**Расчет предварительно напряженной двускатной двутавровой балки покрытия пролетом 18м (третьей категории трещиностойкости)**

**1 Расчетные данные**

Район строительства г. Уренгой, V снеговой район, нормативная снеговая нагрузка - 

Пролёт балки ****

Шаг балок 

Бетон тяжелый класса В30 с расчетными характеристиками при коэффициенте условий работы :



Обжатие производится при передаточной прочности бетона .

Расчетные характеристики бетона для класса, численно равного передаточной прочности () и при :



Предварительно напрягаемая стержневая арматура A-V 

Ненапрягаемая арматура:

класса A-III при  при 



и из обыкновенной арматурной проволоки класса Вр-1 при



Способ натяжения арматуры – механический на упоры форм. Изделие подвергается тепловой обработке (пропарке) при атмосферном давлении.

Влажность воздуха более 40%.

Общий вид балки и сечения приведены на рис.1.

**2 Расчетный пролет и нагрузки**

Расчетный пролет принимаем равным расстоянию между анкерными болтами (рисунок 2): ****

Подсчёт нагрузок на 1м2 балки с учетом коэффициента надежности по назначению здания выполнен в таблице 1.

Нагрузка на балку от плит перекрытия в местах опирания их продольных ребер передается в виде сосредоточенных грузов (рисунок 2б); однако



***Рисунок 1. Опалубочные размеры двутавровой балки L=18м***

При числе таких грузов  нагрузку условно можно считать равномерно распределенной.

Подсчёт нагрузок на 1м2 балки с учетом коэффициента надежности по назначению здания выполнен в таблице 1.

Нагрузка на балку от плит перекрытия в местах опирания их продольных ребер передается в виде сосредоточенных грузов (рисунок 2б); однако при числе таких грузов  нагрузку условно можно считать равномерно распределенной.

Нормативная нагрузка от собственного веса балки на 1м2, учитывая, что масса балки по проектным данным составляет 9,1т:



Собираем равномерно-распределенную нагрузку на балку с грузовой полосы, равной шагу балок 6м - определяем нагрузку на 1 п.м. балки.



***Рисунок 2. Расчетная схема балки и расположение сечений: а – расположение анкерных болтов; б – схема загружения балки; в – расположение расчетных сечений***

Расчетная схема двутавровой стропильной балки представляет внешне статически определимую (относительно опорных реакций) конструкцию и внутренне многократно статически неопределимую систему в виде рамы с жесткими узлами. При выполнении курсового и дипломного проекта допускается рассматривать балку как свободно опертую, загруженную равномерно распределенной нагрузкой (см. рисунок 2б). Как показали сопоставительные расчеты, усилия в поясах балки при такой расчетной схеме близки к усилиям, определенным при более точной расчетной схеме.

***Таблица 1 – Подсчет нагрузок на балку***

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование нагрузки | Нагрузка, кПа | | |  |
| Нормативная | Расчетная | |
|  |  |
| Нагрузка на 1м2 балки | | | | |
| Постоянная | | | | |
| Водоизоляционный ковер (три слоя  рубероида на мастике) | 0,090 | 0,086 | 0,111 | 1,3 |
| Асфальтовая стяжка | 0,360 | 0,342 | 0,445 | 1,3 |
| Плита покрытия ребристая 3х6м с учетом заливки швов | 1,580 | 1,500 | 1,650 | 1,1 |
| Нагрузка от собственного веса балки | 0,828 | 0,787 | 0,866 | 1,1 |
| Итого постоянная | 2,858 | 2,715 | 3,072 |  |
| 2. Временная | | | | |
| Временная полная | 2,000 | 1,900 | 2,660 | 1,4 |
| в.т.ч. длительнодействующая 2000х0,6 | 1,200 | 1,140 | 1,596 | 1,4 |
| 3. Полная | 4,858 | 4,615 | 5,732 |  |
| 4. Продолжительно действующая | 4,058 | 3,855 | 4,668 |  |
| Нагрузка на 1 п.м. балки (с полосы, шириной 6м) | | | | |
| Полная | 29,148 | 27,690 | 34,392 |  |
| Продолжительно действующая | 24,348 | 23,130 | 28,08 |  |

Для определения усилий в качестве расчетных сечений принимаем следующие (рисунок 2в):

|  |  |
| --- | --- |
| 0-0 | - по грани опоры балки; |
| I-I | - на расстоянии 1/6 пролета от опоры; |
| II-II | - в месте установки монтажной петли; |
| III-III | - на расстоянии 1/3 пролета от опоры; |
| IV-IV | - на расстоянии 0,37 пролета от опоры (опасное сечение при изгибе); |
| V-V | - в середине пролета. |

Сечения 0-0, I-I, III-III и V-V рассматриваются при оценке трещиностойкости и жесткости балки в стадии эксплуатации;, сечение II-II – для оценки прочности и трещиностойкости в стадии изготовления и монтажа; IV-IV – для подбора продольной арматуры балки.

Изгибающие моменты в сечениях определяем из выражения

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

где Q – поперечная сила на опоре (опорная реакция);

xi – расстояние от опоры до i-го сечения.

Поперечная сила на опоре:

при 

от полной нагрузки 

от продолжительно действующей нагрузки 

при 

от полной нагрузки 

Значения изгибающих моментов приведены в таблице 2.

***Таблица 2 – Изгибающие моменты в сечениях балки***

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Сечения | х,  м | Моменты, , при коэффициенте надежности | | |
|  | |  |
| от продолжительной  нагрузки | от полной нагрузки | от полной  нагрузки |
| 0-0 | 0,15 | 30,44 | 36,45 | 45,27 |
| I-I | 2,95 | 503,22 | 602,44 | 748,24 |
| II-II | 3,95 | 628,12 | 751,97 | 933,96 |
| III-III | 5,9 | 805,15 | 963,91 | 1197,19 |
| IV-IV | 6,55 | 844,62 | 1011,16 | 1255,87 |
| V-V | 8,85 | 905,80 | 1084,41 | 1346,84 |

**3 Предварительный подбор продольной напрягаемой арматуры**

Поскольку потери предварительного напряжения пока неизвестны, требуемую площадь сечения напрягаемой арматуры определим приближенно, а после вычисления потерь проверим несущую способность. Подбор сечения предварительно напряженной арматуры ведем без учета конструктивной арматуры.

Рассматриваем сечение IV-IV как наиболее опасное:



 при симметричном расположении арматуры по высоте нижнего пояса. В верхнем поясе балки предусматриваем конструктивную арматуру в количестве 4 ¢ 12 А-III (),

 ; в нижнем поясе - 4 ¢ 5 Вр-I () в виде сетки, охватывающей напрягаемую арматуру.

1. **Рабочая высота сечения**



1. **Граничная относительная высота сжатой зоны бетона**



где 

при коэффициенте условий работы .

1. **Устанавливаем положение границы сжатой зоны**



следовательно, нижняя граница сжатой зоны проходит в пределах верхнего пояса балки

1. **Вспомогательные коэффициенты (с учетом арматуры ):**

;

, т.е сжатой арматуры достаточно;

;

.

1. **Требуемая площадь сечения напрягаемой арматуры**



Принимаем напрягаемую арматуру в количестве 2 ¢ 14+4 ¢ 16A-V (), которую равномерно распределяем по нижнему поясу балки.

**4 Определение геометрических характеристик приведенного сечения**

При определении геометрических характеристик сечений учитываем только предварительно напряженную арматуру. Последовательность вычислений приведем для сечения IV-IV.

**4.1 **

**4.2 Площадь приведенного сечения:**



где - для арматуры A-V;

- для арматуры Bp-I;

- для арматуры A-III;

**4.3 Статический момент приведенного сечения относительно нижней грани:**



4.4 Расстояние от центра тяжести сечения до нижней грани:



**4.5 Момент инерции сечения относительно центра тяжести**



**4.6 Момент сопротивления приведенного сечения для крайнего нижнего волокна**

.

**4.7 Момент сопротивления приведенного сечения для крайнего верхнего волокна**

.

**4.8 Упругопластический момент сопротивления для нижнего волокна (для удобства вычислений размеры приняты в см.) согласно п.117 [1]****определяется в предположении отсутствия продольной силы *N* и усилия предварительного обжатия *P* по формуле**

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |
|  |  |

Положение нулевой линии определяется из условия

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

где  - статический момент площади бетона сжатой зоны относительно нулевой линии;

 - статический момент площади арматуры сжатой зоны относительно нулевой линии;

-статический момент площади арматуры растянутой зоны относительно нулевой линии;

 - площадь растянутой зоны в предположении, что .



Упругопластический момент сопротивления для крайнего растянутого волокна



где



- момент инерции площади сжатой зоны относительно нулевой линии;

 - момент инерции сечения арматуры растянутой зоны относительно нулевой линии;

 - момент инерции площади сечения арматуры сжатой зоны относительно нулевой линии;

 статический момент площади растянутого сечения относительно нулевой линии.

**4.9 Положение нулевой линии двутаврового сечения при растянутой верхней зоне определяем по той же методике в предположении, что**

;

 ;

-статический момент площади арматуры растянутой зоны относительно нулевой линии;

 - площадь растянутой зоны в предположении, что .



Упругопластический момент сопротивления для крайнего растянутого волокна







;

 .

Геометрические характеристики остальных приведенных сечений балки вычислены по аналогии и приведены в таблице 3.

***Таблица 3 – Геометрические характеристики приведенных сечений балки***

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сечение | ,  см2 | ,  см | ,  см4 | ,  см3 | ,  см3 | ,  см3 | ,  см3 |
| 0-0 | 3135 | 48,54 | 1926272 | 39686 | 45054 | 92061 | 120877 |
| I-I | 3835 | 60,67 | 3796457 | 62576 | 70363 | 75661 | 92015 |
| II-II | 2963 | 63,54 | 5030460 | 79165 | 84668 | 161248 | 162329 |
| III-III | 3093 | 72,09 | 7017798 | 97343 | 104564 | 160053 | 170884 |
| IV-IV | 3137 | 74,94 | 7764871 | 103621 | 111421 | 162324 | 176887 |
| V-V | 3371 | 83,29 | 11192173 | 134376 | 139030 | 177451 | 207003 |

**5 Определение потерь предварительного напряжения**

Принятое предварительное напряжение должно находится в пределах, рекомендуемых п. 1.15.[4].

-условие выполняется.

Вычисление потерь приведем на примере сечения IV-IV.

**5.1 Первые потери**

**5.1.1 От релаксации напряжений стержневой арматуры при механическом способе натяжения**



**5.1.2 От температурного перепада**



**5.1.3 От деформации анкерных устройств**

,

где ; -длина натягиваемого стержня диаметром d.

5.1.4 Потери от быстронатекающей ползучести определяем в следующих местах по высоте поперечного сечения:

- на уровне центра тяжести напрягаемой арматуры, т.е. при

;

- на уровне крайнего сжатого волокна бетона, т.е. при

;

- на уровне центра тяжести сжатой арматуры, т.е при

,

для чего вычисляем следующие параметры:

- усилия от обжатия  с учетом потерь при 

;

- напряжения в бетоне на уровне арматуры 



где ;

- то же на уровне сжатой арматуры ()

;

- то же на уровне крайнего сжатого волокна ()

.

Коэффициент больше нормированного значения 0,8, поэтому принимаем .

Для всех уровней сечения отношение , тогда потери от быстронатекающей ползучести соответственно составят:

;

;

.

Итого первые потери



Предварительное напряжение с учетом первых потерь



Усилие обжатия с учетом первых потерь



где,- напряжения в ненапрягаемой конструктивной арматуре соответственно .

Эксцентриситет усилия  относительно центра тяжести приведенного сечения

г

де , .

**5.2 Вторые потери**

1. **От усадки бетона .**
2. **От ползучести бетона:**

- напряжение на уровне центра тяжести предварительно напряженной арматуры ()

;

- то же на уровне сжатой арматуры ()

;

- то же на уровне крайнего сжатого волокна ()

.

При , тогда потери от быстронатекающей ползучести соответственно составят:

;

;

.

Итого вторые потери

Полные потериМПа

Предварительное напряжение с учетом полных потерь и при коэффициенте точности натяжения 



Усилие обжатия с учетом первых потерь



где,- напряжения в ненапрягаемой конструктивной арматуре соответственно .

Эксцентриситет усилия  относительно центра тяжести приведенного сечения



где , .

Характеристики предварительного напряжения для остальных сечений вычислены аналогично и приведены в таблице 4. для сечения 0-0, которое располагается в пределах зоны передачи предварительных напряжений с арматуры на бетон, при вычислении потерь учтены коэффициентыи .

**6 Расчет прочности наклонных сечений**

Так как фактическая нагрузка на балку приложена в виде сосредоточенных сил с шагом, равным ширине плит покрытия 3м, принимаем длину проекции наклонного сечения с=3м (расстояние от опоры до ближайшего сосредоточенного груза). В опорном сечении мм, тогда в конце расчетного наклонного сечения рабочая высота составит

,

а средняя рабочая высота в пределах наклонного сечения

.

Величину усилия обжатия примем равной среднему значению для сечений 0-0 и I-I (см. таблицу 4).

.

Проверяем необходимость постановки поперечной арматуры

;

;

где .

Так как одно из условий не выполняется, поперечную арматуру подбираем по расчету согласно п.3,22-3,23[4].

Для рассматриваемого наклонного сечения (от грани опоры до первого сосредоточенного груза) имеем:  ( в запас прочности); .





***Таблица 4 – Характеристики предварительного напряжения***

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сечение | Потери предварительного напряжения, МПа | | | | | | Усилия обжатия, кН | | Эксцентриситет, мм | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0-0 | 8,81 | 0,00 | 32,98 | 0,00 | 175,64 | 243,63 | 698,96 | 572,38 | 334 | 370 |
| I-I | 5,98 | 0,00 | 22,45 | 0,00 | 172,81 | 230,26 | 701,16 | 594,91 | 456 | 496 |
| II-II | 5,94 | 6,51 | 22,29 | 24,46 | 172,77 | 230,06 | 701,32 | 594,67 | 485 | 529 |
| III-III | 5,59 | 6,00 | 20,99 | 22,55 | 172,42 | 228,40 | 701,57 | 597,56 | 570 | 621 |
| IV-IV | 5,53 | 5,92 | 20,79 | 22,23 | 172,36 | 228,15 | 701,60 | 598,00 | 598 | 652 |
| V-V | 5,19 | 5,59 | 19,53 | 21,04 | 172,02 | 226,55 | 701,89 | 600,57 | 682 | 743 |

,

принимаем .





При требуемая интенсивность поперечного армирования

,

,

поэтому принимаем .

Максимально допустимый шаг поперечных стержней

.

Принимаем на приопорном участке шаг поперечных стержней

, тогда требуемая площадь сечения хомутов

.

Принимаем в поперечном сечении 2 ¢ 7 A-III() c шагом 150мм.

Выясним, на каком расстоянии от опоры шаг хомутов можно увеличить до 300мм.

- Фактическая интенсивность поперечного армирования:

- для шага ;

- для шага ;

.

- Задаем длину участка с шагом хомутов  равной расстоянию от опоры до первого груза. Длину проекции расчетного наклонного сечения принимаем равной расстоянию от опоры до второго груза, т.е. , но меньше расстояния  от опоры до сечения с максимальным моментом.

- Рабочая высота в конце расчетного наклонного сечения

.

- Длина проекции наклонной трещины в пределах рассматриваемого наклонного сечения

;

,

поэтому принимаем .

- При  поперечная сила, воспринимаемая хомутами:

.

- Поперечная сила, воспринимаемая бетоном в наклонном сечении:

.

- Наибольшая поперечная сила внешних нагрузок для рассматриваемого наклонного сечения с учетом п.3.22 [4]

,

где .

- Проверяем условие прочности наклонного сечения

,

т.е. прочность обеспечена.

Окончательно принимаем на приопорных участках длиной шаг хомутов , на остальной части пролета балки шаг хомутов .

**7 Проверка прочности нормальных сечений**

1. **Стадия изготовления и монтажа.**От совместного действия усилия обжатия P и собственного веса балки при подъеме возникают отрицательные изгибающие моменты, растягивающие верхнюю грань (рисунок 3, а). нагрузка от собственного веса принимается при коэффициенте надежности  с учетом коэффициента динамичности  и условно считается равномерно распределенной

.

Изгибающие моменты, возникающие в местах расположения подъемных петель, определяем по расчетным схемам на рисунке 6.6, б по принципу независимости действия сил.

**7.1.1** Нагрузка только в пролетах  и 

******;

******,

где фокусные отношения:

;

;

.

* + 1. **Нагрузка только на консолях **

***.***

Для определения момента  используем метод фокусов:

1. Фокусные отношения

;

.



***Рисунок 3. К расчету балки на стадии монтажа***

* + 1. **Момент на опоре В**

.

**7.1.4 Суммарные изгибающие моменты:**

;

.

Расчетным является сечение II-II на опоре А; высота сечения ; рабочая высота при растянутой верхней грани составляет 

**7.1.5 Усилие обжатия вводится в расчет как внешняя внецентренно приложенная сила N при коэффициенте точности натяжения **

,

где - при механическом способе натяжения.

* + 1. Эксцентриситет усилия обжатия

.

**7.1.7 Расчетное сопротивление** бетона в стадии изготовления и монтажа (т.е. для класса ) с учетом коэффициента условий работы .

**7.1.8 Граничная относительная** высота сжатой зоны бетона



где ;

 - так как в зоне, растянутой при обжатии, предусмотрена ненапрягаемая арматура класса A-III [4, п.3.6];

при коэффициенте условий работы .

**7.1.9 Устанавливаем положение границы** сжатой зоны

- граница сжатой зоны проходит в пределах нижнего пояса балки и сечение рассчитываем как прямоугольное высотой 

**7.1.10 Высота сжатой зоны**

,

где , так как устойчивость проволочной арматуры ¢ 5 Вр-I в нижнем (сжатом) поясе балки не обеспечена [4, п.5.39].

**7.1.11** При  несущую способность проверяем из условия

следовательно, прочность сечения в этой стадии обеспечена.

1. **Стадия эксплуатации*.* Проверяем прочность наиболее опасного сечения IV-IV, расположенного на расстоянии  от опоры.**

**7.2.1** .

**7.2.2** Граничная относительная высота сжатой зоны бетона



где  - вычислено ранее;  при ;

;

;

МПа (см. таблицу 4);

;

МПа.

**7.2.3** Устанавливаем положение границы сжатой зоны, принимая в первом приближении коэффициент :



- граница сжатой зоны проходит в пределах верхнего пояса балки и сечение рассчитываем как прямоугольное высотой 

**7.2.4** Высота сжатой зоны при 

,

**7.2.5** 

**7.2.6**- принимаем.

**7.2.7** Предельный момент, воспринимаемый сечением IV-IV:



следовательно, прочность сечения в этой стадии обеспечена.

**8 Расчет по образованию нормальных трещин**

Расчет выполняется для стадии изготовления и эксплуатации на действие расчетных нагрузок м коэффициентом надежности  и коэффициентом точности натяжения .

**8.1 Стадия изготовления.** Рассматриваем следующие сечения по длине балки : II – наиболее опасное по раскрытию верхних (начальных) трещин в момент подъема; 0-0, I-I, II-II, III-III иV-V – для выяснения необходимости учета начальных трещин в сжатой зоне при расчете по трещиностойкости нижней зоны и по деформациям.

Расчет выполним на примере сечения II-II. Исходные данные для расчета принимаем по таблицам 2 и 3. Образование верхних (начальных) трещин при обжатии элемента из условия (3)

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

где  - расстояние от центра тяжести приведенного сечения до нижней ядровой точки;

- коэффициент, учитывающий неупругие деформации сжатого бетона и обусловленное ими уменьшение размеров ядра сечения;

 - момент от собственного веса элемента; принимается со знаком «+», когда направление этого момента и момента усилия  совпадают.

Усилие обжатия , эксцентриситет мм. Изгибающий момент от собственного веса для сечения II-II с учетом коэффициента динамичности при подъеме 

.

Максимальное краевое напряжение в сжатом бетоне от действия собственного веса усилия обжатия ()

.

Тогда ; принимаем, тогда .

с

ледовательно, в сечении II-II при подъеме балки образуются начальные (верхние) трещины. В связи с чем необходимо проверить ширину их раскрытия. Проверка трещиностойкости остальных сечений выполнена аналогично и результаты ее приведены в таблице 5.

***Таблица 5 – К расчету образования начальных (верхних) трещин***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Сечение | Моменты, | | Верхние трещины |
|  |  |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 0-0 | 188,3 | 188,6 | Образуются |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| I-I | 246,0 | 143,5 | Образуются |
| II-II | 194,5 | 253,2 | Не образуются |
| III-III | 181,8 | 266,6 | Не образуются |
| IV-IV | 253,2 | 275,9 | Не образуются |
| V-V | 271,8 | 322,9 | Не образуются |

**8.2 Стадия эксплуатации.** Расчет по образованию нормальных трещин производится в условиях (5.7)

|  |  |
| --- | --- |
| , | (4) |

где  - изгибающий момент от внешних нагрузок с коэффициентом надежности по нагрузке ;  - момент, воспринимаемый сечением при образовании нормальных трещин; здесь  - момент усилия обжатия относительно ядровой точки сечения, наиболее удаленной от грани, трещиностойкость которой проверяется (на данной стадии проверяется трещиностойкость нижней грани балки, следовательно момент  определяется относительно верхней ядровой точки сечения). Расчет проводим на примере сечения IV-IV. По таблице 4 усилие обжатия , его эксцентриситет , изгибающий момент в сечении IV-IV по таблице 2 .

Максимальное напряжение в крайнем сжатом волокне бетона ()

.

Тогда , принимаем , тогда .

Момент образования трещин



При  в стадии эксплуатации в нижней грани балки образуются нормальные трещины и необходимо выполнить расчет по их раскрытию. Результаты определения момента образования трещин  для остальных сечений приведены в таблице 6.

***Таблица 6 – К расчету образования трещин в стадии эксплуатации***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Сечение | Моменты, | | Нормальные трещины |
|  |  |
| 0-0 | 36,45 | 305,20 | Не образуются |
| I-I | 602,44 | 334,16 | Образуются |
| II-II | 751,97 | 446,19 | Образуются |
| III-III | 963,91 | 471,13 | Образуются |
| IV-IV | 1011,16 | 484,32 | Образуются |
| V-V | 1084,41 | 525,97 | Образуются |

**9 Расчет по раскрытию нормальных трещин**

**9.1 Стадия изготовления и монтажа.** Проверяем раскрытие трещин в сечении II-II. В данном сечении действует усилие обжатия  с эксцентриситетом мм и момент от собственного веса (с учетом коэффициента динамичности ),

; высота сечения ; рабочая высота сечения .

Вычисляем вспомогательные коэффициенты и параметры.

**9.1.1** Эксцентриситет усилия  относительно центра тяжести растянутой арматуры верхнего пояса балки

.

**9.1.2** Заменяющий момент всех усилий относительно центра тяжести растянутой арматуры верхнего пояса

.

**9.1.3** ;

,

где , ;

 - при непродолжительном действии нагрузки;

;

;

;

;



Принимаем .

Плечо внутренней пары сил в сечении с трещиной

.

Напряжение в растянутой арматуре верхнего пояса балки



- неупругие деформации в арматуре не возникают.

Ширина непродолжительного раскрытия начальных трещин



где [4, п.4.15].

**9.2 Стадия эксплуатации.** Рассматриваем наиболее напряженное сечение IV-IV, в котором действует усилие обжатия  с эксцентриситетом  и момент от полной нагрузки , в т.ч. момент от продолжительно действующей нагрузки ; высота сечения , рабочая высота .

Определяем непродолжительное раскрытие трещин от полной нагрузки.

1. Вспомогательные коэффициенты и параметры

мм,

,

;

;

;

;

;

.

**9.2.2** Относительная высота сжатой зоны в сечении с трещиной



следовательно высота сжатой зоны бетона мм

9.2.3 Плечо внутренней пары сил в сечении с трещиной

.

**9.2.4** Так как растянутая арматура расположена в два ряда по высоте сечения нижнего пояса, напряжения в ней определяем с учетом коэффициента , равного:

.

где - расстояние до центра тяжести всей растянутой арматуры нижнего пояса балки;  то же до нижнего ряда стержней.

* + 1. Приращение напряжений в растянутой арматуре

.

9.2.6 Средний диаметр растянутой арматуры

.

* + 1. Ширина непродолжительного раскрытия трещин



где .

Определим непродолжительное (начальное) раскрытие трещин от продолжительно действующей нагрузки.

Высота сжатой зоны мм в данном случае не изменится (с уменьшением нагрузки она увеличивается), поэтому не изменится и плечо внутренней пары сил . Тогда приращение напряжений в растянутой арматуре

,

а ширина непродолжительного раскрытия трещин от продолжительно действующей нагрузки

.

Определим продолжительное раскрытие трещин от продолжительно действующей нагрузки, для которой

.

Тогда ширина продолжительного раскрытия трещин

.

Полная (непродолжительная) ширина раскрытия трещин

.

**10 Определение прогиба балки**

В соответствии с таблицей 19 разд.10[2] для элементов покрытий зданий производственного назначения прогиб ограничивается эстетико-психологическими требованиями и определяется только от продолжительно действующих нагрузок (постоянных и временных длительно действующих).

Наша балка представляет сквозной стержень переменного сечения, прогиб которого приближенно можно определить по формуле (5)

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

где - кривизна на опоре (сечение 0-0);

- кривизна в сечении на расстоянии  от опоры;

- кривизна в сечении на расстоянии  от опоры;

- кривизна в сечении посередине пролета.

Значения этих кривизн определяются при отсутствии трещин в растянутой зоне согласно указаниям п. 4.27-4.29[4], а при наличии трещин согласно п.4.30-4.32[4].

В нашем примере из таблицы 2 и 6 следует, что при действии момента от постоянной и временной нагрузок в сечении 0-0 трещины не образуются , а в сечениях I-I, III-III, V-V – образуются и полные кривизны в сечениях должны определяться соответственно по формулам 6 и 7

*Сечение 0-0*

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

где - кривизна от кратковременных нагрузок;



- кривизна от постоянных и длительных нагрузок (без учета усилия Р);

здесь *Ml* - момент от соответствующей внешней нагрузки относительно оси, нормальной к плоскости действия изгибающего момента и проходящей через центр тяжести приведенного сечения;

*ϕb1* =0,85 коэффициент, учитывающий влияние кратковременной ползучести бетона для бетонов тяжелого, мелкозернистого и легкого при плотном мелком заполнителе;

 - коэффициент, принятый по п. 4.28[4] для сечения без начальных трещин;

 - кривизна,

обусловленная выгибом элемента от кратковременного действия усилия предварительного обжатия Р;

- кривизна, обусловленная выгибом элемента вследствие усадки и ползучести бетона от усилия предварительного обжатия и определяемая по формуле

здесь  - относительные деформации бетона, вызванные его усадкой и ползучестью от усилия предварительного обжатия и определяемые соответственно на уровне центра тяжести растянутой продольной арматуры и крайнего сжатого волокна бетона по формулам:

;





Тогда полная кривизна для сечения 0-0:



*Сечения I-I, III-III, V-V*

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

**10.1 Сечение I-I**

**10.1.1 Вспомогательные коэффициенты и параметры**

мм,

,

;

;

;

;

;

.

10.1.2 Относительная высота сжатой зоны в сечении с трещиной



**10.1.3 Плечо внутренней пары сил в сечении с трещиной**



**10.1.4 Полная кривизна сечения I-I**



**10.2 Сечение III-III**

10.2.1 Вспомогательные коэффициенты и параметры

мм,

,

;

;

;

;

;

.

**10.2.2 Относительная высота сжатой зоны в сечении с трещиной**



**10.2.3 Плечо внутренней пары сил в сечении с трещиной**



**10.2.7 Полная кривизна сечения III-III**



**10.3 Сечение V-V**

**10.3.1Вспомогательные коэффициенты и параметры**

мм,

,

;

;

;

;

;

.

**10.3.2 Относительная высота сжатой зоны в сечении с трещиной**



**10.3.3 Плечо внутренней пары сил в сечении с трещиной**



**10.3.7 Полная кривизна сечения III-III**



Итого прогиб балки по формуле 5 составляет



где  - предельно допустимый прогиб по таблице 19 разд.10 [2].

Армирование двутавровой балки и отдельные арматурные изделия приведены на рисунках 4 и 5, спецификация на балку и ведомость расхода стали представлены в соответственно в таблицах 7 и

8.

***Рисунок 4. Армирование двутавровой балки и отдельные арматурные изделия***



***Рисунок 5. Армирование двутавровой балки и отдельные арматурные изделия***

**Таблица 7** 

**Таблица 8**

