Руководство пользователя

“Композитная балка”

Версия 1.0

Содержание

[Введение 3](#_Toc43318750)

[1. Описание пользовательского интерфейса 4](#_Toc43318751)

[1.1. Общее 4](#_Toc43318752)

[1.2. Расчётная схема 7](#_Toc43318753)

[1.3. Сечения и материалы 7](#_Toc43318754)

[1.4. Результаты расчёта 7](#_Toc43318755)

[2. Расчётные положения 7](#_Toc43318756)

[2.1. Воздействия 7](#_Toc43318757)

[2.2. Комбинации воздействий 8](#_Toc43318758)

[2.3. Силовые факторы и перемещения от комбинации воздействий 9](#_Toc43318759)

[2.4. Определение геометрических характеристик композитного сечения 11](#_Toc43318760)

[2.5. Расчёт по прочности на действие изгибающих моментов 11](#_Toc43318761)

[2.6. Жесткопластическая теория 11](#_Toc43318762)

[2.7. Определение усилий для расчёта упоров 12](#_Toc43318763)

[2.8. Определение усилий для расчёта упоров (в стадии реализации) 12](#_Toc43318764)

[3. Верификационный пример 17](#_Toc43318765)

[3.1. Верификационный пример расчёта сталежелезобетонной балки с опалубкой по профилированному настилу 17](#_Toc43318766)

# Введение

Программа “Комбинированная балка” предназначена для выполнения расчёта комбинированной балки на действие положительного изгибающего момента в соответствии с СП 266.1325800.2016 “Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования” с Изменением №1 (далее СП 266.1325800.2016). Перечень выполняемых проверок представлен в таблице 1.

Таблица 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Проверка** | **Пункты** | **Норма** |
| Расчёт по прочности на действие изгибающих моментов на монтаже | 8.2.1 ф. (41) | СП 16.13330.2017 |
| Расчёт по прочности на действие положительных изгибающих моментов | 6.2.1.2, 6.2.1.3, 6.2.1.4,  6.2.1.5 | СП 266.1325800.2016 |
| Расчёт по прочности на действие положительных изгибающих моментов (жёсткопластический материал) | 6.2.1.6 | СП 266.1325800.2016 |
| Расчёт по прочности на действие поперечной силы | 6.2.2  8.2.1 ф. (42) | СП 266.1325800.2016  СП 16.13330.2017 |
| Расчёт по прочности объединения железобетона и стали упорами | 9.1.2.1  ф. (9.5),  ф. (9.6),  ф. (9.7)  9.1.2.1а | СП 16.13330.2017 |

Также программа выполняет расчёт перемещений. Результат расчёта представляется в виде изображения упругой линии с выводам экстремальных значений

# Описание пользовательского интерфейса

## Общее

Главное окно программы содержит вкладки “Расчётная схема”, “Сечение и материалы” и “Результаты расчёта”, смотри рисунки 1 – 3.

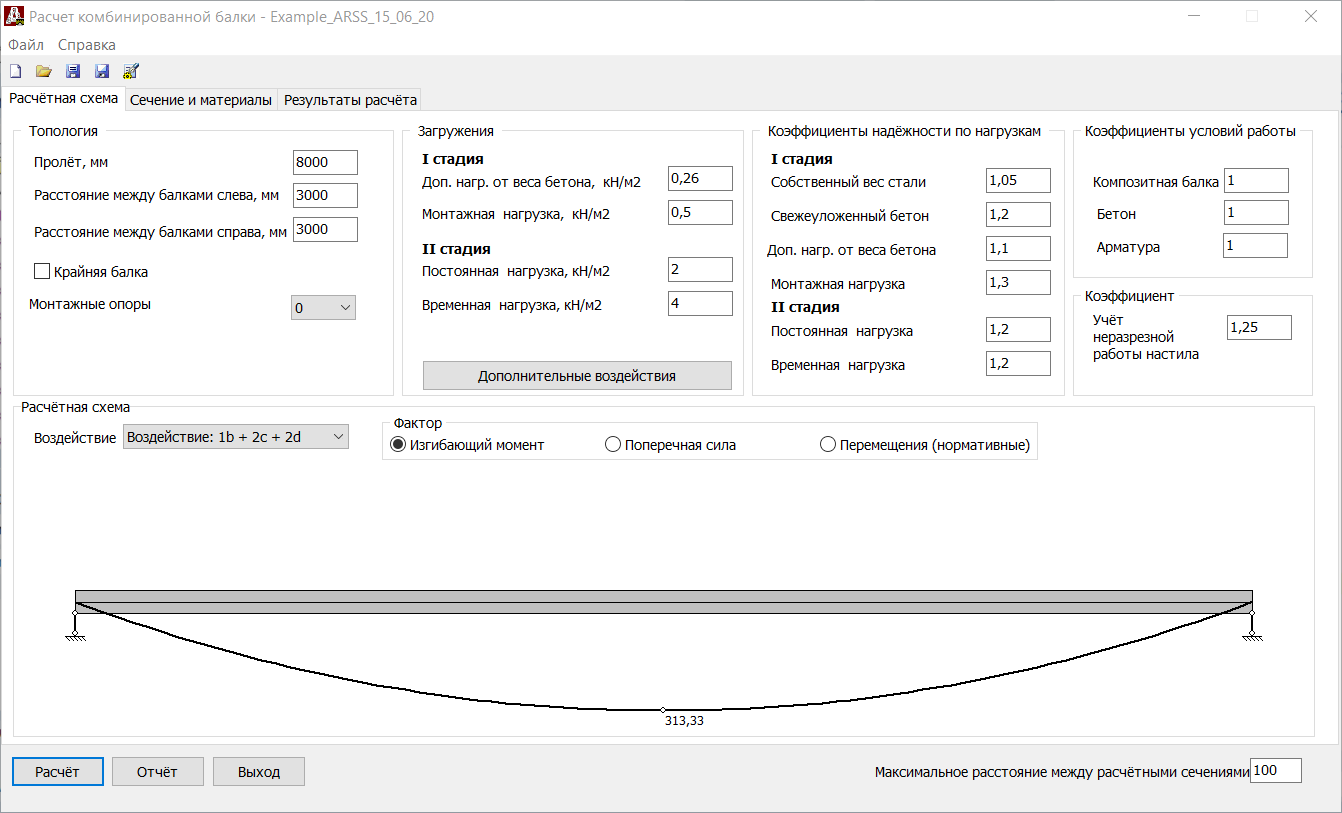


Рис. 1

Вкладка “Расчётная схема”

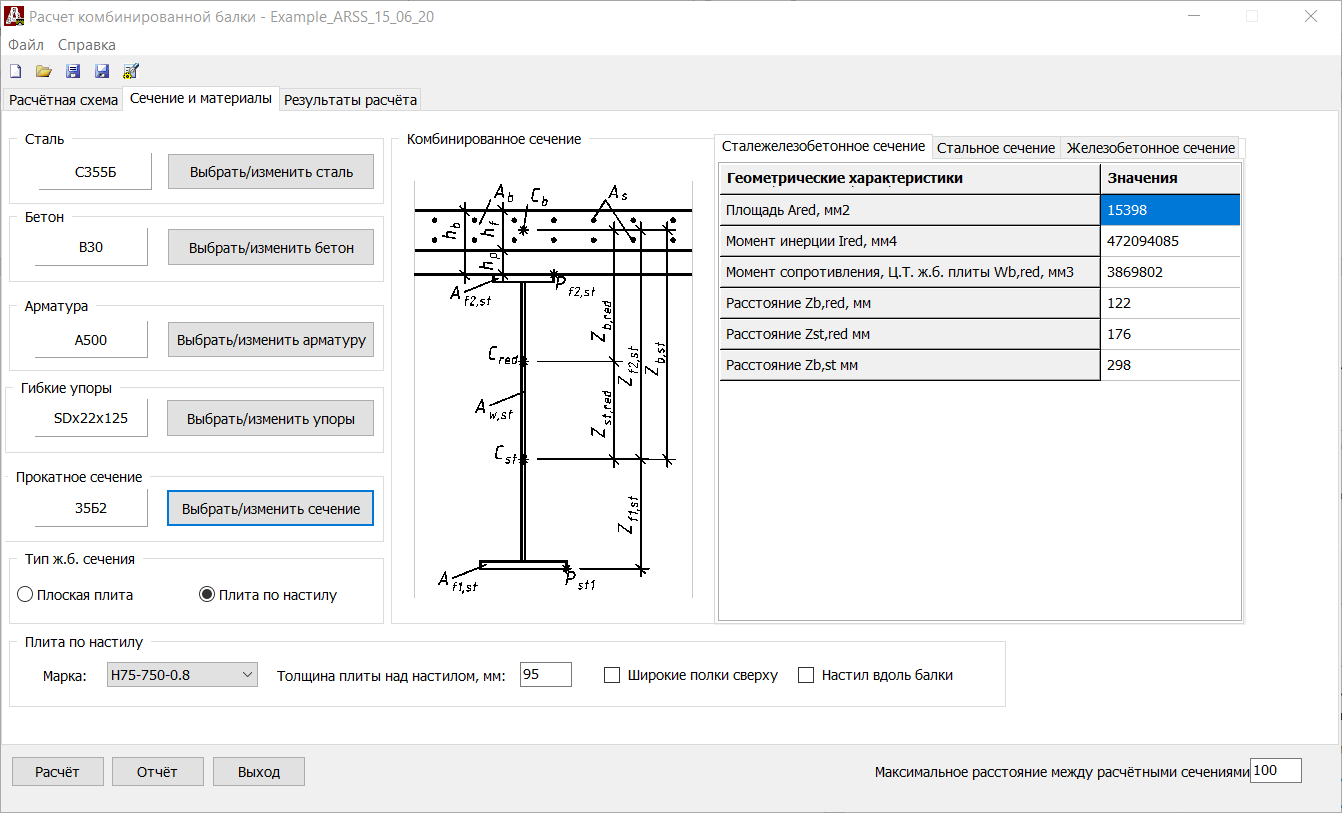


Рис. 2

Вкладка “Сечения и материалы”

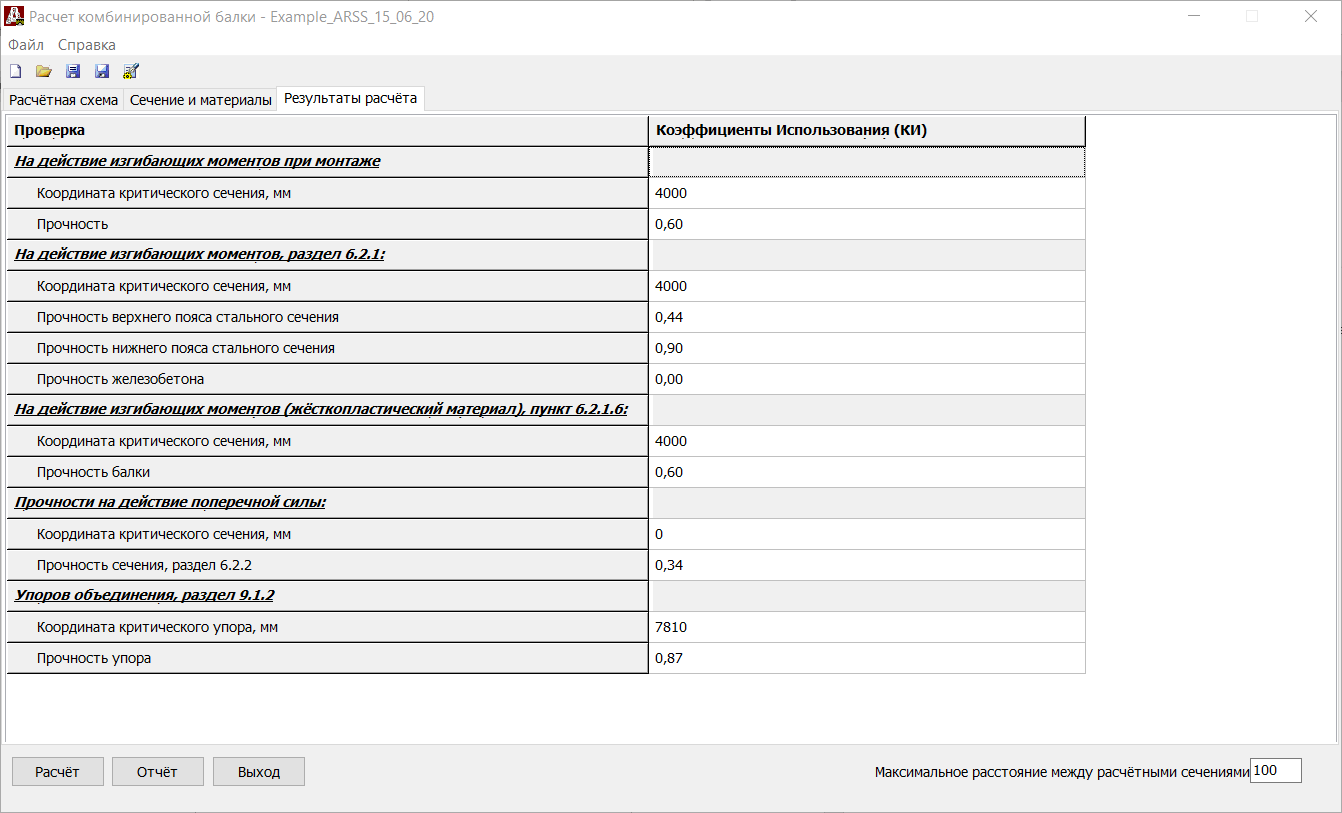


Рис. 3

Вкладка “Результаты расчёт”

При вводе данных выполняется контроль правильности исходных данных, к примеру, при вводе в поле “Пролёт, мм” значения -8000 не имеющего физического смысла появляется окно с предупреждением. После появления окна, его следует закрыть, а данные скорректировать.

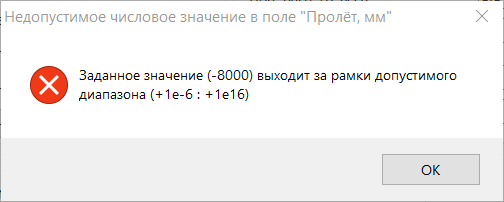


Рис. 4

Окно с предупреждением

Поля ввода данных поддерживают операторы сложения ‘+’, вычитания ‘-’, умножения ‘\*’ и деления ‘/’, что позволяет, к примеру, ввести в расчёт конструктивный коэффициент.

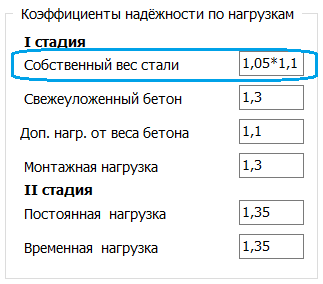


Рис. 5

Пример ввода произведения в поле ввода

## Расчётная схема

аыыпыпыпып

## Сечения и материалы

В программе есть возможность задавать значения материалов в соответствии с таблицей 2

Таблица 2

|  |  |
| --- | --- |
| **Материал** | **Нормы** |
| Сталь | СП 16.13330.2017 Таблица B.4  ГОСТ 27772-2015 Таблица 5 |
| Бетон | СП 63.13330.2018 Таблица 6.7 |
| Арматура | СП 63.13330.2018 Таблица 6.13 |
| Гибкие упоры | ГОСТ Р 55738-2013 |
| Прокатное сечение | ГОСТ Р 57837-2017 |

## Результаты расчёта

Основные результаты расчёта – коэффициенты использования приведены на вкладке “Результаты расчёта”, рис. 3. Вычисленные геометрические характеристики композитного сечения приведены на вкладке “Сечения и материалы”, рис 2. На вкладке “Расчётная схема” отображаются эпюры изгибающих моментов, поперечных сил и упругая линии балки. Выбор отображаемого фактора выполняется переключателями.

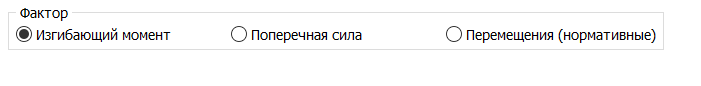


Рис.

Переключатели отображаемых факторов

Имеется возможность с помощью выпадающего списка выводить факторы для различных воздействий.

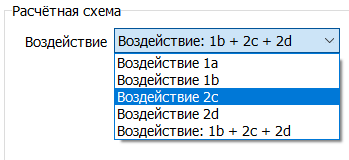


Рис.

Выпадающий список с воздействиями

# Расчётные положения

## Воздействия

В программе существует возможность учесть следующие воздействия:

* Собственный вес стальной балки (учитывается автоматически);
* Собственный вес настила (в случае применения) (учитывается автоматически);
* Собственный вес свежеуложенного бетона (учитывается автоматически);
* Дополнительная нагрузка от собственного веса бетона;
* Монтажные нагрузки;
* Снятие монтажных опор (учитывается автоматически);
* Постоянные нагрузки на стадии эксплуатации;
* Временные нагрузки на стадии эксплуатации.

Дополнительная нагрузка от собственного веса позволяет учесть “перелив” бетона при прогибе настила более 1/10 высоты сечения плиты.

## Комбинации воздействий

При расчёте сталежелезобетонных конструкций удобно применять понятия стадия работы и этап работы. Стадия работы определяется частями сечения балки воспринимающей нагрузки.Этап работы определяет совокупность воздействия воспринимаемых балкой. Стадии работы обозначаются арабскими цифрами. Этапы работы обозначаются латинскими буквами.

Информация о стадиях работы и этапах работы, применяемых в программе приведена в таблице 3.

Таблица 3

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Стадии** | | **Этап работы** | |
| **Обозначения** | **Части сечения воспринимающие нагрузки** | **Обозначения** | **Совокупность воздействий** |
| **1** | Стальная часть сечения | **a** | Собственный вес стальной балки;  Собственный вес настила;  Собственный вес свежеуложенного бетона;  Дополнительная нагрузка от собственного веса бетона;  Монтажные нагрузки. |
| **b** | Собственный вес стальной балки;  Собственный вес настила;  Собственный вес свежеуложенного бетона;  Дополнительная нагрузка от собственного веса бетона. |
| **2** | Стальная и железобетонная части сечения | **с** | Снятие монтажных опор |
| **d** | Постоянные нагрузки на стадии эксплуатации;  Временные нагрузки на стадии эксплуатации. |

На 1 стадии работы на этапах a и b имеется возможность учесть неразрезную работу профилированного настила при передаче нагрузки. Для этого необходимо ввести требуемое значение в поле “Учёт неразрезности настила” как показано на рисунке 4

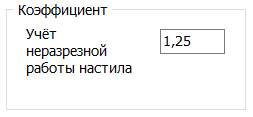


Рис. 4

Учёт неразрезности настила

Предусмотрена возможность учесть уравновешенных в поперечном сталежелезобетонном сечении напряжений, возникающих на уровне центра тяжести поперечного сечения бетона от его ползучести, обжатия поперечных швов сборной плиты, усадки бетона и изменения температуры. Для этого необходимо нажать кнопку “Дополнительные воздействия” как показано на рисунке 5.

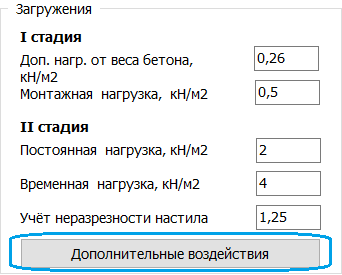


Рис. 5

Кнопка “Дополнительные воздействия”

И ввести в появившиеся диалоговое окно “Дополнительные воздействия” данные, как показано на рисунке 6.

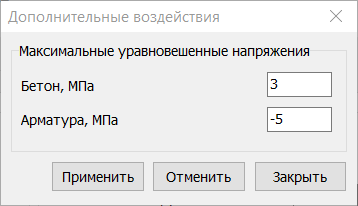


Рис. 6

Диалоговое окно “Дополнительные воздействия”

## Силовые факторы и перемещения от комбинации воздействий

Силовые факторы от комбинаций воздействий определяются по формулам.

Для проверки прочности стального сечения на прочность при монтаже применяется

Для проверки прочности на действие изгибающего момента выполняется определение силовых факторов в соответствии с формулами ниже

Изгибающий момент 1 стадии

Изгибающий момент 2 стадии

Изгибающий момент полный

Для проверки прочности упоров выполняется определение факторов в соответствии с формулой ниже

Так как при II стадии работы конструкция является статически определимой, при определении силовых факторов II стадии учёт ползучести бетона, обжатие поперечных швов, образование поперечных трещин в растянутых зонах железобетонной плиты, а также усадка бетона и изменение температуры не учитывается.

Определение перемещений выполняется по формуле

При определении перемещений  *и*  жёсткость определяется по формуле

где — модуль деформации бетона с учётом ползучести бетона определяем по СП 63.13330 по формуле

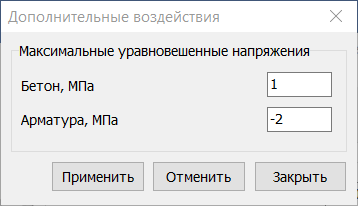
Уравновешенные в поперечном сталежелезобетонном сечении напряжения, возникающие на уровне центра тяжести поперечного сечения бетона от его ползучести, обжатия поперечных сборной плиты, усадки бетона и изменений температуры в бетоне и в продольной арматуре и задаются в окне: 

Рис.

Диалоговое окно для ввода уравновешенных напряжения

## Определение геометрических характеристик композитного сечения

Начало координат при расположено в центре тяжести стального сечения. Ось “y” направлена по направлению к верхней полки и располагается в плоскости стенки. Ось “x” в плоскости перпендикулярной стенки таки образом, чтобы получить правую систему координат.

Определение расчётной ширины железобетонного сечения в случаи концевой балки, а также в случаи неравных расстояний между рассчитываемой балкой и балками расположенными слева и справа выполняется по формуле.

где – расчётная ширина слева от рассчитываемой балки;

– расчётная ширина справа от рассчитываемой балки.

## Расчёт по прочности на действие изгибающих моментов

Расчёт выполняется на действие положительного изгибающего момента (вызывающего в верхнем

Правила знаков в принятые в формулах (6.39), (6.40), (6.43), (6.44), (6.47), (6.48)

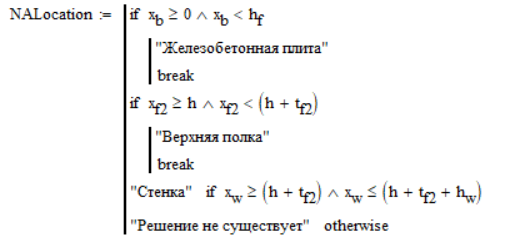
Изгибающий моменты , , принимаются положительными если вызывают в верхнем поясе стального сечения сжатие. В формулы подставляются значения со знаками

## Жесткопластическая теория

Расчёт выполняется без учёта армирования. Важно отметить, что при проверке упоров, реализованной в программе, жёсткопластический материал не предполагается. Принимать решение о достаточной несущей способности упоров, рассчитанных программой, в этом случае не следует.

При определении

Определение положения нейтральной оси определяется условием:



# 

## Определение усилий для расчёта упоров

Форма эпюры сдвигающих усилий предполагается подобной форме эпюры поперечных сил. Для проверки упоров, программа определяет нормальные напряжения в сечениях, расположенных между упорами, а затем, для каждого из упоров, определяется сдвигающее усилии действующее на упор по формуле.

где , – напряжения при гипотезе плоских сечений в центре тяжести поперечного сечения бетона в сечениях находящихся слева и справа от рассматриваемого упора от воздействий второй стадии работы конструкции, вызывающих изгиб, но не больше чем;

, – напряжения при гипотезе плоских сечений в продольной арматуре в сечениях находящихся слева и справа от рассматриваемого упора от воздействий второй стадии работы конструкции, вызывающих изгиб соответственно, но не больше чем

При определении нормальных напряжений принимается модуль деформации бетона с учётом ползучести бетона , формула XXX

## Определение усилий для расчёта упоров (в стадии реализации)

Так как при действительной работе балки гипотеза плоских сечений выполняется не для всех зон, в частности, имеется отступление в опорной зоне, эпюра погонных сдвигающих усилий не будет подобна эпюре поперечных сил. Эпюра погонных сдвигающих усилий будет отличаться плавностью, в ней будут отсутствовать резкие скачки характерные для эпюры поперечных сил в местах приложения сосредоточенных воздействий, в частности реакций.

Для построения эпюры погонных сдвигающих погонных усилий выполняется расчёт сдвигающих усилий на расчётных участках. Под расчётными участками понимаются участки, расположенные между расчётными сечениями. В качестве расчётных сечений, на основании 4.4.4.1 приняты следующие сечения:

1. Опоры;
2. Сечение с максимальным изгибающим моментом;

К сечениям выше целесообразно отнести также сечение, определяемое в соответствии с пунктом 6.2.4.2:

1. Сечение на расстояние от конца плиты (балки) .

Следует отметить, что в СП 266.1325800.2016 нет информации в явном виде от том на какой из стадий следует определять расчётные сечения. Однако, можно предположить, что для определения расчётных сечений следует рассматривать вторую стадию работы конструкции (в работу включены как стальное, так и железобетонные сечения).

Таким образом на половине длины рассматриваемой балки получаем следующие расчётные участки.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **#** | **Обозначение** | **Координаты граничных сечений участков** | |
| **Слева** | **Справа** |
| 1 |  | 0 |  |
| 2 |  |  | L/2 |
| 3 |  | L/2 |  |
| 4 |  |  | L |
| Примечание: обозначение участков 1 и 2, а также 3 и 4 приняты одинаковыми на основании симметрии конструкции относительно сечения в середине пролёта. | | | |

Для удобства вычислений построение эпюры погонных сдвигающих усилий делится на три шага.

На первом шаге строится эпюра погонных сдвигающих усилий от воздействий второй стадии работы конструкции, вызывающих изгиб.

На втором шаге строится эпюра погонных сдвигающих усилий от воздействий второй стадии работы конструкции, вызывающей сжатие или растяжение конструкции.

На третьем шаге выполняется сложение эпюр погонных сдвигающих усилий, полученных на первом и втором шагах.

Рассмотрим первый шаг. Для построения эпюры погонных сдвигающих усилий на каждом из участков определяются действующие усилия сдвига по формуле

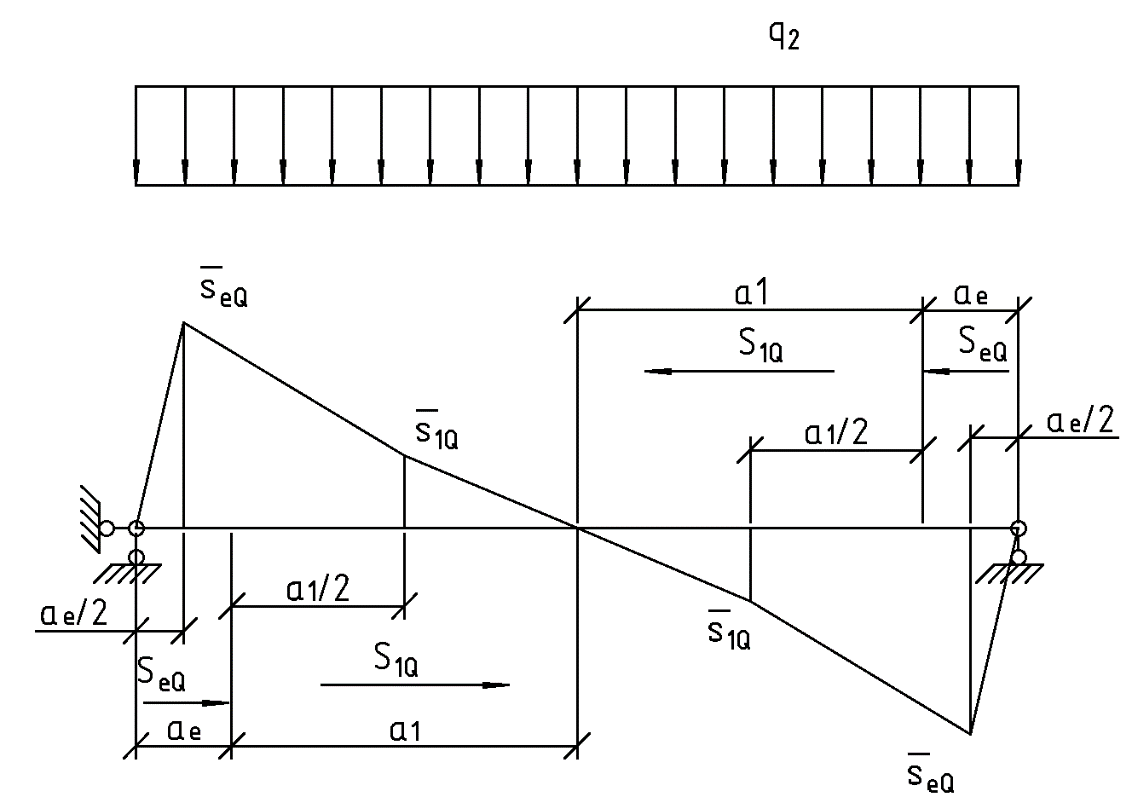
где ,  *–* напряжения при гипотезе плоских сечений в центре тяжести поперечного сечения бетона в левом и правом сечениях расчётного участка соответственно от воздействий второй стадии работы конструкции, вызывающих изгиб, но не больше чем;

, – напряжения при гипотезе плоских сечений в продольной арматуре в левом и правом сечениях расчётного участка от воздействий второй стадии работы конструкции, вызывающих изгиб соответственно, но не больше чем

Эпюры погонных сдвигающих усилий определяется ломанной построенной по ординатам, приведённым в таблице ниже:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **#** | **Координата** | **Значение** |
| 1 | 0 | 0 |
| 2 |  |  |
| 3 |  |  |
| 4 | L/2 | 0 |
| 5 | ) |  |
| 6 |  |  |
| 7 | 0 | 0 |

Полученная эпюра погонных сдвигающих усилий представлена на рисунке ниже.



Эпюра погонных сдвигающих усилий от воздействий второй стадии работы конструкции, вызывающих изгиб

Рассмотрим второй шаг. Для построения эпюры погонных сдвигающих усилий на каждом из участков определяются действующие усилия сдвига по формуле

где *–* напряжение при гипотезе плоских сечений в центре тяжести поперечного сечения бетона в левом сечении расчётного участка от воздействий второй стадии работы, вызывающих сжатие или растяжение конструкции, но не больше чем;

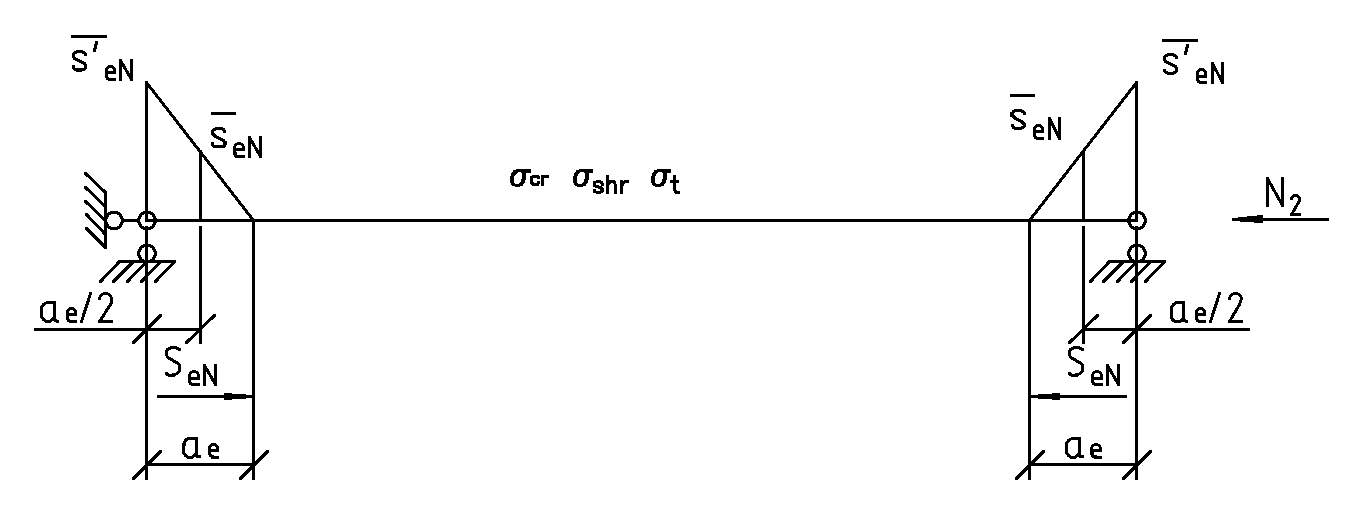
– напряжение при гипотезе плоских сечений в продольной арматуре в левом сечении расчётного участка от воздействий второй стадии работы, вызывающих сжатие или растяжение конструкции, но не больше, чем

Отметим, что к воздействиям второй стадии работы, вызывающем сжатие или растяжение конструкции кроме внешнего воздействия относятся напряжения от ползучести , усадки и температур .

Эпюры погонных сдвигающих усилий определяется ломанной построенной по ординатам таблицы ниже:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **#** | **Координата** | **Значение** |
| 1 | 0 |  |
| 2 |  |  |
| 3 |  |  |
| 4 | L/2 |  |

Полученная эпюра погонных сдвигающих усилий представлена на рисунке ниже:

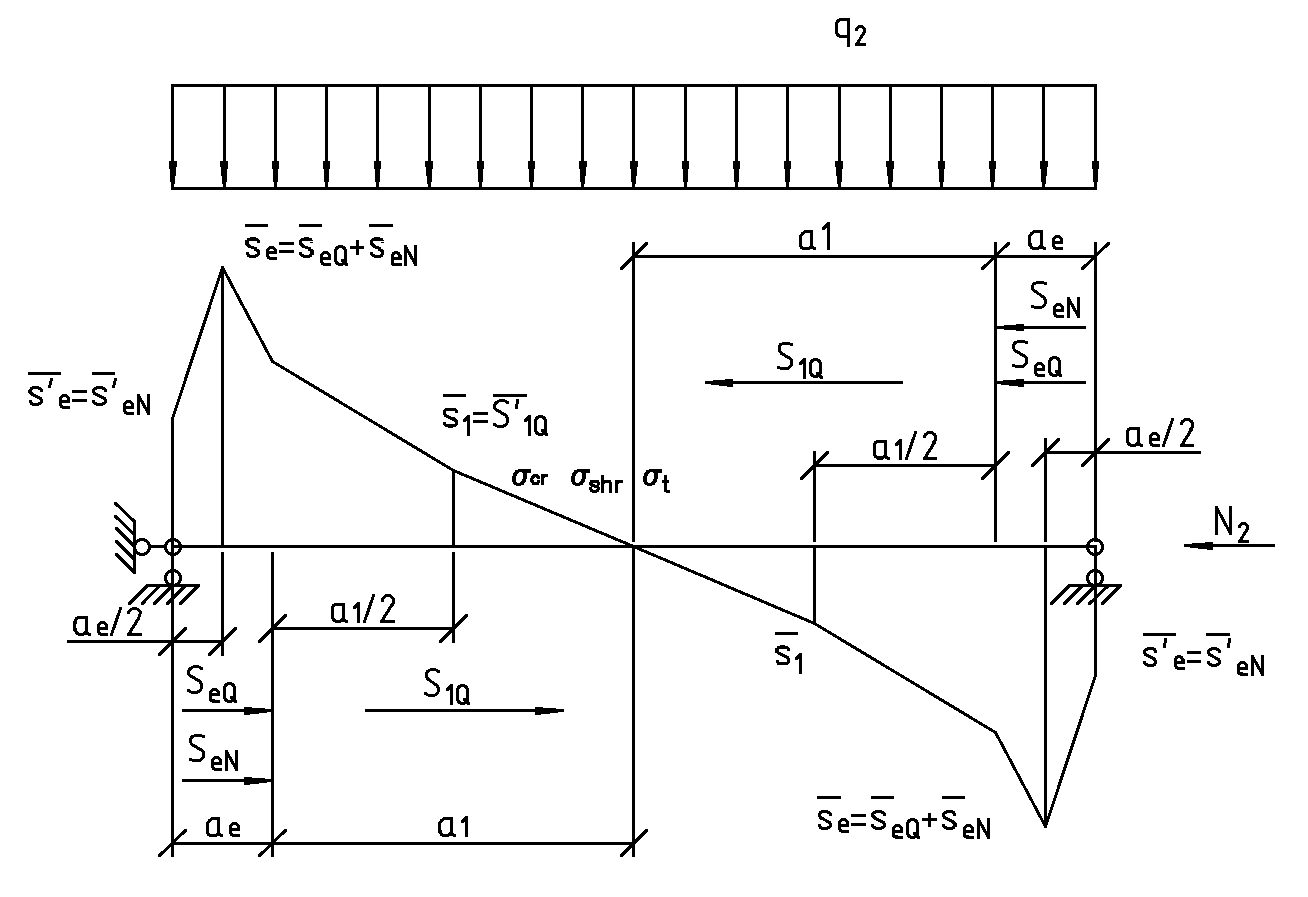


Эпюра погонных сдвигающих усилий от воздействий второй стадии работы конструкции, вызывающих сжатие или растяжение конструкции

Рассмотрим третий шаг. Эпюра сдвигающий усилий от всех воздействии строится по координатам таблицы ниже:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **#** | **Координата** | **Значение** |
| 1 | 0 |  |
| 2 |  |  |
| 3 |  |  |
| 4 | L/2 | 0 |
| 5 | ) |  |
| 6 |  |  |
| 7 | 0 |  |

Полученная эпюра погонных сдвигающих усилий представлена на рисунке ниже:



Эпюра погонных сдвигающих усилий от всех воздействий второй стадии работы конструкции

Усилия для расчёта каждого упора определяются интегрированием эпюры погонных сдвигающих сил, на соответствующих длинах.

# Верификационный пример

## Верификационный пример расчёта сталежелезобетонной балки с опалубкой по профилированному настилу

