Р.И.Рабинович, А.А.Болтухов, инженеры И.А.Шмакова, Б.С.Михалев), НИИСК Госстроя СССР (кандидаты техн. наук А.И.Буракас, П.И. Кривошеев, Л.Ф.Вознесенский, В.И.Булаковский, инженеры А.В.Чемер, О.П.Семенова, В.И.Пастушенко), НИИЖБ Госстроя СССР (д-р техн. наук Г.И.Бердичевский, канд. техн. наук Ю.В.Дмитриев), ГПИ-5 Минлегпрома СССР (инженеры А.Л.Левитин, В.С.Фрейц), ГПИ-8 Минлегпрома СССР (инж. Э.И.Исаев), ЦНИИЭП торгово-бытовых зданий и туристких комплексов (канд. техн. наук А.С.Семченков).

Основные буквенные обозначения

По разделам 1; 3; 4; 6; 11 и расчету по предельным состояниям 1 и П групп буквенные обозначения усилий от внешних нагрузок и воздействий в поперечном сечении коробчатого настила, характеристик предварительно напряженной конструкции, характеристик материалов, характеристик положения продольной арматуры в поперечном сечении конструкции и геометрических характеристик

следует принимать в соответствии со СНиП 2.03.01-84 и "Пособием по проектированию предварительно напря - женных железобетонных конструкций из тяжелых и лег - ких бетонов" (М.: ЦИТП , 1986).

По расчету на динамические воздействия буквенные обозначения следует принимать в соответствии с "Инст - рукцией по расчету несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки" (М.: Стройиздат, 1970).

Замечания и предложения по содержанию Рекомендаций просьба направлять в ЦНИИпромзданий по адресу: 127238, Москва, И-238, Дмитровское шоссе, 46.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Проектирование и применение

1.1. Настоящие Рекомендации применяются при проектировании предварительно напряженных железобетонных коробчатых настилов (в дальнейшем именуемых коробчатыми настилами) покрытий и перекрытий из тяжелого бетона, выполняющих одновременно функции несущих, ограждающих и коммуникационных конструкций.

1.2. Коробчатые настилы рекомендуется принимать однопустотными, двухпустотными, трехпустотными, с постоянными по длине сечениями пустот, ребер и полок при номинальных размерах по ширине до 3000 мм, длине от 12000 до 24000 мм и высоте сечения от 600 до 900 мм.

Для зданий промышленных предприятий коробчатые настилы рекомендуются номинальной длины 18000 мм, двухпустотными, сечением 2000х900 мм, с консольными свесами верхней полки (по 500 мм) и без них (рис. 1).

1.3. При проектировании коробчатых настилов следует соблюдать основные положения СНиП 2.03.01-84 "Бетонные и железобетонные конструкции", "Пособия по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов", СНиП П-2-80 "Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений", СНиП П-6-74 "Нагрузки и воздействия",

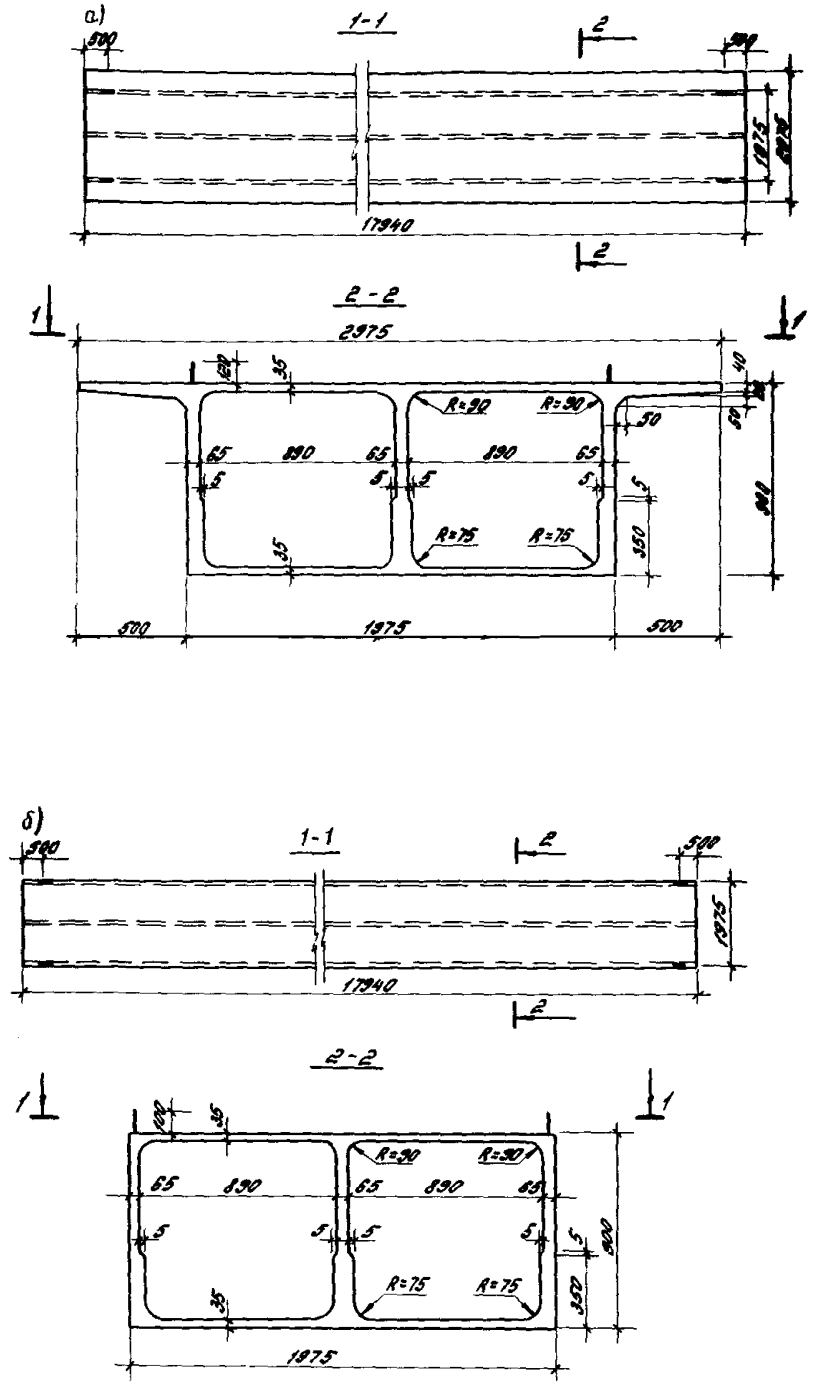


Рис. 1. План и разрез двухпустотного настила
а – с консольными свесами верхней полки; б – без консольных свесов

СНиП 2.03.11-85 "Защита строительных конструкций от коррозии", "Инструкции по сварке соединений арматуры и закладных деталей железобетонных конструкций" СН 393-78, ГОСТ 23009-78 "Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Условные обозначения (марки)", СНиП П-90-81 "Производственные здания промышленных предприятий", СНиП 2.01.01.82 "Строительная климатология и геофизика", СНиП П-3-79^{xx} "Строительная теплотехника", "Инструкции по расчету фактических пределов огнестойкости железобетонных строительных конст - рукций на основе применения ЭВМ" (ВНИИПО МВД СССР, М., 1975), "Рекомендаций по защите бетонных и железобетонных конструкций от хрупкого разрушения при пожаре" (НИИЖБ, М.: Стройиздат, 1979), "Технических условий погрузки и крепления грузов" (Министерство путей сообщения, издание 1981 г.), "Руководства по перевозке автомобильным транспортом строительных конструкций" (М.: Стройиздат, 1980), "Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов", "Инструкции по определению динамических нагрузок от машин, устанавливаемых на перекрытиях промышленных зданий" (М.: Стройиздат, 1966), "Руководства по проектированию конструкций, испытывающих динамическое воздействие", "Инструкции по расчету несущих конструкций промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки" (М.: Стройиздат, 1970), СН 245-71 "Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий".

1.4. Расчет коробчатых настилов рекомендуется производить для следующих стадий работы конструкций:

а) до приобретения бетоном проектной прочности - на усилия от обжатия напрягаемой арматурой, на воздей - ствия транспортных и монтажных нагрузок и другие воздействия и возможные сочетания их, возникающие в про - цессе возведения здания;

б) после приобретения бетоном проектной прочности - на постоянные и временные нагрузки (в соответствии со СНиП П-6-74), в том числе на нагрузки от вибро-опасного технологического оборудования, на несимметричные временные нагрузки на перекрытиях, на нагрузки от огневых воздействий и другие нагрузки и возможные их соче-

тания, возникающие в процессе монтажа и эксплуатации здания.

1.5. Выбор конструктивных решений коробчатых настилов должен производиться исходя из технико-экономической целесообразности их применения в конкретных условиях строительства с учетом максимального снижения материалоемкости, трудоемкости и стоимости строительства, а также с учетом условий эксплуатации конструкций.

1.6. Коробчатые настилы предназначены для применения в покрытиях и перекрытиях отапливаемых зданий, расположенных в I–III районах СССР по скоростному напору ветра и по весу снегового покрова, на площадках при сейсмичности не выше 6 баллов по шкале ГОСТ 6249–52, с расчетной зимней температурой наружного воздуха не ниже минус 30 °С.

1.7. Коробчатые настилы должны обеспечивать возможность крепления к ним подвесного подъемно-транспортного оборудования общего назначения грузоподъемностью не более 1,0 т.

1.8. Пустоты коробчатых настилов могут быть использованы для подачи воздуха при температуре его от 0 до 50 °С включительно и относительной влажности не более 95 % (слабоагрессивная степень воздействия газовой среды).

1.9. При проектировании зданий с использованием коробчатых настилов должны приниматься конструктивные схемы, обеспечивающие необходимую прочность, устойчивость и пространственную неизменяемость зданий в целом, а также отдельных конструкций на всех стадиях возведения и эксплуатации.

1.10. Коробчатые настилы должны отвечать условиям механизированного изготовления на специализированных предприятиях.

1.11. Конструкции узлов и соединений коробчатых настилов должны обеспечивать:

а) беспрепятственную подачу через пустоты конструкций воздуха и прокладку инженерных и технологических коммуникаций;

б) надежную передачу усилий, прочность самих конструкций в зоне стыка, а также связь дополнительно уложенного бетона в стыке с бетоном конструкции с помощью различных конструктивных и технологических мероприятий.

Основные расчетные требования

1.12. Коробчатые настилы должны удовлетворять требованиям расчета по несущей способности (предельные состояния первой группы) и по пригодности к нормальной эксплуатации (предельные состояния второй группы).

Расчет по предельным состояниям первой группы должен обезопасить конструкцию от разрушения под воздействием силовых факторов.

Расчет по предельным состояниям второй группы должен обезопасить конструкцию от чрезмерного или длительного раскрытия трещин и недопускаемых прогибов под совместным воздействием силовых факторов и постоянного воздействия слабоагрессивной газовой среды.

1.13. Расчет коробчатого настила должен производиться для стадий изготовления, транспортирования, монтажа и эксплуатации. При этом расчетные схемы должны отвечать принятым конструктивным решениям.

1.14. К трещиностойкости отдельных элементов и коробчатого настила в целом предъявляются требования 3-й категории.

1.15. Расчет коробчатых настилов по продольным состояниям первой и второй групп необходимо проводить с приведением их сечения к эквивалентному двутавровому сечению, в котором для упрощения расчетов приведенные толщины полок и ребер определяются с учетом соответственно площадей вутов или уширений. Расчетную ширину полок при расчете по предельным состояниям первой и второй групп следует назначать равной $8 \cdot h'_f$ в каждую сторону от ребра.

1.16. Расчетная схема коробчатого настила – шарнирно опертая балка, загруженная по ширине сечения равномерно распределенной нагрузкой. Консольные свесы верхней полки должны быть проверены на действие со –

средоточенной нагрузки, возникающей за счет увеличения грузовой площади при установке компенсаторов на кровле в местах температурных швов.

1.17. Нагрузки на полки коробчатых настилов допускается принимать на 25 % выше, чем на конструкцию в целом.

1.18. Обязательным условием применения коробчатых настилов в перекрытиях зданий промышленных предприятий, в том числе при размещении на конструкциях виброопасного оборудования, является наличие армированной сетками в одном или в двух уровнях бетонной подготовки пола толщиной не менее 70 мм. Совместную работу армированной бетонной подготовки пола с бетоном коробчатых настилов рекомендуется осуществлять путем устройства шероховатой поверхности конструкций. Поверхности коробчатых настилов, подлежащие бетонированию, должны быть тщательно очищены и промыты.

Предварительные напряжения в коробчатом настиле

1.19. Для обеспечения несущей способности и пригодности к нормальной эксплуатации напрягаемая арматура в коробчатых настилах располагается только в нижней зоне ребер конструкции симметрично по ширине ребра.

1.20. Учет потерь предварительного напряжения арматуры при расчете коробчатых настилов следует производить из условия механического натяжения арматуры на упоры стенда. При этом потери предварительного напряжения от деформации форм принимаются равными 30 МПа (300 кгс/см^2).

1.21. Величина напряжений в напрягаемой арматуре σ_{sp}, контролируемая по окончании натяжения на упоры стенда, принимается равной 0,65–0,70 $R_{s,ser}$.

1.22. Предельную величину предварительного напряжения в напрягаемой арматуре А следует назначать с учетом допустимых отклонений p величины предварительного напряжения, чтобы выполнялись условия

$$\sigma_{sp} + p \leq R_{s,ser} \quad \text{и} \quad \sigma_{sp} - p \geq 0{,}3 R_{s,ser}, \qquad (1)$$

1.23. Потери предварительного напряжения арматуры от температурного перепада (разность температур напрягаемой арматуры и устройства, воспринимающего усилие

натяжения при пропаривании бетона) следует принимать равными нулю.

2. МАТЕРИАЛЫ КОНСТРУКЦИЙ. БЕТОН

2.1. Коробчатые настилы рекомендуется проектировать из тяжелого бетона марок по прочности на сжатие от В30 до В60 включительно.

2.2. Морозостойкость и водонепроницаемость бетона конструкции должны приниматься в зависимости от режима эксплуатации и климатических условий района строительства в соответствии с требованиями СНиП 2.03.01-84. При этом марка бетона по водонепроницаемости должна быть не ниже W 6.

2.3. Передаточная прочность бетона должна быть не менее 70 % проектной.

2.4. Отпускная прочность бетона должна составлять не менее 70 % проектной в летнее время года и не менее 90 % - в зимнее время года.

2.5. Для сокращения времени твердения бетона рекомендуется применять комплексные добавки на основе пластификаторов и ускорителей твердения, например, СДБ-СН (сульфатно-дрожжевая бражка и сульфат натрия), а также разжижители типа С-3. При назначении содержания добавок в бетоне следует руководствоваться действующими нормативными документами.

Арматурные стали и закладные изделия

2.6. В качестве продольной напрягаемой рабочей арматуры коробчатых настилов рекомендуется принимать канаты стальные арматурные спиральные семипроволочные (1х7) класса К-7 диаметром 15 мм по ГОСТ 13840-68[х] или стержневую горячекатаную арматурную сталь периодического профиля класса А-1У диаметром не более 32 мм по ГОСТ 5781-82 марки 20ХГ2Ц. Для коробчатых настилов высшей категории качества следует принимать только канаты.

Поперечную арматуру каркасов следует принимать из обыкновенной арматурной проволоки периодического профиля класса Вр-1 по ГОСТ 6727-80 диаметром 3-5 мм; стержневой горячекатаной арматуры гладкой класса А-1

(марки В Ст.3сп2) и периодического профиля А-П и А-Ш (марки 25Г2С) по ГОСТ 5781-82.

Продольную конструктивную арматуру каркасов, рабочую и конструктивную арматуру сеток, а также косвенную арматуру в виде гребенок следует принимать из указанной выше проволоки класса Вр-1.

2.7. Сварные товарные сетки должны удовлетворять требованиям ГОСТ 8478-81, а сварные арматурные изделия и стальные закладные изделия и соединительные накладки - требованиям ГОСТ 10922-75.

2.8. Арматурные каркасы и сетки должны изготовляться при помощи контактной точечной электросварки, а заготовки напрягаемой арматуры класса А-1У длиной более 11,5 м при помощи стыковой электросварки в соответствии с требованиями ГОСТ 14098-68 и СН 393-78. Стыковку напрягаемой арматуры класса А-1У следует осуществлять в четвертях пролета коробчатого настила.

2.9. Для закладных изделий и соединительных накладок рекомендуется применять прокатную углеродистую сталь класса С 38/23 согласно СНиП П-23-81.

2.10. Антикоррозионная защита закладных изделий соединительных накладок должны осуществляться в соответствии с требованиями СНиП 2.03.11-85.

3. РАСЧЕТ КОРОБЧАТОГО НАСТИЛА ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ ПЕРВОЙ ГРУППЫ

Расчет по прочности сечений, нормальных к продольной оси коробчатого настила

3.1. Расчет коробчатых настилов при $\xi = x/h_0 \leq \xi_R$ должен производиться в зависимости от положения границы сжатой зоны:

а) если граница сжатой зоны проходит в полке, т.е. соблюдается условие $R_s A_s \leq R_b \beta'_f h'_f + R_{sc} A'_s$, (2) расчет производится как для прямоугольного сечения шириной в соответствии с указаниями п.3.15 СНиП 2.03.01-84;

б) если граница сжатой зоны проходит в ребре, т.е. условие (2) не соблюдается, расчет производится из условия

$M \le R_b\, b\, x\,(h_0 - 0{,}5x) + R_b\,(b_f' - b)\,h_f'\,(h_0 - 0{,}5h_f') + R_{sc} A_s'\,(h_0 - a')$ (3)

при этом высота сжатой зоны бетона x определяется из формулы

$$R_s A_s - R_{sc} A_s' = R_b\, b\, x + R_b\,(b_f' - b)\,h_f' \qquad (4)$$

и принимается с учетом указаний п.3.17 СНиП 2.03.01-84. Величина b_f', вводимая в расчет, принимается равной $8 \cdot h_f'$.

Расчет по прочности сечений, наклонных к продольной оси коробчатого настила

3.2. Расчет должен производиться на действие поперечной силы и изгибающего момента в соответствии с указаниями пп. 3.29–3.33 СНиП 2.03.01-84 и "Пособия по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов" (М.: ЦИТП , 1986).

3.3. Особые указания по размещению поперечной арматуры в ребрах коробчатого настила, в том числе на торцовых участках конструкции, приведены в пп. 11.7 и 11.8.

Расчет сечений полок коробчатого настила

3.4. Расчет сечений полок коробчатого настила в их пролетах и на опорах рекомендуется производить на действие момента, определяемого по приближенной формуле

$$M = (q\, l^2)/11, \qquad (5)$$

где q – эквивалентная равномерно распределенная нагрузка; l – пролет полки, равный расстоянию между осями ребер коробчатого настила.

3.5. Расчет на продавливание полок коробчатого настила от действия сил, равномерно распределенных на ограниченной площади, должен производиться из условия $F \le \alpha R_{bt}\, u_m\, h_0$ (6), где F – продавливающая сила; u_m – среднее арифметическое величины периметров верхнего и нижнего основания пирамиды, образующейся при продавливании в пределах рабочей высоты сечения полок h_0 ($h_0 = h_f$ + h бетонной подготовки).

Для коробчатых настилов перекрытий зданий промышленных предприятий при определении u_m обязательно включение в расчет на продавливание бетонной подготовки пола толщиной не менее 70 мм.

4. РАСЧЕТ КОРОБЧАТОГО НАСТИЛА ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ ВТОРОЙ ГРУППЫ

Расчет по образованию трещин, нормальных и наклонных к продольной оси коробчатого настила

4.1. Расчет по образованию трещин, нормальных к продольной оси коробчатого настила, следует выполнять для двух зон конструкции:

а) для верхней до приобретения бетоном проектной прочности расчет производится в местах установки монтажных петель на совместные воздействия усилий от обжатия напрягаемой арматурой и монтажных нагрузок;

б) для нижней после приобретения бетоном проектной прочности расчет производится в середине пролета на постоянные и временные нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации.

4.2. Расчет по образованию трещин, наклонных к продольной оси коробчатого настила, следует выполнять на уровне центра тяжести приведенного сечения:

а) в середине пролета;

б) в конце зоны передачи напряжений.

Расчет коробчатого настила по раскрытию трещин

4.3. Расчет по раскрытию трещин, нормальных к продольной оси коробчатого настила, рекомендуется выполнять только для нижней зоны конструкции, в середине пролета в соответствии с пп. 4.14 и 4.15 СНиП 2.03.01-84, а также методом конечных элементов, программа расчета по которому разработана НИИСК Госстроя СССР.

4.4. Расчет по раскрытию трещин, наклонных к продольной оси коробчатого настила, следует выполнять на уровне центра тяжести приведенного сечения на расстоянии от опоры не меньше h_0 .

Расчет по закрытию трещин, нормальных к продольной оси коробчатого настила

4.5. Расчет следует выполнять в соответствии с п. 4.19 СНиП 2.03.01-84.

Расчет коробчатого настила по деформациям

4.6. Величины кривизны и деформаций коробчатого настила следует определять в соответствии с пп. 4.22–4.24, 4.25–4.31 СНиП 2.03.01-84.

Расчет по образованию и раскрытию трещин в приопорной зоне нижней полки коробчатого настила

4.7. Расчет по образованию и раскрытию трещин в приопорной зоне нижней полки коробчатого настила от усилий предварительного обжатия напрягаемой арматурой следует выполнять из условия рассмотрения этой зоны как внецентренно растянутого в поперечном направлении элемента в соответствии с требованиями п. 4.5 СНиП 2.03.01-84.

4.8. Расчетное сечение приопорной зоны нижней полки коробчатого настила следует принимать прямоугольным, шириной, равной толщине полки, и высотой, равной половине расстояния в чистоте между ребрами конструкции.

4.9. Усилие предварительного обжатия напрягаемой арматурой, действующее на расчетное сечение приопорной зоны нижней полки коробчатого настила, определяется по формуле

$$N = K_{об} N_{01} h \delta_п 0{,}5 , \qquad (7)$$

где $K_{об}$ – коэффициент, определяемый по табл. 1; N_{01} – усилие предварительного обжатия при натяжении одного каната или стержня напрягаемой арматуры с учетом первых потерь напряжения; h – расстояние в чистоте между ребрами конструкции, деленное на два; $\delta_п$ – толщина нижней полки конструкции.

4.10. Напряжения в арматуре приопорной зоны нижней полки коробчатого настила от усилий предварительного обжатия напрягаемой арматурой определяются по формуле

$$\sigma_s = N/A_s + (N e_{op})/(z_a A_s), \qquad (8)$$

где $z_a = (h + z_s)/2$; z_s – расстояние между стержнями арматуры в приопорной зоне нижней полки конструкции. (9)

Таблица 1

Число канатов или стержней напрягаемой арматуры в крайних и среднем ребрах коробчатого настила, шт.	$K_{об}$, 1/см^2
1+1+1	12,9
1+2+1	13,4
2+1+2	25,8
2+2+2	24,2
2+3+2	21,1
3+2+3	32,2
3+3+3	32,5
3+4+3	33,5
4+3+4	43,1
4+4+4	42,1
4+5+4	41,1
5+4+5	50,3
5+5+5	49,3
5+6+5	48,6
6+5+6	56,2
6+6+6	55,4

Примечание. Табл. 1 дана только для двухпустотных коробчатых настилов, применяемых в практике проектирования и строительства.

5. РАСЧЕТ КОРОБЧАТОГО НАСТИЛА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ УСИЛИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПОДЪЕМЕ, МОНТАЖЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИИ

5.1. При расчете коробчатых настилов на воздействие усилий, возникающих при их подъеме, транспортировании и монтаже, нагрузку от собственного веса конструкции следует вводить в расчет с коэффициентами динамичности, равными соответственно 1,4; 2,7 и 1,4. Коэффициент перегрузки от собственного веса конструкции при указанных расчетах не вводится.

6. ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ РАСЧЕТ ПЕРЕКРЫТИЯ С КОРОБЧАТЫМИ НАСТИЛАМИ

6.1. Пространственный расчет перекрытия необходимо выполнять при наличии стыков между коробчатыми настилами, установленными в перекрытиях без промежутков, и неравномерных нагрузках, ширина приложения которых в поперечном направлении превышает величину $\ell/2$ (где ℓ – номинальная длина конструкции), а величины временных нормативных нагрузок равны или превышают значения, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Номинальная длина коробчатого настила, м	Временные нормативные нагрузки, кПа (кгс/м^2)	
	коробчатые настилы без консольных свесов верхней полки	коробчатые настилы с консольными свесами верхней полки
12	10,5(1050)	7,0(700)
18	7,0(700)	5,0(500)
24	5,0(500)	3,0(300)

6.2. Пространственный расчет перекрытия с коробчатыми настилами следует считать поверочным и рекомендуется выполнять после проведения расчетов конструкций по нормальным и наклонным сечениям по предельным состояниям первой и второй групп. Методика и пример расчета приведены в прил. 1.

7. РАСЧЕТ КОРОБЧАТЫХ НАСТИЛОВ ПЕРЕКРЫТИЙ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

7.1. Расчет коробчатых настилов перекрытий на динамические воздействия необходимо проводить с учетом совместной работы конструкций с армированной бетонной подготовкой пола толщиной не менее 70 мм.

7.2. Динамические нагрузки от технологического оборудования и расстановку его следует принимать в соответствии с заданием на строительное проектирование и паспортными данными на оборудование, представляемыми заводами-изготовителями. При отсутствии перечисленных данных их назначают согласно указаниям "Инструкции по определению динамических нагрузок от машин, устанавливаемых на перекрытиях промышленных зданий" (М.: Стройиздат, 1966).

8. РАСЧЕТ КОРОБЧАТОГО НАСТИЛА НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

8.1. Температурные воздействия на коробчатый настил, которые могут возникать в процессе монтажа зданий при большой разнице температур по высоте сечения конструкции, следует предотвращать. Для этого монтаж конструкций и их закрепление в проектном положении необходимо выполнять в соответствии с требованиями, приведенными в п. 12.2.

9. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПОКРЫТИЙ С КОРОБЧАТЫМИ НАСТИЛАМИ

Расчет требуемого сопротивления теплопередаче покрытия

9.1. Величину требуемого сопротивления теплопередаче покрытия следует определять для двух зон: а) над пустотами коробчатых настилов; б) над консольными свесами верхней полки коробчатых настилов или при их отсутствии в промежутках между коробчатыми настилами.

9.2. Требуемое сопротивление теплопередаче покрытий для зоны "а" следует определять по методике НИИСФ Госстроя СССР "Разработка инженерных методов теплотехнического расчета покрытий с пустотным настилом при обтекании поверхности сжатым воздухом" из расчета невыпадения конденсата в пустотах коробчатых настилов при пропуске через них воздуха с относительной влажностью более 75 %:

$$R_o^{тр} = 1{,}15(t_в - t_н)\Big/\frac{1/(3{,}3V^{0{,}8}+4) + 0{,}13/V}{(t_в - t_р)/\frac{0{,}55}{V^{0{,}333}} + (t_р - t_о)}, \qquad (10)$$

где t_o – температура воздуха в начале воздуховода, °С; $t_н$ – расчетная зимняя температура наружного воздуха, принимаемая по указаниям п. 2.3 СНиП П-3-79^{xx}, °С; $t_в$ – расчетная температура внутреннего воздуха в помещении, °С; $t_р$ – температура точки росы воздуха в воздуховоде (пустотах), °С; V – скорость воздуха в воздуховоде (пустотах), м/с.

Скорость воздуха в пустотах коробчатых настилов для зданий промышленных предприятий, имеющих площадь поперечного сечения, равную 0,75 м^2, определяется по формуле $V = N/2700$, (11)

где N – количество воздуха, раздаваемое последним в пустотах коробчатого настила распределителем, м^3/ч.

Для облегчения расчетов в табл. 3 приводятся значения величин скорости в дробных степенях.

Таблица 3

Показатель степени	Скорость воздуха, м/с				
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
0,8	1,383	1,741	2,081	2,408	2,724
0,833	1,401	1,781	2,145	2,497	2,839

9.3. Скорость воздуха в пустотах коробчатых настилов должна быть больше нуля. С этой целью не следует допускать в пустотах коробчатых настилов тупиковых участков, устанавливая заглушки за последним воздухораспределителем.

9.4. Величину тепловой инерции покрытия следует определять по п. 2.4 СНиП П-3-79^{xx}.

9.5. Требуемое сопротивление теплопередаче покрытий для зоны "б" следует определять по формуле (1) СНиП П-3-79^{xx} с учетом коэффициентов, равных 1,3 и 1,5 при утеплителях соответственно из легких бетонов и минеральной ваты.

Расчет пароизоляции покрытия с коробчатыми настилами

9.6. Расчет пароизоляции покрытия с коробчатыми настилами должен выполняться по наибольшей величине упру-

гости водяного пара в зонах "а" и "б" по формулам раздела 6 СНиП П-3-79^{xx}.

10. РАСЧЕТ КОРОБЧАТОГО НАСТИЛА НА ОГНЕВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

10.1. Расчет предела огнестойкости коробчатых настилов следует производить по признаку потери несущей способности конструкции при сохранении ею теплоизолирующей способности и отсутствии проникновения пламени в пустоты конструкции.

10.2. Предел огнестойкости коробчатого настила по несущей способности определяется по времени τ_o, когда несущая способность конструкции становится недостаточной для восприятия приложенной нормативной нагрузки.

10.3. Для определения несущей способности коробчатого настила в момент времени огневого воздействия τ_j следует выполнять теплотехнический и статический расчеты.

10.4. На основании теплотехнического расчета определяются температуры напрягаемой арматуры и бетона в наиболее напряженных зонах для расчетного времени воздействия "стандартного" температурного режима. При этом коробчатый настил расчленяется на ряд элементов балочного типа таврового и двутаврового сечений (рис. 2).

10.5. На основании статического расчета по прочностным характеристикам напрягаемой арматуры и бетона, принятым с учетом их температуры нагрева, определяется предельный изгибающий момент, который может воспринять коробчатый настил.

10.6. Для обеспечения прочности нижней полки коробчатого настила при пожаре необходимо предусматривать специальные мероприятия по защите бетона от хрупкого разрушения. В качестве защитных мероприятий рекомендуются: а) установка в защитном слое бетона сетки из проволоки диаметром 0,7. . .1,0 мм с ячейками размером 3,0. . . 15,0 мм; б) дисперсное армирование бетона у нагреваемой поверхности на глубину до 20,0 мм базальтовыми, асбестовыми или металлическими волокнами; в) арми-

рование наружного слоя бетона на глубину 4,0. . .6,0 мм тканеподобными материалами из базальтовых волокон.

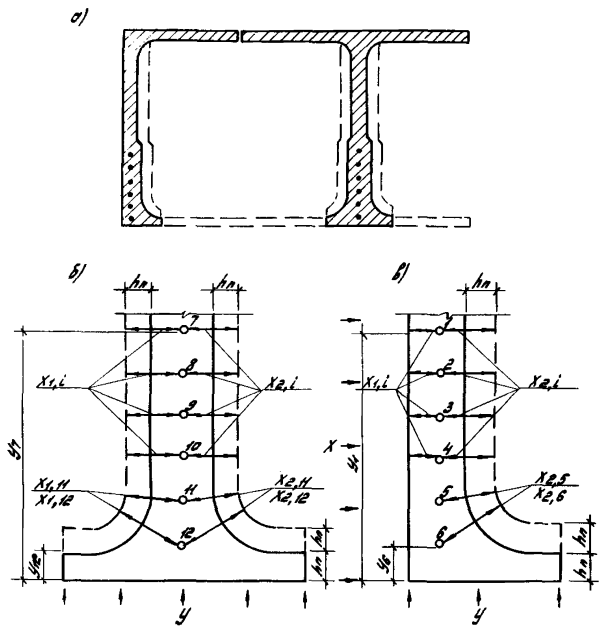


Рис. 2. Членение коробчатого настила (а) и расчетная схема огневого воздействия (б – на среднее ребро, в – на крайнее ребро)

X,У – направления огневого воздействия; y_6, x_{1b}, x_{2b} значения защитных слоев бетона; 1,2. . . 12 – номера арматурных канатов или стержней; пунктир – условное увеличение защитного слоя бетона со стороны внутренних поверхностей коробчатого настила

10.7. Температуру нагрева канатов или стержней напрягаемой арматуры следует определять в зависимости от направленности огневого воздействия и защитных слоев бетона.

10.8. Расчет температуры нагрева i -го каната или стержня ($i = 1,2 \ldots n$) производится по формуле

$$t_i(yx) = t_c[t_c - t_i(x)][t_c - t_i(y)]/(t_c - t_н), \quad (12)$$

где $t_i(yx)$ - температура каната или стержня при трехслойном нагреве конструкции, °С; t_c - изменение температуры во времени

$$t_c = 345 \lg(8\tau + 1) + t_н, \quad (13)$$

τ - рассматриваемый промежуток времени нагрева, ч (для формулы (13) - в мин); $t_н$ - начальная температура конструкции и окружающей среды со стороны ее необогреваемых сторон (принимается равной 20 °С); $t_i y$ и $t_i x$ - температуры, вычисляемые по формулам:

$$t_i(y) = 1250 - (1250 - t_н)\, erf \frac{K + \sqrt{a_{пр}}}{2\sqrt{\tau}}, \quad (14)$$

$$t_i(x) = 1250 - (1250 - t_н)\left[erf \frac{K + \sqrt{a_{пр}}}{2\sqrt{\tau}} + erf \frac{K + \sqrt{a_{пр}}}{2\sqrt{\tau}} - 1\right], \quad (15)$$

где y_i; $x_{1,i}$; $x_{2,i}$ - расстояние до оси i -го каната или стержня от нагреваемой поверхности конструкции, м (см. рис. 2); erf - функция ошибок Гаусса, определяемая по таблице прил. 2; K - коэффициент, принимаемый для тяжелых бетонов равным 0,62; $a_{пр}$ - приведенный (средний) коэффициент теплопроводности бетона.

10.9. Со стороны обогреваемых поверхностей коробчатого настила расстояние до оси напрягаемой арматуры принимается по рабочим чертежам конструкции.

10.10. Со стороны внутренних поверхностей коробчатого настила расстояние до оси напрягаемой арматуры следует увеличивать на толщину бетона нижней полки, учитывая прогрев через нижнюю полку и воздушную прослойку в пустотах конструкции.

10.11. Для промежутков времени τ_1 и τ_2 ($\tau_1 < \tau_2$) вычисляется температура нагрева $t_{i,j}$ всех канатов или стержней по формулам (1)-(4) в соответствии с принятыми толщинами защитных слоев бетона: $t_{1,1}$; $t_{2,1} \ldots t_{n,1}$ - для промежутка времени τ_1; $t_{1,2}$; $t_{2,2} \ldots t_{n,2}$ - для промежутка времени τ_2.

10.12. Несущая способность коробчатых настилов вычисляется для двух значений времени огневого воздействия τ_1 и τ_2 ($\tau_1 < \tau_2$), заключающих между собой ожидаемую величину предела огнестойкости.

10.13. В первом приближении в качестве нижнего предела рекомендуется принимать время, равное требуемому пределу огнестойкости по табл. 1 СНиП П-2-80. Расчет выполняется в соответствии с общими положениями СНиП 2.03.01-84 для изгибаемых элементов, по нормативным прочностным характеристикам арматуры и бетона. При этом нормативные сопротивления вводятся в расчет с коэффициентом условий работы арматуры m_{at} при высоких температурах.

В качестве внешних нагрузок принимаются нормативные значения от постоянных и временных длительных нагрузок.

10.14. Несущая способность коробчатых настилов по изгибающему моменту вычисляется по формуле

$$M_R(\tau_j) = \sum_{1}^{n} m_{ati} R_s A_s z_{\delta,i} \qquad (16)$$

(при промежутке времени τ_1 и τ_2),

где m_{ati} – коэффициент условий работы напрягаемой арматуры в зависимости от нагрева; R_s – нормативное сопротивление арматуры растяжению; $z_{\delta,i}$ – расстояние от i-го каната или стержня до центра тяжести сжатой зоны бетона. Допускается принимать положение центра тяжести сжатой зоны посредине толщины верхней полки коробчатого настила.

10.15. Вычисленные значения изгибающих моментов должны удовлетворять неравенствам

$$M_R(\tau_1) > M''_{max} > M_R(\tau_2) \quad . \qquad (17)$$

Если неравенства выполняются и смежные величины отличаются не более чем на 40 %, то производится вычисление фактического предела огнестойкости коробчатого настила по формуле

$$\tau_o = \frac{\tau_1[M''_{max} - M_R(\tau_2)] + \tau_2[M_R(\tau_1) - M''_{max}]}{M_R(\tau_1) - M_R(\tau_2)} \quad . \qquad (18)$$

10.16. В случае, если одно из неравенств не выполняется или смежные величины разнятся более чем на 40 %, то необходимо задаваться скорректированным значением промежутка времени τ_2 или τ_1 и повторить вычисление предельных изгибающих моментов.

11. КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Толщины полок и ребер коробчатого настила, защитные слои бетона

11.1. Размеры сечения элементов коробчатого настила определяются из расчета конструкции на статические нагрузки в диапазоне от 2,0 (200) до 16,0 (1600) кПа (кгс/м^2), а также некоторые виды динамических и огневых воздействий, оговоренные в разделах 7 и 10, по соответствующим группам предельных состояний, на различных стадиях работы конструкции.

11.2. Размеры сечения полок и ребер коробчатого настила назначаются с учетом экономических требований, технологии изготовления, соблюдения условий по расположению арматуры (с надлежащей ее анкеровкой) в сечениях элементов, условий эксплуатации конструкции как в неагрессивных, так и в слабоагрессивных средах, необходимости унификации опалубочных форм и армирования конструкции.

11.3. Рекомендуемые минимальные размеры сечения элементов коробчатого настила: верхняя и нижняя полки (включая консольные свесы верхней полки) – 30 мм, ребра – 50 мм.

11.4. Защитный слой бетона для продольной напрягаемой рабочей арматуры должен составлять: а) не менее 15 мм при эксплуатации коробчатого настила в неагрессивных средах; б) не менее 20 мм со стороны наружных поверхностей конструкции (для крайних ребер) и не менее 25 мм со стороны внутренних поверхностей конструкции (для крайних и среднего ребра) при эксплуатации коробчатого настила и в слабоагрессивных средах.

11.5. Защитный слой бетона для рабочей поперечной арматуры каркасов ребер коробчатого настила должен составлять не менее 20 мм, а для распределительной арматуры – не менее 10 мм.

11.6. Защитный слой бетона для рабочей и распределительной арматуры полок коробчатого настила для сечений у опор и в пролетах должен составлять не менее 15 мм.

11.7. На торцовых участках коробчатых настилов в ребрах необходимо устанавливать каркасы длиной не менее 200 мм с шагом поперечных стержней 50 мм и приваркой к ним в нижней части прокатных профилей.

Распределительная арматура каркасов на торцовых участках и в пролетах коробчатого настила стыкуется на длине не менее 20 мм.

Ненапрягаемая поперечная арматура ребер коробчатого настила должна воспринимать не менее 20 % усилий в продольной напрягаемой рабочей арматуре.

11.8. На торцовых участках коробчатых настилов в нижней полке необходимо устанавливать арматурные сетки, размеры и сечение стержней которых определяются в соответствии с требованиями пп.4.7, 4.10.

Распределительная арматура сеток нижней и верхней полок коробчатого настила на торцовых участках и в пролетах конструкции стыкуется на длине не менее 80 мм.

Ненапрягаемая поперечная арматура нижней полки коробчатого настила должна воспринимать не менее 10 % усилий в продольной напрягаемой рабочей арматуре.

11.9. Для обеспечения пространственной работы коробчатого настила в системе перекрытий арматурные сетки нижней и верхней полок конструкции запускаются в ребра на длину не менее 200 мм.

11.10. Фиксация арматуры в коробчатых настилах обязательна.

Предельные отклонения фактических размеров толщины защитного слоя бетона для рабочей и распределительной арматуры от номинальных размеров не должны превышать: ± 5 мм – для толщины защитного слоя бетона, равной 20 мм и более; ± 3 мм – для толщины защитного слоя бетона, равной 15 мм; $+3$ мм – для толщины защитного слоя бетона, равной 10 мм.

11.11. Для использования пустот коробчатых настилов в качестве воздуховодов сечение первых должно

быть квадратным или близким к нему и обеспечивать кратность воздухообмена в помещениях от 2 до 27 раз.

11.12. В нижней полке коробчатых настилов допускается устройство отверстий. Для коробчатого настила с номинальными размерами 2000 (или 3000 мм при наличии консольных свесов верхней полки) х 18000х900 мм указанные отверстия изображены на рис. 3. При устройстве отверстий согласно рис. 3 марку коробчатого настила

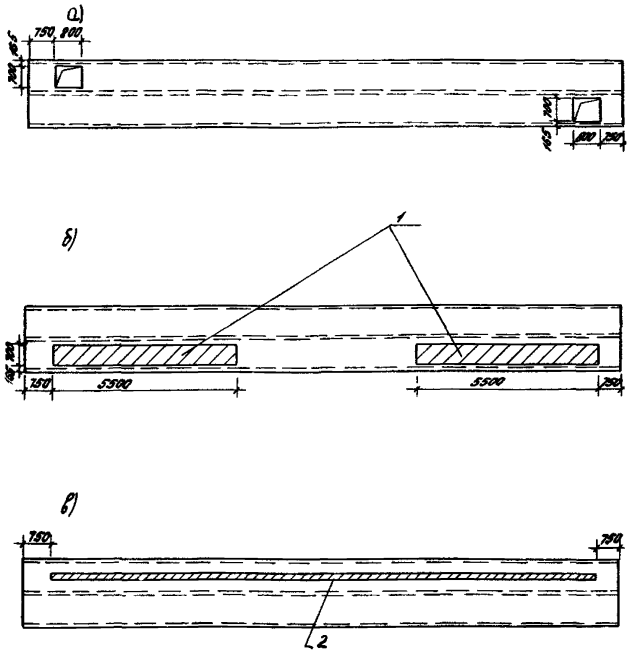


Рис. 3. Схема возможного размещения отверстий в нижней полке коробчатого настила

а, б, в – варианты; 1 – зоны возможных размещений отверстий размером 700х700 мм с шагом 1500 мм или одного отверстия размером 2200х600 мм;

2 – то же, размером 200х800 мм

следует увеличить на одну ступень. При других номинальных размерах коробчатого настила и наличии отверстий в нижней полке марка конструкции должна определяться расчетом.

11.13. В консольных свесах верхней полки коробчатых настилов допускается устройство вырезов. Для коробчатых настилов, указанных в п. 11.12, они изображены на рис. 4.

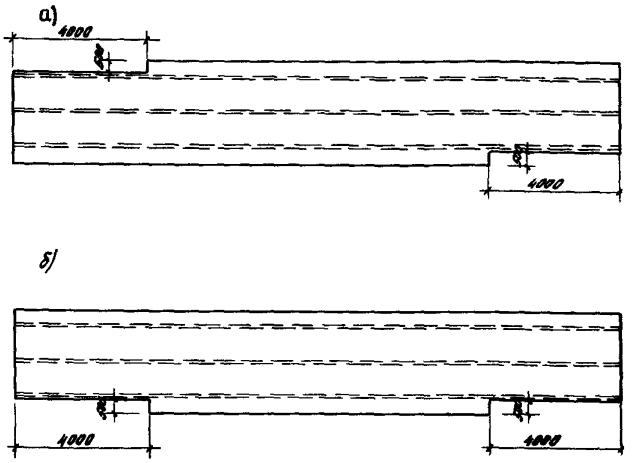


Рис. 4. Схема возможного размещения вырезов в консольных свесах верхней полки коробчатого настила
а - вариант 1; б - вариант 2

11.14. Устройство отверстий в ребрах коробчатых настилов не допускается.

11.15. Число канатов или стержней продольной напрягаемой рабочей арматуры в каждом ребре коробчатого настила определяется расчетом и не должно превышать шести штук. В смежных ребрах коробчатого настила число канатов или стержней продольной напрягаемой рабочей арматуры может отличаться не более чем на одну штуку.

11.16. На торцовых участках коробчатых настилов в ребрах на длине не менее 0,6 ℓ_p необходимо устанавливать косвенную арматуру в виде гребенок с шагом 5–10 см. Установка гребенок производится при армировании конструкции со стороны пустот коробчатых настилов.

11.17. При размещении арматуры в поперечном сечении коробчатого настила для зданий промышленных предприятий следует руководствоваться схемами, приведенными на рис. 5.

12. КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОРОБЧАТЫХ НАСТИЛОВ

12.1. Конструктивная схема здания с использованием коробчатых настилов должна быть рассчитана с учетом шарнирного опирания их на продольные конструкции. Длина опирания коробчатых настилов определяется расчетом, но не должна составлять менее 200 мм.

12.2. Крепление коробчатых настилов к продольным конструкциям следует осуществлять в углах крайних ребер монтажными сварными швами через закладные изделия в соответствующих конструктивных элементах. При этом необходимо соблюдать очередность крепления коробчатых настилов: по одному из торцов конструкции – до устройства кровли с утеплителем, по второму – после устройства кровли с утеплителем.

12.3. Использование коробчатых настилов в одноэтажных производственных зданиях предусматривает жесткую заделку колонн в стаканы фундаментов. Горизонтальные нагрузки с покрытия следует передавать на колонны через продольные балки, опорную часть которых необходимо рассматривать как продолжение колонн и соответствующим способом конструировать и армировать.

Крепление продольных балок к колоннам следует осуществлять расчетными сварными швами через закладные изделия в соответствующих конструктивных элементах.

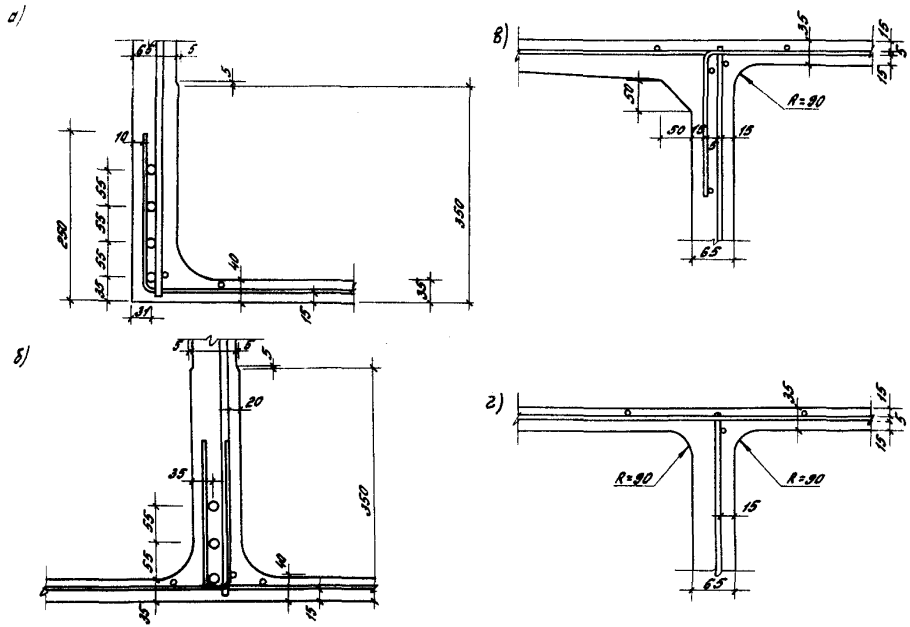


Рис. 5. Схема размещения арматуры в поперечном сечении нижней (а,б) и верхней (в,г) зоны коробчатого настила

Передачу ветровых нагрузок с торца здания необходимо выполнять через фахверковые железобетонные стойки на продольные балки.

12.4. Использование коробчатых настилов в многоэтажных производственных зданиях предусматривает рамную конструктивную схему каркаса в обоих направлениях, что обеспечивается жестким сопряжением продольных и поперечных ригелей с колоннами и жесткой заделкой последних в стаканы фундаментов.

Поперечные ригели следует устанавливать по каждой поперечной координационной оси здания в уровнях всех перекрытий и размещать их ниже верхних полок коробчатых настилов (рис. 6).

Фахверковые стойки следует выполнять из металла и устанавливать поэтажно на продольные ригели.

13. УЗЛЫ СОПРЯЖЕНИЙ ТОРЦОВ КОРОБЧАТЫХ НАСТИЛОВ

13.1. Узлы сопряжений торцов коробчатых настилов должны обеспечивать герметичность системы каналов при использовании пустот конструкций в качестве воздуховодов.

13.2. Узлы сопряжений торцов коробчатых настилов могут быть жесткими или гибкими.

13.3. Жесткие узлы сопряжений торцов коробчатых настилов должны предусматривать заполнение их бетоном марки не ниже В20 на мелком заполнителе с крупностью щебня не более 15–20 мм по контуру ребер и полок конструкции.

13.4. Для жесткой заделки узлов сопряжений торцов коробчатых настилов рекомендуется применять быстросъемную инвентарную опалубку из металла, дерева или других материалов, устанавливаемую внутри и вне пустот конструкции (рис. 7).

13,5. Порядок производства работ при осуществлении жесткой заделки узлов сопряжений торцов коробчатых настилов должен быть следующим: а) установка арматурных стержней; б) заполнение бетоном нижней полки через отверстия в ней; г) уплотнение бетона нижней полки и ре-

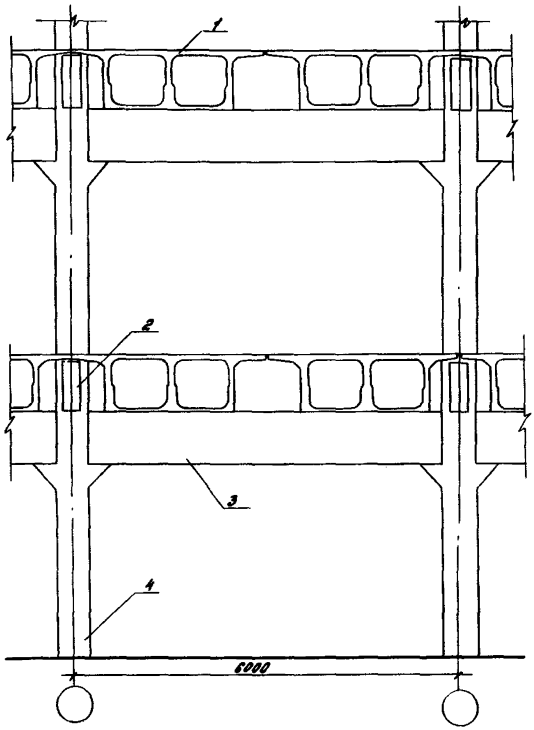


Рис. 6. Схема рамного каркаса многоэтажного производственного здания с использованием коробчатых настилов

1 – коробчатый настил; 2 – поперечный ригель; 3 – продольный ригель; 4 – колонна

бер сверху через ребра глубинными вибраторами с иглонасадкой длиной не менее 900 мм; д) заполнение бетоном верхней полки и уплотнение бетона площадочным вибратором.

13.6. Гибкие узлы сопряжений торцов коробчатых настилов должны предусматривать приклейку по контуру пустот конструкций армированных пленок (типа поливинилхлоридной) или алюминиевой фольги.

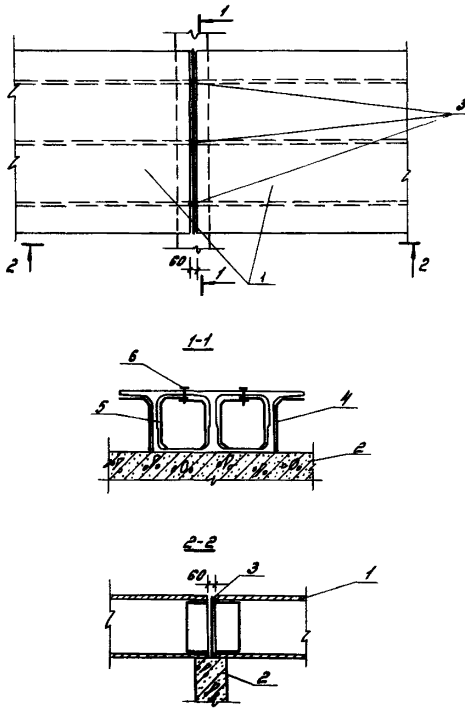


Рис. 7. Схема жесткой заделки узлов сопряжений торцов коробчатых настилов

1 – коробчатый настил; 2 – балка или ригель; 3 – арматурный каркас; 4 – внешняя опалубка; 5 – внутренняя опалубка; 6 – скрутка из проволоки

14. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ КОРОБЧАТЫХ НАСТИЛОВ В СОЧЕТАНИИ СО СВЕТИЛЬНИКАМИ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ И АКУСТИЧЕСКИМИ ПОТОЛКАМИ

14.1. Светильники искусственного освещения производственных помещений следует располагать с шагом 3000 мм.

Встроенные светильники необходимо размещать в промежутках между пустотами коробчатых настилов, а подвесные светильники – в местах, указанных выше, и по продольным осям коробчатых настилов.

14.2. Устанавливать встроенные светильники рекомендуется на специальные металлические рамки уголков при несъемных акустических потолках и из полосовой стали – при съемных акустических потолках (рис. 8)

14.3. Подвесные светильники рекомендуется устанавливать с помощью штанг, к которым крепятся специальные уголки, входящие в спецификацию электротехнического оборудования. Штанги на противоположном конце имеют резьбу и ввинчиваются в гайки, приваренные к закладным изделиям коробчатых настилов (рис. 8 и 9).

14.4. Акустические потолки рекомендуется выполнять из несгораемых или трудносгораемых звукоизоляционных и звукопоглощающих материалов в двух вариантах конструктивных решений – с относом и без относа от коробчатых настилов.

14.5. Акустические потолки, устраиваемые с относом от коробчатых настилов, подвешиваются на металлических полосах, вставляемых в уголки, приваренные к закладным изделиям коробчатых настилов (см. рис. 8).

14.6. Акустические потолки, устраиваемые без относа от коробчатых настилов, приклеиваются к ним и к продольным металлическим уголкам (в пределах промежутков между пустотами коробчатых настилов) с помощью гумилакса (рис. 10).

14.7. Устройство съемных участков акустических потолков обязательно.

14.8. При устройстве акустических потолков в многоэтажных зданиях с размещением на коробчатых настилах виброопасного оборудования звукоизолирующие и звукопоглощающие минераловатные плиты во избежание их распыления необходимо применять только в полиэтиленовой пленке.

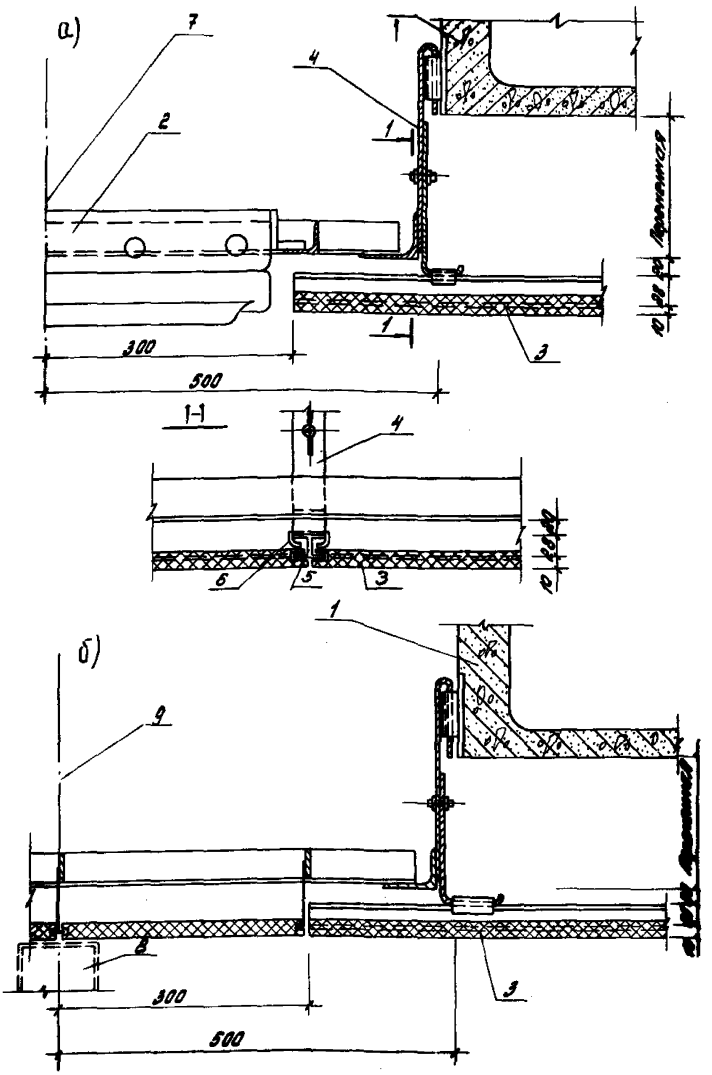


Рис. 8. **Схема установки встроенных (а) и подвесных (б)** светильников и устройства акустических потолков с относом от коробчатых настилов

1 – коробчатый настил; 2 – встроенный светильник; 3 – акустический потолок; 4 – металлическая подвеска; 5 – направляющая – алюминиевый профиль, h =28 мм; 6 – наездник из стального листа, δ =8 мм; 7 – ось симметрии; 8 – рама для подвесных светильников; 9 – ось подвески светильников

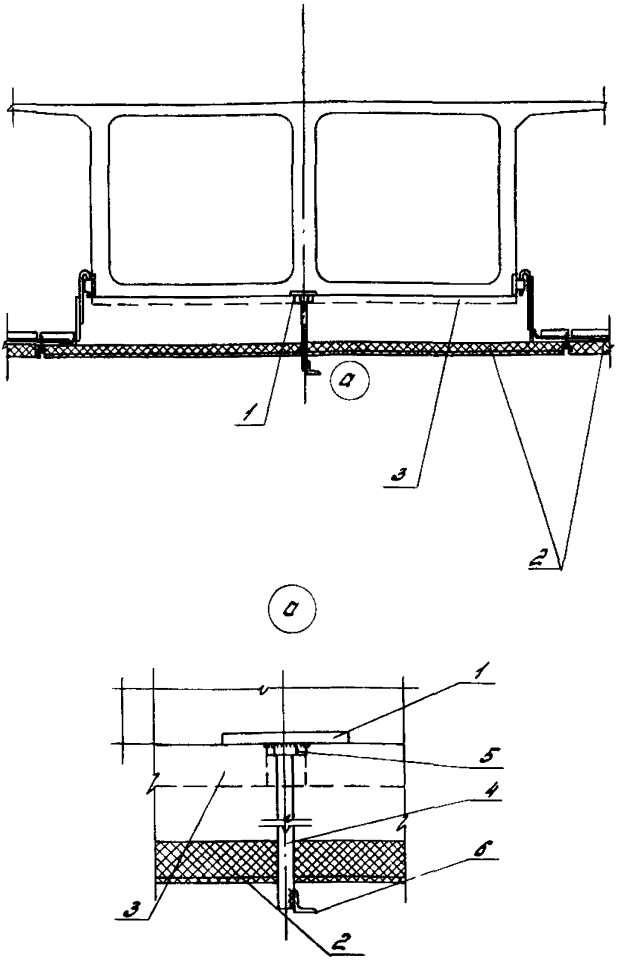


Рис. 9. Схема установки подвесных светильников с помощью штанг

1 – закладное изделие коробчатого настила; 2 – акустический потолок с относом от коробчатого настила; 3 – акустический потолок без относа от коробчатого настила; 4 – штанга; 5 – гайка; 6 – уголок перфорированный К 236 по ТУ 36-1434-70

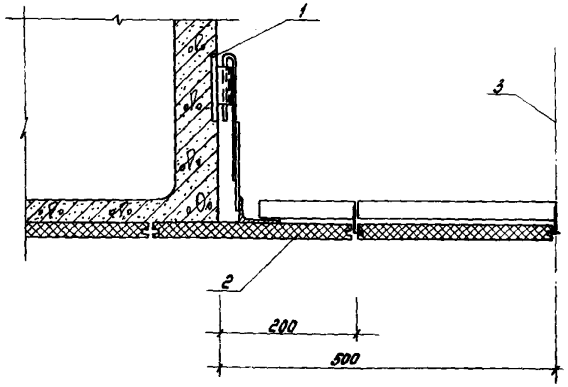


Рис. 10. Схема устройства акустических потолков без относа от коробчатых настилов
1 – закладное изделие коробчатого настила; 2 – акустический потолок; 3 – ось симметрии

15. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРОБЧАТЫХ НАСТИЛОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА

15.1. Изготовление коробчатых настилов должно осуществляться на коротких стендах (далее именуемых стенд-формами) длиной на одно изделие. Стенд-формы следует располагать в линию с размещением между ними установок двухстороннего действия для извлечения вкладышей-пустотообразователей из отформованных коробчатых настилов (рис. 11).

15.2. Натяжение арматуры следует осуществлять групповым способом с применением гидродомкратов, входящих в состав стенд-камер (автономно для каждой стенд-камеры).

15.3. Укладку бетонной смеси в стенд-камеру следует осуществлять бетоноукладчиком, уплотнение – с помощью вибраторов с вертикальными дебалансными валами.

15.4. Тепловлажностную обработку изделий необходимо производить в стенд-камерах путем пуска пара в полость, образуемую продольными силовыми балками поддо-

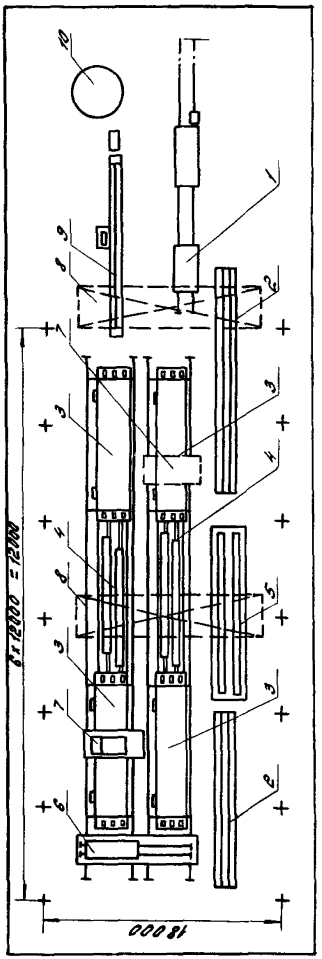


Рис. 11. Схема цеха по изготовлению коробчатых настилов

1 – самоходная тележка для вывоза готовой продукции; 2 – стеллажи для хранения арматурных сеток; 3 – стенд-камера для изготовления коробчатых настилов; 4 – установка для изготовления вкладышей; 5 – пост подготовки вкладышей; 6 – передаточная тележка; 7 – бетоноукладчик; 8 – мостовой кран грузоподъемностью 30,0/5,0 т; 9 – установка для заготовки канатов; 10 – бухта

на стенд-камер и уложенными на них термоизоляционными крышками.

15.5. Стенд-камера должна обеспечивать двух- и одностадийное формование коробчатых настилов.

Формовочное оборудование

15.6. Силовая стенд-камера должна включать поддон, жестко прикрепленные к поддону вибраторы с приводами, продольные борта, тяги для открывания и фиксации продольных бортов в рабочем положении, съемные торцовые борта с крышками, захватные устройства, силовые балки с домкратами для натяжения напрягаемой арматуры и фиксаторами, прижимные балки.

15.7. Стенд-камеры следует устанавливать на упругие резинометаллические опоры.

15.8. Продольные борта стенд-камеры необходимо выполнять отгибаемыми и устанавливать в рабочем положении с помощью гидроцилиндров.

15.9. Торцовые борта стенд-камеры необходимо выполнять съемными с проемами для фиксации вкладышей - пустотообразователей.

15.10. Силовые балки, входящие в состав стенд-камеры, следует располагать в двух направлениях при подвижном и неподвижном соединении поперечных силовых балок с продольными силовыми балками. Подвижное и неподвижное соединение следует осуществлять со стороны натяжения арматуры, а только неподвижное - со стороны извлечения вкладышей - пустотообразователей. Между подвижной и неподвижной силовыми балками необходимо размещать домкраты и фиксаторы.

15.11. Для образования пустот в коробчатых настилах следует применять складывающиеся металличес - кие вкладыши-пустотообразователи двухстороннего действия, с размерами, соответствующими размерам пустот в коробчатых настилах.

15.12. Для фиксации вкладышей от всплытия во время бетонирования необходимо применять прижимные балки с креплением их к продольным силовым балкам поддона.

15.13. Следует использовать бетоноукладчик для укладки бетонной смеси последовательно в нижнюю полку, в ребра и в верхнюю полку коробчатого настила.

15.14. Отрыв от бетона, складывание и извлечение вкладышей - пустотообразователей необходимо произво - дить установкой, конструкция которой должна позволять осуществлять эту операцию поочередно из двух стенд-камер.

Требования к формовочному оборудованию

15.15. Конструкция вкладышей-пустотообразователей должна допускать возможность периодической их чистки, смазки, ремонта и замены изношенных частей.

15.16. Для формования коробчатых настилов рекомендуется использовать вибраторы преимущественно с круговыми или эллипсоидальными колебаниями в горизонтальной плоскости со следующими параметрами вибрации: частота - 24 Гц; амплитуда горизонтальных колебаний - 0,6...0,8 мм, вертикальных - 0,3...0,5 мм.

Материалы для изготовления коробчатого настила

15.17. Состав бетонной смеси для формования коробчатых настилов должен определяться заводской лабораторией в соответствии с требованиями проекта.

15.18. Для формования коробчатых настилов рекомендуется применять бетонные смеси следующей подвижности: а) при двухстадийном формовании - для нижней полки осадка конуса - 5...6 см; для ребер и верхней полки осадка конуса - 10...12 см; б) при одностадийном формовании - для нижней полки осадка конуса 15... 17 см; для ребер и верхней полки осадка конуса - 8... 10 см.

При изготовлении коробчатых настилов с использованием бетонной смеси постоянной подвижности при двухстадийном формовании осадка конуса бетонной смеси должна быть не ниже 12 см, при одностадийном формовании - равна 16 см.

Порядок формования коробчатых настилов

15.19. Подготовка установки и вкладышей-пустотообразователей должна включать чистку и смазку формующих поверхностей ручным пневмоинструментом; тип смазки ОЭ-2.

15.20. Установку и сборку арматуры следует производить вручную непосредственно в стенд-камере из предварительно заготовленных укрупненных элементов.

15.21. Арматуру следует укладывать в следующей последовательности: арматурные сетки нижней полки, закладные изделия и напрягаемая арматура, арматурные каркасы ребер.

15.22. Армирование верхней полки коробчатого настила необходимо производить после сборки формы, формования нижней полки коробчатого настила и установки вкладышей-пустотообразователей.

15.23. При двухстадийной технологии формования должна соблюдаться следующая последовательность выполнения операций: укладка бетонной смеси на нижнюю полку бетоноукладчиком, разравнивание и уплотнение вибропрофилером на бетоноукладчике, установка вкладышей-пустотообразователей, укладка бетонной смеси в ребра и в верхнюю полку коробчатого настила, уплотнение вибраторами на стенд-камере, заглаживание вибробрусом на бетоноукладчике.

15.24. При одностадийной технологии формования должна соблюдаться следующая последовательность выполнения операций: армирование нижней полки и ребер коробчатого настила, сборка формы, установка вкладышей-пустотообразователей, армирование верхней полки, укладка бетонной смеси бетоноукладчиком, уплотнение вибраторами на стенд-камере, заглаживание вибробрусом на бетоноукладчике.

15.25. Виброуплотнение бетонной смеси должно обеспечивать создание плотного бетона с коэффициентом плотности не менее 0,96.

15.26. Оптимальным следует считать одностадийный способ формования коробчатых настилов.

15.27. Интенсификация твердения бетона должна обеспечиваться прогревом свежеотформованных изделий на стенде путем пропуска пара в полость, создаваемую продольными силовыми балками стенд-камер и устанавливаемыми на них термоизоляционными крышками.

15.28. Рекомендуется следующий ориентировочный режим тепловлажностной обработки: выдерживание перед тепловлажностной обработкой – 2 ч; подъем температуры до 80 °С – 3 ч; изотермический прогрев при 80 °С – 6 ч; остывание до 40 °С – 2 ч.

15.29. Распалубка коробчатых настилов и передача напряжения на бетон должна включать следующие этапы: извлечение вкладышей-пустотообразователей после 4–5 ч термообработки; сниятие торцевых и открывание продольных бортов; отпуск натяжения и обрезка напрягаемой арматуры.

15.30. Плавную передачу напряжения арматуры на бетон коробчатого настила следует осуществлять гидродом-

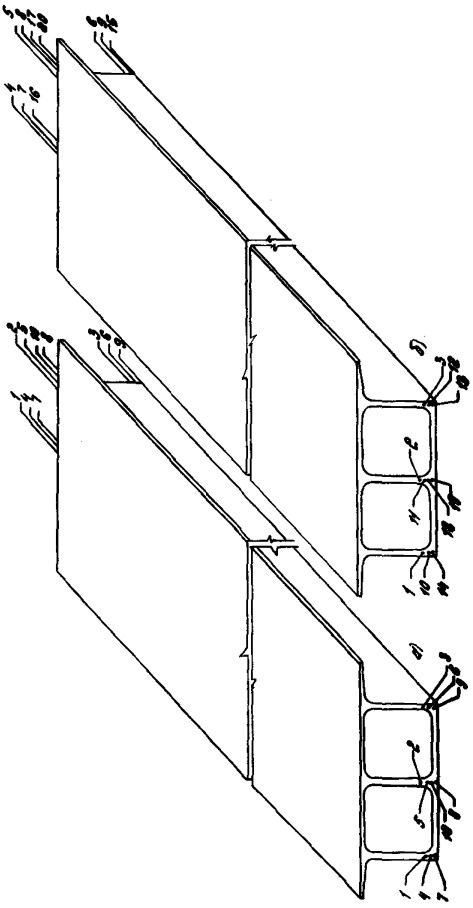


Рис. 12. Рекомендуемая последовательность обрезки напрягаемой арматуры
а – при двух резчиках; б – при одном резчике

кратами с помощью клиновых устройств. Обрезку напрягаемой арматуры необходимо выполнять автогенным аппаратом или бензорезом.

15.31. Рекомендуемая последовательность обрезки напрягаемой арматуры представлена на рис. 12.

15.32. На посту доводки выступающие концы напрягаемой арма - туры необходимо вторично обрезать заподлицо с коробчатыми настилом, а торцы заделать цементным раствором состава 1:3. На посту доводки необходимо также осуществлять продувку пустот сжатым воздухом.

15.33. В траверсе для подъема и перемещения коробчатых настилов угол наклона строповочных канатов к плоскости верхней полки должен составлять 90°.

15.34. При изготовлении коробчатых настилов необходимо вести пооперационный контроль на всех технологических переделах производства.

15.35. Приемка коробчатых настилов должна производиться поштучно.

15.36. Испытания коробчатых настилов для оценки прочности, жесткости и трещиностойкости необходимо производить при освоении производства изделий, изменений технологии их изготовления и в случае замены используемых материалов.

Маркировка и складирование коробчатых настилов

15.37. Маркировочные знаки должны наноситься на крайние ребра коробчатых настилов в местах, видимых при хранении и монтаже конструкций.

15.38. При складировании коробчатых настилов как на предприятии-изготовителе, так и на строительной площадке должны соблюдаться следующие условия: а) хранение в штабелях в проектном положении не более трех коробчатых настилов по высоте; б) штабели на складе и строительной площадке должны иметь проходы шириной не менее 0,7 м и зазоры между смежными штабелями не менее 0,2 м с соблюдением условий свободной строповки и подъема коробчатых настилов; в) коробчатые настилы складируются на инвентарные подкладки и прокладки, укладываемые под торцовые участки крайних и средних ребер. Подъем, погрузка и разгрузка коробчатых настилов должны производиться с помощью специальных грузозахватных приспособлений.

Техника безопасности

15.39. К осмотру оборудования допускаются лица, ознакомленные с его работой и прошедшие специальный инструктаж по технике безопасности.

15.40. Осмотр, очистку и ремонт оборудования разрешается производить только при отключенном электрооборудовании.

15.41. Перед натяжением арматуры на стенде должны быть даны видимые световые и звуковые сигналы. Ра-

бочие, не участвующие в натяжении арматуры, должны покинуть рабочие места.

15.42. Все стенд-камеры должны быть снабжены стационарными или съемными предохранительными козырьками, закрывающими упоры после натяжения арматуры и предохраняющими рабочих от травм в случае обрыва арматуры.

15.43. Выход рабочих на стенд для устранения каких-либо дефектов в натянутой арматуре запрещается до снижения натяжения арматуры.

15.44. Не разрешается проводить какие-либо сварочные работы в зоне натянутой арматуры.

15.45. При изготовлении коробчатых настилов необходимо соблюдать "Единые правила техники безопасности и производственной санитарии для предприятий промышленности строительных материалов", часть 1 (1969 г.) и раздел ХП, часть II, а также требования СНиП Ш-4-80 "Техника безопасности в строительстве".

16. ПРАВИЛА ПЕРЕВОЗКИ КОРОБЧАТЫХ НАСТИЛОВ

Перевозка железнодорожным транспортом

16.1. Перевозку коробчатых настилов железнодорожным транспортом следует осуществлять в рабочем положении в соответствии с проектом размещения и крепления их на сцепе из трех железнодорожных платформ с использованием комплекта турникетов, разработанных НИИСК Госстроя СССР, с фрикционно-клиновыми амортизаторами.

16.2. Разработку проекта размещения и крепления коробчатых настилов на железнодорожном подвижном составе, расчеты и проектирование турникетно-крепежных устройств следует выполнять в соответствии с требованиями главы 1 "Технических условий погрузки и крепления грузов" Министерства путей сообщения (издание 1981 г.) с учетом нормативов, предусматривающих скорость движения грузовых поездов до 100 км/ч.

16.3. Для перевозки коробчатых настилов необходимо использовать четырехосные платформы грузоподъемностью 62-63 т с металлическими бортами на тележках ЦНИИ-ХЗ-0.

16.4. На сцепе из трех платформ следует перевозить четыре однотипных коробчатых настила (с двумя консольными свесами верхней полки, с одним консольным свесом верхней полки, без консольных свесов верхней полки).

При перевозке коробчатых настилов с односторонним консольным свесом верхней полки обязательным условием является расположение в разные стороны консолей коробчатых настилов верхнего и нижнего рядов.

16.5. Размещение коробчатых настилов на платформах следует принимать в два яруса без использования зауженной части габарита.

16.6. Общий вид сцепа платформ, загруженных коробчатыми настилами с применением комплекта турникетов, изображен на рис. 13.

16.7. Принципиальная схема устройства несущего турникета с фрикционно-клиновым амортизатором изображена на рис. 14.

16.8. Для опирания верхнего коробчатого настила на нижний следует принимать промежуточную раму, общий вид которой изображен на рис. 15. Положение промежуточной рамы является фиксированным как в продольном, так и в поперечном направлениях.

16.9. На время транспортирования торцовые борта платформ должны быть откинуты на кронштейны, а боковые борта-закреплены кольцами на продольных балках, а при отсутствии колец - увязаны проволокой диаметром не менее 6 мм. Допускается эксплуатация сцепа с полностью снятыми бортами платформ.

16.10. Несущий турникет должен устанавливаться на средней платформе, а подвижные турникеты - на крайних платформах сцепа со сдвижкой на 2475 мм от поперечной оси платформы в сторону от середины сцепа.

16.11. Выгрузку коробчатых настилов следует производить в порядке, обратном погрузке - отведение торцовых рам, снятие верхних коробчатых настилов, снятие промежуточных рам, отведение боковых упоров, снятие нижних коробчатых настилов.

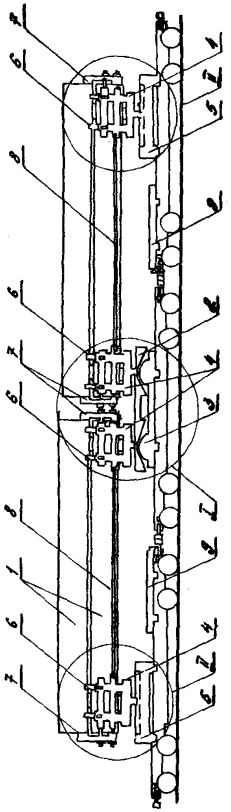


Рис. 13. Общий вид сцепа железнодорожных платформ, загруженных коробчатыми настилами с применением комплекта турникетов НИИСК Госстроя СССР

I – несущий турникет; П – подвижные турникеты; 1 – коробчатые настилы; 2 – скользящая рама; 3 – клиновая рама; 4 – поворотные рамы; 5 – нижняя рама; 6 – промежуточные рамы; 7 – торцевые рамы; 8 – продольные тяги; 9 – контргрузы

Перевозка автомобильным транспортом

16.12. При перевозке коробчатых настилов автомобильным транспортом должны соблюдаться общие требования "Руководства по перевозке автомобильным транспортом строительных конструкций" (М: Стройиздат, 1980).

16.13. Транспортирование коробчатых настилов, запроектированных под расчетную нагрузку от 4,50 (450) до 12,50 (1250) кПа (кгс/м^2), следует осуществлять в рабочем положении с опиранием по концам или со свесами длиной до 1250 мм. Схемы опирания коробчатых настилов, запроектированных под расчетную нагрузку от 2 (200) до 3 (300) кПа (кгс/м^2) (число опор, длина свесов), должны определяться расчетами с учетом коэффициента динамичности, равного 2,7.

16.14. Для транспортирования коробчатых настилов рекомендуется использование специализированных автопоездов с полуприцепами типа ПК-1418, ПК-2018, ПЛК-2918 (проект Укроргтехстроя Минпромстроя СССР) и ПК-1821

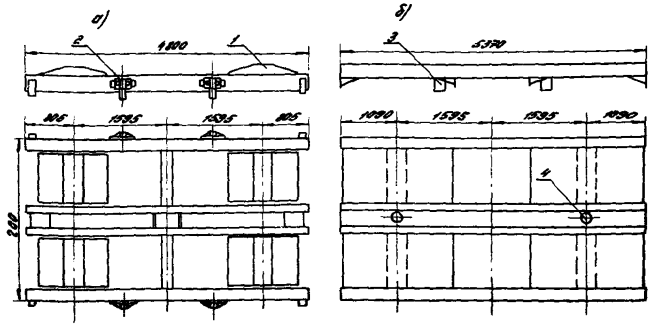


Рис. 14. Принципиальная схема устройства несущего турникета (с клиновыми фрикционными амортизаторами)

а – клиновая рама; б – скользящая рама; 1 – клинья; 2 – фиксаторы для крепления клиновой рамы к стоечным гнездам платформы; 3 – направляющие продольного хода скользящей рамы; 4 – гнездо для посадки поворотной рамы

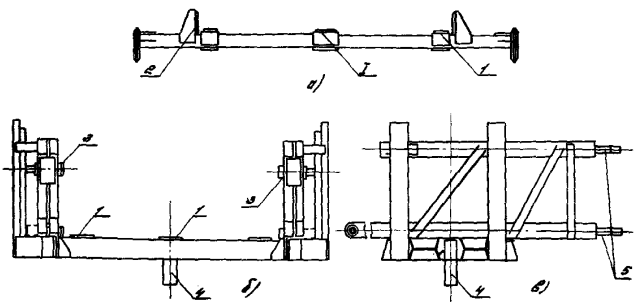


Рис. 15. Схемы промежуточной (а) и поворотной (б,в) рам

1 – площадки для опирания коробчатых настилов; 2 – боковые фиксаторы верхнего коробчатого настила; 3 – боковые прижимные винты для фиксации нижнего коробчатого настила; 4 – шкворень поворотной рамы; 5 – шпильки для удержания торцовой рамы

(проект ЦЭКБ Строймехавтоматика Минпромстроя СССР). Допускается также применение прицепа-роспуска типа ПР-2321 (проект объединения "Автоспецтранс" Минпромстроя БССР), имеющего специальные балансирные коники с упорами.

16.15. Грузовые платформы транспортных средств, перечисленных в п. 16.14, должны оборудоваться подкладками, обеспечивающими опирание изделий только под ребрами. Подкладки могут быть деревянными или металлическими с облицовкой зон опирания резиной (рис. 16).

16.16. На полуприцепе ПЛК-2918 допускается перевозка двух коробчатых настилов шириной до 2000 мм.

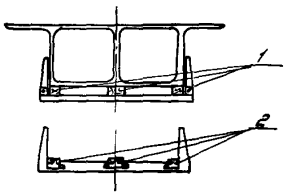


Рис. 16. Оборудование грузовых платформ транспортных средств накладками для перевозки коробчатых настилов
1 - деревянные брусья; 2 - металлические подкладки с облицовкой опорной поверхности отрезками бывших в употреблении шин

16.17. При размещении коробчатых настилов на транспортных средствах, перечисленных в п. 16.14, расстояние "а" (см. рис. 16) от шкворня седельно-сцепного устройства тягача до переднего коробчатого настила не должно превышать 700 мм при ширине коробчатого настила до 2000 мм и 1100 мм - при ширине коробчатого настила, равного 3000 мм (рис. 17).

16.18. Транспортные средства должны быть снабжены ограничителями поперечного смещения коробчатых настилов.

16.19. Перевозка коробчатых настилов шириной 3000 мм как негабаритных грузов должна осуществляться с разрешения Госавтоинспекции.

16.20. Скорость перевозки коробчатых настилов шириной до 2000 мм не должна превышать максимальной скорости тягача, а коробчатых настилов шириной 3000 мм - 50 км/ч.

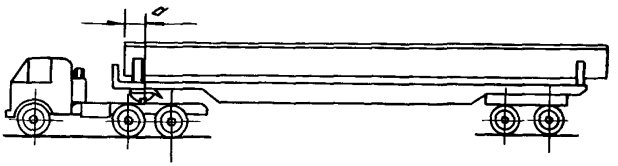


Рис. 17. Общий вид автопоезда с коробчатым настилом в транспортном положении

16.21. При использовании для перевозки коробчатых настилов прицепов – роспусков типа ПР-2321 последние должны оборудоваться упорами (рис. 18). Упор и крепежные детали должны быть рассчитаны на продольную силу, равную 150,0 (15000) кН (кгс).

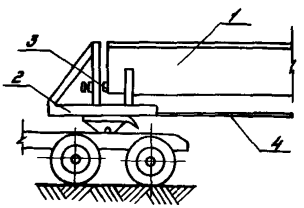


Рис. 18. Оборудование прицепов-роспусков продольными упорами для транспортировки коробчатых настилов
1 – коробчатый настил; 2 – коник; 3 – винтовой упор; 4 – канат системы управления

16.22. Размеры опорной пластины продольного упора должны быть не менее 250х х70 мм. Опорная поверхность пластины продольного упора должна быть облицована упругим материалом.

Техника безопасности при транспортировании

16.23. Коробчатые настилы на железнодорожном подвижном составе должны быть размещены и закреплены в соответствии с указаниями НИИСК Госстроя СССР – "Размещение и крепление железобетонных коробчатых настилов размером 3х18 м на сцепе трех платформ с применением турникета НИИСК Госстроя СССР с клиновыми амортизаторами".

16.24. Руководство погрузочно-разгрузочными работами должно осуществляться специально выделенным лицом из числа инженерно-технических работников.

16.25. Подъем коробчатых настилов следует производить в соответствии с "Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов", утвержденными Госгортехнадзором СССР, с применением для этой цели специальной траверсы, разработанной НИИСК Госстроя СССР.

16.26. Коробчатый настил во время его подъема и перемещения должен удерживаться от раскачивания и вращения гибкими оттяжками.

16.27. При горизонтальном перемещении краном коробчатых настилов или элементов турникетно-крепежного устройства последние должны быть подняты не менее чем на 500 мм выше встречающихся на пути препятствий.

16.28. Скорость движения автопоезда с коробчатыми настилами на строительных площадках и на заводских территориях не должна превышать 10 км/ч на прямых участках и 5 км/ч - на поворотах.

17. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Расчет коробчатого настила по предельным состояниям первой и второй групп

Исходные данные. Предварительно напряженный коробчатый настил изображен на рис. 1,а; номинальная длина конструкции - 18,0 м; расчетный пролет - 17,7 м; монтажные петли установлены на расстоянии a=0,5 м от торцов конструкции; прокладки при складировании ставятся у торцов коробчатого настила; расчетная нагрузка без учета собственного веса конструкции q =8 кПа (800 кгс/м^2); газовая среда - неагрессивная.

Коробчатый настил изготавливается из бетона класса В 40 (R_{bn} = $R_{b,ser}$ =29,0 МПа; R_{btn} = $R_{bt,ser}$ = =2,1 МПа; R_b =22,0 МПа; R_{bt} =1,4 МПа; E_b = =32,5·10^3 МПа), передаточная прочность бетона R_{bp} = =25,0 МПа ($R_{b,ser}$ =18,5 МПа; $R_{bt,ser}$=1,6 МПа), бетон подвергается тепловой обработке при атмосферном давлении.

Напрягаемая арматура – канаты К-7 ϕ 15 мм (R_{sn} = $= R_{s,ser}$ =1295 МПа; R_s =1080 МПа; E_s =$18 \cdot 10^4$ МПа), площадь арматуры A_{sp} =14·1,415=19,81 $см^2$= =$19,81 \cdot 10^{-4}$ $м^2$.

Ненапрягаемая арматура – класса Вр –1 (E_s' = =$17 \cdot 10^4$ МПа; R_{sw} =265 МПа; R_{sc} =365 МПа), площадь арматуры в верхней полке – A_s' =$3,64 \cdot 10^{-4}$ $м^2$, в нижней полке – A_s' =$0,76 \cdot 10^{-4}$ $м^2$.

Хомуты-из арматуры класса В1 ϕ 5 мм (R_{sw}= =260 МПа), площадь – A_{sw} =$3,73 \cdot 10^{-4}$ $м^2$, шаг хомутов – 0,15 м.

Нагрузка от собственного веса настила: q_w =3.2 кПа (320 $кгс/м^2$); q_w =320 · 1,1=3,52 кПа (352 $кгс/м^2$).

Полная расчетная нагрузка на настил:

$$q = 0,8+0,352=1,152\ тс/м^2 = 11,52\ кПа\ (1152\ кгс/м^2).$$

Поперечное сечение коробчатого настила приведено к двутавровому и изображено на рис. 19. Расчет производим в соответствии с положениями СНиП 2.03.01-84 "Бетонные и железобетонные конструкции".

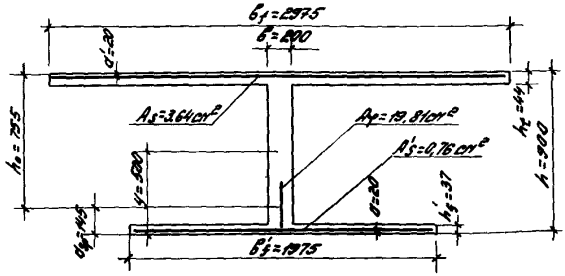


Рис. 19. Поперечное сечение коробчатого настила, приведенное к двутавровому сечению

Определение толщин верхней и нижней полок приведенного сечения коробчатого настила (см. рис. 19).

$$h_f = \frac{2A_T + 4A_{\bar{1}} + 3\,b_1 h_{f1} + b_f h_{f1} + b_{f3} h_{f1} + \frac{2b_{f3} + \Delta h_{f2}}{2} b_{f4} \cdot 2}{b_f};$$

$$h_f' = \frac{4A_{III} + b_{f5}\,h_{f1} + b_{f6}\,h_{f1} + 3\,b_1\,h_{f1}}{b_f'}.$$

Для данного примера (рис. 20):

$$A_I = 50\cdot 60 + \frac{1}{2}\,50\cdot 50 = 42{,}5 \text{ см}^2;$$

$$A_{II} = 90\cdot 35 + \frac{1}{2}\cdot 90\cdot 90 - \left[\frac{90\pi\cdot 90^2}{360} - 90\cdot 90\cdot\frac{1}{2}\right] = 48{,}9 \text{ см}^2;$$

$$A_{III} = 75\cdot 35 + \frac{1}{2}\cdot 75\cdot 75 - \left[\frac{\pi\cdot 75^2\cdot 90}{360} - 75\cdot 75\cdot\frac{1}{2}\right] = 38{,}3 \text{ см}^2;$$

$$h_f = \frac{2\cdot 42{,}5 + 4\cdot 48{,}9 + (4{,}0+6{,}0)\frac{1}{2}(50-5)\cdot 2 + 3{,}5\cdot 71{,}0\cdot 2 + 3{,}5\cdot 6{,}5\cdot 3}{297{,}5} = \frac{1295{,}85}{297{,}5} = 0{,}044 \text{ м } (4{,}4 \text{ см});$$

$$h_f' = \frac{4\cdot 38{,}3 + 2\cdot 3{,}5(89{,}0 - 15{,}0 - 1{,}0) + 3\cdot 3{,}5\cdot 7{,}0}{197{,}5} =$$

$$= \frac{737{,}7}{197{,}5} \approx 0{,}037 \text{ м } (3{,}7 \text{ см}).$$

Определение геометрических характеристик приведенного сечения

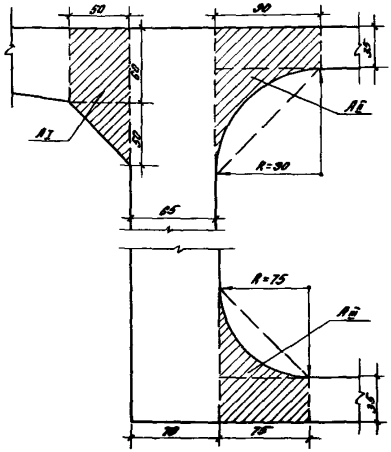
$$\alpha_p = \frac{E_s}{E_b} = \frac{18\cdot 10^4}{32{,}5\cdot 10^4} = 5{,}54;\quad \alpha_s = 17\cdot 10^4 / 32{,}5\cdot 10^4 = 5{,}23;$$

$$A_{red} = A + \alpha_p A_{sp} + \alpha_s A_s = 3{,}7\cdot 197{,}5 + 4{,}4\cdot 297{,}5 + 20\cdot 82{,}3 + 5{,}54\cdot 19{,}81 + 5{,}23\cdot 3{,}64 + 5{,}23\cdot 0{,}76 = 381851 \text{ см}^2 = 0{,}38 \text{ м}^2;$$

$$S_{red} = 297{,}5\cdot 4{,}4\cdot 87{,}9 + 197{,}5\cdot 1{,}85\cdot 37 + 20\cdot 81{,}9\cdot 44{,}85 + 5{,}54\cdot 19{,}81\cdot 14{,}5 + 5{,}23\cdot 3{,}64\cdot 88 + 5{,}23\cdot 0{,}76\cdot 1{,}5 = 187418 \text{ см}^3 = 0{,}19 \text{ м}^3.$$

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до нижней грани настила:

Рис. 20. Определение приведенных толщин верхней и нижней полок коробчатого настила



$y = S_{red}/A_{red}$=0,19/

/0,38=0,5 м (50 см);

$$J_{red} = \frac{20\cdot 90^3}{12} +$$

$$+2\cdot\frac{138{,}75\cdot 4{,}4^3}{12}+$$

$$+2\cdot\frac{88{,}75\cdot 3{,}7^3}{} +$$

$$+20\cdot 90\cdot 5^2 +$$

$$+2\cdot 138{,}75\cdot 4{,}4(40-2{,}2)^2+2\cdot 3{,}7\cdot 88{,}75(50-1{,}85)^2+$$

$$+5{,}54\cdot 19{,}81\cdot(50-14{,}5)^2+5{,}23(40-2{,}0)^2\cdot 3{,}64+5{,}23\cdot 0{,}76\cdot(50-1{,}5)^2=466667{,}2=0{,}047\ м^4.$$

Определение усилий предварительного обжатия P и эксцентриситета e

Величину предварительного напряжения арматуры без учета потерь принимаем

σ_{sp} =0,76 $R_{S,ser}$ =0,76·1295=984,2 МПа.

Определяем P в трех характерных сечениях: в середине пролета, в конце зоны передачи напряжения и в месте установки монтажной петли.

Сечение в середине пролета. Определяем потери предварительного напряжения в арматуре (табл. 5 СНиП 2.03.01-84)

а) Первые потери:

от релаксации напрягаемой арматуры

$$\sigma_1 = (0{,}22\cdot\frac{\sigma_{sp}}{R_{S,ser}} - 0{,}1)\,\sigma_{sp} = (0{,}22\cdot\frac{984{,}2}{1295} - 0{,}1)\cdot 984{,}2 =$$

=66 МПа (660 кгс/см^2);

от температурного перепада $\sigma_2 = 0$;

от деформации анкеров, расположенных у натяжных уст - ройств,

$\sigma_3 = \Delta l / l E_s = 3{,}5/2100 \cdot 18 \cdot 10^4 = 30$ МПа (300 кгс/см^2),

$\Delta l = 1{,}25 + 0{,}15 \cdot d = 1{,}25 + 0{,}15 \cdot 15 = 3{,}5$.

С учетом первых потерь

$\sigma_{sp1} = \sigma_{sp} - \sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3 = 984{,}2 - 66 - 30 = 888{,}2$ МПа (8882 кгс/см^2);

$P_{01} = \sigma_{sp1} \cdot A_{sp} = 888{,}2 \cdot 10^6 \cdot 19{,}81 \cdot 10^{-4} = 17595 \cdot 10^2$ Н = =1759,5 кН (175,95 кгс).

Для определения потерь от быстронатекающей ползучести находим напряжения в бетоне на уровне центра тяжести арматуры S

$$\sigma_{bp} = \frac{P_1}{A_{red}} + \frac{P_1 e_{op}}{J_{red}} y - \frac{M_w}{J_{red}} y =$$

$$= \frac{17595 \cdot 10^2}{0{,}38} + \frac{17595 \cdot 10^2 \cdot 0{,}355}{0{,}047} \cdot 0{,}5 - \frac{37{,}6 \cdot 10^4}{0{,}047} 0{,}5 =$$

$= 72751{,}83 \cdot 10^2$ Н/м^2 = 7,3 МПа (73 кгс/см^2);

$e_{op,01} = y - a' = 0{,}5 - 0{,}145 = 0{,}355$ м (35,5 см); $y = y_{sp} =$ =0,355 м (35,5 см);

$M = M_w = q_w l^2 \ 3/8 = 0{,}32 \cdot 17{,}7^2 \cdot 3/8 = 37{,}6 \cdot 10^4$ Нм (36·10^3 кгсм).

Проверяем условие

$$\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} \leq \alpha ; \quad \frac{7{,}3}{25{,}0} = 0{,}3 < 0{,}88 ; \quad \alpha = 0{,}25 + 0{,}025 R_{bp} =$$

$= 0{,}88$.

Значит $\sigma_6 = 40\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = 40 \cdot 0{,}3 = 12{,}0$ МПа.

Определяем потери напряжений на уровне центра тяжести арматуры верхней полки:

$$\sigma'_{bp} = \frac{P_I}{A_{red}} - \frac{P_I e_{op}}{J_{red}} y + \frac{M_w}{J_{red}} y =$$

$$= \frac{17995 \cdot 10^2}{0{,}38} - \frac{17995 \cdot 10^2 \cdot 0{,}355 \cdot 0{,}5}{0{,}047} + \frac{37{,}6 \cdot 10^4 \cdot 0{,}38}{0{,}047} =$$

$= 0{,}96$ МПа (9,6 кгс/см^2);

$e_{op,01} = h - y - a = 90 - 50 - 2{,}0 = 0{,}38$ м (38 см);

$\alpha = 0{,}25 \cdot 0{,}025 \frac{R_{bp}}{} = 0{,}88; \frac{0{,}96}{25{,}0} = 0{,}04 < 0{,}88$;

$\sigma_{bp} = 40 \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = 40 \cdot 0{,}04 = 1{,}6$ МПа(16 кгс/см^2);

$\sigma_{sp1} = \sigma_{sp} - \sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3 - \sigma_{bp} = 984{,}2 - 66 - 30 - 12{,}0 =$
$= 876{,}2$ МПа (8762 кгс/см^2).

Определяем усилие обжатия с учетом первых потерь напряжения

$P_{01} = \sigma_{sp1} A_{sp} - \sigma'_{bp} \cdot A' = 876{,}2 \cdot 10^6 \cdot 19{,}81 \cdot 10^{-4} - 1{,}6 \cdot 10^6 \times$

$\times 3{,}64 \cdot 10^{-4} = 17352 \cdot 10^2$ Н (173520 кгс);

$$e_{op,01} = \frac{\sigma_{sp} A_{sp} y_{sp} + \sigma'_{bp} A}{P_{01}} =$$

$$= \frac{876{,}2 \cdot 10^6 \cdot 19{,}81 \cdot 10^{-4}(0{,}5 - 0{,}145) +}{17352 \cdot 10^2}$$

$$+ \frac{1{,}6 \cdot 10^6 \cdot 3{,}64 \cdot 10^{-4}(0{,}4 - 0{,}02)}{17352 \cdot 10^2} = 0{,}36 \text{ м (36 см)};$$

$P_1 = 17352 \cdot 10^2$ Н(173520 кгс); $e_{op,1} = 0{,}36$ м (36 см); $\sigma_{sp,1} = 876{,}2 - 1{,}6 = 874{,}6$ МПа (8746 кгс/см^2).

б) Вторые потери: от усадки бетона σ_8 =40 МПа;

от ползучести бетона σ_9 ; для этого определяем σ_{bp} с учетом потерь позиций 1-6 табл. 5 СНиП 2.03.01-84.

$$\sigma_{bp} = \frac{P_I}{A_{red}} + \frac{P_I e_{op}}{J_{red}} y - \frac{M_w y}{J_{red}} = \frac{17352 \cdot 10^2}{0,38} +$$

$$+ \frac{17352 \cdot 10^2 \cdot 0,36}{0,047} \cdot 0,5 - \frac{37,6 \cdot 10^4 \cdot 0,5}{0,047} = 72117,6 \cdot 10^2 \text{ Па} =$$

=7,2 МПа (72 кгс/см^2); $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = \frac{7,2}{25} = 0,3 < 0,75$,

значит потери от ползучести бетона определяются по формуле

$$\sigma_{sp9} = 150 \alpha \frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = 150 \cdot 0,85 \cdot 0,3 = 38,3 \text{ МПа}$$

(383 кгс/см^2).

С учетом вторых потерь

$\sigma_{sp,oz} = \sigma_{sp1} - \sigma_8 - \sigma_9$ =874,6-40-38,3=796,3 МПа (7963 кгс/см^2);

$P_{oz} = \sigma_{sp,oz} A_{sp}$ = $796,3 \cdot 10^6 \cdot 19,81 \cdot 10^{-4} = 15774,7 \cdot 10^2$ Н (157747 кгс); $e_{sp,oz}$ =0,36 м= $e_{sp,o1}$ = 0,36м (36 см).

Сечение в конце длины зоны передачи напряжений. Поскольку $\sigma_1 \ldots \sigma_5$ не зависят от места расположения сечения по длине настила, то $\sigma_{sp,1}$ и P_I в рассматриваемом сечении такие же, как в середине пролета, т.е.

σ_{sp1}=874,6·10^{6}Па=874,6 МПа(8746 кгс/см^2).

Длину зоны передачи напряжений определяем в двух вариантах: при $\sigma_{sp} = \sigma_{sp1} =$ =874,6 МПа и σ_{sp} = R_S =1080 МПа; $\ell_p = (w_p \frac{\sigma_{sp}}{R_{bp}} + \lambda_p) d$; w_p = =1,00; λ_p =25 (табл. 28 СНиП 2.03.01-84);

$$\ell_{p1} = (1 \frac{874,6}{25,0} + 25) \cdot 0,015 = 0,9 \text{ м (90 см)};$$

$l_{p2} = (1\frac{1080}{25,0} + 25)\cdot 0,015 = 1,023$ м (102,3 см).

Рассматриваем сечение на расстоянии, равном l_p = =1,023 м (102,3 см).

$M_w = q_w l x/2 - q_w x^2/2$ $=0,32\cdot 17,7\cdot 0,96/2 -$ $\cdot 0,32\cdot 0,96^2/2 = 2,57\cdot 10^4$ Нм ($2,57\cdot 10^3$ кгс·м);

$x = 1,023 - \frac{0,135}{2} = 0,96$ м (96 см);

$$\sigma_{bp} = \frac{P_1}{A_{red}} + \frac{P_{01}\, e_{op}}{J_{red}}\, y - \frac{M_w\, y}{J_{red}} =$$

$$= \frac{17352\cdot 10^2}{0,36} + \frac{17352\cdot 10^2\cdot 0,36\cdot 0,5}{0,047} -$$

$$- \frac{2,57\cdot 10^4\cdot 0,5}{0,047} = 10,9 \text{ МПа } (109 \text{ кгс/см}^2).$$

Так как $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = \frac{10,9}{25,0} = 0,44 < 0,75$, значит

$\sigma_{sp,6} = 40\,\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = 40\cdot 0,44 = 17,6$ МПа (176 кгс/см^2)

и $\sigma_{sp1} = 874,6 - 17,6 = 857,0$ МПа (8570 кгс/см^2);

$P_1 = 857,0\cdot 10^6\cdot 19,81\cdot 10^{-4} = 16977,2\cdot 10^2$ Н (169772 кгс);

$e_{op} = 0,36$ м (36 см).

Вторые потери

$\sigma_{sp,8} = 40$ МПа (400 кгс/см^2); $\sigma_{sp,9} = 150\,\alpha\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} =$ $= 150\cdot 0,85\cdot 0,44 = 56,1$ МПа (561 кгс/см^2).

С учетом вторых потерь

$\sigma_{sp\,II} = 874,6 - 40 - 56,1 = 778,5$ МПа (7785 кгс/см^2);

P_{II} =778,5·10^6·19,81·10^{-4}=15422,1·10^{2}Н (154221 кгс); l_{o2} =0,36 м(36см).

Сечение в месте установки монтажной петли. Расчет производим аналогично предыдущим, вводя момент М, равный:

$M_w = g_w \ell x/2 - g_w x^2/2$ =0,32·17,7·0,433 /2-

-0,32·0,433^2/2=3,59·10^4 Н.м (3,59·10^3 кгс·м);

x =0,5- $\frac{0,135}{2}$=0,433 м (43,3 см); σ_{bp} =

$=\frac{P_I}{A_{red}} + \frac{P_I e_{op}}{J_{red}} y - \frac{M_w y}{J_{red}} = \frac{17352 \cdot 10^6}{0,38} +$

$+\frac{17352 \cdot 10^6 \cdot 0,36 \cdot 0,5}{0,047} - \frac{3,54 \cdot 10^4 \cdot 0,5}{0,047}$ =10,8 МПа

(108 кгс/см^2).

Так как $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}}$ $=\frac{10,8}{25,0}$=0,43$>\alpha$ =0,88 , то

σ_{sc} =40·0,43=17,2 МПа (172 кгс/см^2);

σ_{sp2}=874,6-17,2=857,4 МПа (8574 кгс/см^2);

P_{II}=857,4·10^6· 19,81·10^{-4}=1698,5·10^{2}Н (169850 кгс); ℓ =0,36 м (36 см).

Вторые потери $\sigma_{sp,8}$ =40 МПа (400 кгс/см^2);

$\sigma_{sp,9}$ =150α $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}}$ =150·0,85·0,43=54,8 МПа (548 кгс/см^2).

С учетом вторых потерь

$\sigma_{sp\,II}$ =857,4-40-54,8=762,6 МПа (7626 кгс/см^2);

P_{II} =762,6·10^6·19,81·10^{-4}=15107·10^2 Н (151070 кгс); e_{o2} =0,36 м (36 см).

Проверка сжимающих напряжений σ_{bp}. Наибольшие сжимающие напряжения σ_{bp} имеют место в сечении, проходящем через конец приопорной зоны длиной l_p, поскольку здесь разгружающее влияние момента наименьшее. Напряжения σ_{bp} определяются на уровне нижнего крайнего волокна (т.е. при $y = y_0$ =0,5 м) при действии усилия P_1 с учетом первых потерь.

P_1 =16977,2·10^2 Н; $\sigma_{bp} = \frac{P_1}{A_{red}} + \frac{P_1 e_{op} y}{J_{red}} - \frac{M_w y}{J_{red}} =$

$= \frac{16977,2 \cdot 10^2}{0,38} + \frac{16977,2 \cdot 10^2 \cdot 0,36 \cdot 0,5}{0,047} -$

$- \frac{2,57 \cdot 10^4 \cdot 0,5}{0,047}$ =106820,96·10^{2}Н =10,7 МПа

(107 кгс/см^2);

$\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}} = \frac{10,7}{25,0}$=0,43, что меньше предельно допустимого значения $\frac{\sigma_{bp}}{R_{bp}}$ =0,95 (см. табл. 7 СНиП 2.03.01-84).

Расчет прочности в стадии изготовления

От воздействия усилия Р верхняя зона настила растянута, а нижняя – сжата. В соответствии с этим в данном расчете:

A_s =3,64·10^{-4} м^2 (3,64 см^2); A_{sp} =19,81·10^{-4} м^2 (19,81 см^2); a' =0,2 м (20 см); a_p =0,145 м (14,5 см); h'_f =0,044 м (4,4 см); b'_f =8h'_f·6+ +b =2,216 м (221,6 см).

Расчет производим для сечения в месте установки монтажной петли. Расчетное усилие обжатия:

$P = A_{sp}(\sigma_{sp1}\gamma_{sp} - 330) = 19,81 \cdot 10^{-4}(857,4 \cdot 10^6 \cdot 1,1 -$

$-330 \cdot 10^6) = 12146,3 \cdot 10^2$ Н (121463 кгс),

где γ =1,1 при механическом способе натяжения.

Так как P =12146,3·10^2 $< R_b b'_f h'_f - R_{sc} A_s$ =

=22·10^6·2,216·0,044·1,1-365·10^{-4}=22267,4·10^2 Н,

значит граница сжатой зоны проходит в полке.

γ_{b2} =1,1 (табл. 15 СНиП); $R_b = R_b \gamma_{b2}$.

Определяем X по формуле (29) СНиП 2.03.01-84:

$$x = \frac{P - R_{sc} A_s + R_{sc} A_s'}{R_b b_f'} = \frac{12146,3 \cdot 10^2 - 365 \cdot 10^6 \cdot 3,64 \cdot 10^{-4} + 365 \cdot 10^6 \cdot 0,76 \cdot 10^{-4}}{22 \cdot 10^6 \cdot 2,216} = 0,02 \text{ м}$$

(2,0 см).

Кроме того $x < \xi_R h_0$ =0,36·88=0,3168 м(31,68 см);

$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{2,0}{88} = 0,023 < \xi_R$ =,0,37;

ξ_R определяется по формуле (25) СНиП 2.03.01-84:

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{SR}}{\sigma_{sc,u}}\left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)} = \frac{0,674}{1 + \frac{708,34 \cdot 10^6}{330 \cdot 10^6}\left(1 - \frac{0,674}{1,1}\right)}$$

=0,37;

$\omega = \alpha - 0,008 R_b$ =0,85-0,008·22=0,674;

$\sigma_{SR} = R_s + 400 - \sigma_{sp}$ =1080+400-771,66 =708,34МПа (7083,4 кгс/см^2);

$e = h_0 - a_p + \frac{M_w}{P} = 88 - 14,5 + \frac{0,17 \cdot 10^4}{12146,3 \cdot 10^2}$ =0,735 м (73,5 см);

σ_{sp} =857,4·0,9=771,66 МПа (7716,6 кгс/см^2);

$\sigma_{sc,u}$ =330 МПа (3300 кгс/см^2);

где $M_w = \frac{q_w a^2}{2} \cdot 1,4 = \frac{0,32 \cdot 0,5^2 \cdot 3}{2} \cdot 1,4 = 0,17 \cdot 10^4$ Н·м (0,17·10^3 кгс·м),

1,4 – коэффициент динамичности при монтаже; a=0,5 м – расстояние от торца настила до монтажной петли.

Поэтому прочность сечения определяется из условия (28) СНиП 2.03.01-84:

$$M \le R_b b_f' x (h_0 - 0{,}5x) + R_{sc} A_s' (h_0 - a') =$$

$=22 \cdot 10^6 \cdot 2{,}216 \cdot 0{,}020 (0{,}88 - 0{,}5 \cdot 0{,}020) + 365 \cdot 10^6 \cdot 3{,}64 \cdot$

$\cdot 10^{-4} (0{,}88 - 0{,}02) = 1129861{,}3$ Н·м;

(11298613 кгс·м) $> M = \rho \cdot e = 12146{,}3 \cdot 10^2 \cdot 0{,}735 =$

$=892753{,}1$ Н·м (89275,31 кгс·м).

Условие (28) выполняется, значит прочность сечения обеспечена.

Расчет прочности нормальных сечений в стадии эксплуатации

Расчет производим для сечения в середине пролета. По табл. 15 СНиП 2.03.01-84 $\gamma_{b2} = 1$; $h_0 = h - a = 90 - 14{,}5 = 0{,}755$ м (75,5 см).

Определяем коэффициент γ_{s6} по формуле (27) СНиП 2.03.01-84, для этого определяем величину ξ при $\gamma_{s6} = 1$:

$R_s A_{sp} = 1080 \cdot 10^6 \cdot 19{,}81 \cdot 10^{-4} = 21394{,}8 \cdot 10^2$ Н (213948 кгс) $< R_b b_f' h_f' + R_{sc} A_s' = 22 \cdot 10^6 \cdot 0{,}044 \times$

$\times 2{,}216 + 365 \cdot 10^6 \cdot 3{,}64 \cdot 10^{-4} = 2277948$ Н (227794,8 кгс),

т.е. граница сжатой зоны проходит в полке и X определяется по формуле (29) СНиП 2.03.01-84:

$$x = \frac{R_{s6} A_{sp} - R_{sc} A_s'}{R_b b} = \frac{1080 \cdot 10^6 \cdot 19{,}81 \cdot 10^{-4} -}{22 \cdot 10^6 \cdot 2{,}216}$$

$$\frac{- 365 \cdot 10^6 \cdot 3{,}64 \cdot 10^{-4}}{} = 0{,}041 \text{ м } (4{,}1 \text{ см}).$$

Тогда прочность сечения определяется из условия (31) СНиП 2.03.01-84:

$$M \le R_b b x (h_0 - 0{,}5x) + R_{sc} A_s' (h_0 - a') =$$

$$= 22 \cdot 10^6 \cdot 2{,}216 \cdot 0{,}041 \times$$

$\times (0{,}755 - 0{,}5 \cdot 0{,}041) + 365 \cdot 10^6 \cdot 3{,}64\ 10^{-4} (0{,}755 - 0{,}02) =$

$= 246{,}8 \cdot 10^4$ Н·м ($246{,}8 \cdot 10^3$ кгсм) $> M_{tot}$.

$$M_{tot} = \frac{(0,32 \cdot 1,1 + 0,8) \cdot 17,7^2}{8} \cdot 3 =$$

$=135,34 \cdot 10^4$ Нм ($135,34 \cdot 10^3$ кгом),
значит прочность сечения обеспечена.

Расчет прочности наклонных сечений.

Расчет выполнен по "Пособию по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов" (М.: ЦИТП , 1986).

Прочность наклонных сечений по поперечной силе.

Определяем величины M_b и q_w.

Так как $b_f' - b = 2,216 - 0,2 = 2,016$ м (201,6 см) $> 3h_f' =$
$= 3 \cdot 0,044 = 0,132$ м (13,2 см),
принимаем $b_f' - b = 0,132$ м (13,2 см).

Тогда $\varphi_f = \frac{0,75(b_f' - b)h_f'}{bh_0} = \frac{0,75(0,132) \cdot 0,044}{0,2 \cdot 0,755} =$

$= 0,029 < 5$; $\varphi_{b2} = 2$; $\varphi_n = 0,1 \frac{P}{R_{bt} b h_0} = 0,1 \times$

$\times \frac{15107 \cdot 10^2}{1,4 \cdot 10^6 \cdot 0,2 \cdot 0,755} = 0,72$;

$1 + \varphi_f + \varphi_n = 1 + 0,029 + 0,72 = 1,749$,

$M_b = \varphi_{b2}(1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} b h_0^2 = 2 \cdot 1,749 \cdot 1,4 \cdot 10^6 \times$
$\times 0,2 \cdot 0,755^2 = 558305,2$ Нм (55830,52 кгом);

$q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{S} = \frac{260 \cdot 10^6 \cdot 0,196 \cdot 10^{-4}}{0,15} = 101920$ Н/м
(10192 кгс/м) .

Проверяем условие (79):

$Q_{b\,min} = \varphi_{b3}(1 + \varphi_f + \varphi_n) R_{bt} b h_0 = 0,6 \cdot 1,5 \times$
$\times 1,4 \cdot 10^6 \cdot 0,2 \cdot 0,755 = 190260$ Н (19026 кгс);

$Q_{b\,min}/2h_0 = 190260/2 \cdot 0,755 = 126000$ Н/м
(12600 кгс/м) $> q_{sw} = 101920$ Н/м (10192 кгс/м).

Условие (79) не выполняется, следовательно, необходима корректировка значения момента M_B.

$M_в = 2R_o^2 q_{sw} \gamma_{в2}/\gamma_{в3}$ $= 2 \cdot 0{,}755^2 \cdot 101920 \cdot 2/0{,}6 =$
$= 387312{,}97$ Н (38731,297 кгс);
принимаем $c_o = 2R_o$ $= 1{,}51$ м (151 см).

Определяем длину проекции невыгоднейшего наклонного сечения $q_1 = q_w + v/2 = 0{,}32 + 0{,}39/2 = 5150$ Н/м $>$
$> 0{,}56 q_{sw} = 0{,}56 \cdot 101920 = 57075{,}2$ Н/м (5707,52 кгс/м).
Значение c равно $c = \sqrt{M_в/q} = \sqrt{387312{,}97/57075{,}2} = 2{,}6$ м (260 см).

Поскольку $(\gamma_{в2}/\gamma_{в3})\,R_o = (2/0{,}6) \cdot 0{,}755 = 2{,}5$ м (250 см) $<$ $c = 2{,}6$ м, принимаем $c = 2{,}5$ м (250 см) и $Q_в = Q_{min} = 190260$ Н (19026 кгс).
Проверяем условие (71), принимая Q в конце наклонного сечения, $Q = Q_{max} - q_1 c = 300015 - 57075{,}2 \cdot 2{,}5 = 157327$ Н (15732,7 кгс);
$Q_{max} = (1{,}13 \cdot 17{,}7 \cdot 3)/2 = 300015$ Н (30001,5 кгс);
$Q_в + q_{sw} c_o = 190260 + 101920 \cdot 1{,}51 = 344159{,}2$ Н (344159,2 кгс); $344159{,}2$ Н $> Q = 157327$ Н.

Прочность сечения обеспечена.

Проверка прочности наклонных сечений на действие изгибающего момента необходима, так как напрягаемая арматура не имеет анкеров. Предполагаем, что наклонные трещины имеют место. Расчет производим согласно пп. 3.31 и 3.33. Начало наклонного сечения принимаем у грани опоры, т.е. на расстоянии 0,135 м от торца настила. Высоту сжатой зоны x определяем как для прямоугольного сечения (предполагая, что граница сжатой зоны проходит в полке), принимая $\gamma_{s6} = 1$; $b = b_f' = 2{,}216$ м (221,6 см);
$x = (A_{sp} R_s)/(R_в b) = (19{,}81 \cdot 10^{-4} \cdot 1080 \cdot 10^6)/(22 \cdot 10^6 \times$
$\times 2{,}216) = 0{,}004$ м (0,4 см) $< h_f' = 0{,}044$ м
(4,4 см).
Тогда $z_s = h_o - 0{,}5x = 0{,}9 - 0{,}5 \cdot 0{,}004 = 0{,}898$ м (89,8 см).
Определяем проекцию невыгоднейшего наклонного сечения по формуле (100): $c = Q/(q_{sw} + q_1) = 305900/(101920 + 7100) =$
$= 2{,}8$ м (280 см); $Q = (1{,}132 \cdot 17{,}7 \cdot 3)/2 = 30590$ Н (305900 кгс); $q = v + q_w = 0{,}39 + 0{,}32 = 0{,}71$ т/м $=$
$= 710$ Н/м (7100 кгс/м).

Момент внешних сил относительно оси, расположенной по середине высоты сжатой зоны наклонного сечения, проходящего через указанную ось, т.е. на расстоянии $\ell_y + c$ от точки приложения реакции (где $\ell_y = 135/2$ – расстояние от этой точки до конца закладного изделия):

$$M = Q(\ell_y + c) - \frac{q(\ell_y + c)^2}{2} = 3059 \cdot 10^2 \left(\frac{0,135}{2} + 2,8\right) - \frac{0,71 \cdot 10^4 \left(\frac{0,135}{2} + 2,8\right)^2}{2} = 847,9 \cdot 10^3 \text{ Нм} (847,9 \cdot 10^2 \text{ кгом}),$$

$(847,9 \cdot 10^2$ кгс·м),

Проверяем прочность из условия (96):

$$R_s A_{sp} z_s + 0,5 q_{sw} c^2 = 1080 \cdot 10^6 \cdot 19,81 \cdot 10^{-4} \cdot 1,898 + 0,5 \cdot 101920 \cdot 2,8^2 = 2321 \cdot 10^3 \text{ Нм} > M_{tot} = 135,34 \cdot 10^4 \text{ Нм},$$

значит прочность наклонного сечения на действие изгибающего момента обеспечена.

Расчет по образованию нормальных трещин.

Рассмотрим сечение в середине пролета. По табл. 2 СНиП настил относится к 3-й категории по трещиностойкости. По табл. 7 $\gamma_{sp} = 0,95$. Проверим образование в этом сечении начальных (верхних) трещин в стадии изготовления.

$P_I = 17352 \cdot 10^6$, а с учетом γ_{sp} – $P_I = 0,95 \cdot 17352 \cdot 10^2 = 16484,4 \cdot 10^2$ Н (164844 кгс).

Поскольку момент от собственного веса настила в этом сечении сжимает верхнюю грань, то определяем его минимальное значение, т.е при подъеме настила (без учета коэффициента динамичности):

$$M_w = (q_w \ell_2^2)/8 - (q_w \ell_1^2)/2 = (0,32 \cdot 10^4 \cdot 17,0^2 \cdot 3)/8 - (0,32 \cdot 0,5^2 \cdot 3)/2 = 34,68 \cdot 10^4 \text{ Н·м } (34,68 \cdot 10^3 \text{ кгс. м});$$

$\ell_2 = 18,0 - 2 \cdot 0,5 = 17,0$ м (1700 см); $W_{red}^{sup} = J_{red}/(h - y_0) = 0,047/(0,9 - 0,5) = 0,118$ м^3 ($118 \cdot 10^3$ см^3).

Максимальное напряжение бетона в стадии изготовления

$$\sigma_b = \frac{P_I}{A_{red}} + \frac{P_I e_{op} - M_w}{W_{red}^{inf}} = \frac{16484,4 \cdot 10^2 \cdot 0,36 - 34,68 \cdot 10^4}{0,094} + \frac{16484,4 \cdot 10^2}{0,38} = 7,0 \text{ МПа } (70,0 \text{ кгс/см}^2);$$

$W_{red}^{inf} = J_{red}/y = 0,047/0,5 = 0,094$ м^3 ($94 \cdot 10^3$ см^3);

$\varphi = 1,6 - \sigma_b/R_{b,ser}^p = 1,6 - 7,0/18,5 = 1,22$, но не более 1. Принимаем $\varphi = 1,0$;

$r_{inf} = \varphi W_{red}^{sup}/A_{red} = 1,0 \cdot \frac{0,118}{0,38} = 0,311$ м.

При $b_f'/b = 221,6/20 = 11,8 > 8$ и $h_f'/h = 0,044/0,9 = 0,05$, $\gamma = 1,25$. Тогда $W_{pe}^{sup} = \gamma W_{red}^{sup} = 1,25 \cdot 0,018 = 0,15$ м^3 ($15 \cdot 10^3$ см^3).

Проверяем условие (205), принимая $M_r = M_w = 34,68 \cdot 10^4$ Н·м; $P_{II}(e_{op} - r_{inf}) - M_r = 16484,4 \cdot 10^2 \times (0,36 - 3,11) < 0$, т.е. верхние трещины в середине пролета не образуются и значение момента M_{rp} определяем без учета коэффициента θ.

$M_{rp} = P_{II}(e_{op} + r_{sup}) = 16484,4 \cdot 10^2 (0,36 + 0,25) = 962257$ Нм; $r_{sup} = \varphi W_{red}/A_{red} = 1 \cdot 0,094/0,38 = 0,25$ м (25 см);

$M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pe}^{inf} + M_{rp} = 2,1 \cdot 10^6 \times 0,1175 + 962257 = 1209007,0$ Нм (120900,7 кгс$_м$) $< M_{tot} = 135,34 \cdot 10^4$ Нм ($135,34 \cdot 10^3$ кгс·м); $W_{pe}^{inf} = \gamma W_{red}^{inf} = 1,25 \cdot 0,094 = 0,1175$ м^3.

Нижние трещины образуются, и поэтому требуется проверка ширины их раскрытия и зажатия.

Расчет по раскрытию нормальных трещин в стадии эксплуатации

Рассматриваем сечение в середине пролета. К настилам предъявляются требования по трещиностойкости 3-й категории.

$P_{II} = 15774,7 \cdot 10^2$ Н (157747 кгс); $e_{sp} = 0,36$ м (36 см); $\gamma_f = 1$; $\gamma_{sp} = 1$.

Определяем момент трещинообразования в предположении отсутствия верхних трещин $M_{tot} < M_{crc}$:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} W_{pe}^{inf} + P_{II}(e_{op} + r^{sup}) =$$

$=2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,1175 + 15774,7 \cdot 10^2 \cdot 0,36 + 0,25) =$
$=1209007$ Н·м (120900,7 кгс·м) $< M_{tot} = 120,9 \cdot 10^4$ Н·м
$(120,9 \cdot 10^3$ кгс·м).

Значит нормальные трещины образуются и необходимо проверить их величину по формуле (144) СНиП. Значение σ_s определяем по формуле (235) Пособия, вычисляя $\sigma_{s,crc}$ при $M = 120,9 \cdot 10^4$ Н·м $(120,9 \cdot 10^3$ кгс·м).
Так как $A_{sp} \cdot 350 = 350 \cdot 19,81 = 693350 = 693 \cdot 10^3$ Н
$(693 \cdot 10^2$ кгс) $< P_{II} = 15774,7 \cdot 10^2$ Н (157747 кгс), то значение σ_s определяем по упрощенной формуле (236) Пособия. При этом (так как $e_{op} = y_{sp} = 0,36$) $e_{sp} = 0$, тогда $M_s = M_{crc} = 120,9 \cdot 10^4$ Н·м
$(120,9 \cdot 10^3$ кгс·м); $M = A_{sp}/(b h_0) = 19,81/(20 \cdot 75,5) = 0,01312$; $\alpha = 5,54$; $M \cdot \alpha = 0,0727$;

$$\varphi_f = \frac{(b_f' - b) h_f' + \alpha A_s'}{b h_0} = \frac{(2,216 - 0,2) \cdot 0,044}{0,2 \cdot 0,88} +$$

$$+ \frac{5,54 \cdot 3,64 \cdot 10^{-4}}{0,9} = 0,55; \quad e_{s,tot}/h_0 = M_s/(P_{II} \cdot h_0) =$$

$=120,9 \cdot 10^4/(15774,7 \cdot 10^2 \cdot 0,88) = 0,871$. Для нахождения коэффициента φ_{crc} по табл. 40 принимаем ближайшие табличные значения $\varphi_f = 0,5$ и $M\alpha = 0,1$. При $e_{s,tot}/h_0 = 0,8$, $\varphi_{crc} = 0,04$, а при $e_{s,tot}/h_0 =$
$= 0,9$; $\varphi_{crc} = 0,12$, тогда при $e_{s,tot}/h_0 = 0,871$;

$$\varphi_{crc} = 0,04 + (0,12 - 0,04) \cdot \frac{0,871 - 0,8}{0,9 - 0,8} = 0,1;$$

$\sigma_{crc} = M_c \varphi_{crc}/A_{sp} h_0 = 120,9 \cdot 10^4 \cdot 0,1 /$
$/19,81 \cdot 10^4 \cdot 0,88 = 69,4$ МПа (694 кгс/см^2)

Принимая $M_r = M_{tot}$ $=135,3\cdot10^4$ Н·м, имеем $\sigma_s = \sigma_{crc}$.

$$\cdot\frac{M_r - M_{rp}}{M_{crc} - M_{rp}} = 69,4\cdot\frac{135,3\cdot10^4 - 962257}{120,9\cdot10^4 - 962257} = 109,9 \text{МПа}$$

(1099 кгс/см^2). Для определения σ_s на уровне нижнего ряда растянутой арматуры находим коэффициент δ_n, принимая $x = 0,5h_0$ $=0,5\cdot0,88=0,44$ м и $a_2 =$ $=0,035$ м, где a_2 – расстояние от крайнего стержня до наиболее растянутого волокна.

$$\delta_n = \frac{h - x - a_2}{h - x - a} = \frac{0,9-0,44-0,035}{0,9-0,44-0,145} = 1,35;\ \sigma_s =$$

$=109,9\cdot1,35=148,4$ МПа (1484 кгс/см^2).

Принимая размеры нижней полки равными $b_f = 1,216$ м и h_f $=3,7$ см, определяем $\mu = \frac{A_{sp}}{bh_0 + (b_f - b)h_f - a)} =$ $19,81$

$$= \frac{}{20\cdot88+(121,6-20)\cdot(3,7-2,0)} = 0,0102 < 0,02;$$

$\delta = 1$; $\gamma_e = 1$; $\varphi = 1,2$; $a_{crc} = \delta\gamma_e\varphi\frac{\sigma_s}{E_s}\cdot20x$ $x(3,5-10\mu)\sqrt[3]{d} = 1$; $1\cdot1,2\cdot\frac{148,4\cdot10^6}{1,8\cdot10^5}\cdot20x$ $x(3,5-100\cdot0,012)\sqrt[3]{15} = 0,12$ мм $< a_{crc} = 0,2$ мм (табл. 2 СНиП 2.03.01-84).

Расчет по закрытию нормальных трещин

Проверяем условие (218) Пособия при действии всех нагрузок при коэффициенте $\gamma_{sp} = 1$. Момент в середине пролета от этих нагрузок равен $M = M_{tot} =$ $=135,3\cdot10^4$ Н·м. Усилие обжатия $P_{II}\gamma_{sp} =$ $=15774,7\cdot10^2\cdot0,9=14197,2\cdot10^2$ Нм (141972 кгсм), так как $\gamma = 1$, при этом $W_{red}^{inf} = 0,094$ м^3 ($94\cdot10^3$ см^3); $r_{sup}=0,25$ м; $e_{op} = y_{sp} = 0,36$ м, $P_{II}(e_{op} + r_{sup}) - 0,5\,W_{red}^{inf} = 14197,2\cdot10^2(0,36+0,25) -$ $-0,5\cdot0,094=866029,15$ Нм (86602,9 кгс·м) $< M_{tot} =$ $=135,3\cdot10^4$ Нм ($135,3\cdot10^3$ кгс·м), значит напряжения

сжатия на нижней грани настила менее 0,5 МПа. Проверяем условие (154) СНиП:

$\sigma_{sp2} + \sigma_s = 796,3+109,9=906,2$ МПа(9062 кгс/см^2) $\leq$ $\leq 0,8 \cdot R_{s,ser} = 0,8 \cdot 1295 = 1036$ МПа=(10360 кгс/см^2), т.е. необратимые деформации в арматуре отсутствуют.

Расчет по раскрытию трещин в стадии изготовления

Расчет производим для сечения в месте расположения монтажной петли. Расчет ведем на действие усилия P_I при $\gamma_{sp} = 1$; $P_I = 16985,0 \cdot 10^2$ Н и на действие момента от собственного веса настила при подъеме

$M_w = (0,32 \cdot 0,5^2 \cdot 3 \cdot 1,4)/2 = 0,168 \cdot 10^4$ Н·м ($0,168 \cdot 10^3$ кгс·м).

Определяем напряжения в верхней арматуре при $\nu = 0,45$ (табл. 35 СНиП 2.03.01-84), вычислив

$$\varphi_f = \frac{(\sigma_f' - \sigma)h_f' + \frac{\alpha_p A_{sp}}{2\nu}}{bh_0} = \frac{(2,216-0,2)\times}{}$$

$$\times 0,044 + \frac{5,54 \cdot 19,81 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 0,45} = 0,57;$$

$$0,2 \cdot 0,88$$

$\lambda = \varphi_f (1 - h_f'/2h_0) = 0,57(1-0,044/2 \cdot 0,88) =$

$= 0,56$; $e_{sp} = e_{op} + h_0 - y_0 = 0,36+0,88-0,5 = 0,74$ м (74 см);

$M_s = P_I e_{op} + M_w = 16985 \cdot 10^2 \cdot 0,74 + 0,168 \cdot 10^4 =$

$= 125,86 \cdot 10^4$ Нм ($125,83 \cdot 10^3$ кгс·м);

$e_{s,tot}/h_0 = M_s/P_I h_0 = 125,86 \cdot 10^4/(16985,0 \cdot 10^2 \cdot 0,88) = 0,84$;

$$\delta = \frac{M_s}{b h_0^2 R_{b,ser}} = \frac{125,86 \cdot 10^4}{0,22 \cdot 0,88^2 \cdot 18,5 \cdot 10^2} = 0,44;$$

$\mu_\alpha = (A_s \alpha_s)/(b h_0) = (3,64 \cdot 5,23)/(20 \cdot 88) = 0,01082$;

$$\xi = \frac{1}{1,8 + \frac{1+5(\delta+\lambda)}{10\mu_\alpha}} + \frac{1,5+\varphi_f}{11,5\frac{e_{s,tot}}{h_0} - 5} =$$

$$= \frac{1}{1{,}8^{+}\frac{1+5(0{,}44+0{,}56)}{10\cdot 0{,}01082}} + \frac{1{,}5+0{,}54}{11{,}5\cdot 0{,}84-5} = 0{,}457;$$

$$x = h_0\left[1-\frac{\frac{h_f}{h_0}\varphi_f+\xi^2}{2(\varphi_f+\xi)}\right] = 0{,}88\left[1-\frac{0{,}048\cdot 0{,}57+0{,}457^2}{2(0{,}57+0{,}457)}\right] =$$

$=0{,}78$ м (78 см);

Отсюда $$\sigma_s = \frac{P_I(e_{sp}-x)+M_w}{A_s z} = \frac{16985{,}0\cdot 10^2}{3{,}64\cdot 10^{-4}\cdot}$$

$$\frac{\cdot(0{,}74-0{,}78)+0{,}168\cdot 10^4}{\cdot 0{,}78} < 0,$$

следовательно, верхние трещины не образуются.

Расчет по образованию наклонных трещин.

Проверку отсутствия трещин в пределах зоны передачи напряжений производим на уровне центра тяжести сечения как наиболее опасном.

Учитываем все нагрузки при γ =1,0 и усилие обжатия P_2 при γ_{sp} =0,9.

Уточним длину зоны передачи напряжений, принимая $\sigma_{sp} = \sigma_{sp_I}$ =874,6 МПа;

$$l_p = \left(\frac{874{,}6}{25}+25\right)\cdot 0{,}015 = 0{,}9 \text{ м (90 см)}; \quad P_{II} =$$

$=0{,}9\cdot 15442\ 1\cdot 10^2 = 13879{,}9\cdot 10^2$ Н; $\sigma_x = P_{II}/A_{red} =$

$=13879{,}9\cdot 10^2/0{,}38 = 3{,}65$ МПа (36,5 кгс/см^2).

Расстояние от рассматриваемого сечения до опорной реакции равно: $x = 0{,}9 - \frac{0{,}135}{2} = 0{,}83$ м (83 см) $>$ $> 0{,}7\,h = 0{,}63$ м (63 см), следовательно, действие (местное) опорной реакции не учитываем.

Значит $\sigma_y = 0$. Поперечная сила равна:

$Q = (1{,}152\cdot 3\cdot 17{,}7)/2 = 305900$ Н (30590 кгс) при нагрузке на 1 м длины, равной $0{,}32\cdot 1{,}1+0{,}8 = 1{,}152$ тс/м;

$$\tau_{xy} = /Q\,S_{red}//J_{red}\,b/ = (305{,}9\cdot 10^3\cdot 0{,}051)/$$

$/0{,}047\cdot 0{,}2 = 1{,}7\cdot 10^6$ Па (17 кгс/см^2);

$$S_{red}=2{,}216\cdot 0{,}044\left(0{,}4-\frac{0{,}044}{2}\right)+\frac{0{,}2(0{,}4-0{,}044)^2}{2}+$$

$$+3{,}64\cdot 10^4\cdot 5{,}54(0{,}4-0{,}02)=0{,}051\ м^3(5{,}1\cdot 10^3\ см^3).$$

Определяем главные растягивающие и главные сжимающие напряжения

$$\sigma_{mt,mc}=\mp\frac{(\sigma_x+\sigma_y)}{2}+\sqrt{\left(\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2}\right)^2+\tau_{xy}^2}=$$

$$=\mp\frac{3{,}65\cdot 10^6}{2}+\sqrt{\left(\frac{3{,}65\cdot 10^6}{2}\right)^2+(1{,}7\cdot 10^6)^2}=(\mp 1{,}83+$$

$+2{,}5)\cdot 10^6$ Па; $\sigma_{mt}=-1{,}83\ 10^6+2{,}5\ 10^6=0{,}67$ МПа (6,7 кгс/см^2);

$\sigma_{mc}=1{,}83\cdot 10^6+2{,}5\cdot 10^6=4{,}33$ МПа (43,3 кгс/см^2).;

$$\gamma_{в4}=\frac{1-m_c/R_{в,ser}}{0{,}2+\alpha_в}=\frac{1-4{,}33/29}{0{,}2+0{,}01\cdot 40}=1{,}42\ (\alpha\ \text{см. п. 4.11}).$$

Принимаем $\gamma_{в4}=1$. Тогда $\gamma_{в4}\ R_{вt}=2{,}1$ МПа $>\sigma_{mt}=$ $=0{,}67$ МПа, т.е. трещин в пределах зоны передачи напряжений нет, что обеспечивает надежную анкеровку арматуры.

Расчет по деформациям

Полная кривизна $\left(\frac{1}{r}\right)$ для участка с трещинами в растянутой зоне должна определяться по формуле (140) СНиП 2.03.01-84 :

$$\left(\frac{1}{r}\right)=\frac{M}{h_0\,\mathcal{Z}}\left[\frac{\psi_s}{E_s\,A_s}+\frac{\psi_в}{(\varphi_f+\xi)\,в\,h_0 E_в V}\right]-\frac{N_{tot}\,\psi_s}{h_0\,E_s\,A_s}.$$

Определяем кривизны $\left(\frac{1}{r_1}\right)\ldots\left(\frac{1}{r_4}\right)$ по формуле (160) СНиП. Для этого находим нижеследующие величины согласно пп. 4.28, 4.29 СНиП 2.03.01-84.

Определение кривизн $\left(\frac{1}{r_1}\right)$ и $\left(\frac{1}{r_2}\right)$ (непродолжительное действие нагрузки):

$$\varphi_f=\frac{(b_f'-b)h_f'+\frac{\alpha}{2V}A_{sp}}{b\cdot h_0}=\frac{(2{,}216-0{,}2)\cdot 0{,}044+}{0{,}2\cdot 0{,}755}$$

$$\frac{+\frac{5{,}54}{2\cdot 0{,}45}\cdot 19{,}81\cdot 10^{-4}}{}=0{,}67;$$

$$\lambda = \varphi_f\left(1 - \frac{h'_f}{2h_0}\right) = 0{,}67\cdot\left(1 - \frac{0{,}044}{2\cdot 0{,}755}\right) = 0{,}65;$$

$$\delta = \frac{M}{b h_0^2 R_{b,ser}} = \frac{135{,}3\cdot 10^4}{0{,}2\cdot 0{,}755^2\cdot 29\cdot 10^6} = 0{,}4;$$

$$\frac{\ell_{s,tot}}{h_0} = \frac{M}{P_I h_0} = \frac{135{,}3\cdot 10^4}{17352\cdot 10^2\cdot 0{,}755} = 1{,}03;$$

$$\xi = \frac{1}{\beta + \frac{1+5(\delta+\lambda)}{10\mu\alpha}} + \frac{1{,}5+\varphi_f}{11{,}5\frac{\ell_{s,tot}}{h_0} - 5} =$$

$$= \frac{1}{1{,}8 + \frac{1+5(0{,}4+0{,}65)}{10\cdot 0{,}0724}} + \frac{1{,}5+0{,}67}{11{,}5\cdot 1{,}03 - 5} = 0{,}42;$$

$$\mu\alpha = \frac{A_p \alpha_p}{b\cdot h_0} = \frac{19{,}81\cdot 10^{-4}\cdot 5{,}54}{0{,}2\cdot 0{,}755} = 0{,}0727;$$

$$x = h_0\left[1 - \frac{\frac{h'_f}{h_0}\varphi_f + \xi^2}{2\varphi_f + \xi}\right] = 0{,}755\left[1 - \frac{\frac{0{,}044}{0{,}755}\cdot 0{,}67 + 0{,}42^2}{2(0{,}67+0{,}42)}\right] =$$

$= 0{,}68$ м (68 см);

$$\varphi_s = 1{,}25 - \varphi_{es}\,\varphi_m - \frac{1-\varphi_m^2}{(3{,}5-1{,}8\varphi_m)\frac{\ell_{s,tot}}{h_0}} =$$

$$= 1{,}25 - 1\cdot 0{,}35\cdot\frac{1-0{,}35^2}{(3{,}5-1{,}8\cdot 0{,}35)\cdot 1{,}03} = 0{,}60;$$

φ_{es} принимается по табл. 36 СНиП 2.03.01-84,

$$\varphi_m = \frac{R_{bt,ser} W_{pe}^{inf}}{P_I(e_{op} - r_{sup}) + M_w} = \frac{1{,}6\cdot 10^6\cdot 0{,}1175}{17352\cdot 10^2(0{,}36-0{,}25) +}$$

$$+ 34{,}68\cdot 10^4 = 0{,}35;$$

$$\left(\frac{1}{r}\right) = \frac{135{,}3\cdot 10^4}{0{,}755\cdot 0{,}68}\left[\frac{0{,}60}{18\cdot 10^{10}\cdot 19{,}81\cdot 10^{-4}} + \right.$$

$$\left. + \frac{0{,}9}{(0{,}67+0{,}42)\cdot 0{,}2\cdot 0{,}755\cdot 32{,}5\cdot 10^9\cdot 0{,}45}\right] -$$

$$- \frac{15774{,}7\cdot 10^2}{0{,}755}\cdot\frac{0{,}60}{18\cdot 10^{10}\cdot 19{,}81\cdot 10^{-4}} = 1939{,}6\cdot 10^{-6}\ \text{м}^{-1}.$$

Определение кривизны $(\frac{1}{r})_2$:

$\varphi_f = 0,67$; $\lambda = 0,65$; $\delta = 78,71 \cdot 10^4 / 0,2 \cdot 0,755^2 \times$
$\times 29 \cdot 10^6 = 0,24$;

$M_{g1} = [(0,35+0,32) \cdot 17,7^2 \cdot 3]/8 = 78,71 \cdot 10^4$ Н·м
($78,71\ 10^3$ кгс·м);

$e_{s,tot}/h_0 = M/(p_I h_0) = 78,71 \cdot 10^4 / 17352 \cdot 10^2 \times$
$\times 0,755 = 0,60$; $\varphi_m = 0,35$; $\varphi_s = 0,60$;

$$\xi = \frac{1}{1,8 + \frac{1+5(0,24-0,65)}{10 \cdot 0,0727}} + \frac{1,5+0,67}{11,5 \cdot 0,6^{-5}} = 1,276 > 1,$$

принимаем $\xi = 1$.

$$\varphi_s = 1,25 - 1 \cdot 0,35 - \frac{1-0,35^2}{(3,5-1,8 \cdot 0,35) \cdot 0,60} = 0,39;$$

$$x = 0,755 \cdot \left[1 - \frac{\frac{0,044}{0,755} \cdot 0,67 + 1^2}{2 \cdot (0,67+1)}\right] = 0,52 \text{ м};$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_2 = \frac{78,71 \cdot 10^4}{0,755 \cdot 0,52} \cdot \left[\frac{0,39}{18 \cdot 10^{10} \cdot 19,81 \cdot 10^{-4}} + \right.$$

$$\left. + \frac{0,9}{(0,67+1) \cdot 0,2 \cdot 0,755 \cdot 32,5 \cdot 10^9 \cdot 0,45}\right] - \frac{15774,7 \cdot 10^2}{0,755} \times$$

$$\times \frac{0,39}{18 \cdot 10^{10} \cdot 19,81 \cdot 10^{-4}} = 381,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^{-1}.$$

Определение кривизны $(\frac{1}{r})_3$ (продолжительное действие нагрузки):

$$\varphi_\alpha = \frac{(2,216-0,2) \cdot 0,044 + \frac{5,54}{2 \cdot 0,15} \cdot 19,81 \cdot 10^{-4}}{0,2 \cdot 0,755} = 0,83;$$

$\lambda = 0,83(1 - \frac{0,044}{2 \cdot 0,755}) = 0,81$; $\delta = 0,24$; $e_{s,tot} =$
$= 0,60$; $\varphi_m = 0,35$; $\varphi_s = 1,25 - 0,8 \cdot 0,35 -$
$- \frac{1-0,35^2}{(3,5-1,8 \cdot 0,35) \cdot 0,60} = 0,46$;

$$\xi = \frac{1}{1{,}8 + \frac{1+5(0{,}24+0{,}81)}{10 \cdot 0{,}0727}} + \frac{1{,}5+0{,}83}{11{,}5 \cdot 0{,}59 - 5} = 1{,}396 >$$

> 1, принимаем $\xi = 1$;

$$\varkappa = 0{,}755 \left[1 - \frac{\frac{0{,}044}{0{,}0755 \cdot 0{,}83 + 1^2}}{2(0{,}83+1)}\right] = 0{,}53 \text{ м } (53 \text{ см});$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_3 = \frac{78{,}71 \cdot 10^4}{0{,}755 \cdot 0{,}53} \cdot \left[\frac{0{,}46}{18 \cdot 10^{10} \cdot 19{,}81 \cdot 10^{-4}} + \right.$$

$$\left. + \frac{}{(0{,}83+1) \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}755 \cdot 32{,}5 \cdot 10^9 \cdot 0{,}15}\right] -$$

$$- \frac{15774{,}7 \cdot 10^2}{0{,}755} \cdot \frac{0{,}46}{18 \cdot 10^{10} \cdot 19{,}81 \cdot 10^{-4}} = 1234{,}1 \times$$

$\times 10^{-6}$ м$^{-1}$;

$$\left(\frac{1}{r}\right)_4 = \frac{\xi \beta}{h_0} = \frac{\sigma_6 + \sigma_8 + \sigma_9}{h_0 E_s} = \frac{12+40+38{,}3}{0{,}755 \cdot 18 \cdot 10^4} =$$

$= 664{,}5\ 10^{-6}$ м$^{-1}$.

Определяем суммарную кривизну:

$$\left(\frac{1}{r}\right) = \left(\frac{1}{r}\right)_1 - \left(\frac{1}{r}\right)_2 + \left(\frac{1}{r}\right)_3 - \left(\frac{1}{r}\right)_4 = 1939{,}6 \cdot 10^{-6} -$$

$-381{,}2 \cdot 10^{-6} + 1234{,}1 \cdot 10^{-6} - 664{,}5 \cdot 10^{-6} = 2128 \cdot 10^{-6}$ м$^{-1}$

$(2128 \cdot 10^{-8}$ см$^{-1})$.

Так как $(\ell/h > 10)$, то прогиб f_4 равен прогибу от действия изгибающего момента. Считая нагрузку равномерно распределенной, получаем:

$$f = \frac{1}{r} \cdot S \cdot \ell^2 = 2128 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{5}{48} \cdot 17{,}7^2 = 0{,}065 \text{ м} <$$

$$< \frac{\ell}{250} = 0{,}0696 \text{ м}.$$

Расчет коробчатого настила перекрытия на динамические воздействия

Расчет производим в соответствии с положениями "Руководства по проектированию конструкций, испытывающих динамическое воздействие" (Научно-технический отчет ЦНИИСК, шифр 8НОЗБ0060, М., 1979) и "Инструкции по расчету несущих конструкций промышленных

зданий и сооружений на динамические нагрузки" (М.: Стройиздат, 1970). Коробчатый настил перекрытия рассчитываем на действие вертикальных динамических нагрузок от ткацких станков. Номинальная длина коробчатого настила – 18000 мм, сетка колонн здания – 6х18 м.

Поперечное сечение коробчатого настила показано на рис. 21, схема расстановки станков приведена на рис. 21.

Частотные характеристики ткацких станков даны в табл. 4.

Таблица 4

№ гармоники	Частота, Гц	Со стороны навоя		Со стороны товара	
		амплитуда, кгс	фаза, град	амплитуда, кгс	фаза, град.
1	5,7	17,54	-40	14,73	130

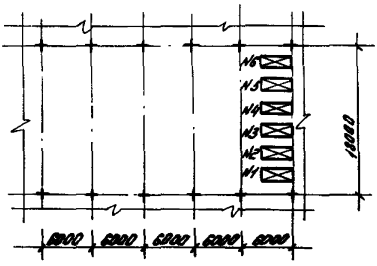


Рис. 21. Схема расстановки станков

Определение частот собственных колебаний (вертикальных) коробчатого настила. Нагрузка на коробчатые настилы с площади 6х18 м включает: а) вес коробчатого настила – 15,75 тс х х2=31,5·10^4 Н (31,5·10^3 кгс); б) вес набетонки – 27·10^4 Н (27,0·10^3 кгс); в) вес технологического оборудования (включая нагрузки в проходах между оборудованием и исключая вес виброизолированных ткацких станков) – 29,59·10^4 Н (29,59·10^3 кгс).

Итого: Q_A =880,9 тс =88,1·10^4 Н(881·10^3 кгс).

Погонная масса $m_A = Q_A / (l \cdot g)$ =88,1/(18·10)= =0,489 тс/м =4890 Н/м (489,0 кгс/м).

Определение жесткости приведенного сечения на ширине 6 м.

Расчет производится из условия, что набетонка толщиной 100 мм работает совместно с коробчатым настилом. При марке бетона коробчатого настила В 40 (E =3,3x10^4 МПа) и марке бетона набетонки В 20 ($E_б$ =2,4·10^4 МПа) жесткость приведенного сечения на ширине 6 м составляет:

$$EJ = 3{,}3\cdot\left\{470\cdot10^4\cdot2+\left[\frac{600\cdot10^3}{12}+600\cdot10\times\right.\right.$$

$$\left.\left.\times(40+5)^2\cdot\frac{2{,}4\cdot10^5}{3{,}3\cdot10^5}\right]\right\}\cdot10^5=60{,}24\cdot10^{11}\ \text{кгс}\cdot\text{м}=$$

$$=60{,}24\cdot10^8\ \text{Н}\cdot\text{м}^2\ (60{,}24\cdot10^7\ \text{кгс}\cdot\text{м}^2).$$

Момент инерции коробчатого настила принят из расчета конструкции по предельным состояниям первой группы.

Определение значений круговых частот собственных колебаний коробчатых настилов. Расчетная схема коробчатого настила представлена в виде шарнирно опертой балки, загруженной равномерно распределенной нагрузкой

$$\rho_k=(\lambda_k^2/\ell^2)\sqrt{EJ/\mu_A}\ .$$

Квадраты частотного коэффициента λ_k^2 по возрастанию частот имеют величину: λ_k^2 =9,87; 39,48; 88,83.

Возможная погрешность при определении частот собственных колебаний коробчатого настила принята как для однопролетных балок: ε_0 =0,25.

Определяем значения круговых частот собственных колебаний коробчатых настилов:

$$\rho_1=(9{,}87/18{,}0^2)\cdot\sqrt{60{,}24\cdot10^4/489{,}0}=33{,}8\ \text{рад/с};$$

$$\rho_2=(39{,}48/18{,}0^2)\cdot\sqrt{60{,}24\cdot10^4/489{,}0}=135{,}2\ \text{рад/с}.$$

Определение границы частотных зон для коробчатых настилов

$$\rho_1'=\frac{1}{2\pi}(1+\varepsilon_0)\ \times\ \rho_1=\frac{1}{6{,}28}(1+0{,}25)\cdot33{,}8=$$

=6,73 Гц;

$$\rho_1''=\frac{1}{2\pi}(1-\varepsilon_0)\ \times\ \rho_1=\frac{1}{6{,}28}(1-0{,}25)\cdot33{,}8=4{,}04\ \text{Гц};$$

$$\rho_2'=\frac{1}{2\pi}(1+\varepsilon_0)\ \times\ \rho_2=\frac{1}{6{,}28}(1+0{,}25)\cdot135{,}2=$$

=26,9 Гц;

$p_2'' = \frac{1}{2\pi}(1-\varepsilon_0)$ × $p_2 = \frac{1}{6{,}28}(1-0{,}25)$ x

x135,2=16,15 Гц.

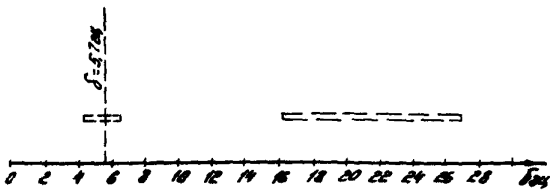


Рис. 22. Значения частотных зон коробчатых настилов

Найденные значения частотных зон наносим на рис. 22 в виде пунктирных линий. Затем на этот рисунок наносим частоту колебаний установленных на коробчатые настилы ткацких станков. Пересечение этих частот говорит о том, что в данном случае будет резонанс.

Определение динамических нагрузок от станков с учетом сдвига фаз. Когда динамическая нагрузка, предаваемая станком через виброизоляторы со стороны навоя, достигнет максимума, то вследствие сдвига фаз нагрузка со стороны товара еще не достигнет максимальной величины и наоборот. В табл. 5 максимальные нагрузки со стороны навоя обозначены через A_1, со стороны товара – через A_2, соответствующие им нагрузки, учитывающие сдвиг фаз, обозначены через A_1' и A_2'.

$A_1' = A_1 \cos(\beta_2 - \beta_1)$; $A_2' = A_2 \cos(\beta_2 - \beta_1)$.

Таблица 5

№ гармоники	Частота, Гц	Со стороны навоя		Со стороны товара	
		A_1	A_1	A_2	A_2
1	6,7	175,4	-172,8	147,3	-145,1

Данные табл. 5 следует понимать таким образом, что если с одной стороны станка на коробчатый настил передается нагрузка A_1, то с другой - A_2, если же принимается нагрузка A_1', то с другой стороны станка нужно принять нагрузку A_2'.

Определение перемещений коробчатого настила при гармоническом воздействии нагрузки определяется по формулам:

$$z_0 = \sqrt{(z_0')^2 + (z_0'')^2}; \quad z_0' = \sum_{r=1}^{k} B_r X_r X_r(\alpha_0);$$

$$z_0'' = -\gamma \sum_{r=1}^{k} B_r X_r(\alpha_0);$$

$$B_r = \frac{b_r}{\rho_r^2 [(k^2 + \gamma^2)]}; \quad X_r = 1 - \frac{\omega^2}{\rho_r^2};$$

$$b_{ri} = \frac{\rho_i}{M_r e} X_r(\alpha_i); \quad \alpha_i = \frac{x_i}{\ell}.$$

Схема точек приложения динамических нагрузок пред - ставлена на рис. 23.

В настоящем расчете приведены данные по колебаниям коробчатого настила только по 1-й и 2-й формам колебаний. Характеристики колебаний по более высоким формам настолько малы, что их можно не учитывать. Значения 1-й и 2-й нормированных форм собственных колебаний $X_1(\alpha_i)$ и $X_2(\alpha_i)$ для соответст - вующих 12 точек приложения нагрузки к коробчатому настилу от станков приняты по табл. 23 Инструкции и приведены в табл. 6.

По длине коробчатого настила действует одновременно нагрузка в 12 точках, поэтому коэффициент разложения нагрузки в ряд по форме собственных колебаний может быть представлен в виде

$$b_r = \sum_{1}^{12} b_{ri} = \frac{1}{M e} \sum_{1}^{12} \rho_i X_r(\alpha_i).$$

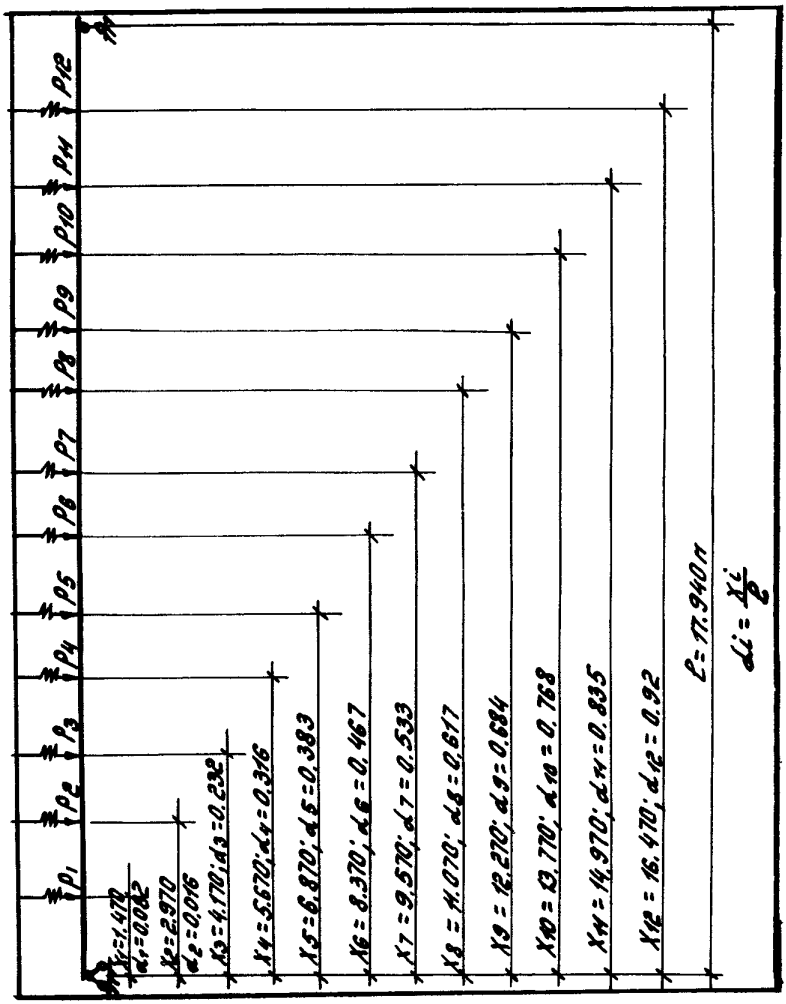


Рис.23. Схема точек приложения динамических нагрузок

Поскольку станки работают независимо друг от друга, то при установке 6 станков по длине коробчатого настила комбинация нагрузок может быть самой разнообразной. Соответственно этому будет иметь различную величину и коэффициент β_λ. Наиболее неблагоприятным будет случай, когда β_λ имеет наибольшую величину. Знак перед нагрузкой в табл. 6 указывает направление ее действия: положительное направление – действие нагрузки вниз, отрицательное направление – вверх или наоборот.

Используя данные табл. 6, получаем значения $\sum_{i}^{12} P_i X_\lambda (\alpha_i)$: по 1-й форме колебания – 179,04 Н (17,904 кгс);

по 2-ой форме колебания – 126,84 Н (12,684 кгс);

$\sum_{i}^{12} P_i X_i (\alpha_i)$ =–14,51·0,36+17,54·0,7–14,51·0,941+ +17,54·1,184–14,51·1,319+17,54·1,407–14,51·1,407+ +17,54·1,319–14,51·1,184+17,54·0,941–14,51·0,7+ +17,54·0,36=179,04 Н (17,904 кгс).

Динамические перемещения определяем при α =0; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5. Значения X_1 и X_2 находим в табл.23 Инструкции.

Определение перемещений по первой форме колебания при частоте колебаний от ткацких станков f = =5,7 Гц. Круговая частота колебаний станков ω = =5,7 $\cdot 2\pi$ =35,8 с$^{-1}$.

Расчетная зона собственных колебаний – 4,04. . . 6,73, тогда ρ =25,37. . . 42,26, отсюда X_1 = =1– ω^2/ρ^2 =0, так как в данном случае имеет место резонанс.

В общем случае за расчетную собственную частоту конструкции принимается частота колебания коробчатого настила, ближайшая по значению к частоте вынужденных колебаний f или ω.

Определяем перемещения в 1-й точке при α_1 =0,2; X_1 =0,8313; γ =0,025.

Значение коэффициента потерь γ определяем по табл. 2 Руководства.

ТАБЛИЦА 6

Характеристики	Xi при i =1. . . 12											
	1,47	2,97	4,17	5,67	6,87	8,37	9,57	11,07	12,27	13,77	14,97	16,47
По форме 1-$Xi(di)$	0,36	0,7	0,941	1,184	1,319	1,407	1,407	1, 319	1,184	0,941	0,7	0,36
По форме 2-$Xi(di)$	0,695	1,214	1,402	1,291	0,946	0,29	-0,29	-0,946	-1,291	-1,402	-1,214	-0,695
Нагрузки от станков при расчете по 1-й форме колебаний $Pi(di)$	-145,1	175,4	-145,1	175,4	-145,1	175,4	-145,1	175,4	-145,1	175,4	-145,1	175,4
То же, по 2-й $Pi(di)$	-145,1	175,4	-145,1	175,4	-145,1	175,4	-145,1	175,4	-145,1	175,4	-145,1	175,4

ТАБЛИЦА 7

Границы частот собственных колебаний коробчатого настила по 1-й и 2-й формам колебаний (расчетные), Гц	Амплитуды колебаний, мм, коробчатого настила при действии динамических нагрузок в точках пролета при						
	d_1=0,2	d_2=0,3	d_3=0,4	d_4=0,5	d_5=0,6	d_6=0,7	d_7=0,8
4,04 . . . 6,73	0,001537	0,002912	0,004032	0,004452	0,004032	0,002912	0,001537
	0,002912	0,002912	0,001537	0	-0,001537	-0,002912	-0,002912
Допустимые амплитуды колебания для частоты 5,7 Гц	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12

Примечание. Допустимые амплитуды колебания взяты из табл. 15 СНиП 245-71 для октавной полосы "8". Как видно из табл. 7, амплитуды колебаний коробчатых настилов не превышают допустимых по санитарно-гигиеническим условиям.

$$b_1 = \frac{\rho_i}{M_a e \chi_1(d_1)} = \frac{17,904}{489,0 \cdot 18} \cdot 0,8313 =$$

$=1,69 \cdot 10^{-3}$ м/с^2;

$$B_1 = \frac{b_1}{\rho_1^2[(\chi_1^2 + \gamma^2)]} = \frac{1,69 \cdot 10^{-3}}{35,8^2(1^2+0,025^2)} = 1,32 \cdot 10^{-3} \text{ мм};$$

$$x_0' = B_1 \cdot \chi \chi_1 = 1,32 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 0,8313 = 1,098 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

$$x_0'' = -\gamma B_1 \chi_1 = -0,025 \cdot 1,32 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8313 = -0,027 \times$$

$\times 10^{-3}$ мм;

$$x_1 = \sqrt{(x_0')^2 + (x_0'')^2} = \sqrt{(1,098 \cdot 10^{-3})^2 + (0,027 \cdot 10^{-3})^2} =$$

$=1,098 \cdot 10^{-3}$ мм.

Определяем перемещения во 2-й точке при $d_2 = 0,3$; $\chi_1 = 1,1441$; $x_2 = 2,08 \cdot 10^{-3}$ мм.

Определяем перемещения в 3-й точке при $d_3 = 0,4$; $\chi_1 = 1,345$: $x_3 = 2,88 \cdot 10^{-3}$ мм.

Определяем перемещения в 4-й точке при $d_4 = 0,5$; $\chi_1 = 1,4142$: $x_4 = 3,18 \cdot 10^{-3}$ мм.

Определение перемещений по второй форме колебания при частоте колебаний от ткацких станков $f = 5,7$. Расчетная зона собственных колебаний 4,04. . . 6,73 Гц, тогда $\chi = 1 - \omega^2/\rho^2 = 0$, $\rho = 35,8\ c^{-1}$; $\gamma = 0,025$ как для случая резонанса.

Определяем перемещения в 1-й точке при $d_1 = 0,2$; $\chi_2 = 1,345$: $x_1 = 2,88 \cdot 10^{-3}$ мм.

Определяем перемещения во 2-й точке при $d_2 = 0,3$; $\chi_2 = 1,345$: $x_2 = 2,88 \cdot 10^{-3}$ мм.

Определяем перемещения в 3-й точке при $d_3 = 0,4$; $\chi_2 = 0,8313$: $x_3 = 1,098 \cdot 10^{-3}$ мм.

Определяем перемещения в 4-й точке при $d_4 = 0,5$; $\chi_2 = 0$: $x_4 = 0$.

Полученные результаты определения перемещений по двум формам колебаний увеличиваем в 1,4 раза, поскольку на расчетной ширине (2 настила шириной по 2,975 м) в среднем размещается 1,4 станка. Результаты расчетов сведены в табл. 7.

Проверка прочности коробчатого настила. При расчете конструкций, подвергающихся действию эксплуатационных нагрузок, по первой группе предельных состояний допускается не учитывать динамические нагрузки, если динамические перемещения от расчетных нагрузок за вычетом перемещений опор не превышают 1/40000 пролета конструкции. Сумма перемещений коробчатого настила по 1-й форме колебаний составляет:

0,0015372+0,002912+0,004032+0,004452+0,004032+ +0,002912+0,0015372=0,0214144 мм.

Увеличивая эту сумму в 1,3 раза (ткацкие станки относятся к машинам с конструктивно неуравновешенными движущимися частями) и отнеся ее к пролету, имеем

(0,0214144·1,3)/18000=0,000015 < 1/40000.

Таким образом, при расчете прочности коробчатого настила достаточно учитывать только статические нагрузки. Сумма перемещений коробчатого настила по 2-й форме колебания, отнесенная к пролету конструкции, равна:

(0,002912+0,002912+0,0015372)·1,3/18000= =0,0000005 < 1/40000, т.е. прочность коробчатого настила обеспечена.

Расчет коробчатого настила на огневые воздействия

Исходные данные. Предварительно напряженный железобетонный коробчатый настил с консольными свесами верхних полок; номинальная длина конструкции - 18,0 м; расчетный пролет - 17,4 м; нормативная нагрузка (без учета собственного веса) - 10500 Па (1050 кгс/м^2); нагрузка от собственного веса - 2990 Па (299 кгс/м^2); напрягаемая арматура - канаты К-7 ø 15 мм; число канатов - 18 (по 6 в каждом ребре); бетон класса В40; предел огнестойкости для применения в здании II степени огнестойкости - не менее 0,75 ч.

Опалубочные размеры сечения и расчетная схема огневого воздействия приведены на рис. 24 и 2. Задаемся временем огневого воздействия τ_f, равным требуемому пределу огнестойкости - 0,75 ч.

Приведенный коэффициент температуропроводности для тяжелого бетона на гранитном гравии равен $a_{пр}$= =0,00129 м^2/ч. Вычисляем для каждого арматурного каната значения температур $t_{y,i}$ при величине защитных слоев y_i по формуле (14) Рекомендаций. Величины защитных слоев y_i, соответствующие расположению канатов по сечению настила на рис. 24:

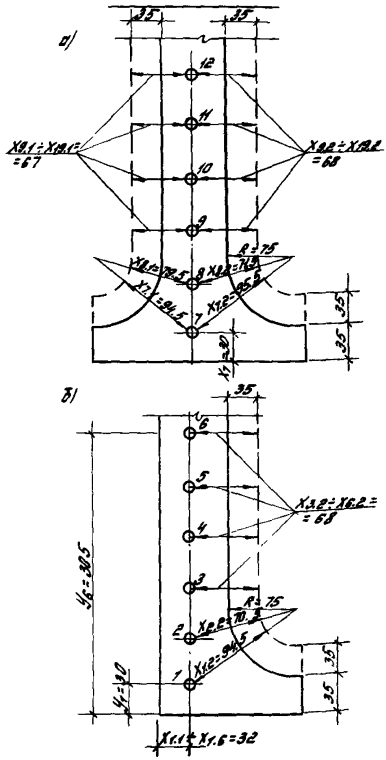


Рис. 24. Расчетная схема огневого воздействия на коробчатый настил номинальной длины 18,0 м
а – среднее ребро;
б – крайние ребра

$y_1 = y_7 = y_{13}$ =0,030 м;

$y_2 = y_8 = y_{14}$ =0,085 м;

$y_3 = y_9 = y_{15}$ =0,140 м;

$y_4 = y_{10} = y_{16}$ =0,195 м;

$y_5 = y_{11} = y_{17}$ =0,250 м;

$y_6 = y_{12} = y_{18}$ =0,305 м;

$t_1(y) = t_7(y) = t_{13}(y)$ =

$$=1250-(1250-20)\cdot erf x$$

$$x\frac{0,030}{2\sqrt{0,62\cdot 0,0013}}=$$

$$=1250-1230\cdot erf\ 0,840=$$

$$=1250-1230\cdot 0,765=309\ ^{\circ}C;$$

$t_2(y) = t_8(y) = t_{14}(y)$ =

$$=1250-(1250-20)\,erf\,x$$

$$x\frac{0,085}{0,62+0,036}=$$
$$1,73$$

$=1250-1230 \cdot erf\ 1{,}723=1250-1230\cdot 0{,}985=38\ ^{\circ}C;$

$$t_3(y)=t_9(y)=t_{15}(y)=1250-(1250-20)\,erf\,\frac{0{,}62\cdot\frac{0{,}140}{0{,}036}}{1{,}73}=$$

$=1250-1230\ erf\ 2{,}606=1250-1230\cdot 0{,}999=21\ ^{\circ}C;$

$$t_4(y)=t_{10}(y)=t_{16}(y)=1250-(1250-20)\,erf\,x$$

$$x\,\frac{0{,}62+\frac{0{,}195}{0{,}036}}{1{,}73}=1250-1230\ erf\cdot 3{,}489=1250-1230\cdot 1{,}0=$$

$=20\ ^{\circ}C.$

Та как $y_6 > y_5 > y_4$ и $t_4(y) = 20\ ^{\circ}C$, то $t_5(y) = t_6(y) = 20\ ^{\circ}C$.

Вычисляем для каждого арматурного каната значения температур $t_i(x)$ при величинах защитных слоев X по формуле (15) Рекомендаций.

Величины защитных слоев x показаны на рис. 24.

$x_{1,1}=x_{6,1}=x_{13,1}=x_{18,1}=0{,}0032$ м; $x_{3,1}=x_{12,1}=$ $=0{,}067$ м; $x_{1,2}=x_{13,2}=0{,}0945$ м; $x_{2,2}=x_{14,2}=$ $=0{,}0705$ м; $x_{3,2}=x_{6,2}=x_{9,2}=x_{12,2}=x_{15,2}=x_{18,2}=$ $=0{,}068$ м; $x_{7,1}=0{,}0945$ м: $x_{7,2}=0{,}0955$ м; $x_{8,1}=$ $=0{,}705$ м; $x_{8,2}=0{,}0715$ м:

$$t_1(x)=t_{13}(x)=1250-(1250-20)\cdot\left[erf\,\frac{0{,}62+\frac{0{,}032}{0{,}036}}{1{,}73}+\right.$$

$$\left.+\,erf\,\frac{0{,}62+\frac{0{,}0945}{0{,}036}}{1{,}73}-1\right]=1250-1230(erf\ 0{,}872+$$

$+\ erf\ 1{,}875-1)=1250-1230(0{,}782-0{,}992-1)=298\ ^{\circ}C;$

$$t_2(x)=t_4(x)=1250-(1250-20)\left[erf\,\frac{0{,}62+\frac{0{,}0705}{0{,}036}}{1{,}73}-\right.$$

$\left.-1\right]=1250-1230(erf\ 0{,}872+\ erf\ 1{,}490-1)=1250-1230\times$ $\times(0{,}782+0{,}965-1)=331\ ^{\circ}C;$

$$t_3(x) = t_6(x) = t_{15}(x) = t_{18}(x) = 1250-(1250-20)\times$$
$$\times\left(\operatorname{erf}\frac{0{,}62+\frac{0{,}032}{0{,}036}}{1{,}73}+\operatorname{erf}\frac{0{,}62+\frac{0{,}0675}{0{,}036}}{1{,}73}-1\right)=1250-$$
$$-1230(\operatorname{erf}0{,}872+\operatorname{erf}1{,}442-1)=1250-1230(0{,}782+$$
$$+0{,}958-1)=340\ ^{\circ}C;$$

$$t_5(x) = 1250-1230\left(\operatorname{erf}\frac{0{,}62+\frac{0{,}0945}{0{,}036}}{1{,}73}+\operatorname{erf}\frac{0{,}62+\frac{0{,}0955}{0{,}036}}{1{,}73}-\right.$$
$$\left.-1\right)=1250-1230(\operatorname{erf}1{,}876+\operatorname{erf}1{,}891-1)=1250-$$
$$-1230(0{,}992+0{,}993-1)=38\ ^{\circ}C;$$

$$t_8(x)=1250-(1250-20)\left(\operatorname{erf}\frac{0{,}62+\frac{0{,}0705}{0{,}036}}{1{,}73}+\operatorname{erf}\right.$$
$$\left.\frac{0{,}62+\frac{0{,}0715}{0{,}036}}{1{,}73}-1\right)=1250-1230(\operatorname{erf}1{,}490+$$
$$+\operatorname{erf}1{,}506-1)=1250-1230(0{,}964+0{,}976-1)=105\ ^{\circ}C;$$

$$t_9(x)=1250-(1230-20)\left(\operatorname{erf}\frac{0{,}62+\frac{0{,}0665}{0{,}036}}{1{,}73}+\right.$$
$$\left.+\operatorname{erf}\frac{0{,}62+\frac{0{,}0675}{0{,}036}}{1{,}73}-1\right)=1250-1230(\operatorname{erf}1{,}126+$$
$$+\operatorname{erf}1{,}458-1)=1250-1230(0{,}956+0{,}961-1)=122\ ^{\circ}C.$$

$t_c = 902\ ^{\circ}C.$

Вычисляем интегральную температуру нагрева каждого арматурного каната соответственно расположению их по сечению и величинам защитных слоев y и x по формуле (12). Подставляя вычисленные выше значения температур, получим:

$$t_1(x,y)=902-\frac{(902-298)\cdot(902-309)}{882}=496\ ^{\circ}C;$$

$$t_2(x,y)=902-\frac{(902-331)\cdot(902-38)}{882}=342\ ^{\circ}C;$$

$t_3(x,y) = 902 - \frac{(902-340)\cdot(902-21)}{882} = 340\ ^\circ C;$

$t_4(x,y) = 902 - \frac{(902-340)\cdot(902-20)}{882} = 338\ ^\circ C;$

$t_5(x,y) = 902 - \frac{(902-340)\cdot(902-20)}{882} = 338\ ^\circ C;$

$t_6(x,y) = 902 - \frac{(902-340)\cdot(902-20)}{882} = 338\ ^\circ C;$

$t_7(x,y) = 902 - \frac{(902-38)\cdot(902-309)}{882} = 321\ ^\circ C;$

$t_8(x,y) = 902 - \frac{(902-105)\cdot(902-38)}{882} = 121\ ^\circ C;$

$t_9(x,y) = 902 - \frac{(902-122)\cdot(902-20)}{882} = 122\ ^\circ C;$

$t_{10}(x,y) = 902 - \frac{(902-122)\cdot(902-20)}{882} = 122\ ^\circ C;$

$t_{11}(x,y) = 902 - \frac{(902-122)\cdot(902-20)}{882} = 122\ ^\circ C;$

$t_{12}(x,y) = 902 - \frac{(902-122)\cdot(902-20)}{882} = 122\ ^\circ C.$

Коэффициенты m_{σ,t_i} равны соответственно:

$m_{\sigma,t_1} = m_{\sigma,t_{13}} = 0{,}30;$ $m_{\sigma,t_2} = 0{,}74;$

$m_{\sigma,t_3} = m_{\sigma,t_{14}} = 0{,}68;$ $m_{\sigma,t_8} = 1{,}0;$

$m_{\sigma,t_{13}} = m_{\sigma,t_{15}} = 0{,}68;$ $m_{\sigma,t_9} = 1{,}0;$

$m_{\sigma t_4} = m_{\sigma,t_{16}} = 0{,}68;$ $m_{\sigma,t_{10}} = 1{,}0;$

$m_{\sigma,t_{12}} = 0{,}68;$ $m_{\sigma,t_{11}} = 1{,}0;$

$m_{\sigma,t_6} = m_{\sigma,t_{18}} = 0{,}68;$ $m_{\sigma,t_{12}} = 1{,}0;$

Величину предельного момента вычисляем по формуле (16):

$M_R = (\sigma_i) = 1320 \cdot 1{,}415 \cdot (0{,}30 \cdot 85{,}25 + 0{,}68 \cdot 79{,}75 +$

$+ 0{,}68 \cdot 74{,}25 + 0{,}68 \cdot 68{,}75 + 0{,}68 \cdot 63{,}25 + 0{,}68 \cdot 57{,}75) \cdot 2 +$

$+ (0{,}74 \cdot 85{,}25 + 1{,}0 \cdot 79{,}75 + 1{,}0 \cdot 74{,}25 + 1{,}0 \cdot 68{,}75 +$

+10·6325+1,0·57,75) =186·10^4 Н·м (186·10^5 кгс·м).

Максимальный момент от нормативной нагрузки:

$$M^н_{max} = \frac{(q_н + q_п)\, \ell^2}{8} = \frac{3(1050+299)\cdot 1740^2}{8} =$$

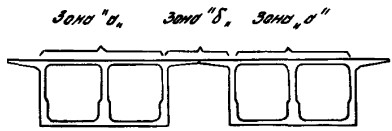
=153,4·10^4 Н·м (153,4·10^3 кгс·м); $M_{R(t_1)}$=186·10^4 Н·м> $> M^н_{max}$ =153,4·10^4 Н·м,

т.е. предел огнестойкости коробчатого настила не менее 0,75 ч.

Теплотехнический расчет покрытия с коробчатыми настилами

Расчет покрытия производим на примере прядильного цеха главного производственного корпуса хлопкопрядильной фабрики в г. Долине Ивано-Франковской области для зон "а" и "б" (рис. 25). Состав покрытия с коробчатыми настилами приведен на рис. 26. Конечная задача расчета – определение толщины утеплителя. Величину тепловой инерции определяем по СНиП П-3-79** (п. 2.4) в зависимости от конструктивного состава покрытия.

Рис. 25. Зоны покрытия с коробчатыми настилами



По СНиП П-3-79** (табл. 5) и СНиП 2.01.01-82 определяется расчетная зимняя температура, принимаемая равной средней температуре наиболее холодных суток.

В нашем примере имеют место следующие характеристики: а) расчетная температура наружного воздуха $t_н$ =–24 °С; б) расчетная температура внутреннего воздуха в прядильном цехе $t_в$ =24 °С; в) температура воздуха в начале воздуховода (коробчатого настила) $t_о$ = =19,8 °С; г) температура точки росы воздуха в коробчатом настиле $\tau_р$ =13,5 °С; д) относительная влажность воздуха в коробчатом настиле φ =78 %; е) нагрузка на эжекторный воздухораспределитель ВПЭП N =9790 м^3/ч.

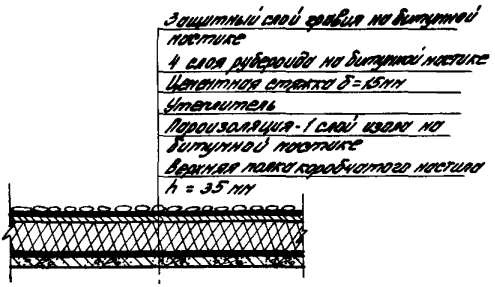


Рис. 26. Состав покрытия с коробчатыми настилами

Определяем последовательно скорость воздуха в коробчатом настиле и требуемое сопротивление теплопередаче покрытия для зоны "а".

$$V = N/2700 = 9790/2700 = 3{,}63 \text{ м/с};$$

$$R_0^{тр} = 1{,}15(t_в - t_н)\cdot \frac{\frac{1}{3{,}3V^{0{,}8}+4} + \frac{0{,}13}{V}}{t_в - \tau_р + \frac{0{,}55}{V^{0{,}833}(t_в - t_о)}} =$$

$$= 1{,}15(19{,}8+24)\,\frac{\frac{1}{3{,}3\cdot 2{,}805+4} + \frac{0{,}13}{3{,}63}}{19{,}8-13{,}5+\frac{0{,}55}{2{,}927(24-19{,}8}} =$$

$$= 0{,}790\ \frac{м^2 \cdot ч \cdot {}^\circ C}{ккал};$$

$$V^{0{,}8} = 3{,}63^{0{,}8} = 2{,}805 \text{ и } V^{0{,}833} = 3{,}63^{0{,}833} =$$

$$= 2{,}927 \text{ (см. табл. 3)}.$$

Определение $R_0^{тр}$ для зоны "б" покрытия производится аналогично предыдущему расчету по формуле (1) СНиП П-3-79** с учетом параметров воздуха в цехе и коэффициентов, приведенных в п. 9.5 раздела 9.

После определения $R_0^{тр}$ в соответствии с выбранным типом утеплителя по формулам СНиП П-3-79** вычисляется его толщина для зон "а" и "б". Максимальное значение толщины утеплителя назначается в целом по всему покрытию.

Приложение 1

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ РАСЧЕТ ПЕРЕКРЫТИЯ С КОРОБЧАТЫМИ НАСТИЛАМИ

Определение реакций между коробчатыми настилами перекрытий

1. При расчете коробчатых настилов перекрытия со стыками, препятствующими взаимным смещениям, необходимо учитывать дополнительные усилия в ребрах и полках конструкций, возникающие от передачи неравномерной нагрузки в поперечном направлении (рис. 1, а–в).

2. При расчете коробчатых настилов перекрытий следует рассматривать пространственную схему, в которой постоянная часть нормативной нагрузки q_1 (с учетом собственного веса конструкции) прикладывается по всей площади перекрытия, а временная часть нормативной нагрузки q_3 – только на части площади (рис. 1, а).

3. Пространственный расчет сборного перекрытия сводится к расчету на краевую максимальную реакцию $V_0(x)$, действующую вдоль границы приложения временной нагрузки (рис. 1,г). Расчет выполняется по методу сил, для чего перекрытие членится вдоль стыков на отдельные настилы. Тогда реакции и прогибы в шве (рис. 1, д) определяются по формулам:

$$V_i(x) = V_0 \Gamma^i B_i \sin \frac{\pi x}{\ell}; \qquad (19)$$

$$W_i(x) = V_0 W^c \sqrt{\vartheta}\, E_i \Gamma^i \sin \frac{\pi x}{\ell}; \qquad (20)$$

$$B_i = \frac{1-\Gamma^{2(m-i)}}{1-\Gamma^{2m}}; \quad E_i = \frac{1+\Gamma^{2(m-i)}}{1-\Gamma^{2m}}; \quad \Gamma = \frac{1-\sqrt{\vartheta}}{1+\sqrt{\vartheta}}; \qquad (21)$$

$$\vartheta = W^a/W^c = \alpha \frac{\pi}{2} \left(\frac{b}{\ell}\right)^2; \quad \alpha = \sqrt{\frac{B_v}{B_x}}, \qquad (22)$$

где ϑ, α – коэффициенты, характеризующие эффективность пространственной работы настилов; V_0 – амплитудное значение реакции $V_0(x)$, изменяющейся вдоль конструкций по

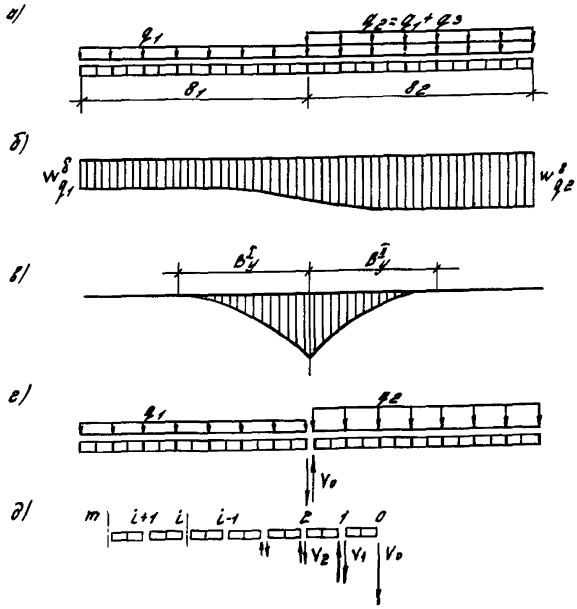


Рис. 1. Пространственный расчет сборного перекрытия

а – схема неравномерного загружения перекрытия; б – эпюра прогибов; в – эпюра поперечных реакций; г – краевое загружение перекрытия; д – основная система перекрытия

синусоиде; $W^{c}; W^{a}$ – амплитудные значения прогибов швов от единичных симметричных и асимметричных реакций, изменяющихся по синусоиде; B_u, B_κ – жесткости коробчатых настилов на изгиб и кручение, для коробчатых настилов с деформируемым поперечным сечением эти жесткости являются фиктивными, учитывающими дополнительные деформации вдоль швов за счет искривления сечения; b, l – ширина и расчетный пролет коробчатых настилов; m – число коробчатых настилов в перекрытии (рис. 1,д).

4. Ширину участка коробчатого настила, вовлекаемого в пространственную работу, следует определять по формуле

$$\delta_y = 2\ell/\alpha\pi = \delta/\sqrt{\ell}\,. \qquad (23)$$

5. Значение краевой реакции при различных жесткостях участков перекрытия, загруженных постоянной (1-й участок и расчетной (2-й участок) нагрузками, необходимо определять по формуле

$$V_{o(x)} = \frac{W_{II}^{c} p_1 p_2 - W_I^{c} p_2 p_1}{2(H_1 + H_2)} \sin\frac{\pi}{\ell}x\,, \qquad (24)$$

где $p_1 = q_1 \cdot b_1$; $p_2 = p_1 + p_3$; $p_3 = q_3 b$ – равномерно распределенные постоянная, расчетная и временная нагрузки на коробчатые настилы;

$$H_1 = \frac{W_I^{c}}{2}\left[1 + \rho_1 - \Gamma_I \cdot b_1^{I}/(1-\rho_I)\right];\ H_2 = \frac{W_{II}^{c}}{2}\left[1 + \rho_{II} - \Gamma_{II} b_1^{II}/(1-\rho_{II})\right], \qquad (25)$$

H_1 и H_2 – коэффициенты для 1-го и 2-го участков;

$\rho_I = 2W_{qI}^{c}/W_I^{c}$; $\rho_{II} = 2W_{qII}^{c}/W_{II}^{c}$ – коэффициенты, учитывающие поперечные прогибы коробчатых настилов от нагрузки;

W_{qI}^{c}, W_{qII}^{c} – то же, что и W_I^{c} и W_{II}^{c}, но от единичной погонной нагрузки.

6. При ширине участков перекрытия $b_1 \geq b_y^{I}$ и $b_2 \geq b_y$ рекомендуется принимать коэффициенты $b_1^{I} = b_1^{II} = 1$, тогда

$$V_o = p_3 \Pi \ell/(2\delta\pi\alpha)\,, \qquad (26)$$

где $\Pi = \frac{2[1 + x(1 - 1/\gamma_2)]}{1\gamma_2 + \alpha_2/\alpha_1}$; $x = \frac{p_1}{p_3}$; $\gamma_2 = \frac{B_U^{II}}{B_U^{I}}$, (27)

B_U^{II}, B_U^{I} – изгибные жесткости коробчатых настилов на 1-м и 2-м участках, определяемые соответственно от действия постоянной и расчетной нагрузок.

7. При отсутствии в коробчатых настилах трещин $B_U^{I} = B_U^{II} = B_U$; $\gamma_2 = 1$; $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$; $\Pi = 1$ и V_o определяется по формуле

$$V_o = p_3 \ell/(2\delta\pi\alpha) = p_3/(4\sqrt{\ell})\,. \qquad (28)$$

8. При различных значениях жесткостей соседних коробчатых настилов реакции в швах более точно рекомендуется определять из решения системы линейных алгебраических уравнений совместности деформаций вида

$$V_{i-1}(W_i^{c} - W_i^{a}) - V_i(W_i^{c} + W_i^{a} + W_{i+1}^{c} + W_{i+1}^{a}) + V_{i+1}(W_{i+1}^{c} - W_{i+1}^{c}$$

$$= 2(P_i W^c_{qi} - P_{i+1} W^c_{qi+1}). \qquad (29)$$

Число уравнений в системе равно

$$m = (b^{I}_{y} + b^{II}_{y})(b-1) = m^{I}_{y} + m^{II}_{y} - 1,$$

где m^{I}_{y}, m^{II}_{y} – число вовлекаемых в совместную работу коробчатых настилов на участке I и II.

Деформационный пространственный расчет коробчатого настила перекрытия

9. Определение поперечных изгибающих моментов и перерезывающих сил в ребрах и полках коробчатых настилов следует выполнять от максимальных значений реакций V_0 и V_1 в стыках между крайними настилами перекрытий.

10. Для нахождения действующих в пространственно деформируемом перекрытии максимальных значений реакций V_0 и V_1 и вызванных ими дополнительных поперечных изгибаемых моментов и касательных напряжений в ребрах и полках коробчатого настила необходимо определить деформационные характеристики W^a, W^c и W^c_q.

11. При наличии в коробчатых настилах консольных свесов верхней полки единичные прогибы вдоль швов следует находить с учетом прогибов консолей и податливости стыков:

$$W^c = W^c_p + W_k + W_c; \quad W^a = W^a_p + W_k + W_c;$$
$$W^c_q = W^q_p + W^q_k, \qquad (30)$$

где W^c_p, W^a_p, W^q_p – прогибы крайних ребер в середине пролета от единичных симметричных и асимметричных погонных реакций и нагрузок; W_c – деформация стыков; W_k и W^q_k – прогибы концов консолей полок от единичных симметричных и асимметричных реакций и нагрузки $q = 1/a_k$.

12. Для упрощения расчетов прогибов консолей и ребер коробчатого настила ребра и полки переменной толщины (рис. 2,а) принимаются постоянной эквивалентной толщиной (рис. 2, б), определяемой из равенства площадей их сечений. Вуты по контакту ребер и полок, описанные по дуге круга радиусом R, заменяются треугольными (рис. 2,б) с размером сторон:

$$\sigma = R\sqrt{2-\pi/2} \approx 2/3R \ . \qquad (31)$$

13. Прогибы крайних ребер коробчатого настила от единичной погонной нагрузки необходимо определять как для двутавровой балки с учетом положений пп. 4.24, 4.27 СНиП 2.03.01-84 и рекомендаций разделов 1.16, 12 и 23 прил. 1

$$W_p^g = \pi/4 \cdot 5/48 \ \ell^2 \cdot 1/r \ . \qquad (32)$$

14. Пространственный расчет коробчатого настила на действие реакций, приложенных к крайним ребрам, следует выполнять с применением метода сил и вариационного метода В.З.Власова с членением конструкции вдоль ребер на однокоробчатые настилы (рис. 2,в) и приложением в сечении вертикальных перерезывающих реакций v_j (см. п. 1,в).

$$v_j(x) = (V_0 \Gamma^j \delta_j + V_1 \Gamma^{2-j} \delta_{2-j}) / \sin(\pi x/\ell), \qquad (33)$$

где j – порядковый номер ребра коробчатого настила (рис. 2, в); r – число пустот в коробчатом настиле; $\Gamma^j, \delta_j, \Gamma^{2-j}, \delta_{2-j}$ – определяются по формулам п. 3, с заменой в них ℓ на ℓ_0, m на r, а ℓ на $\ell_0 = W_0^a / W_0^c$; $W_0^c = 2r W_p^g$; W_0^c; W_0^g – то же, что и W_p^c и W_p^g, но однокоробчатого настила (рис. 2, в,г,д).

15. Толщина каждого из рассеченных ребер коробчатого настила принимается равной

$$\delta_{1p} = \delta_1 / \sqrt[3]{2} \ . \qquad (34)$$

Однокоробчатые настилы с разными толщинами ребер приводятся к эквивалентным коробчатым настилам с одинаковыми толщинами ребер, равными

$$\delta_p = \frac{2 \cdot \delta_0 \cdot \delta_{1p}}{(\delta_0 + \delta_{1p})} \ . \qquad (35)$$

16. Расчет однокоробчатого настила, загруженного асимметричными единичными реакциями по ребрам (рис. 2,г, д) по методу В.З.Власова сводится к определению прогибов ребер W_0^a и продольных перемещений узлов U_0^a, которые в случае равной толщины полок $\delta_2 = \delta_3 = \delta_n$ и ребер $\delta_0 = \delta_{1p} = \delta_p$ и образовании продольных тре –

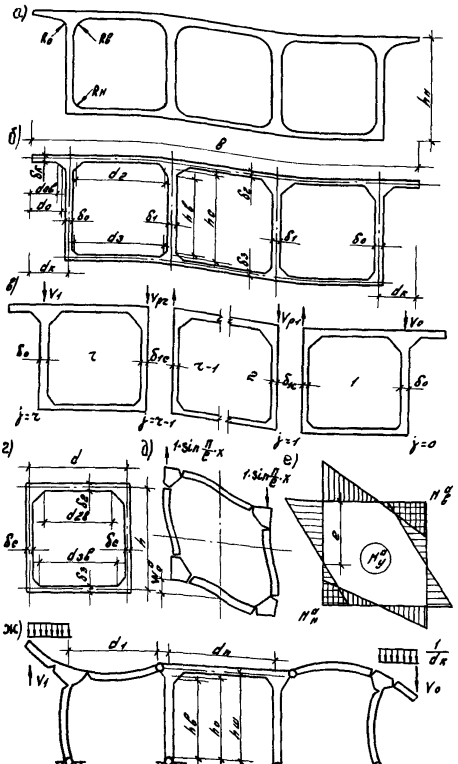


Рис. 2. Пространственный расчет коробчатого настила перекрытия

а – поперечное сечение коробчатого настила; б – приведенное сечение коробчатого настила; в – основная система коробчатого настила по методу сил; г – эквивалентный коробчатый настил; д – деформации поперечного сечения однокробчатого настила от реакций и нагрузки на опоре

щин в полках и ребрах вдоль вутов находятся по форму-лам:

$$W_o^a(x) = \Phi \bar{W}_o^a \sin\frac{\pi x}{\ell};\quad U_o^a = \Phi \bar{U}_o^a \cos\frac{\pi x}{\ell}, \quad (36)$$

где

$$\bar{W}_o^a = \frac{\ell^2}{G\pi^2 h_p^2}\left(\frac{h_p}{\delta_p} + \frac{d_n}{\delta_n}\right); \quad (37)$$

$$\bar{U}_o^a = \frac{d_n \ell}{2G\pi \delta_n h_p};\quad \Phi = \frac{1}{1 + 0{,}5 S \bar{W}_o^a};$$

G – модуль сдвига бетона коробчатого настила;

$$S = \int \frac{(M_y^a)^2}{B_y}\,dy = \frac{8 \cdot M^a}{d};\quad M^a = \frac{1}{d_n\left(\frac{B_p^3 h_p}{B_p^{np}} + \frac{B_n^3 d_n}{B_n^{np}}\right)};$$

$$B_p^{np} = 0{,}5\left(B_{p\ell}^{np} + B_{p.n}^{np}\right);\quad B_n^{np} = 0{,}5\left(B_{n\ell}^{np} + B_{n.n}^{np}\right).$$

– приведен-

ные изгибные жесткости ребер и полок;

$$B_{p\ell}^{np} = \frac{B_p}{1 + \frac{3h_p^2 \cdot t_{p\ell}}{h_p^3}\left(\frac{B_p}{B_{p\ell}^{cm}} - 1\right)};\quad B_{p.n}^{np} = \frac{B_p}{1 + \frac{3 \cdot h_p^2 \cdot t_{pn}}{h_p^3}\left(\frac{B_p}{B_{pn}^{cm}} - 1\right)} -$$

–приведенные средние изгибные жесткости левого и правого ребра;

$$B_{n\ell}^{np} = \frac{B_p}{1 + \frac{3h_p^2 \cdot t_{p\ell}}{h_p^3}\left(\frac{B_p}{B_{p\ell}^{cm}} - 1\right)};\quad B_{n.n}^{np} = \frac{B_n}{1 + \frac{3 \cdot 0{,}5 h_p^2 \cdot t_{pn}}{d_n^3}\left(\frac{B_n}{B_{pn}^{cm}} - 1\right)} -$$

приведенные средние изгибные жесткости верхней и нижней полок;

$$B_{p.r}^{cл} = 0{,}5\left(B_{p.r}^{лв} + B_{p.r}^{лн}\right);\quad B_{p.r}^{cn} = 0{,}5\left(B_{p.r}^{n.в} + B_{p.r}^{пн}\right),$$

$$B_{n.r}^{c.в} = 0{,}5\left(B_{n.r}^{в.л} + B_{n.r}^{вп}\right);\quad B_{nr}^{cн} = 0{,}5\left(B_{nr}^{нл} + B_{n.r}^{нп}\right).$$

– средние изгибные жесткости левой и правой частей ребра и верхней и нижней полок на участках трещин;

$$B_{p.r}^{л.в};\ B_{p.r}^{л.н};\ B_{p.r}^{n.в};\ B_{pr}^{пн};\ B_{nr}^{вл};\ B_{nr}^{вп};\ B_{n.r}^{н.л};\ B_{n.r}^{нп} -$$

– жесткости левого и правого ребра на участках трещин вдоль верхних и нижних вутов и верхней и нижней полок на участках трещин вдоль левых и правых вутов, определяемые из формулы (160) СНиП 2.03.01-84; B_n, B_p – изгибные жесткости полок и ребра эквивалентного одноко-робчатого настила в местах отсутствия трещин, определя-ются из формулы (156) СНиП 2.03.01-84;

$\beta_р = h_1/h_р$; $\beta_п = (\beta_2+\beta_3)/2 = (d_2+d_3)/2d_п$ – коэффициенты, учитывающие влияние вутов; $d_п$, $h_р$ – расстояния в осях между полками и ребрами эквивалентного однокоробчатого настила (рис. 2, г);

$d_п$, $h_р$ – расстояния между началами вутов в полках и ребрах (рис. 2,б);

d_2, d_1, h_1 – ширина зоны падения жесткости консолей, полок и ребер на участке образования продольной трещины, принимается равной четверти условного расстояния между трещинами изгибаемого элемента (обозначения по книге – Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. М.: Стройиздат, 1985).

17. В случае различной толщины полок необходимо выполнять переход от перемещений и усилий конструкции симметричного сечения (36) к значениям их для асимметричного сечения (рис. 2, г,д, е) по следующим формулам:

$$W^a_{0н} = W^a_{0в} = W^a_0; \quad U^a_{0в} = 2U^a_{0в}\frac{e}{h_0}; \quad U^a_{0н} = 2U^a_0\frac{h_р\, e}{h_р};$$

$$M^a_в = 2M^a\frac{e}{h_р}; \quad M^a_н = 2M^a\cdot\frac{h_р\cdot e}{h_р}, \qquad (38)$$

где

$$e = \frac{h}{1+A_н/A_в}; \quad A_н = B^{пр}_{пн}\left(\frac{B^{пр}_р}{\beta_р h_р}+\frac{3B^{пр}_{пв}}{\beta_2 d_п}\right); \quad A_в = B^{пр}_{пв}\left(\frac{B^{пр}_р}{\beta_р h_р}+\frac{3B^{пр}_{пн}}{\beta_3 d_п}\right). \qquad (39)$$

18. Прогибы крайних ребер коробчатого настила от единичных симметричных и асимметричных реакций следует находить по формуле

$$W^{c/a}_{р(x)} = \frac{1}{2}\left[W^a_0(1+\nu_1^{c/a}) + W^c_0(1-\nu_1^{c/a})\right]\sin\frac{\pi}{\ell}x. \qquad (40)$$

19. Прогибы консолей верхней полки коробчатого настила от нагрузки и реакций находятся из расчета рамы (рис. 2, ж), полученной путем врезания шарниров в ребра в месте начала нижних вутов, а также в начале вутов верхней полки возле вторых от краев ребер (рис. 2,б,ж). При этом учитывается, что нагрузки и реакции на консолях верхней полки вызывают деформации только верхних полок и внешних ребер крайних пустот коробчатого настила. Прогибы консолей верхней полки при наличии трещин в полках и ребрах вдоль вутов (рис. 2, ж) определяются по формуле

$$W^{c,\sigma/g}_{\kappa,v/g} = \frac{d_\kappa^3}{3\gamma \cdot B^{\phi}_{\kappa}} \quad ; \qquad (41)$$

$$B^{\phi}_{\kappa} = 1/\left[\frac{\gamma}{B^{np}_{\kappa}}\beta_\kappa^3 + \frac{\beta_0^3}{B^{np}_{p.0}} h_w \lambda^2 + \frac{\beta_1^3 d_w (1-\lambda)^2}{d_\kappa B^{np}_{n.6}}\right], \qquad (42)$$

B^{np}_{κ} – приведенная изгибная жесткость консоли;

d_κ, h_w, d_w – расстояние от осей ребер и полок до шарниров;

$\gamma = 2$; $\gamma_1 = 0{,}75$ – при действии нагрузки и $\gamma = \gamma_1 = 1$ при действии реакций;

$$\beta_\kappa = \frac{d_0}{d_\kappa}; \quad \beta_0 = \frac{h_0}{h_w}; \quad \beta_1 = \frac{d_1}{d_w}, \qquad (43)$$

d_0, h_0, d_1 – расстояния от центров тяжести вутов до шарниров консолей, ребер и полок (рис. 2, ж);

$$\lambda = 1/\left(1 + \frac{B_n h_0}{B_p d_1}\right); \qquad (44)$$

B_κ, B_p, B_n – изгибные жесткости консолей и полок рассчитываемых рам.

20. Деформацию сдвига стыков соседних коробчатых настилов в вертикальной плоскости следует учитывать в зависимости от конструкций стыков. В случае омоноличиваемых стыков со шпонками замкнутого поперечного сечения, а также армированных монолитных стыков, деформацию стыков не учитывают. При объединении коробчатых настилов в перекрытии с помощью приварки накладок к металлическим закладным изделиям податливость стыков учитывается. Сдвиговая жесткость стыков с закладными изделиями из уголков C_c при отсутствии результатов испытаний принимается равной $(5 \ldots 20)\cdot 10^4$ Н. Деформации сдвига стыка определяются по формуле

$$W_c = \ell_c / C_c \ , \qquad (45)$$

где ℓ_c – расстояние между стыками в консолях вдоль верхней полки.

21. Металлические стыки вдоль консолей верхней полки следует устанавливать в перекрытии через $\ell_c = 1{,}5 \ldots 2$ м. Прогибы консолей при отсутствии монолитной армированной набетонки верхней полки от действия реакции V_i следует увеличивать путем введения коэффициента

$$K = \ell_c / (2 d_K + t_з), \qquad (46)$$

где $t_з$ – длина закладного изделия вдоль стыка консолей.

22. В случае образования продольных трещин вдоль вутов по контакту полок и ребер в формулах (37),(39), (43) соответствующие коэффициенты β следует принимать равными единице (30, 36, 41). Ширину верхней полки, учитываемую в расчетах при определении W_y^c и W_y^c, необходимо назначать равной $8\,h'_f$.

23. При пространственном расчете коробчатых настилов с учетом их совместной работы в составе перекрытия допускается учитывать армированную монолитную набетонку, устраиваемую по верхней полке. Приведенная толщина верхней полки с учетом набетонки определяется по формуле

$$\delta_2^{пр} = \delta_в \sqrt{1 + \left(\frac{\delta_н}{\delta_в}\,\frac{E_н}{E}\right)^3}, \qquad (47)$$

где $\delta_н, E_н$ – соответственно толщина набетонки и модуль упругости монолитного бетона.

Определение усилий в пространственно-деформируемом коробчатом настиле перекрытий

24. При определении усилий в пространственно-деформируемом коробчатом настиле необходимо учитывать характер изменения продольных изгибающих моментов, возрастание на участке ℓ_y^1, где приложена неполная расчетная нагрузка, и снижение на участке ℓ_y^2, где приложена полная расчетная нагрузка (см. рис. 1).

25. Поперечные изгибающие моменты в коробчатом настиле без консольных свесов верхней полки следует определять как сумму моментов M_y^q от постоянной g_1 и временной g_3 нагрузок на верхней полке и собственного веса полки и моментов M_y^v от пространственной работы перекрытия. При наличии консолей в коробчатом настиле необходимо учитывать изгибающие моменты M_y^k от нагрузки и реакций, приложенных на консолях верхней полки.

26. Для упрощения расчетов моментов M_y^a в основании ребер в начале нижних вутов врезаны шарниры (рис. 3,а), а моменты в крайних ребрах, на концах и в середине полок от нагрузки, расположенной в пределах между ребрами, рекомендуется определять по формулам:

$$M_o^e = M_o^n = \frac{q\, d_j^2}{12} - \lambda_o;\quad M_1^n = -2M_{cp}^n = \frac{q\, d_j^2}{24}\left(3 - \lambda_o\right), \qquad (48)$$

где $$\lambda = 1/\left(1 + 4B_n h_o / 3 B_p d_1\right). \qquad (49)$$

27. Моменты в верхней полке и крайних ребрах от нагрузки и реакций на консолях при наличии шарниров в ребрах и полках крайних пустот (рис. 3,б) рекомендуется определять по формулам:

$$M_n = M_k(1-\lambda);\quad M_p = M_k\,\lambda; \qquad (50)$$

$$M_k = \left(q\, d_k^2\right)/\left(2 + V_{o(1)}\right) d_k \sin\frac{\pi}{\ell}x, \qquad (51)$$

где M_k – момент в основании консоли полки.

28. Эпюру моментов M_y^v (рис. 3,в) в коробчатом настиле от реакций V_o и V_1 необходимо определять путем сложения эпюр (рис. 2, е) в отдельных элементах (рис. 2,в). Значения моментов в узлах среднего и крайних элементов определяются по формулам:

$$M_j^v = \frac{v_j + v_{j-1}}{2} M_{6/H}^a W_o^a;\quad M_1^v = \frac{V_o + v_1}{2} M_{6/H}^a W_o^a;$$

$$M_2^v = \frac{V_1 + v_{2-1}}{2} M_{6/H}^a W_o^a. \qquad (52)$$

29. Расчетную эпюру поперечных изгибающих моментов M_y^e (рис. 3,г) следует определять как сумму трех эпюр $M_y^a + M_y^r + M_y^v$ для обоих коробчатых настилов, расположенных по обе стороны границы приложения временной части нагрузки.

30. Огибающая эпюра моментов строится в результате наложения расчетных эпюр в обоих коробчатых настилах, расположенных с двух сторон от границы приложения временной части нагрузки.

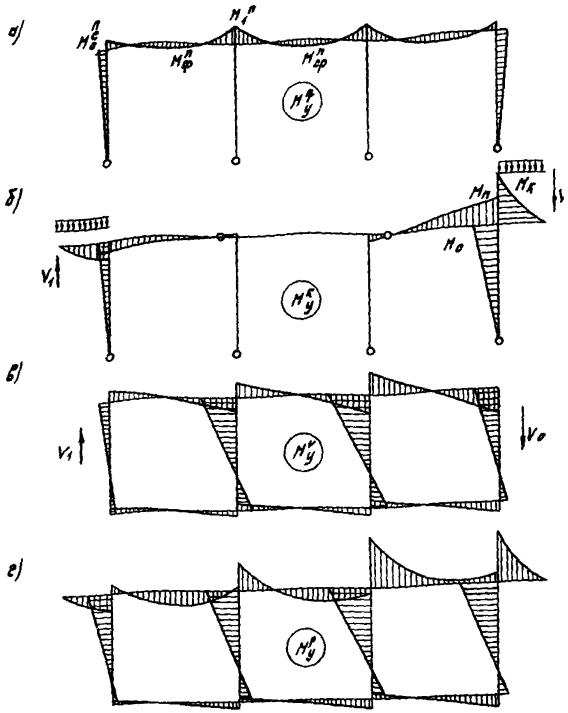


Рис. 3. Определение суммарной эпюры поперечных изгибающих моментов в коробчатом настиле
а – эпюра от нагрузки на верхнюю полку; б – эпюра от нагрузки и реакций на консолях верхней полки; в – эпюра от реакций на крайних ребрах; г – суммарная эпюра

31. По значениям ординат огибающей эпюры моментов в сечениях в начале вутов консолей, полок и ребер необходимо проверять условие образования продольных трещин. В случае их образования выполняются повторный деформационный расчет с учетом требований раздела 21, построение огибающей эпюры моментов и подбор поперечной арматуры.

32. Касательные напряжения в ребрах от симметричной составляющей реакции и нагрузки следует определять

как для балочных конструкций от асимметричных реакций. Они находятся по формуле

$$\tau_j = 0{,}5G\left[\frac{1}{h}\left(U^a_{oн} + U^a_{oв}\right) + \frac{\pi}{b} W^a_o\right]\left(v_j + v_{j-1}\right)\cos\frac{\pi}{\ell}x. \quad (53)$$

Расчет коробчатого настила с учетом пространственной работы перекрытия

Исходные данные. Перекрытие-из предварительно напряженных железобетонных коробчатых настилов; номинальная длина коробчатого настила (рис. 1,а) ℓ =17,40 м; конструкция изготовлена из тяжелого бетона класса В40; монолитная армированная бетонная подготовка пола выполнена из бетона класса В30 и имеет толщину 100 мм; расчетная нагрузка-6000 Па (без учета собственного веса); временная часть расчетной нагрузки составляет 4000 Па (400 кгс/м^2) и приложена на части перекрытия (рис. 1,а).

Деформационный пространственный расчет коробчатого настила

Приведенное сечение коробчатого настила с учетом рекомендаций п. 12 дано на рис. 2, а. Стороны треугольных вутов полок определены по формуле (31), толщины верхней полки настила и консоли найдены по формуле (47):

$$\delta^{пр}_2 = \delta_в\sqrt[3]{1+\left(\frac{\delta_н}{\delta_в}\frac{E_н}{E}\right)^3} = 3{,}5\sqrt[3]{1+\left(\frac{10}{3}\cdot\frac{2{,}9\cdot10^5}{3\cdot10^5}\right)^3} = 9{,}8\,см;\ \delta_к = 5\sqrt[3]{1+\left(\frac{10}{5}\frac{2{,}9\cdot10^5}{3\cdot10^5}\right)^3} = 10{,}1\,см.$$

Момент инерции приведенного сечения настила равен $J_{red} = 6{,}7\times10^6$ см^4.

Поскольку на обоих участках перекрытия трещины отсутствуют, а образование продольных контактных трещин пока не установлено, прогиб крайних ребер настила от единичной погонной нагрузки равняется:

$$W^q_p = \frac{\pi}{4}\frac{5}{48}\ell^2\frac{1}{\rho} = \frac{3{,}14}{4}\frac{5}{384}\frac{1740^4}{E\cdot6{,}7\cdot10^6} = \frac{14000}{E}.$$

Определение прогибов крайних ребер настила от единичных симметричных W^c_p и асимметричных W^a_p реакций выполняется с использованием метода сил, для чего настил членится на два однокоробчатых настила, которые рассчитываются с использованием вариационного метода В.З.Власова.

Единичные прогибы ребер однокоробчатых настилов от симметричных реакций равняются:

$$W_0^c = 2r \cdot W_p^a = 2 \cdot 2 \frac{14000}{E} = \frac{56000}{E}.$$

Осредненная толщина полок и ребер эквивалентного однокоробчатого настила (35) равняется:

$$\delta_n = \frac{2 \cdot \delta_2^{np} \cdot \delta_6}{\delta_2^{np} + \delta_6} = \frac{2 \cdot 9{,}8 \cdot 3{,}5}{9{,}8+3{,}5} = 5{,}2 \text{ см}; \quad \delta_p = 2 / \left(\frac{1}{\delta_0} + \frac{\sqrt[3]{2}}{\delta_1} \right) =$$

$$= 2 / \left(\frac{1}{6{,}7} + \frac{\sqrt[3]{2}}{6{,}9} \right) = 6 \text{ см}.$$

Коэффициенты, учитывающие влияние вутов, равны:

$$\beta_p = \frac{h_1}{h_p} = \frac{79{,}3}{88{,}2} = 0{,}9; \quad \beta_n = \frac{\beta_2 + \beta_3}{2 d_n} = \frac{85{,}3+84{,}6}{2 \cdot 94{,}6} = 0{,}9.$$

Имея в виду, что продольные контактные трещины отсутствуют, приведенные жесткости полок и ребер равняются таковым без трещин, а ширина зон падения жесткостей в местах образования трещин $t = 0$. Тогда:

$$M^a = \frac{E}{d_n \left(\frac{\beta_p^3 h_p}{\delta_p^3} + \frac{\beta_n^3 d_n}{\delta_n^3} \right)} = \frac{E}{94{,}6 \left(\frac{0{,}9^3 \cdot 88{,}2}{6^3} + \frac{0{,}9^3 \cdot 94{,}6}{5{,}2^3} \right)}$$

$$= 1{,}34 \cdot 10^{-2} E;$$

$$S = \frac{8 M^a}{d_n} = \frac{8 \cdot 1{,}34 \cdot 10^{-2} \cdot E}{94{,}6} = 1{,}13 \cdot 10^{-3} E;$$

$$\bar{W}_0^a = \frac{l^2}{G \cdot \pi^2 h_p^2} \left(\frac{h_p}{\delta_p} + \frac{d_n}{\delta_n} \right) = \frac{1740^2}{0{,}4 E \cdot 3{,}14 \cdot 88{,}2^2} \left(\frac{88{,}2}{6} + \right.$$

$$\left. + \frac{94{,}6}{5{,}2} \right) = \frac{3242}{E};$$

$$\bar{U}_0^a = \frac{d_n \cdot l}{2 G \pi \delta_n h_p} = \frac{94{,}6 \cdot 1740}{0{,}8 \cdot E \cdot 3{,}14 \cdot 5{,}2 \cdot 88{,}2} = \frac{143}{E};$$

$$\phi = \frac{1}{1 + 0{,}5 \cdot S \cdot W_0^a} = \frac{1}{1 + 0{,}5 \cdot 1{,}13 \cdot 10^{-3} \cdot 3242} = 0{,}35;$$

$$W_0^a = \phi \bar{W}_0^a = 0{,}35 \cdot \frac{3242}{E} = \frac{1135}{E};$$

$$U_0^a = \phi \bar{U}_0^a = 0{,}35 \cdot \frac{143}{E} = \frac{50}{E}.$$

Жесткостной коэффициент (см. п. 14), необходимый для определения реакций между однокоробчатыми настилами, равен:

$$\rho_0 = W_0^a / W_0^c = 1135/56000 = 0{,}02 .$$

При двух пустотах реакция в асимметрично загруженном единичными реакциями по ребрам коробчатом настиле определяется по формуле (33):

$$\bar{v}_1 = 2\rho\bar{v}_1 \cdot \sin\frac{\pi x}{\ell} = \frac{(1-\rho_0)\cdot\sin\frac{\pi x}{\ell}}{1+\rho_0} = 0{,}96\cdot\sin\frac{\pi x}{\ell},$$

а в симметрично загруженном настиле – равняется нулю.

Тогда амплитудные прогибы ребер настила (40) равняются:

$$W_p^a = \frac{1}{2E}\left[W_0^a(1+\bar{v}_1^a) + W_0^c(1-\bar{v}_1^a)\right] = \frac{1}{2E}\times$$

$$\times\left[1135(1+0{,}96)+56000(1-0{,}96)\right] = \frac{2232}{E};$$

$$W_p^c = \frac{1}{2E}\left(W_0^a + W_0^c\right) = \frac{1}{2E}(1135+56000) = \frac{2856}{E}.$$

Определим прогибы консолей полок (41). Коэффициенты учитывающие влияние вутов (43), равняются:

$$\beta_0 = \frac{h_0}{h_w} = \frac{76}{82{,}8} = 0{,}92; \quad \beta_1 = \frac{d_1}{d_w} = \frac{80{,}6}{86} = 0{,}94;$$

$$\beta_K = \frac{d_0}{d_K} = \frac{48{,}3}{53{,}35} = 0{,}91;$$

а коэффициент

$$\lambda = \frac{1}{1+\left(\frac{\delta_2}{\delta_p}\right)^3\frac{h_0}{d_1}} = \frac{1}{1+\left(\frac{9{,}8}{6{,}7}\right)^3\cdot\frac{7{,}6}{80{,}6}} = 0{,}25 .$$

Фиктивные изгибные жесткости консолей полок (41) при отсутствии продольных трещин также определяются по упрощенной формуле (42) и при действии реакций равняются:

$$B_{KV}^{\phi} = \frac{1}{\frac{\beta_K^3}{B_K} + \frac{\beta_0^3\lambda^2 h_w}{B_p d_K} + \frac{\beta_1^3(1-\lambda)^2 d_w}{B_n d_K}} =$$

$$= \frac{E}{12\cdot10^{-4}\left(0{,}31^3 + \frac{0{,}92^3\cdot0{,}25^2\cdot82{,}8}{6{,}7^3\cdot53{,}35} + \right.}$$

$$\left. + \frac{0{,}94^3(1-0{,}25)^2\ 86}{9{,}8^3\cdot53{,}35}\right) = 46{,}8\cdot E \ ;$$

а при действии нагрузки:

$$B_{kq}^{\phi} = \frac{1}{\frac{1}{B_K}\beta_K^2 + \frac{\beta_0^2\lambda^2\gamma_w}{B_0 d_K} + \frac{\beta_1^2(1-\lambda^2)d_w}{B_n d_K}} =$$

$$= \frac{E}{12\cdot10^{-4}(0{,}75\cdot7{,}31+2{,}51+8)} = 52{,}1\cdot E .$$

Подставив значения найденных жесткостей в формулу (41), получим:

$$W_K^{c/a} = \frac{d_K^3}{3B_{KV}^{\phi}} = \frac{53{,}35^3}{3\cdot46{,}8E} = \frac{1082}{E} \ ; W_K^{q} = \frac{d_K^3}{3B_{Kq}^{\phi}} = \frac{53{,}35^3}{3\cdot2\cdot52{,}1E} =$$

$$= \frac{486}{E} .$$

Податливость стыков между настилами (45) при наличии армированной бетонной подготовки можно не учитывать, принимая $W_c = 0$.

Зная единичные прогибы крайних ребер и консолей настила, определим единичные прогибы вдоль швов (30):

$$W^c = W_p^c + W_K = (\approx 8568+1082)/E = 29650/E \ ;$$

$$W^a = W_p^a + W_K = (2932+1082)/E = 3314/E \ ;$$

$$W_q^c = W_p^q + W_K^q = (14000+486)/E = 14486/E .$$

Определение реакций между настилами

При найденных значениях единичных прогибов определим жесткостные коэффициенты (21) и амплитудные значения реакций в нулевом (28) и первом шве (19):

$$\tau = \frac{W^a}{W^c} = \frac{3314}{29650} = 0{,}112; \ \sqrt{\tau} = \sqrt{0{,}112} = 0{,}335; \ \gamma =$$

$$= \frac{1-\sqrt{\tau}}{1+\sqrt{\tau}} = \frac{1-0{,}335}{1+0{,}335} = 0{,}5;$$

$V_0 = \frac{q_3 \cdot b}{4\sqrt{2}} = \frac{0{,}03 \cdot 300}{4 \cdot 0{,}335} = 6700$ Н/м (6,7 $\frac{\text{кгс}}{\text{см}}$); $V_1 = V_0 \cdot \Gamma =$

$= 6{,}7 \cdot 0{,}5 = 3350$ Н/м (3,35 $\frac{\text{кгс}}{\text{см}}$).

Ширина вовлекаемых в пространственную работу участков перекрытий (рис. 1, б,в) равняется:

$$b_y^I = b_y^{II} = b/\sqrt{2} = 3/0{,}335 = 9 \text{ м} \quad (900 \text{ см}).$$

Следовательно, в совместную работу вовлекается шесть коробчатых настилов.

Определение усилий в пространственно деформируемом коробчатом настиле

Поперечные изгибающие моменты в коробчатых настилах возникают от действия нагрузки и реакций от пространственной работы перекрытия (рис. 2, в, г, д).

Постоянная нагрузка на настиле равняется:

$q_n = q_{n1} + q_{c.b}^n = 250 + 90 = 3400$ Н/м^2 $= 3400$ Па (340 кгс/м^2), где q_{n1} – постоянная часть нормативной нагрузки, принимается не менее массы монолитной подготовки под полы; $q_{c.b}^n$ – нормативная нагрузка от собственного веса верхней полки.

На участке перекрытия, загруженном временной нагрузкой, суммарная нормативная нагрузка на полке равняется

$q_c = q_n + q_3 = 340 + 300 = 6400$ Па (640 кгс/м^2).

Поперечные изгибающие моменты в коробчатом настиле от нагрузки на полке (рис. 3) определяются (48) с использованием жесткостного коэффициента (33):

$$\beta_0 = 1/\left(1 + \frac{4 B_n h_0}{3 B_p d_1}\right) = 1/\left(1 + \frac{4 \cdot 9{,}8^3 \cdot 76}{3 \cdot 6{,}7^3 \cdot 80{,}6}\right) = 0{,}2 .$$

При ширине полосы настила вдоль пролета $l_x = 100$ см моменты от постоянной (рис. 2, г) нагрузки составляют:

$$M_0'' = \frac{q_n d^2}{12} \beta_0 = \frac{3{,}4 \cdot 95{,}4^2}{12} \cdot 0{,}2 = 51{,}60 \text{ Н.м}$$

(516 кгс· м),

$$M_1^n = -2M_{cp}^n = \frac{q_n \cdot a^2(3-\lambda_0)}{24} = \frac{3,4 \cdot 95,4^2 \cdot (3-0,2)}{24}$$

= 361 Н·м (3610 кгс· м), а с учетом временной нагрузки равняются:

$$M_0^{bp} = M_0^n \frac{q_c}{q_n} = 516 \cdot \frac{6,4}{3,4} = 971 \text{ кгс·см}; \quad M_1^{bp} = -2M_{cp}^{bp} =$$

$$= M_1^n \frac{q_c}{q_n} = 3610 \frac{6,4}{3,4} = 679,5 \text{ Н·м (6795 кгс· м)}.$$

При отсутствии трещин в коробчатых настилах, расположенных с обеих сторон от нулевого шва (рис. 1, г,д), ординаты эпюр поперечных изгибающих моментов M_y^v (рис. 3) одинаковые и получаются в результате сложения эпюр в однокоробчатых настилах. Реакция между последними

$$v_1 = \frac{V_0 + V_1}{2} \bar{v}_1 = \frac{6,7+3,35}{2} \cdot 0,96 = 4800 \text{ Н/м}$$

(4,8 кгс/см).

Нулевая точка на ребре (рис. 2,е) в эпюре поперечных изгибающих моментов однокоробчатого настила с разными толщинами полок равняется (21): $e = \frac{1}{1+A_н/A_в} =$

$$= \frac{1}{1+\left(\frac{\delta_2}{\delta_2}\right)^3 \left(\frac{\delta_2^3}{\beta_p h_p} + \frac{3\delta_2^3}{B_2 d_n}\right) / \left(\frac{\delta_2^3}{\beta_p h_p} + \frac{3\delta_3^3}{B_3 d_n}\right)} =$$

$$= \frac{88,2}{1+\left(\frac{3,8}{9,8}\right)^3 \left(\frac{6^3}{0,9 \cdot 88,2} + \frac{3 \cdot 9,8^3}{0,89 \cdot 94,6}\right) / \left(\frac{6^3}{0,9 \cdot 88,2} + \frac{3 \cdot 3,5^3}{0,9 \cdot 94,6}\right)} =$$

=0,634 м (63,4 см).

Тогда изгибающие моменты в верхних и нижних узлах первого однокоробчатого настила (j =1) (рис. 4,в) определяются по формулам (38, 52):

$$M_1^e = \frac{V_0 + v_1}{2} 2M^a \frac{e}{h_p} e_x W_0^a = (6,7+4,8) \times$$

$$\times 1,34 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{63,4}{88,2} \cdot 100 \frac{1135}{E} = 1257,2 \text{ Н·м}$$

(12572 кгс· м); $M_1^n = M_1^e \frac{h_p - e}{e} = 12572 \frac{88,2-63,4}{63,4} =$

=491,8 Н·м (4918 кгс·см), а в узлах второго настила соответственно составит:

$$M_2^в = M_1^в \frac{V_1 + v_1}{V_0 + v_1} = 12572 \frac{3,35+4,8}{6,7+4,8} = 891 \text{ Н·м}$$

(8910 кгс·м);

$$M_2^н = M_2^в \frac{h_р - e}{e} = 8910 \frac{88,2-63,4}{63,4} = 348,5 \text{ Н·м}$$

(3485 кгс·м).

Поперечные изгибающие моменты в коробчатом настиле от нагрузки и реакций на консоли полки определяются в соответствии с рекомендациями п. 27.

В настиле, загруженном постоянной нагрузкой (рис. 4 е), моменты в середине пролета X=1/2 в узле возле реакции V_0 равняются (50):

$$M_{10}^к = 0,5 q_п d_к^2 + V_0 c_x d_к = 0,5 \cdot 3,4 \cdot 53,35^2 +$$

$$+6,7 \cdot 100 \cdot 53,35 = 4057,4 \text{ Н·м (40574 кгс·м)};$$

$$M_{10}^р = M_{10}^к \lambda = 40574 \cdot 0,25 = 1014,4 \text{ Н·м (10144 кгс·м)}$$

$$M_{10}^п = M_{10}^к (1-\lambda) = 40574(1-0,25) = 3043 \text{ Н·м}$$

(30430 кгс·см);

а в узле возле реакции V_1 равняются:

$$M_{11}^к = 0,5 q_п d_к^2 - V_1 c_x d_к = 4838 - 3,35 \cdot 100 \cdot 53,35 =$$

$$= -1303,4 \text{ Н·м (-13034 кгс·м)};$$

$$M_{11}^р = M_{11}^к \lambda = -13034 \cdot 0,25 = -325,8 \text{ Н·м (-3258 кгс·м}$$

$$M_{11}^п = M_{11}^к (1-\lambda) = -977,6 \text{ Н·м (-9776 кгс·м)}$$

Аналогично определяем моменты в узлах коробчатого настила дополнительно загруженного временной нагрузкой (рис. 4,ж):

$$M_{20}^к = 0,5 q_в d_к^2 - V_0 c_x d_к = 0,5 \cdot 6,4 \cdot 53,35^2 -$$

$$-6,7 \cdot 100 \cdot 53,35 = -2663,6 \text{ Н·м (-26636 кгс·м)};$$

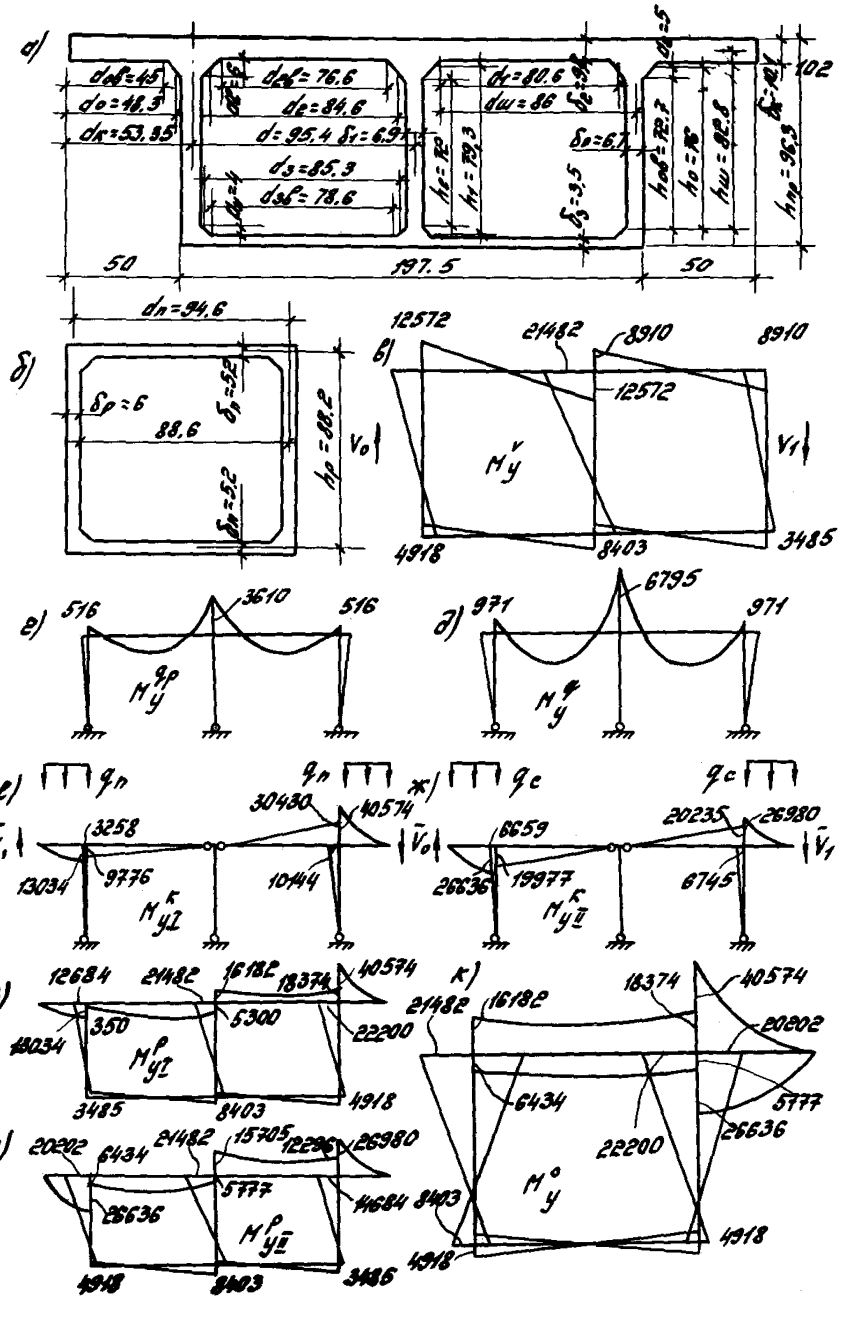


Рис. 4. Пример пространственного расчета коробчатого настила

$M^{р}_{II0} = M^{к}_{II0}\,\lambda$ =-665,9 Н·м (-6659 кгс·см); $M^{п}_{II0} = M^{к}_{II0}(1-\lambda)$=1997,7 Н·м (-19977 кгс· м);

$M^{к}_{II1}$ =0,5 $q_c\, d_к^2 + V_1\, l_x \cdot d_к$ =9108+17872=2698 Н·м (26980 кгс· м);

$M^{р}_{II1} = M^{к}_{II1}\,\lambda$ =674,5 Н·м (6745 кгс· м); $M^{п}_{II1}$ = $= M^{к}_{IIк}\,(1-\lambda)$=2023,5 Н·м (20235 кгс· м).

На рис. 4, з, и приведены расчетные эпюры в настилах, расположенных с обеих сторон от нулевого шва перекрытия (рис. 1, г) в соответствии с п. 29 прил. 1. В результате наложения расчетных эпюр построена огибающая эпюра моментов в коробчатом настиле (рис. 4, к).

Моменты трещинообразования консолей, полок и ребер больше значений моментов огибающей эпюры в сечениях в начале вутов, поэтому продольные контактные трещины не образуются и повторного пространственного расчета не требуется (см. п. 31).

По значениям моментов огибающей эпюры в сечениях в начале вутов выполняется подбор поперечной арматуры в консолях, полках и ребрах в средней части пролета коробчатого настила.

Таблица 1. Значения функции ошибок Гаусса ($erf\,x$)

x	$erf\,x$	x	$erf\,x$	x	$erf\,x$	x	$erf\,x$
1	2	3	4	5	6	7	8
0,00	0,00000	0,13	0,14587	0,25	0,27633	0,38	0,40901
0,01	0,01128	0,14	0,15695	0,26	0,28690	0,39	0,41874
0,02	0,02256	0,15	0,16800	0,27	0,29742	0,40	0,42839
0,03	0,03384	0,16	0,17901	0,28	0,30788	0,41	0,43797
0,04	0,04511	0,17	0,18999	0,29	0,31828	0,42	0,44747
0,05	0,05637	0,18	0,20094	0,30	0,32863	0,43	0,45689
0,06	0,06762	0,19	0,21184	0,31	0,33891	0,44	0,46622
0,07	0,07886	0,20	0,22270	0,32	0,34913	0,45	0,47548
0,08	0,09008	0,21	0,23352	0,33	0,35928	0,46	0,48466
0,09	0,10128	0,22	0,24430	0,34	0,36936	0,47	0,49374
0,10	0,11246	0,23	0,25502	0,35	0,37938	0,48	0,50275
0,11	0,12362	0,24	0,26570	0,36	0,38933	0,49	0,51167
0,12	0,13476			0,37	0,39921		

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
0,50	0,52050	0,63	0,62705	0,75	0,71116	0,88	0,78669
0,51	0,52924	0,64	0,63459	0,76	0,71754	0,89	0,79184
0,52	0,53790	0,65	0,64203	0,77	0,72382	0,90	0,79691
0,53	0,54646	0,66	0,64938	0,78	0,73001	0,91	0,80188
0,54	0,55494	0,67	0,65663	0,79	0,73610	0,92	0,80677
0,55	0,56332	0,68	0,66378	0,80	0,74210	0,93	0,81156
0,56	0,57162	0,69	0,67084	0,81	0,74800	0,94	0,81627
0,57	0,57982	0,70	0,67780	0,82	0,75381	0,95	0,82089
0,58	0,58792	0,71	0,68467	0,83	0,75952	0,96	0,82542
0,59	0,59594	0,72	0,69143	0,84	0,76514	0,97	0,82987
0,60	0,60386	0,73	0,69810	0,85	0,77067	0,98	0,83423
0,61	0,61168	0,74	0,70468	0,86	0,77610	0,99	0,83851
0,62	0,61941			0,87	0,78144	1,00	0,84270
						1,01	0,84681
						1,02	0,85084

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
1,03	0,85478	1,18	0,90484	1,28	0,92973	1,43	0,95686
1,04	0,85865	1,19	0,90761	1,29	0,93190	1,44	0,95830
1,05	0,86244	1,20	0,91031	1,30	0,93401	1,45	0,95970
1,06	0,86614	1,21	0,91296	1,31	0,93606	1,46	0,96105
1,07	0,86977	1,22	0,91553	1,32	0,93806	1,47	0,96237
1,08	0,87333	1,23	0,91405	1,33	0,94002	1,48	0,96365
1,09	0,87680	1,24	0,92050	1,34	0,94191	1,49	0,96490
1,10	0,88020	1,25	0,92290	1,35	0,94376	1,50	0,96610
1,11	0,88353	1,26	0,92524	1,36	0,94556	1,51	0,96728
1,12	0,88679	1,27	0,92751	1,37	0,94731	1,52	0,96841
1,13	0,88997			1,38	0,94902		
1,14	0,89308			1,39	0,95067		
1,15	0,89612			1,40	0,95228		
1,16	0,89910			1,41	0,95385		
1,17	0,90200			1,42	0,95538		

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
1,53	0,96952	1,68	0,98249	1,78	0,98817	1,93	0,99366
1,54	0,97059	1,69	0,98315	1,79	0,98864	1,94	0,99392
1,55	0,97162	1,70	0,98379	1,80	0,98909	1,95	0,99418
1,56	0,97263	1,71	0,98441	1,81	0,98952	1,96	0,99448
1,57	0,97360	1,72	0,98500	1,82	0,98994	1,97	0,99466
1,58	0,97455	1,73	0,98558	1,83	0,99035	1,98	0,99489
1,59	0,97546	1,74	0,98613	1,84	0,99074	1,99	0,99511
1,60	0,97635	1,75	0,98667	1,85	0,99111	2,00	0,995322
1,61	0,97721	1,76	0,98719	1,86	0,99147	2,02	0,995720
1,62	0,97804	1,77	0,98769	1,87	0,99182	2,04	0,996086
1,63	0,97884			1,88	0,99216	2,06	0,996424
1,64	0,97962			1,89	0,99248	2,08	0,996734
1,65	0,98038			1,90	0,99279	2,10	0,997020
1,66	0,98110			1,91	0,99309	2,12	0,997284
1,67	0,98181			1,92	0,99338	2,14	0,997525

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
2,16	0,997747	2,40	0,999311	2,75	0,999899		
2,18	0,997951	2,42	0,999379	2,80	0,999925		
2,20	0,998137	2,44	0,999551	2,85	0,999944		
2,22	0,998308	2,46	0,999497	2,90	0,999959		
2,24	0,998464	2,48	0,999547	2,95	0,999970		
2,26	0,998607	2,50	0,999593	3,00	0,999978		
2,28	0,998738	2,55	0,999689	3,20	0,999994		
2,30	0,998857	2,60	0,999764	3,40	0,999998		
2,32	0,998966	2,65	0,999822	3,60	1,000000		
2,34	0,999065	2,70	0,999866	-	-		
2,36	0,999155						
2,38	0,999237						

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие 3

1. Общие положения

Проектирование и применение 4

Основные расчетные требования 8

Предварительные напряжения в коробчатом настиле. 9

2. Материалы конструкции 10

Бетон 10

Арматурные стали и закладные изделия . . 10

3. Расчет коробчатого настила по предельным состояниям первой группы

Расчет по прочности сечений, нормальных к продольной оси коробчатого настила . . 11

Расчет по прочности сечений, наклонных к продольной оси коробчатого настила. . . 12

Расчет сечений полок коробчатого настила 12

4. Расчет коробчатого настила по предельным состояниям второй группы 13

Расчет по образованию трещин, нормальных и наклонных к продольной оси коробчатого настила 13

Расчет коробчатого настила по раскрытию трещин 13

Расчет по закрытию трещин, нормальных к продольной оси коробчатого настила . . 13

Расчет коробчатого настила по деформациям 14

Стр.

Расчет по образованию и раскрытию трещин в приопорной зоне нижней полки коробчатого настила 14

5. Расчет коробчатого настила на воздействие усилий, возникающих при подъеме, монтаже и транспортировании 15

6. Пространственный расчет перекрытия с коробчатыми настилами 16

7. Расчет коробчатых настилов на динамические воздействия 16

8. Расчет коробчатого настила на температурные воздействия 17

9. Теплотехнический расчет покрытий с коробчатыми настилами 17

Расчет требуемого сопротивления теплопередаче покрытия 17

Расчет пароизоляции покрытия с коробчатыми настилами 18

10. Расчет коробчатого настила на огневые воздействия 19

11. Конструктивные требования 23

Толщины полок и ребер коробчатого настила, защитные слои бетона 23

12. Конструктивные схемы зданий с применением коробчатых настилов 27

13. Узлы сопряжений торцов коробчатых настилов 29

14. Рекомендации по применению коробчатых настилов в сочетании со светильниками искусственного освещения и акустическими потолками 31

Стр.

15. Технология изготовления коробчатых настилов

Технологическая схема производства. . . 35

Формовочное оборудование. 36

Требования к формовочному оборудованию . 37

Материалы для изготовления коробчатого настила 38

Порядок формования коробчатых настилов . 38

Маркировка и складирование коробчатых настилов 41

Техника безопасности 41

16. Правила перевозки коробчатых настилов. . . 42

Перевозка железнодорожным транспортом 42

Перевозка автомобильным транспортом . . 44

Техника безопасности при транспортировании 47

17. Примеры расчета 48

Расчет коробчатого настила по предельным состояниям первой и второй групп . . 48

Расчет коробчатого настила перекрытия на динамические воздействия 71

Расчет коробчатого настила на огневые воздействия 79

Теплотехнический расчет покрытия с коробчатыми настилами 85

Приложение 1. Пространственный расчет перекрытия с коробчатыми настилами 87

Приложение 2. Значения функции ошибок Гаусса ($erf\,x$) 107

115

Рекомендации
по проектированию и применению железобетонных коробчатых настилов для покрытий и перекрытий

Редактор Л.Н.Кузьмина

Технический редактор П.И.Орехов

Корректор О.В.Иванова

Л-85179 Сдано в набор 25.02.87. Подписано в печать 18.02.87. Формат 60x90 1/16. Печ.л. 7,25 Уч.-изд. л. 6. Усл. кр.-отт. 7,5 Бумага офсетная № 1. Тираж 1000экз. Цена 60 коп. Заказ № 1002

ЦНИИпромзданий, 127238, Москва, Дмитровское ш., 46.
ПЭМ ВНИИИСа Госстроя СССР, 121471, Москва, Можайское шоссе, 25.

gost.e-ecolog.ru