

Для цитирования: Акаев Н.К., Юсупов А.К. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ШПРЕНГЕЛЬНЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016; 42 (3):119-130. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-119-130

For citation: Akaev N.K., Yusupov A.K. CALCULATION ALGORITHM TRUSS UNDER CRANE BEAMS. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3): 119-130. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-119-130

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.072:624.011

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-119-130

Акаев Н.К.<sup>1</sup>, Юсупов А.К.<sup>2</sup>

Дагестанский государственный технический университет,  
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,

<sup>1</sup>e-mail: dgtu.pgs@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: hairulla213@ncstu.ru

### АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ШПРЕНГЕЛЬНЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК

**Аннотация. Цель.** Поставлена задача поиска методов снижения прогибов и повышения жесткости однопролетных балок. В статье разработан алгоритм расчета шпренгельных подкрановых балок. **Методы.** Для определения внутренних усилий, необходимых для подбора сечения элементов рассматриваемой конструкции, используется функция Грина. **Результат.** Установлено, что простейшая шпренгельная система уменьшает прогибы и повышает прочность конструкции. При этом верхняя перекладина подвергается не только изгибу и сдвигу, но и сжатию вследствие работы затяжки на растяжение. Предварительное определение геометрических характеристик элементов подкрановых ферм предложено производить сопоставлением с ранее запроектированными подобными фермами, используя более простые приближенные методы расчета. **Вывод.** Предложен метод последовательного перемещения (с определенным шагом) двух мостовых кранов по длине верхней перекладины шпренгельной балки. Приводятся соответствующие формулы и условия прочности.

**Ключевые слова:** шпренгельная балка, подкрановая балка, внутренние усилия, прочность, функция Грина

Nasrudin K. Akaev<sup>1</sup>, Abusupyan K. Yusupov<sup>2</sup>

Daghestan State Technical University,  
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,

<sup>1</sup>e-mail: hairulla213@ncstu.ru,

<sup>2</sup>e-mail: dgtu.pgs@mail.ru

### CALCULATION ALGORITHM TRUSS UNDER CRANE BEAMS

**Abstract. Aim.** The task of reducing the deflection and increase the rigidity of single-span beams are made. In the article the calculation algorithm for truss crane girders is determined. **Methods.** To identify the internal effort required for the selection of cross section elements the design uses the Green's function. **Results.** It was found that the simplest truss system reduces deflection and increases the strength of design. The upper crossbar is subjected not only to bending and shear and compression work due to tightening tension. Preliminary determination of the geometrical characteristics of the crane farms elements are offered to make a comparison with previous similar configuration of his farms, using a simple approximate calculation methods. **Conclusion.** The method of sequential movements (incrementally) the two bridge cranes along the length of the upper crossbar truss beams is suggested. We give the corresponding formulas and conditions of safety.

**Key words:** truss beam, crane beam, internal forces, strength, the green's function

**Введение.** Известно, что фермы рациональны на пролетах в 18-48 м. Фермы с параллельными поясами выполнялись пролетом 60 м. Двутавровая балка же рациональна без дополнительных ребер и стабилизирующих мероприятий на пролетах в 3–9 м, далее она становится слишком тяжелой. Ферма же на пролетах менее 15 м оказывается не рациональной. Поэтому нишу на пролетах 10–18 м занимает шпренгельные балки, то есть балки с затяжками. Принцип работы шпренгеля основан на том, что с увеличением пролета балки начинают развиваться недопустимые большие прогибы, при этом конструкция не разрушается.

**Постановка задачи.** Снижение прогибов и повышение жесткости становится центральной проблемой для однопролетных балок.

**Методы исследования.** Устройство затяжек или подпорок балок не всегда возможно, поэтому простейший метод - установить снизу в центре пролета распорку с затяжкой к опорам. Такая простейшая шпренгельная система уменьшает прогибы и повышает прочность конструкции. При этом верхняя переключина подвергается не только изгибу и сдвигу, но и сжатию вследствие работы затяжки на растяжение [1,2,3,4,5,6,7].

Подкрановые фермы (рис.1.) проектируют с параллельными поясами, треугольной схемой решетки и дополнительными стойками. При такой схеме решетки масса подкрановой фермы на 10 % меньше массы аналогичных ферм, имеющих раскосную решетку при одинаковых высоте и нагрузках. Высоту подкрановых ферм следует назначать в пределах 1/5- 1/7 пролета, если длина балки 12-18 м, и 1/7-1/10 пролета при длине балки 24-36 м (где меньшие величины относятся к большим пролетам ферм).

Длину панели подкрановой фермы рационально назначать приблизительно равной высоте фермы, но не более 3 м с тем, чтобы можно было подобрать сечение верхнего пояса из прокатного широкополочного или обычного двутавра, нижний пояс - из широкополочного тавра или из уголков; для элементов решетки рекомендуются спаренные уголки.

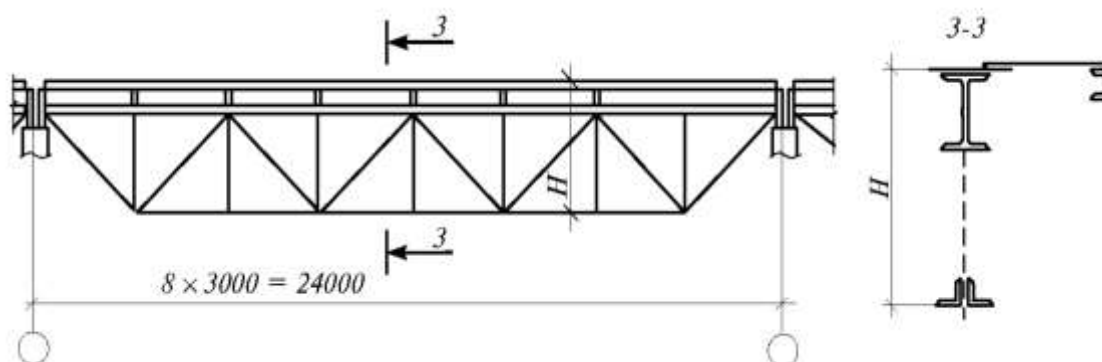
Расчет подкрановой фермы, представляющей собой статически неопределимую систему с числом неизвестных  $n - 1$  (где  $n$  - число панелей верхнего пояса), точными методами строительной механики достаточно трудоемок и, его следует выполнять с применением компьютерной техники. Предварительное определение геометрических характеристик элементов подкрановых ферм может производиться сопоставлением с ранее запроектированными подобными фермами или, если такой возможности нет, используют более простые приближенные методы расчета, получая затем путем последовательных приближений окончательные значения усилий и размеры сечений элементов фермы.

Высота подкраново-подстропильных ферм определяется габаритом крана и высотой стропильной фермы на опоре, но она должна быть не менее 1/8 пролета, причем верхний пояс подкраново-подстропильной фермы принимается на одном уровне с верхним поясом стропильных конструкций. Длину панели назначают в пределах  $(0,8-1,3)h$ , кратной 3 м. В узлах ферм коробчатый жесткий пояс усиливают диафрагмами из листа; в сечениях между узлами для обеспечения [8,9,10,11] неизменяемости контура коробки диафрагмы могут быть сквозными или сплошными. Расстояние между диафрагмами принимают 3, 4 или 6 м.

Прогибы подкрановых и подкраново-подстропильных ферм рекомендуется вычислять точными методами с использованием компьютерных технологий. Элементы решетки подкрановых ферм следует присоединять к поясам с помощью фасонки. Крепление фасонки к верхним поясам должно быть выполнено с полным проваром на всю толщину фасонки. Элементы решетки рекомендуется центрировать на нижнюю грань верхнего пояса. В узлах примыкания решетки к верхнему поясу стенку пояса укрепляют парными ребрами жесткости.

Узлы элементов верхнего пояса проектируют встык без накладок, располагая их на участках с не полностью использованной несущей способностью.

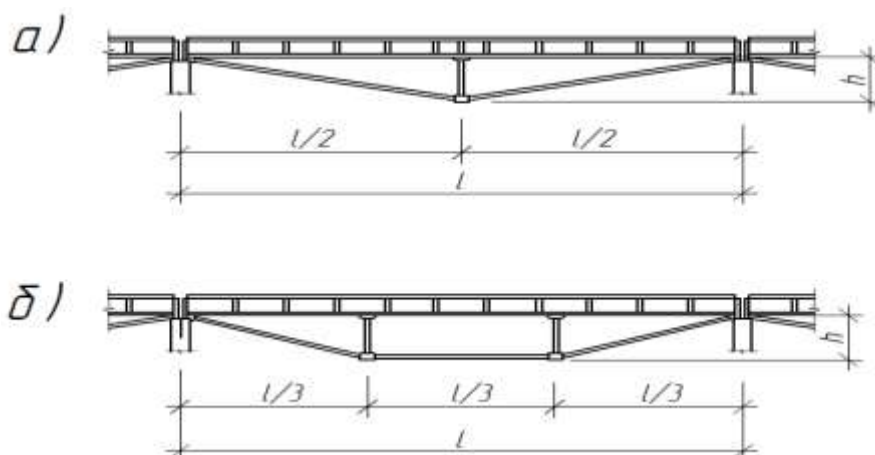
Монтажные соединения элементов подкраново-подстропильных конструкций выполняются обычно на высокопрочных болтах. Монтажные стыки балок жесткости должны быть расположены в наименее напряженных местах и выполнены на сварке встык.



**Рисунок 1- Разрезная сквозная подкрановая балка (ферма)**

При пролетах 12 м и более целесообразно применять балки со шпренгелем. Различают 2 типа шпренгельных балок: с одной стойкой (рис.2.а), с двумя стойками (рис.2.б).

- а* – сплошного сечения из трех листов;
- б, в* – клепаные из листов и уголков;
- б, в* – балки с соединениями на высокопрочных болтах;
- г, д* – балки с комбинированными соединениями (болтосварные).

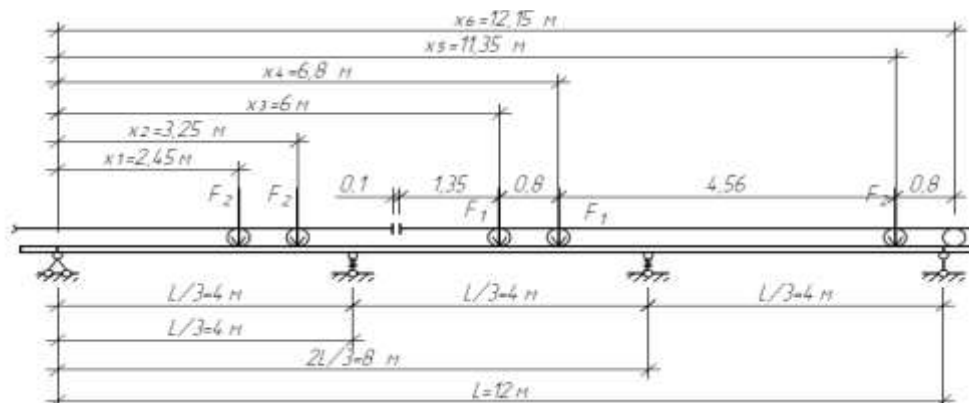


**Рисунок 2 - Типы шпренгельных балок**

*а* – шпренгельная балка с одной стойкой; *б* – с двумя стойками;

Для расчета шпренгельной балки, отбрасываем ее стойки и заменяем их упругоподатливыми опорами (пружинами).

Податливость этих стоек учитывается с помощью коэффициента жесткости  $r$ , который определяется в зависимости от жесткости промежуточных опор подкрановой балки [12,13,14,15].



**Рисунок 3 - Расчетная схема шпренгельной балки**

Ниже представлены схемы с различными расположениями крановых нагрузок (рис.3.), (рис. 4.). Расчет ведем на одновременное воздействие двух мостовых кранов. Для определения

наиболее опасного расположения мостовых кранов, отсчет положения кранов будем осуществлять относительно координаты  $x_3$ , и будем перемещать влево и вправо от нее с шагом 1 м.

Нами рассмотрены 7 схем расположения мостовых кранов, с соответствующими сдвигами по горизонтали относительно первоначального положения кранов.

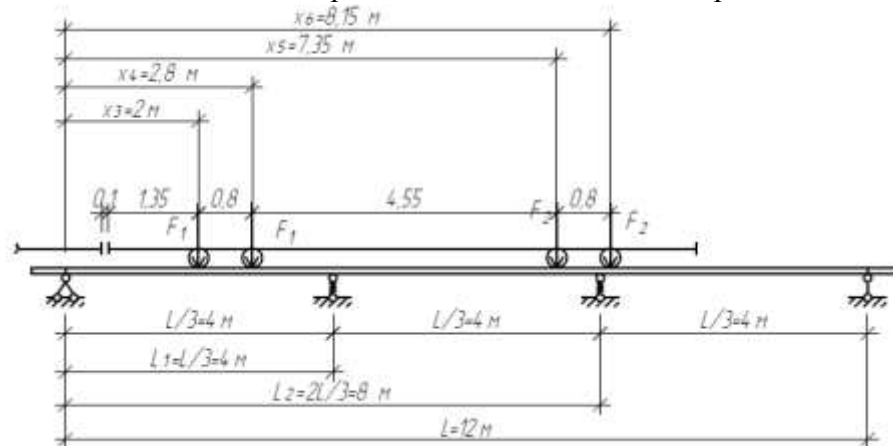


Рисунок 4 - Схема нагружения №1,  $x_3=2$  м.

Последовательно перемещается с шагом в 1 м система вух мостовых кранов по верхней перекладине шпренгельной балки. Для расчета подкрановой шпренгельной балки с двумя стойками воспользуемся функцией Грина [16-17].

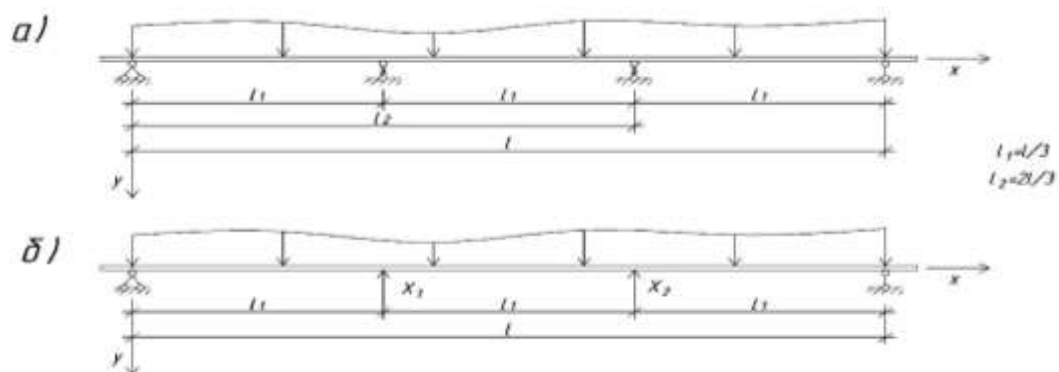


Рисунок 5 - а – заданная схема; б – расчетная схема.

Функция Грина для рассматриваемой задачи имеет следующий вид [7]:

$$G(x, \xi) = [1 - e(x - \xi)] \cdot G_1(x, \xi) + e(x - \xi) \cdot G_2(x, \xi), \quad (1)$$

где,

$$G_1(x, \xi) = - \frac{1}{EJ} \left[ \left(1 - \frac{\xi}{l}\right) \frac{x^3}{6} + A \cdot x \right],$$

$$G_2(x, \xi) = - \frac{1}{EJ} \left[ - \frac{\xi}{l} \cdot \frac{x^3}{6} + \frac{\xi}{2} x^2 + Bx + D \right]. \quad (2)$$

Здесь введены обозначения:

$$A = \frac{\xi^2}{2} - \frac{\xi l}{3} - \frac{\xi^3}{6l}, \quad D = \frac{\xi^3}{6}, \quad B = - \frac{\xi l}{3} - \frac{\xi^3}{6l}. \quad (3)$$

Каждая из функций  $G_1$  и  $G_2$  справедлива в пределах своего участка:

$$G = G_1 \text{ при } x < \xi, \quad G = G_2 \text{ при } x \geq \xi.$$

Найдем производную функции (2) и подставим их в функции типа (4).

Тогда получим

$$\begin{aligned} \frac{\partial G}{\partial x} &= [1 - e(x - \xi)] \frac{\partial G_1}{\partial x} + e(x - \xi) \frac{\partial G_2}{\partial x}; \\ \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} &= [1 - e(x - \xi)] \frac{\partial^2 G_1}{\partial x^2} + e(x - \xi) \frac{\partial^2 G_2}{\partial x^2}; \\ \frac{\partial^3 G}{\partial x^3} &= [1 - e(x - \xi)] \frac{\partial^3 G_1}{\partial x^3} + e(x - \xi) \frac{\partial^3 G_2}{\partial x^3}. \end{aligned} \quad (4)$$

Производные функций (2) легко определяются:

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_1}{\partial x} &= -\frac{1}{EJ} \left[ \left(1 - \frac{\xi}{l}\right) x^2 + A \right], \\ \frac{\partial^2 G_1}{\partial x^2} &= -\frac{1}{EJ} \left(1 - \frac{\xi}{l}\right) x, \quad \frac{\partial^3 G_1}{\partial x^3} = -\frac{1}{EJ} \left(1 - \frac{\xi}{l}\right), \\ \frac{\partial G_2}{\partial x} &= -\frac{1}{EJ} \left[ -\frac{\xi}{l} x^2 + \xi x + B \right], \\ \frac{\partial^2 G_2}{\partial x^2} &= -\frac{1}{EJ} \left[ -\frac{\xi}{l} x + \xi \right], \quad \frac{\partial^3 G_2}{\partial x^3} = \frac{1}{EJ} \frac{\xi}{l}. \end{aligned} \quad (5)$$

Для вычисления изгибающих моментов воспользуемся формулой:

$$M = -y(x)'' \cdot E \cdot J. \quad (6)$$

Поперечные силы находим так:

$$Q = y(x)''' \cdot E \cdot J. \quad (7)$$

Прогибы определяем по следующему выражению [7]:

$$y(x) = y_0(x) - X_1 G(x, l_1) - X_2 G(x, l_2), \quad (8)$$

где, 
$$y_0(x) = \sum_i^6 \int_0^l G(x, \xi) \cdot F_i \delta(\xi - x_i) d\xi = F_i \cdot \sum_i^6 \int_0^l G(x, x_i). \quad (9)$$

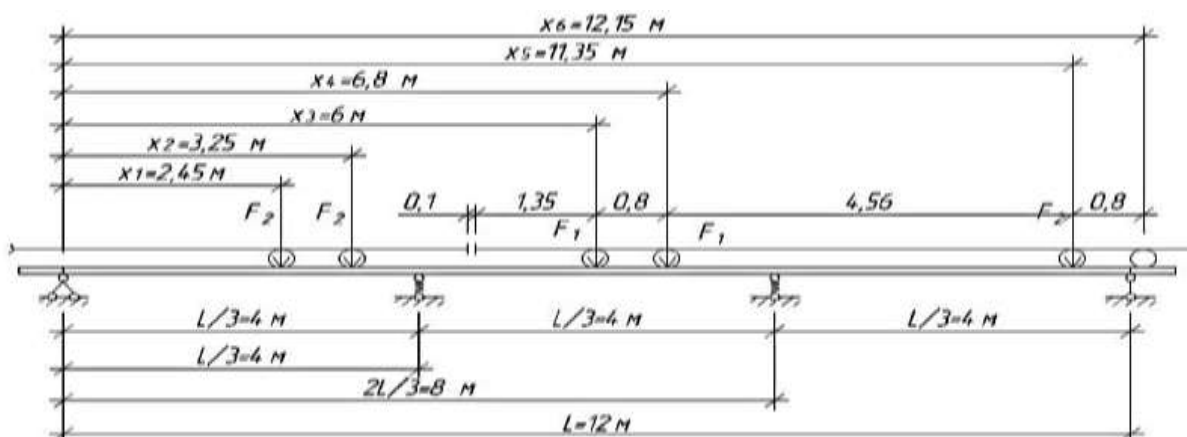


Рисунок 5 - Схема расположения сил на подкрановую балку от двух мостовых кранов

В формуле (9)  $\delta(\xi - x_i)$  – дельта-функция,  $l_1 = \frac{l}{3}$ ,  $l_2 = \frac{2l}{3}$  – координаты промежуточных стоек подкрановой шпренгельной балки.

Неизвестные  $X_1$  и  $X_2$  определяются так:

$$X_1 = \frac{y_0(l_2) \cdot G(l_1, l_2) - y_0(l_1) \cdot [G(l_2, l_2) + \frac{1}{r}]}{G(l_2, l_1) \cdot G(l_1, l_2) - [G(l_1, l_1) + \frac{1}{r}] \cdot [G(l_2, l_2) + \frac{1}{r}]}, \quad (10)$$

$$X_2 = \frac{y_0(l_1) \cdot G(l_1, l_2) - y_0(l_2) \cdot [G(l_2, l_2) + \frac{1}{r}]}{G(l_2, l_1) \cdot G(l_1, l_2) - [G(l_1, l_1) + \frac{1}{r}] \cdot [G(l_2, l_2) + \frac{1}{r}]},$$

где,  $r$  – коэффициент жесткости пружины.

Для дальнейших расчетов максимально упрощаем формулы (10)

$$G(l_1, l_2) = G(\frac{l}{3}, \frac{2l}{3}) = G(4,8) = \frac{1}{EJ} \cdot \frac{7l}{486};$$

$$G(l_1, l_1) = G(\frac{l}{3}, \frac{l}{3}) = G(4,4) = \frac{1}{EJ} \cdot \frac{4l}{243};$$

$$G(l_2, l_1) = G(\frac{2l}{3}, \frac{l}{3}) = G(8,4) = \frac{1}{EJ} \cdot \frac{7l}{486}; \quad (10 \text{ a})$$

$$G(l_2, l_2) = G(\frac{2l}{3}, \frac{2l}{3}) = G(8,8) = \frac{1}{EJ} \cdot \frac{4l}{243};$$

Подставив полученные выше значения в формулу (10), выполняем несложные преобразования, после чего находим:

$$X_1 = EJ \frac{y_0(l_2) \cdot \frac{7}{486} - y_0(l_1) \cdot (\frac{4}{243} + \frac{EJ}{rl^3})}{l^3 (\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - [\frac{4}{243} + \frac{EJ}{rl^3}] \cdot [\frac{4}{243} + \frac{EJ}{rl^3}])}, \quad (11)$$

$$X_2 = EJ \frac{y_0(l_1) \cdot \frac{7}{486} - y_0(l_2) \cdot (\frac{4}{243} + \frac{EJ}{rl^3})}{l^3 (\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - [\frac{4}{243} + \frac{EJ}{rl^3}] \cdot [\frac{4}{243} + \frac{EJ}{rl^3}])}$$

Введём безразмерный коэффициент, зависящий от геометрических характеристик шпренгельной подкрановой балки:  $k = \frac{EJ}{rl^3}$ .

С учётом этого предыдущие формулы запишем так:

$$X_1 = EJ \frac{y_0(l_2) \cdot \frac{7}{486} - y_0(l_1) \cdot (\frac{4}{243} + k)}{l^3 (\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - [\frac{4}{243} + k] \cdot [\frac{4}{243} + k])}, \quad (12)$$

$$X_2 = EJ \frac{y_0(l_1) \cdot \frac{7}{486} - y_0(l_2) \cdot (\frac{4}{243} + k)}{l^3 (\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - [\frac{4}{243} + k] \cdot [\frac{4}{243} + k])};$$

С целью упрощения выражения для  $y_0(x)$  (9) введём обозначение:

$$\alpha(x) = \sum F_i \left\{ [1 - e(x - x_i)] \cdot \left[ \left(1 - \frac{x_i}{l}\right) \frac{x^3}{6} + x \left( \frac{x_i^2}{2} - \frac{x_i l}{3} - \frac{x_i^3}{6l} \right) \right] + e(x - x_i) \cdot \left[ -\frac{x_i x^3}{6 \cdot l} + \frac{x_i x^2}{2} + x \left( \frac{x_i l}{3} - \frac{x_i^3}{6l} \right) + \frac{x_i^3}{6} \right] \right\}. \quad (13)$$

Тогда получим 
$$y_0(x) = -\frac{1}{EJ} \alpha(x). \quad (14)$$

С учетом этого, неизвестные представим в следующем виде:

$$X_1 = -\frac{\alpha(l_2) \cdot \frac{7}{486} - \alpha(l_1) \cdot \left( \frac{4}{243} + k \right)}{l^3 \left( \frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - \left[ \frac{4}{243} + k \right] \cdot \left[ \frac{4}{243} + k \right] \right)} \quad (15)$$

$$X_2 = -\frac{\alpha(l_1) \cdot \frac{7}{486} - \alpha(l_2) \cdot \left( \frac{4}{243} + k \right)}{l^3 \left( \frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - \left[ \frac{4}{243} + k \right] \cdot \left[ \frac{4}{243} + k \right] \right)}.$$

Далее введём следующие обозначения:

$$\beta(x, \xi) = [1 - e(x - \xi)] \cdot \beta_1(x, \xi) + e(x - \xi) \cdot \beta_2(x, \xi);$$

$$\beta(x, \xi) = [1 - e(x - \xi)] \cdot \left[ \left(1 - \frac{\xi}{l}\right) \frac{x^3}{6} + x \left( \frac{\xi^2}{2} - \frac{\xi l}{3} - \frac{\xi^3}{6l} \right) + e(x - \xi) \cdot \left[ -\frac{\xi x^3}{6 \cdot l} + \frac{\xi x^2}{2} + x \left( \frac{\xi l}{3} - \frac{\xi^3}{6l} \right) + \frac{\xi^3}{6} \right];$$

$$\frac{\partial \beta_1}{\partial x} = \left[ \left(1 - \frac{\xi}{l}\right) \frac{x^2}{2} + A \right], \quad \frac{\partial^2 \beta_1}{\partial x^2} = \left(1 - \frac{\xi}{l}\right) x, \quad \frac{\partial^3 \beta_1}{\partial x^3} = \left(1 - \frac{\xi}{l}\right),$$

$$\frac{\partial \beta_2}{\partial x} = \left[ -\frac{\xi}{l} \frac{x^2}{2} + \xi x + B \right], \quad \frac{\partial^2 \beta_2}{\partial x^2} = \left[ -\frac{\xi}{l} x + \xi \right], \quad \frac{\partial^3 \beta_2}{\partial x^3} = \frac{\xi}{l} \quad (16)$$

Теперь функция Грина (1) принимает вид:

$$G(x, \xi) = -\frac{1}{EJ} \beta(x, \xi). \quad (17)$$

С учетом всех преобразований и новых обозначений функции прогибов определяем формулой:

$$y(x) = -\frac{1}{EJ} \sum F_i \cdot \alpha(x) + \frac{1}{EJ} X_1 \beta(x, l_1) + \frac{1}{EJ} X_2 \beta(x, l_2). \quad (18)$$

Теперь изгибающие моменты и поперечные силы (6, и 7) можно записать компактно:

$$M(x) = -EJ \cdot \left[ -\frac{1}{EJ} \sum F_i \cdot \alpha(x) + \frac{1}{EJ} X_1 \frac{\partial^2 \beta(x, l_1)}{\partial x^2} + \frac{1}{EJ} X_2 \frac{\partial^2 \beta(x, l_2)}{\partial x^2} \right], \quad (19)$$

$$M(x) = \sum F_i \cdot \alpha(x) - X_1 \frac{\partial^2 \beta(x, l_1)}{\partial x^2} - X_2 \frac{\partial^2 \beta(x, l_2)}{\partial x^2}, \quad (20)$$

$$Q(x) = -EJ \cdot \left[ -\frac{1}{EJ} \sum F_i \cdot \alpha(x) + \frac{1}{EJ} X_1 \frac{\partial^3 \beta(x, l_1)}{\partial x^3} + \frac{1}{EJ} X_2 \frac{\partial^3 \beta(x, l_2)}{\partial x^3} \right], \quad (21)$$

$$Q(x) = \sum F_i \cdot \alpha(x) - X_1 \frac{\partial^3 \beta(x, l_1)}{\partial x^3} - X_2 \frac{\partial^3 \beta(x, l_2)}{\partial x^3}. \quad (22)$$

Для проверки правильности построенных выше формул выполним «ручной» проверочный расчет». С этой целью примем коэффициент

$$k = \frac{EJ}{rl^3} = 0,00729; \quad x=4 \text{ м.}$$

Координаты сосредоточенных сил, действующих на шпренгельную подкрановую балку, в местах приложения колес мостового крана, примем по схеме приведенной ниже (рис.6).

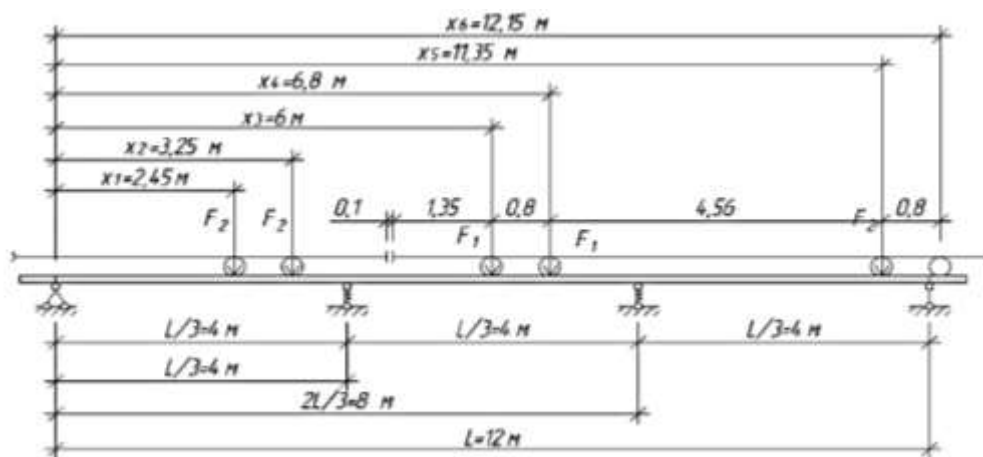


Рисунок 6 - Координаты расположения крановых колес и нагрузок от них

$$x_1 = 2,45\text{м}; \quad x_2 = 3,25\text{м}; \quad x_3 = 6\text{м}; \quad x_4 = 6,8\text{м}; \quad x_5 = 11,35\text{м}; \quad F_1 = 488\text{kH};$$

$$F_2 = 515\text{kH}; \quad l_1 = \frac{l}{3}.$$

При  $x_1 = 2,45\text{м}$  вычислим 1-е слагаемое суммы в функции (13)

$$\alpha(l_1) = - \left[ - \frac{2,45\text{м} \cdot 12^2 \text{ м}^2}{81 \cdot 2} + \frac{2,45\text{м} \cdot 12^2 \text{ м}^2}{18} - \frac{12\text{м}}{3} \left( \frac{2,45\text{м} \cdot 12\text{м}}{3} + \frac{2,45^2 \text{ м}^2}{6 \cdot 12} \right) + \frac{2,45^3 \text{ м}^3}{6} \right].$$

$$\cdot 515\text{kH} = 10374\text{kH} \cdot \text{м}^3.$$

Аналогично вычисляются и другие значения слагаемых функции (13).

при  $x_2 = 3,25\text{м}$  и  $F_2 = 515\text{kH}$       -2-е слагаемое

$$12913\text{kH} \cdot \text{м}^3.$$

при  $x_3 = 6\text{м}$  и  $F_2 = 515\text{kH}$       -3-е слагаемое

$$16266\text{kH} \cdot \text{м}^3.$$

при  $x_4 = 6,8\text{м}$  и  $F_1 = 515\text{kH}$       -4-е слагаемое

$$15360\text{kH} \cdot \text{м}^3.$$

при  $x_5 = 11,35\text{м}$  и  $F_2 = 515\text{kH}$       -5-е слагаемое

$$2521\text{kH} \cdot \text{м}^3.$$

Суммируя все полученные выше значения слагаемых, окончательно находим:

$$\alpha(l_1) = (10374 + 12913 + 16266 + 15360 + 2521)\text{kH} \cdot \text{м}^3 = 57434\text{kH} \cdot \text{м}^3;$$

По изложенной выше методике вычислены и другие значения функции (13)

$$\text{При } l_2 = \frac{2l}{3}, \quad \alpha(l_2) = 52473 \text{ kH} \cdot \text{м}^3;$$

$$\alpha(l_2) = (8551 + 10920 + 14965 + 15078 + 2959)\text{kH} \cdot \text{м}^3 = 52473\text{kH} \cdot \text{м}^3;$$

$$\alpha(4)'' = (-841 - 1115 - 976 - 849 - 111)\text{kH} \cdot \text{м}^3 = -3892\text{kH} \cdot \text{м}^3;$$

Теперь неизвестные легко вычисляются по формулам (12):



$$X_1 = - \frac{52473 \text{ kH} \cdot \text{m}^3 \cdot \frac{7}{486} - 57434 \text{ kH} \cdot \text{m}^3 \cdot (\frac{4}{243} + k)}{12^3 \text{ m}^3 (\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - [\frac{4}{243} + k] \cdot [\frac{4}{243} + k])} = 888,7 \text{ kH};$$

$$X_2 = - \frac{57434 \text{ kH} \cdot \text{m}^3 \cdot \frac{7}{486} - 52473 \text{ kH} \cdot \text{m}^3 \cdot (\frac{4}{243} + k)}{12^3 \text{ m}^3 (\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - [\frac{4}{243} + k] \cdot [\frac{4}{243} + k])} = 732 \text{ kH};$$

$$\frac{\partial^2 \beta(x, l_1)}{\partial x^2} = -2,66 \text{ м}; \quad \frac{\partial^2 \beta(x, l_2)}{\partial x^2} = -1,33 \text{ м};$$

$$M(4) = -3892 \text{ кНм} + 888,7 \text{ кН} \cdot 2,66 \text{ м} + 732 \text{ кН} \cdot 1,33 \text{ м} = 554,5 \text{ кНм},$$

$$\alpha(4)^{\text{III}} \cdot \Sigma F_i = (-0,204 - 0,27 - 0,5 - 0,43 - 0,054) = -1,458 \text{ кН} \cdot \text{м}^3;$$

$$\frac{\partial^3 \beta(x, l_1)}{\partial x^3} = -0,33; \quad \frac{\partial^3 \beta(x, l_2)}{\partial x^3} = -0,33;$$

$$Q(4) = -1,458 \text{ кН} + 888,7 \text{ кН} \cdot 0,33 + 732 \text{ кН} \cdot 0,33 = 269,4 \text{ кН},$$

Сравниваем полученные значения «ручного» расчета с расчетами, полученными на компьютере (по программе, работающей по приведенному выше алгоритму).

$$M_n = 536,055, \text{ кНм}, \quad Q_n = 288,032, \text{ кН}$$

где  $M_n, Q_n$  – момент и поперечное усилие, вычисленные по программе.

Находим погрешности вычислений

$$\delta_1 = \frac{M - M_n}{M} 100\% = \frac{554,5 - 536}{554,5} 100\% = 3,42\%;$$

$$\delta_2 = \frac{Q - Q_n}{Q} 100\% = \frac{269,4 - 288}{269,4} 100\% = -6,9\%;$$

Погрешности вполне приемлемы. Найденные погрешности являются результатом неточности «ручных» расчетов, поэтому все дальнейшие вычисления будем производить на компьютере, с использованием изложенного выше алгоритма (на основе функции Грина) [18,19,20,21].

Наиболее опасной схемой будем считать такую схему, при которой возникает самое большое значение изгибающего момента и (или) поперечной силы (рис.7).

Для нахождения этих внутренних усилий будем производить расчеты при различных положениях мостовых кранов на балке. Для этого будем перемещать краны относительно первоначального их положения ( $x_3 = 6\text{м}$ ) влево и вправо, с шагом в 1м, и «ловить» невыгодное положение кранов.

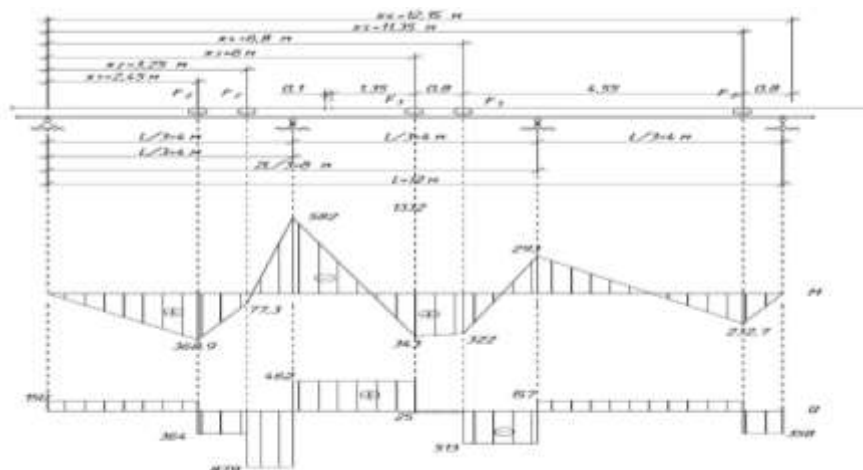


Рисунок 7 - Схемы эпюр моментов и поперечных сил, построенные по данным, рассчитанным с помощью разработанной программы

**Вывод.** Предлагаемый алгоритм, построенный на применении функции Грина, позволяет проводить расчеты, необходимые для подбора сечений элементов шпренгельных подкрановых балок с одной и двумя стойками.

### **Библиографический список:**

1. Ажермачев С.Г. Приближенный метод расчета шпренгельных подкрановых балок. Строительство и техногенная безопасность. Вып. 37. - 2011.- С.34-39.
2. Егоров В.В. Григорьев П.Н. Колебания шпренгельных систем с составной балкой жесткости. Транспортное, промышленное и гражданское строительство. Известия ПГУПС. 2008.- №4. - с.17-24.
3. Егоров В.В. Работа предварительно напряженных шпренгельных систем в условиях динамических воздействий. Материалы VI научно-методической конференции ВИТУ (14 марта 2002 года). – СПб.: ВИТУ, 2002. – С. 86-91.
4. Клыков В.М., Лихтарников Я.М. Расчет стальных конструкций. М.:1975.- С.30-41.
5. Ливановский Н.Н., Богатырева И.В. Усиление железобетонных балок шпренгельными затяжками и вложенными шпренгельями. XII международная конференция «Перспективы развития фундаментальных наук» Россия, Томск, 21-24 апреля 2015. - С.1338-1340.
6. Муселемов Х.М., Устарханов О.М., Юсупов А.К. Разработка и исследование шпренгельных балок новой раскройки. V Международная научно-практической конференции «Научные исследования: от теории к практике». Технические науки. Чебоксары. 2015.- Т.2 - С.62-70.
7. «Металлические конструкции» – под редакцией Е.И. Беленя, Москва, Стройиздат, 1986.- С.382-384.
8. «Металлические конструкции» - под редакцией Ю.И. Кудишина, Москва, Академия, 2011. - С.439-442.
9. Сибгатуллин М.Т. Диссертация. Совершенствование металлодеревянных шпренгельных балок. 2003.- С.114-121.
10. Патент РФ 130333 РФ. МПК E04G 23/02. Шпренгель для усиления и обеспечения живучести изгибаемого железобетонного элемента / В.С. Плевков, Г.И. Однокопылов, И.В. Богатырева. Заявлено 08.02.2013; Оpubл. 20.07.2013, Бюл. № 20. – 5 с.
11. Патент РФ на изобретение №2169242, E04 C 3/08. Шпренгельная ферма / Алексашкин Е.Н., Егоров В.В., Забродин М.П., Сметанин Д.С. Оpubл. 20.06. 2001 Бюл. №17.
12. Патент РФ на изобретение №2169243, E04 C 3/10. Предварительно напряженная шпренгельная ферма / Егоров В.В., Алексашкин Е.Н. Оpubл. 20.06. 2001 в Бюл. №17.
13. Строительные нормы и правила. Стальные конструкции. Нормы проектирования. СНиП II-23-81\*. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. - С.48-49.
14. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. СНиП 2.01.07-85\*. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 2003. - С.6-7.
15. Стальные конструкции. Справочник конструктора. Под ред. Мельникова Н.П. М.: Стройиздат, 1980.- С.195-196.
16. СНиП II-23-81\* «Стальные конструкции». Нормы проектирования - Москва, стройиздат, 1990г.- С.48-49.
17. СНиП 2-01-07-85\* «Нагрузки и возведения». - Москва, стройиздат, 1986г. -105с., с изм. на 1 января 1987г., 1 июля 1990г., 5 июля 1993г., 29 мая 2003г. - С.6-7.
18. Смирнов А.А. Развитие однопролетных несущих конструкций. Всероссийский журнал для профессионалов «СтройПРОФиль». Металлические конструкции. 2011-Т. 11- №4 - С.35-37.
19. Юсупов А.К. Металлические конструкции в вопросах, в ответах и в проектировании». ДГТУ. Махачкала, 2010. - С.222-231.
20. Юсупов А.К. Методы прикладной математики в строительной механике. Вестник Дагестанского государственного технического университета. 2008. - Т.8.-№1- С.80-82.

21. Hart F. (Munich), Henn V. (Braunschweig), Sontag H. (Berlin), *Atlas of steel structures*. Moscow: Stroyizdat, 1977, pp.37-84.

#### References:

1. Airmacau G. Approximate method of calculation of truss crane beams. Construction and industrial safety. Issue 37, 2011, pp. 34-39. (In Russian)
2. Egorov In. Grigoriev P.N. Fluctuations truss systems with composite beam stiffness. *Transportnoe, promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. Izvestija PGUPS Transport, industrial and civil construction*. [Proceedings of Petersburg transport University]. 2008, no. 4. pp.17-24. (In Russian)
3. Egorov In. Work prestressed truss systems in terms of dynamic effects. Materials of the VI scientific conference VITU (March 14, 2002). St. Petersburg: VITU, 2002, pp. 86-91. (In Russian)
4. Klykov V.M., Lihtarnikov Ja.M. Calculation of steel structures. Moscow:1975, pp. 30-41. (In Russian)
5. Lewandowski N.N., Bogatyrev I.V. Strengthening of reinforced concrete beams truss bongs and nested sprengerae. XII international conference of students and young scientists "Prospects of fundamental Sciences development" Russia, Tomsk, April 21-24, 2015, pp.1338-1340. (In Russian)
6. Muselemov H.M., Ustarhanov O.M., Jusupov A.K. Development and investigation of truss beams new cutting. In the scientific-practical international conference "Scientific research: from theory to practice". Technical Sciences. Cheboksary. 2015, vol. 2, pp. 62-70. (In Russian)
7. Belina E.I. Metal structures. Moscow: Stroyizdat, 1986, pp. 382-384. (In Russian)
8. Kudishin Y.I. Metal structures. Moscow: Akademija, 2011, pp. 439-442. (In Russian)
9. Sibgatullin M.T. Thesis. Improving wood truss beams. 2003, pp. 114-121. (In Russian)
10. RF patent 130333. IPC E04G 23.02. Sprengel to strengthen and ensure the survivability of bendable reinforced concrete elements. V. S. Spittles, G. I. Odinkaya, I. V. Bogatyrev. 08.02.2013 Stated; Publ. 20.07.2013, Bull., no. 20, 5 p. (In Russian)
11. RF patent for the invention №2169242, E04, From 3/08. Truss farm. Aleksashkin E.N., Egorov V.V., Zabrodin M.P., Smetanin D.S Publ. 20.06. 2001, Bull., no. 17. (In Russian)
12. RF patent №invention 2169243, E04 3.10. Pre-stressed truss farm. Egorov V. V., the role of E. N. Publ. 20.06. 2001, Bul. no.17. (In Russian)
13. Building regulations. Construction Steel. Design standards. SNiP II-23-81. Moscow: TSITP of USSR Gosstroi, 1990, pp. 48-49. (In Russian)
14. Building regulations. Loads and impacts. Design standards. SNiP 2.01.07-85 Moscow: TSITP of USSR Gosstroi, 2003, pp. 6-7. (In Russian)
15. Construction Steel. Handbook of the designer. Under the editorship of Melnikov N. P. Moscow: Stroyizdat, 1980, pp. 195-196. (In Russian)
16. SNiP II-23-81\* Steel construction. Design standards. Moscow: Stroiizdat, 1990, pp. 48-49. (In Russian)
17. SNiP 2-01-07-85\* Loads and construction. Moscow: Stroyizdat, 1986, Rev. January 1, 1987, July 1, 1990, July 5, 1993, and 29 may 2003, pp. 6-7. (In Russian)
18. Smirnov A.A. the Development of single-span load-bearing structures. Russian journal for professionals. Stroyprofil. The metal structure. vol.11, no.4, 2011. pp. 35-37. (In Russian)
19. Yusupov A.K. A Metal structure in the questions, answers and design. *Dagestanskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. Makhachkala*, 2010, pp. 222-231. (In Russian)
20. Yusupov A.K. Methods of applied mathematics in structural mechanics. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. [Herald of Daghestan State Technical University. Technical science]. 2008, vol.12, pp. 80-82. (In Russian)
21. Hart F. (Munich), Henn V. (Braunschweig), Sontag H. (Berlin), *Atlas of steel structures*. Moscow: Stroyizdat, 1977, pp.37-84.

**Сведения об авторах.**

**Акаев Насрутдин Калимуллаевич** – ассистент, кафедра строительных конструкций гидротехнических сооружений, кафедра строительных конструкций и гидротехнических сооружений.

**Юсупов Абусупьян Курашевич** – доктор технических наук, профессор, кафедра строительных конструкций и гидротехнических сооружений.

**Authors information.**

**Nasrudin K. Akayev** – Assistant Professor, Department of structures and hydraulic structures.

**Abusupyran K. Yusupov** – Doctor of technical Sciences, Professor, Department of structures and hydraulic structures.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

**Поступила в редакцию** 01.06.2016.

**Received** 01.06.2016.

**Принята в печать** 30.06.2016.

**Accepted for publication** 30.06.2016.