

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра механики

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ (РГР)
«РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ СИСТЕМ НА
СЛУЧАЙНЫЕ ПОСТОЯННУЮ И ПОДВИЖНУЮ НАГРУЗКИ»**

Казань
2015

УДК 624.04

ББК 38.112

Л84

Л84 Методические указания к выполнению расчетно-графической работы (РГР) «Расчет статически определимых систем на случайные постоянную и подвижную нагрузки» / Сост.: В.И. Лукашенко, М.Ф. Минсагиров. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2015. – 23 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Методические указания определяют задания и порядок выполнения самостоятельной работы, предусмотренной рабочей программой по курсу «Вероятностные методы строительной механики и теория надежности строительных конструкций» для студентов специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Ил. 8; табл. 10.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры металлоконструкций и ИС

О.И. Ефимов

УДК 624.04

ББК 38.112

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2015

© Лукашенко В.И.,
Минсагиров М.Ф., 2015

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1. Основанием для выполнения РГР служит индивидуальная карточка-задание, выдаваемая преподавателем. Индивидуальная карточка наклеивается на титульный лист расчетно-пояснительной записки.

2. Расчетно-графическая работа выполняется в виде расчетно-пояснительной записки на листах чертежной бумаги (формат 210x297 мм), соединенных в брошюру-альбом. Оформление РГР (текст, чертежи) проводится с соблюдением требований ЕСКД (Единой системы конструкторской документации, ГОСТ 2.105-68) и стандарта предприятия «Дипломные и курсовые проекты. Требования к оформлению пояснительной записки и чертежей», КИСИ, 1990.

3. Сроки выполнения РГР устанавливаются учебными планами деканатов в соответствии с утвержденными рабочими программами. Текущий контроль выполнения задач и консультации по ним ведутся преподавателями кафедры.

4. Прием РГР ведется индивидуально с проверкой разделов теоретических знаний и выдачей тестовых задач.

5. ПЭВМ и программное обеспечение используются для самоконтроля, приобретения навыков исследовательской работы, более глубокого понимания изучаемых методов; необходимость их использования определяется преподавателем.

Порядок выполнения

1. Провести кинематический анализ и построить поэтажную схему заданной системы (стр. 21–23).
2. Построить линии влияния (Л.В.) внутренних усилий M , Q в заданном сечении k .
3. Используя нормальный закон распределения, смоделировать случайные величины в Excel-таблицах для всех заданных нагрузок (постоянных и временных) в заданных пределах их изменения.
4. Вычислить характеристики распределения случайных нагрузок и доверительные интервалы обнаружения их М.О. с вероятностью 0.95–0.99 в Excel-таблицах.
5. Определить расчетные сочетания нагрузок.
6. Для невыгоднейших сочетаний постоянной и временных нагрузок определить диапазоны изменения M , Q по Л.В..
7. Используя нормальный закон распределения, смоделировать случайные величины в Excel-таблицах для M , Q в полученных пределах их изменения.
8. Вычислить характеристики распределения случайных M , Q и доверительные интервалы обнаружения их М.О. с вероятностью 0.95–0.99 в Excel-таблицах.
9. Подобрать параметры сечения по найденным значениям М.О. M , Q .

10. Для заданных диапазонов прочности бетона, стали и глубины закладки арматуры определить вероятностные характеристики распределения предельных M , Q с вероятностью 0.95–0.99 в Excel-таблицах.

11. Определить характеристики резерва и коэффициенты запаса прочности.

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМОЙ СИСТЕМЫ НА СЛУЧАЙНЫЕ ПОСТОЯННУЮ И ПОДВИЖНУЮ НАГРУЗКИ

(Пример расчета)

Последовательность расчета подобных систем проследим на примере составной системы (рис. 1):

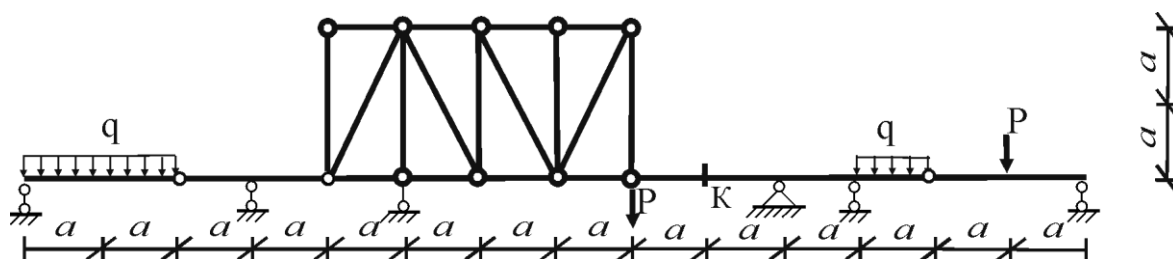


Рис. 1

Исходные данные: $a=10\text{ м}$.

Нагрузки подвижные (временные).

Случай 1: $q + P1$ (А-8 $q_{\min} = 8\text{ кН/м}$, А-11 $q_{\max} = 11\text{ кН/м}$, $P1 = 110\text{ кН}$, $l=1,5\text{ м}$).

Случай 2: НК – 800 кН тяжелая техника (4*200кН с шагом $b2=1,2\text{ м}$).

Случай 3: НК – 600 кН гусеничная техника (600кН на длине $b3=5\text{ м}$).

Нагрузки неподвижные (постоянные).

Собственный вес (покрытие, конструкция и оборудование):

$q_{\text{пост}}$ (от 60кН/м до 70кН/м).

1. Провести кинематический анализ и построить поэтажную схему заданной системы (стр. 21–23).

Кинематический анализ

Система (рис.1) состоит из фермы, представляющей собой геометрически неизменяемую конструкцию ($D = 1$), и четырех балок ($D = 4$), последовательно соединенных четырьмя простыми шарнирами ($III = 4$) и опирающихся на одну неподвижную ($C_{on} = 2$) и пять подвижных ($C_{on} = 1$) опор.

а) Количественная оценка неизменяемости системы

Определим число степеней свободы W :

$$W = 3D - 2III - C_{on} = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 4 - 7 = 0.$$

Необходимое условие статической определимости и геометрической неизменяемости выполняется.

б) Качественная оценка неизменяемости системы

Сборку и построение этажной схемы (рис. 2) проводим методом триад, начиная с диска V, последовательно присоединяя к ней диски III, II и присоединяя диск IV.

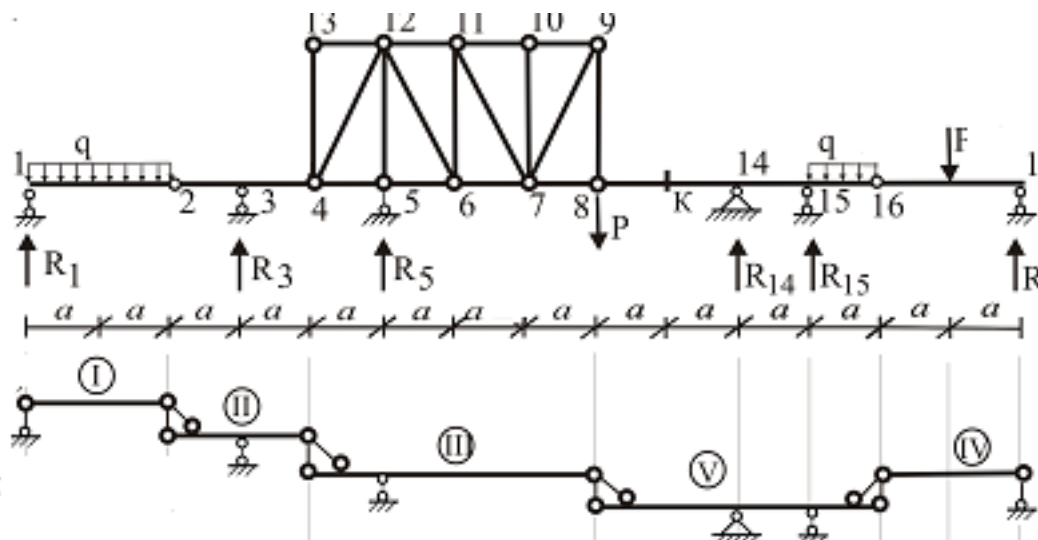


Рис. 2

2. Построить линии влияния (Л.В.) внутренних усилий M , Q в заданном сечении k .

Построение линий влияния опорных реакций и усилий M_k , Q_k

Статическим методом строим линии влияния всех опорных реакций и внутренних усилий M и Q в заданном сечении K составной системы (рис. 1).

а) Линии влияния опорных реакций

Начнем с главной балки (балка V на рис. 2).

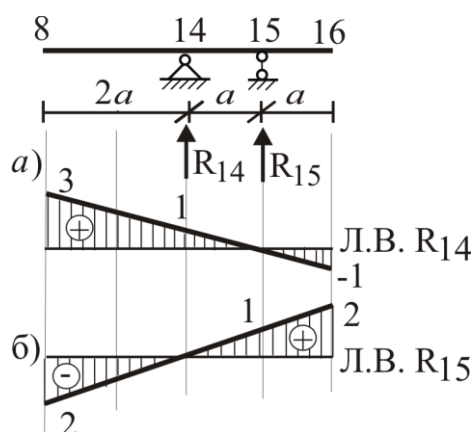


Рис. 3

Линии влияния этой балки показаны на рис. 3а, 3б.

Затем эти результаты переносим на Л.В. R_{14} и R_{15} для всей балки в участке между точками 8–16 и, используя этажную схему (рис. 2), распространяем линии влияния влево и вправо (рис. 5д, 5е). Аналогично строим линии влияния опорных реакций R_1 , R_3 , R_5 , R_{17} (рис. 5б, 5в, 5г, 5ж).

б) Линии влияния M_k, Q_k

По рис. 4а имеем:

1) сила $P=1$ слева от сечения K :

$$\sum m_K^{np} = -M_K + R_{14} \cdot a + R_{15} \cdot 2a = 0,$$

$$M_K = aR_{14} + 2aR_{15};$$

$$\sum y^{np} = Q_K + R_{14} + R_{15} = 0, \quad Q_K = -R_{14} - R_{15};$$

2) сила $P=1$ справа от сечения K :

$$\sum m_K^{лев} = M_K = 0, \quad M_K = 0.$$

$$\sum y^{лев} = -Q_K = 0, \quad Q_K = 0.$$

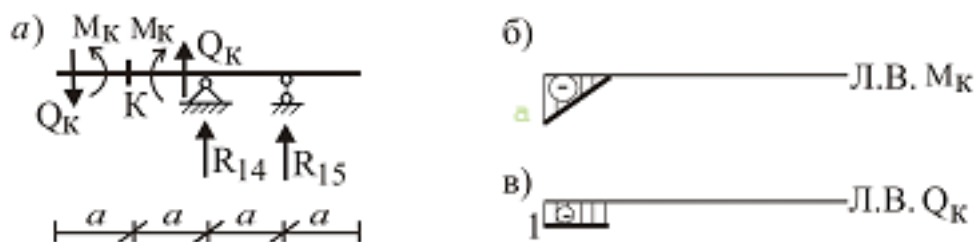



Рис. 4

Используя Л.В. R_{14} и R_{15} (рис. 3а,б), по полученным формулам строим Л.В. M_K и Q_K (рис. 4б,в). Затем их переносим на Л.В. составной системы на участок между точками 8–16 и распространяем влево и вправо (рис. 5з,и).

Все линии влияния проверяем кинематическим методом.

Для выполнения последующих вычислений (п/п с 3 по 11 см. **Порядок**

выполнения) используется программа  RGR 15,04,2015.xlsx типа книга Microsoft, каждая страница которой реализует свой пункт вычислений.

Страница 1(ЛВ) – описание линий влияния M_k и Q_k , построенных при выполнении пункта 2. Производит вычисление площадей ϖ_i^+ и ϖ_i^- на участках ЛВ M_k и Q_k для равномерно распределенных нагрузок q по заданным отдельно для положительных и отрицательных участков ЛВ описаниям: **характерный размер** – a (любое число, кратное длинам всех участков), **количество*** a – длина участка, **значение** – максимальное значение на участке ЛВ, **площадь+**, **площадь-** соответственно площадь треугольника или трапеции (второй участок на ЛВ Q_k) рис. 5.

Страница 2(**Постоянная нагрузка**) и страница 3(**A8-A11**) производят вычисление диапазона M_k и Q_k от случайных распределенных нагрузок с доверительной вероятностью 0,99.

Страница 4(**P1**), страница 5(**НК800**) и страница 6 (**НК600**) производят определение диапазона M_k и Q_k при невыгоднейших положениях кратковременных сосредоточенных и особых нагрузок.

Страница 7(Рез-ты М-ов) реализует пункты 5–6, определяя для невыгоднейших сочетаний всех возможных случаев диапазон M_k и Q_k

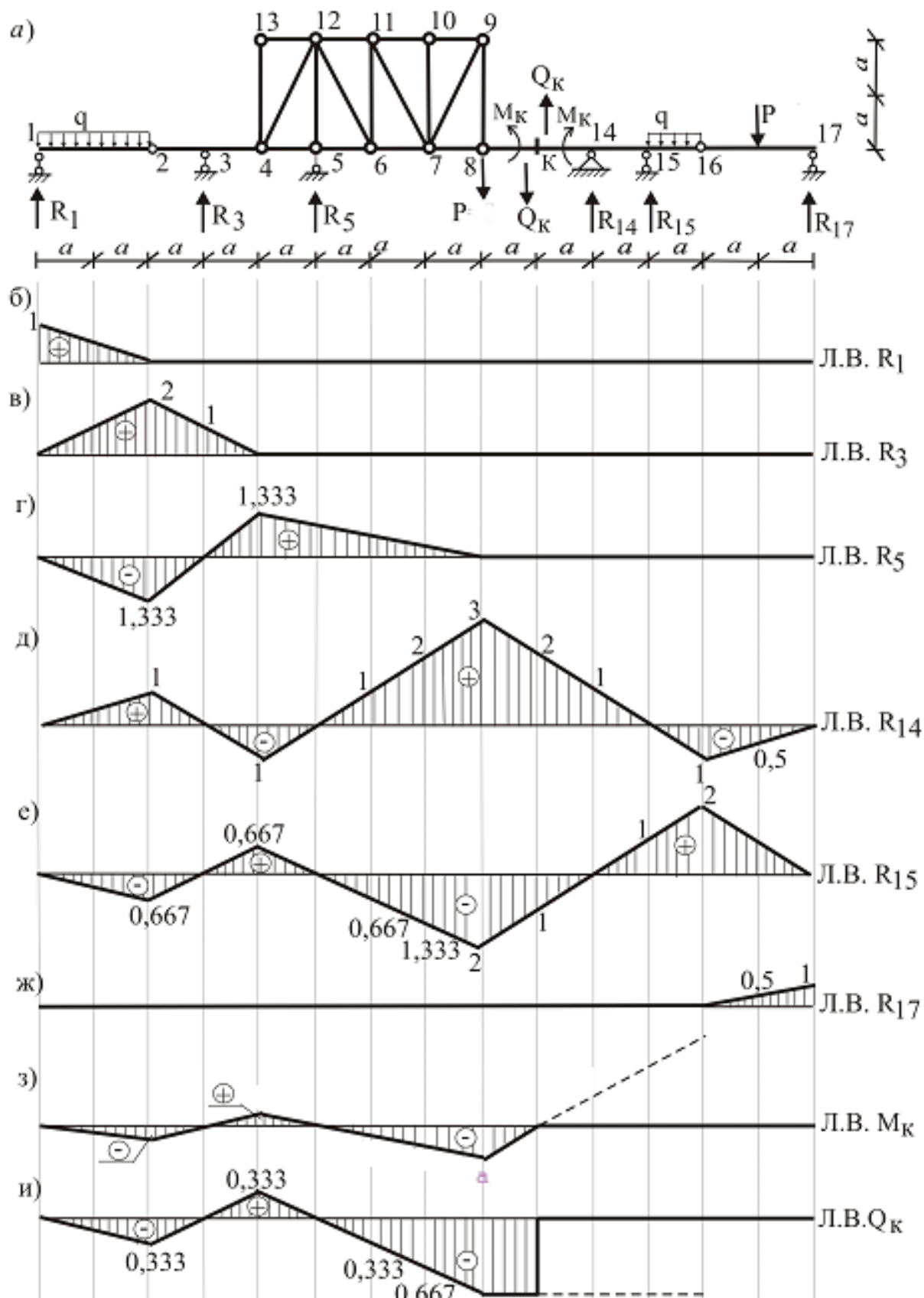


Рис. 5

3. Используя нормальный закон распределения, смоделировать случайные величины в Excel-таблицах для всех заданных нагрузок (постоянных и временных) в заданных пределах их изменения.

4. Вычислить характеристики распределения случайных нагрузок и доверительные интервалы обнаружения их М.О. с вероятностью 0.95–0.99 в Excel-таблицах.

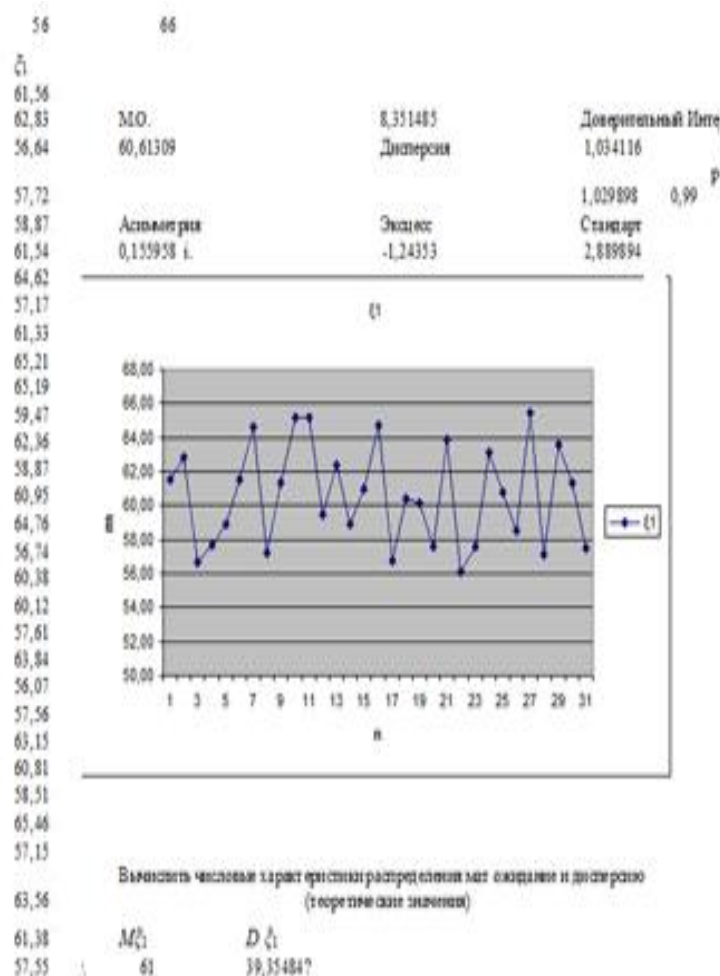
Для подвижных (временных) нагрузок АК

Таблица 1

1. Сформировать статистический ряд значений случайной величины ξ распределенной равномерно интервале $[a, b]$		
a	b	
8	11	
ξ Случай 1 q - подвижная (А-8 qmin = 8кН/м, А-11 qmax = 11кН/м)		
8,91		
10,20	Стандарт	
9,30	0,795939	
9,89		
9,95		
10,56	М.О.	
10,13	9,664881	
10,52		
8,88		
9,45		
8,31	0,633518	
10,34	Дисперсия	
9,79		
9,84		
10,81	С вероятностью 0,95	
8,31	Доверительный Интервал	
9,46	0,284818	
10,64		
10,30	С вероятностью 0,99	
9,54	Доверительный Интервал	
9,94	0,397041	
10,77		
9,93		
8,53		
8,27		
10,64		
8,37		
8,99		
10,67		
9,34		
9,03		
Вычислить числовые характеристики распределения математическое ожидание и дисперсию (теоретические значения)		
$M\xi$	$D\xi$	
9,5	4,75	

Для неподвижных (постоянных) нагрузок

Таблица 2



5. Определить расчетные сочетания нагрузок.

Расчет конструкций по предельным состояниям первой и второй групп следует выполнять с учетом неблагоприятных сочетаний нагрузок или соответствующих им усилий. Эти сочетания устанавливаются из анализа реальных вариантов одновременного действия различных нагрузок для рассматриваемой стадии работы конструкции. В зависимости от учитываемого состава нагрузок следует различать:

а) основные сочетания нагрузок, состоящие из постоянных, длительных и кратковременных (случай 1);

б) особые сочетания нагрузок, состоящие из постоянных, длительных, кратковременных и одной из особых нагрузок (случаи 2 и 3).

Временные нагрузки с двумя нормативными значениями следует включать в сочетания как длительные – при учете пониженного нормативного значения; как кратковременные – при учете полного нормативного значения.

Если полная нагрузка включает n отдельных случайных, корреляционно не связанных нагрузок, то центр распределения и дисперсия ее равны сумме этих характеристик составляющих нагрузок.

Случай 1: $q + P1$ (А-8 $q_{min} = 8 \text{ кН/м}$, А-11 $q_{max} = 11 \text{ кН/м}$, $P1 = 110 \text{ кН}$, $l = 1,5 \text{ м}$).

Расчетная : $M.O.(q) + \text{Доверительный интервал макс}(0,95;0,99) = 9,664881 + 0,397041 = 10,062 \text{ кН/м}$, $P1 = 110 \text{ кН}$ (в невыгоднейших положениях на Л.В. усилий M, Q в заданном сечении κ) и

$M.O.(q \text{ пост}) + \text{Доверительный интервал макс}(0,95;0,99) = 60,61309 + 1,034116 = 61,645 \text{ кН/м}$.

Случай 2: НК – 800 кН тяжелая техника ($4 \times 200 \text{ кН}$ с шагом $b_2 = 1,2 \text{ м}$) (в невыгоднейших положениях на Л.В. усилий M, Q в заданном сечении κ) и $M.O.(q \text{ пост}) + \text{Доверительный интервал макс}(0,95;0,99) = 60,61309 + 1,034116 = 61,645 \text{ кН/м}$.

Случай 3: НК – 600 кН гусеничная техника (600 кН на длине $b_3 = 5 \text{ м}$) (в невыгоднейших положениях на Л.В. усилий M, Q в заданном сечении κ) и $M.O.(q \text{ пост}) + \text{Доверительный интервал макс}(0,95;0,99) = 60,61309 + 1,034116 = 61,645 \text{ кН/м}$.

Коэффициент вариации (изменчивости) с.в. (полная нагрузка) тогда можно записать так:

$$V_Q = \sqrt{\widehat{Q}/\overline{Q}^2} \text{ или}$$

$$V_Q = \sqrt{\sum_{i=1}^n \alpha_i^2 V_{Qi}^2}, \text{ где}$$

$$\alpha_i = \overline{Q}_i / \overline{Q} - \text{доля } i\text{-й нагрузки в общем нагружении, а}$$

$$V_{Qi} = \sqrt{\widehat{Q}_i/\overline{Q}_i^2} - \text{вариация (изменчивость) } i\text{-й нагрузки.}$$

6. Для невыгоднейших сочетаний постоянной и временных нагрузок определить диапазоны изменения M, Q в заданном сечении κ по Л.В. для каждого случая.

Случай 1: $q + P1$ (А-8 $q_{min} = 8 \text{ кН/м}$, А-11 $q_{max} = 11 \text{ кН/м}$, $P1 = 110 \text{ кН}$, $l = 1,5 \text{ м}$).

Расчетная: $M.O.(q) + \text{Доверительный интервал макс}(0,95;0,99) = 9,664881 + 0,397041 = 10,062 \text{ кН/м}$, $P1 = 110 \text{ кН}$ (в невыгоднейших положениях на Л.В. усилий M, Q в заданном сечении κ) и $M.O.(q \text{ пост}) + \text{Доверительный интервал макс}(0,95;0,99) = 60,61309 + 1,034116 = 61,645 \text{ кН/м}$.

$$M_{k \max} = M_k(q \text{ пост}) + M_k(q +) + M_k(P1+),$$

$$M_{k \min} = M_k(q \text{ пост}) - M_k(q -) - M_k(P1-),$$

$$Q_{k \max} = Q_k(q \text{ пост}) + Q_k(q +) + Q_k(P1+),$$

$$Q_{k \min} = Q_k(q \text{ пост}) - Q_k(q -) - Q_k(P1-).$$

Здесь:

$$M_k(q \text{ пост}) = \sum_{i=1}^S (q \text{ пост}) \times \omega_i (\text{Л.В.} M_k),$$

$$Q_k(q \text{ пост}) = \sum_{i=1}^S (q \text{ пост}) \times \omega_i (\text{Л.В.} Q_k)$$

где ω_i – площадь участка i на л.в., а S – число всех участков,

$$M_k(q +) = \sum_{i=1}^{S+} (q) \times \omega_i (\text{Л.В.} M_k),$$

$$M_k(q -) = \sum_{i=1}^{S-} (q) \times \omega_i (\text{Л.В.} M_k),$$

$$Q_k(q +) = \sum_{i=1}^{S+} (q) \times \omega_i (\text{Л.В.} Q_k),$$

$$Q_k(q -) = \sum_{i=1}^{S-} (q) \times \omega_i (\text{Л.В.} Q_k),$$

$S+$ – число положительных участков, а $S-$ – число отрицательных участков.

Аналогично,

$$M_k(P1 +) = \sum_{i=1}^{S+} (P1) \times y_{\max} (\text{Л.В.} M_k),$$

$$M_k(P1 -) = \sum_{i=1}^{S-} (P1) \times y_{\min} (\text{Л.В.} M_k),$$

$$Q_k(P1 +) = \sum_{i=1}^{S+} (P1) \times y_{\max} (\text{Л.В.} Q_k),$$

$$Q_k(P1 -) = \sum_{i=1}^{S-} (P1) \times y_{\min} (\text{Л.В.} Q_k),$$

Расчеты сводятся в табл. 3, 4, 5.

Случай 1

($a = 10\text{м}$, $q \text{ пост} = 61,645\text{кН/м}$, $q = 10,062\text{кН/м}$, $P1 = 110\text{кН}$)

Таблица 3

$M_k \backslash \omega_i (\text{Л.В.} M_k)$	$\omega_1 = -50$	$\omega_2 = 33,3$	$\omega_3 = -200$	$\omega_4 = 0$	$\omega_5 = 0$	$\Sigma = -216,7$
$M_k(q \text{ пост})$	-3082,25	2054,83	-12390	0	0	-13358,5
$M_k(q +)$		335,07				335,07
$M_k(P1 +)$		366,67				366,67
$M_{k \max}$						-12856,8
$M_k(q -)$	-503,1		-2012,4			-2515,5
$M_k(P1 -)$	-366,67		-1100			-1466,67
$M_{k \min}$						-17341,67

$Q_k \backslash \omega_i$ (Л.В. Q_k)	$\omega_1 = -5$	$\omega_2 = 3,33$	$\omega_3 = -30$	$\omega_4 = 0$	$\omega_5 = 0$	$\Sigma = -31,67$
$Q_k (q \text{ пост})$	-308,225	205,483	-1849,35	0	0	-1952,09
$Q_k (q +)$		33,32				33,32
$Q_k (P1 +)$		36,67				36,67
$Q_{k \max}$						-1882,1
$Q_k (q -)$	-50,31		-301,86			-352,17
$Q_k (P1 -)$	-33,32		-110			-143,32
$Q_{k \min}$						-2447,58

Случай 2

($a = 10\text{м}$, $q \text{ пост} = 61,645\text{кН/м}$, $\text{НК}800 = 800\text{кН}$)

Таблица 4

$M_k \backslash \omega_i$ (Л.В. M_k)	$\omega_1 = -50$	$\omega_2 = 33,3$	$\omega_3 = -200$	$\omega_4 = 0$	$\omega_5 = 0$	$\Sigma = -216,7$
$M_k (q \text{ пост})$	-3082,25	2054,83	-12390	0	0	-13358,5
$M_k (\text{НК}800 +)$		2666,67				2666,67
$M_{k \max}$						-10691,83
$M_k (\text{НК}800 -)$	-2666,67		-8000			-10666,67
$M_{k \min}$						-24025,17

$Q_k \backslash \omega_i$ (Л.В. Q_k)	$\omega_1 = -5$	$\omega_2 = 3,33$	$\omega_3 = -30$	$\omega_4 = 0$	$\omega_5 = 0$	$\Sigma = -31,67$
$Q_k (q \text{ пост})$	-308,225	205,483	-1849,35	0	0	-1952,09
$Q_k (\text{НК}800 +)$		266,67				266,67
$Q_{k \max}$						-1585,42
$Q_k (\text{НК}800 -)$	-266,67		-800			-1066,67
$Q_{k \min}$						-3018,76

Случай 3

($a = 10\text{м}$, $q \text{ пост} = 61,645\text{кН/м}$, $\text{НК}600 = 600\text{кН}$)

Таблица 5

$M_k \backslash \omega_i$ (Л.В. M_k)	$\omega_1 = -50$	$\omega_2 = 33,3$	$\omega_3 = -200$	$\omega_4 = 0$	$\omega_5 = 0$	$\Sigma = -216,7$
$M_k (q \text{ пост})$	-3082,25	2054,83	-12390	0	0	-13358,5
$M_k (\text{НК}600 +)$		2000				2000
$M_{k \max}$						-11358,5
$M_k (\text{НК}600 -)$	-2000		-6000			-8000
$M_{k \min}$						-21358,5

$Q_k \backslash \omega_i$ (Л.В. Q_k)	$\omega_1 = -5$	$\omega_2 = 3,33$	$\omega_3 = -30$	$\omega_4 = 0$	$\omega_5 = 0$	$\Sigma = -31,67$
Q_k (q пост)	-308,225	205,483	-1849,35	0	0	-1952,09
Q_k (НК600 +)		200				200
$Q_{k \max}$						-1752,09
Q_k (НК 600 -)	-200		-600			-800
$Q_{k \min}$						-2752,09

7. Используя нормальный закон распределения, смоделировать случайные величины в Excel-таблицах для М, Q в полученных пределах их изменения .

$$M_{k \max} = -10691,83 \quad M_{k \min} = -24025,17$$

$$Q_{k \max} = -1585,42 \quad Q_{k \min} = -3018,76$$

8. Вычислить характеристики распределения случайных М, Q и доверительные интервалы обнаружения их М.О. с вероятностью 0.95–



0.99 в Excel-таблицах RGR 15,04,2015.xlsx (страницы 8 и 9).

Коэффициенты вариации (изменчивости) с.в. (Mk) и (Qk) можно записать так :

$$V_{Mk} = \sqrt{\widehat{M}_k / \overline{M}_k^2} = \sigma(Mk) / \overline{M}_k = 4214,545 / 17669,73 = 0,2385 \text{ и,}$$

аналогично,

$$V_{Qk} = \sqrt{\widehat{Q}_k / \overline{Q}_k^2} = \sigma(Qk) / \overline{Q}_k = 441,8624 / 2236,947 = 0,1975,$$

где σ – стандарт, а \overline{M}_k и \overline{Q}_k – М.О. Mk и Qk .

Если принять за нормативные значения М.О. случайной выборки при заданном законе распределения (в СНиП это соблюдается не строго), а расчетным значениям приписать величины, соответствующие характеристике безопасности β с вероятностью $p = 0,99$: $P = 0.5 + \Phi(\beta) = 0.99 \rightarrow$ характеристика безопасности $\beta = 2,33$.

Расчеты сводятся в табл. 6, 7.

Таблица 6

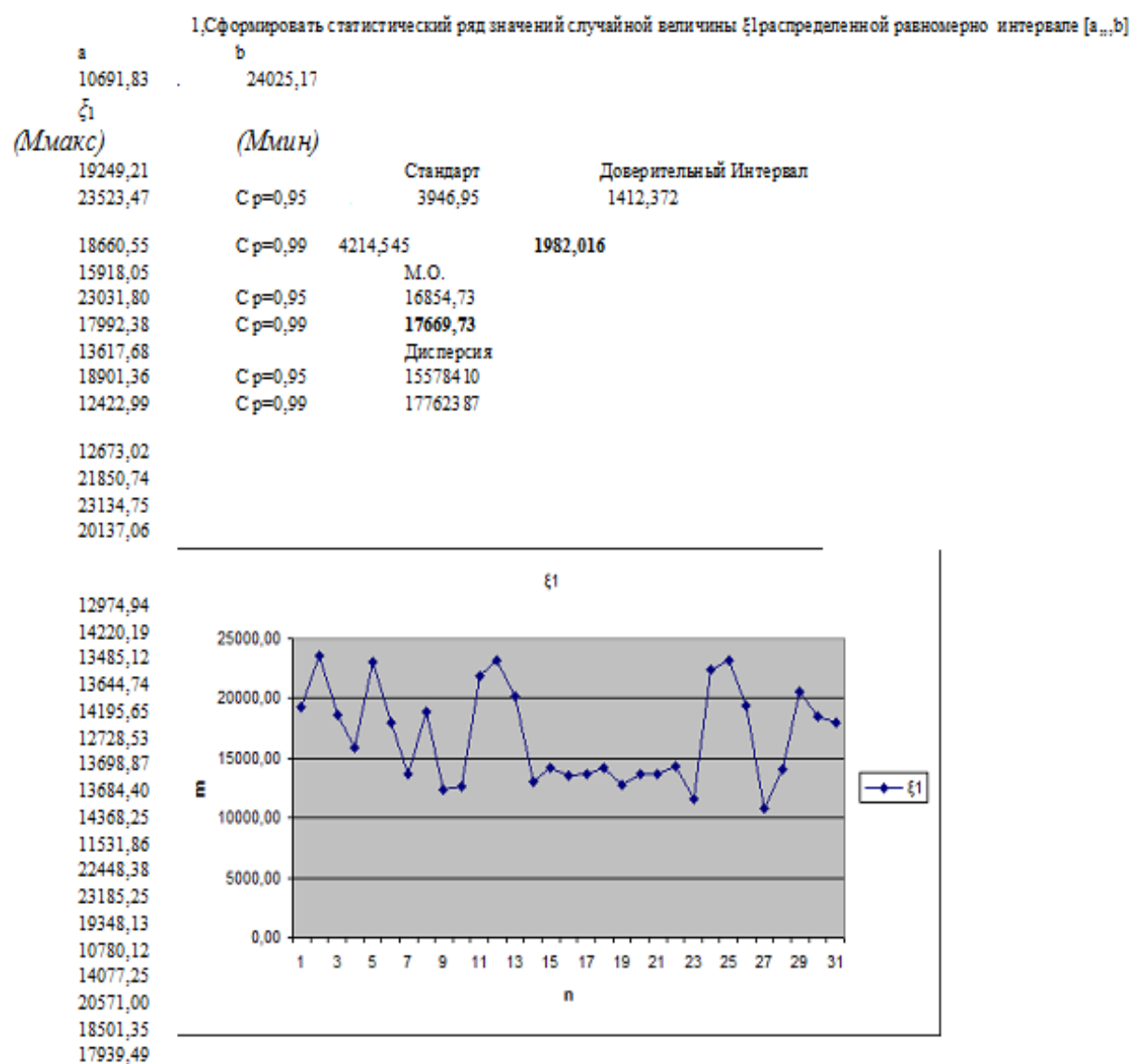
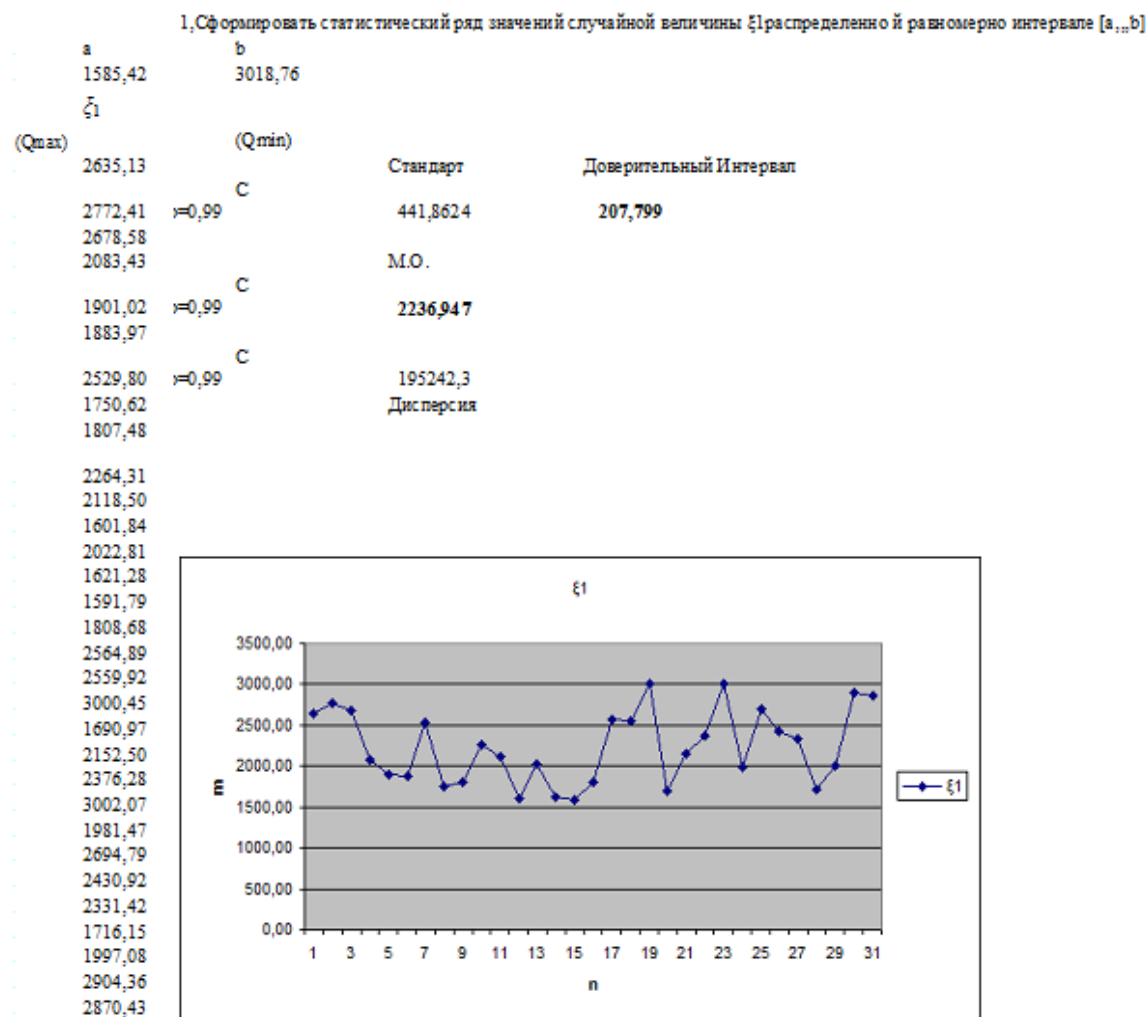


Таблица 7



Расчетное M_k равно максимуму его М.О. при полученном доверительном интервале – **(17669,73 + 1982,016 = 19651,75) кН/м.**

Расчетное Q_k равно максимуму его М.О. при полученном доверительном интервале – **(2236,947 + 207,799 = 2444,75)кН.**

$$\bar{K} = \frac{1 + \sqrt{1 - k_0 k_n (2 - k_0)(2 - k_n)}}{[k_0 (2 - k_0)]} - \text{коэффициент запаса, где}$$

$k_n = 1 + \beta V(M_k) = 1 + 2,33 * 0,2385 = \mathbf{1,556}$ – коэффициент перегрузки относительно расчетной нагрузки в сечении k по M_k ,

$k_n = 1 + \beta V(Q_k) = 1 + 2,33 * 0,1975 = \mathbf{1,460}$ – коэффициент перегрузки относительно расчетной нагрузки в сечении k по Q_k .

Определим далее

$k_0 = 1 - \beta V(R)$ – коэффициент однородности относительно несущей способности конструкции в сечении k (предельных значений M_k и Q_k) .

9. Подобрать параметры сечения по найденным значениям М.О. M_k и Q_k .

Прочность сечения железобетонной балки, определяемая в СНиПе **предельным моментом, воспринимаемым сечением:**

$$M = R_a f_a [h_0 - R_a f_a / (2bR_{np})],$$

нелинейная функция случайных аргументов в балках и плитах :

R_a – предел прочности арматуры, R_{np} – призмная прочность бетона, h_0 – глубина закладки арматуры от поверхности (в балках и плитах можно считать случайной по технологическим причинам).

f_a – площадь сечения арматуры, b – ширина балки.

$$f_a = \gamma_f \frac{M_{расч}}{R_a (h_d - h_f / 2)} = 1,1 * 19651,75 * 1000 / 235 * 1000000 (1,65 - 0,15) =$$

$$0.0613 \text{ м}^2 = 613 \text{ см}^2,$$

$b = 2,2 \text{ м}$ – ширина унифицированных балок для пролетов до 40м.

10. Для заданных диапазонов прочности бетона, стали и глубины закладки арматуры определить вероятностные характеристики распределения предельных M , Q с вероятностью $p = 0.99$ в Excel-



таблицах (стр. 11–13 RGR 15,04,2015.xlsx).

Расчеты сводятся в табл. 8, 9, 10.

Таблица 8

1. Сформировать статистический ряд значений случайной величины ξ_1 распределенной равномерно на интервале $[a, b]$

a	b		
210	240		
$\xi_1 R_{\Delta \min}$	$R_{\Delta \min}$		
223,91	Стандарт	М.О.	63,55042 x
216,57	7,971852	224,6052	Дисперсия
216,79			
213,51	Доверительный интервал		
229,28	xiv. 3,749002		
225,07			
216,24			
226,88			
214,81			
224,48			
237,86			
210,11			

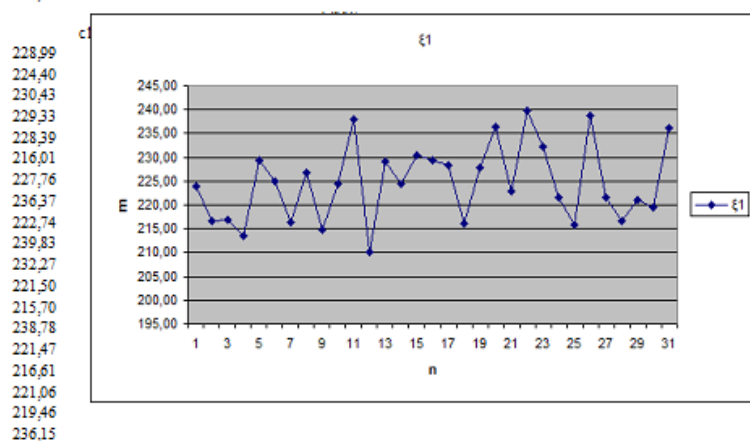


Таблица 9

1. Сформировать статистический ряд значений случайной величины ξ_1 распределенной равномерно на интервале $[a, b]$

a	b		
xiv. 10	xv. 17,5		
$\xi_1 R_{\Delta \min}$	$R_{\Delta \min}$		
12,95	Стандарт	М.О.	3,408351
16,48	1,846172	13,96313	Дисперсия
17,17			
12,50	Доверительный		
10,75	Интервал		
13,84	0,868218		
13,82			
11,12			
15,24			
15,86	ооооо.		
15,56			
11,66			

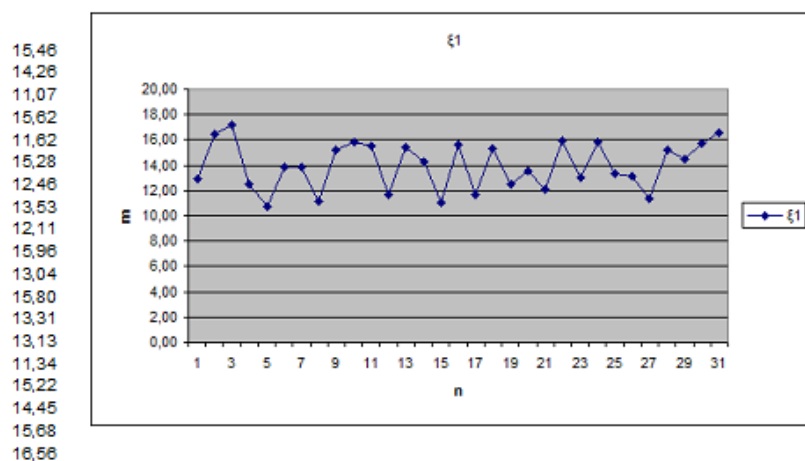
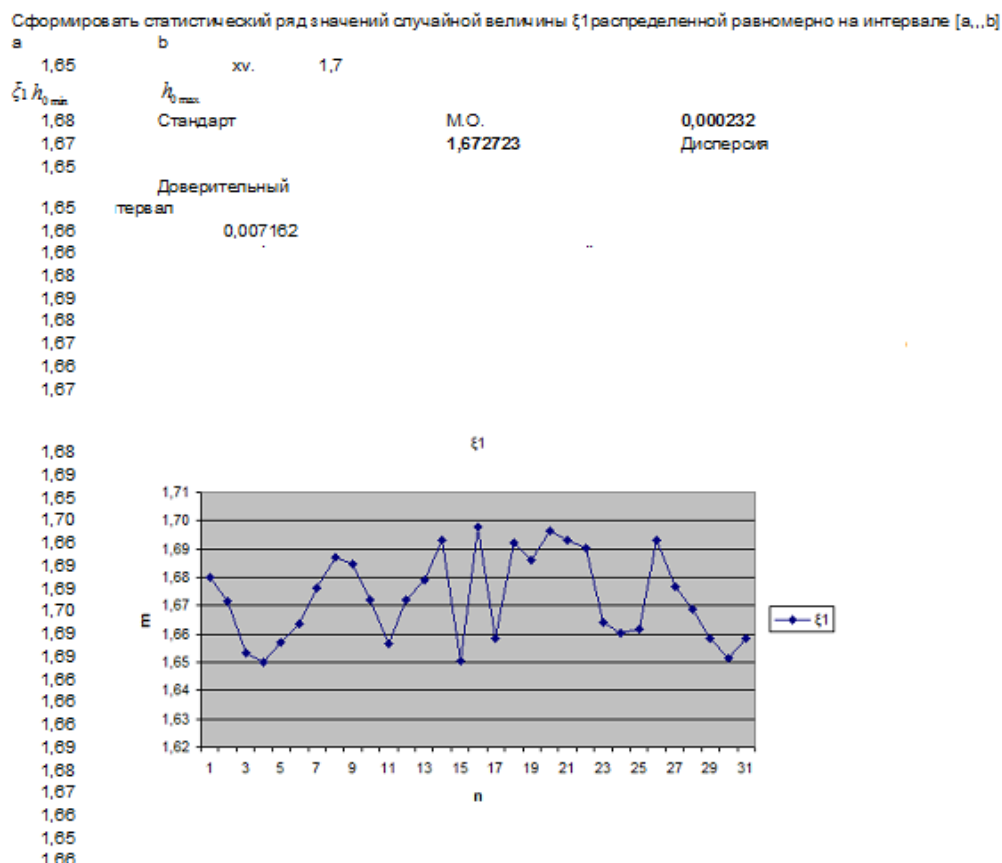


Таблица 10



11. Определить характеристики резерва и коэффициенты запаса прочности



(стр.10 в Excel-таблицах RGR 15,04,2015.xlsx).

Применяя метод статистической линейаризации:

$$\tilde{M} = M(\tilde{R}_a, \tilde{R}_{пр}, \tilde{h}_0) \approx M_0 + A(\tilde{R}_a - \bar{R}_a) + B(\tilde{R}_{пр} - \bar{R}_{пр}) + C(\tilde{h}_0 - \bar{h}_0), \text{ где}$$

A, B и C частные производные выражения M по R_a , $R_{пр}$ и h_0 –

соответственно в центрах распределения случайных аргументов:

$$A = f_a \bar{h}_0 - \bar{R}_a f_a^2 / (b \bar{R}_{пр}) = 0,0613 * 1,672723 - 224,6052 * 0,0613 * 0,0613 / 2,2 * 13,96313 = 0,075,$$

$$B = \bar{R}_a^2 f_a^2 / (2b \bar{R}_{пр}^2) = 224,6052 * 224,6052 * 0,0613 * 0,0613 / 4,4 * 13,96313 * 13,96313 = 0,221,$$

$$C = \bar{R}_a f_a = 224,6052 * 1000 * 0,0613 = 13768, \text{ а}$$

$$M_0 = \bar{R}_a f_a [\bar{h}_0 - \bar{R}_a f_a / (2b \bar{R}_{пр})] = 224,6052 * 1000 * 0,0613 (1,672723 -$$

$$224,6052 * 0,0613 / 4,4 * 13,96313) = 19964 \text{ кНм}.$$

Тогда приближенные характеристики нелинейной функции случайных аргументов:

предельный момент, воспринимаемый сечением:

$\bar{M} \approx M_0 = 19964 \text{ кНм}$ – математическое ожидание (центр распределения),

$$\hat{M} \approx A^2 \hat{R}_a + B^2 \hat{R}_{пр} + C^2 \hat{h}_0 = 0,075 * 0,075 * 63,55042 * 1000 + 0,221 * 0,221 * 3,408351 * 1000 + 13768 * 13768 * 0,000232 = 44500 - (\text{дисперсия } M_{кпред}),$$

$$V_{M_{кпре}} = \sqrt{\hat{M}} / M_0 = 0,0106 - (\text{изменчивость } M_{кпред}).$$

$k_0 = 1 - \beta V(M_{кпред}) = 1 - 2,33 * 0,0106 = 0,975$ – коэффициент однородности относительно несущей способности конструкции в сечении k предельного значения M_k и,

$k_0 = 1 - \beta V(Q_{кпред})$ – коэффициент однородности относительно несущей способности конструкции в сечении k предельного значения Q_k .

Предельная поперечная сила, воспринимаемая сечением, определяется:

$Q \leq 0,6 R_{b,cut} b h_d = 0,6 * 1,396313 * 2,2 * 1,65 * 1000 = 3412 \text{ кН}$, где $R_{b,cut}$ – случайная величина для бетонов В20 – В35 изменяется от 1,0 МПа до 1,75 МПа, $b = 2,2 \text{ м}$, $h_d = 1,65 \text{ м}$.

\bar{Q} и $\sigma(Q)$ соответствуют вероятностным характеристикам R_b и $R_{b,cut}$, а

$$V(Q_{кпред}) = \sigma(Q) / \bar{Q} = \sigma(R_b) / \bar{R}_b = 0,1846172 / 1,396313 = 0,132.$$

$$k_0 = 1 - \beta V(Q_{кпред}) = 1 - 2,33 * 0,132 = 0,692.$$

Резерв прочности в сечении k $\bar{S} = \bar{R} - \bar{F}$.

По моменту $\bar{S}_M = 19964 - 17669,73 = 2294 \text{ кНм}$

$$\bar{K} = \frac{1 + \sqrt{1 - k_0 k_n (2 - k_0)(2 - k_n)}}{[k_0 (2 - k_0)]} - \text{коэффициент запаса, где}$$

$k_n = 1 + \beta V(M_k) = 1 + 2,33 * 0,2385 = 1,556$ – коэффициент перегрузки относительно расчетной нагрузки в сечении k по M_k ,

$k_0 = 1 - \beta V(M_{кпред}) = 1 - 2,33 * 0,0106 = 0,975$ – коэффициент однородности относительно несущей способности конструкции в сечении k предельного значения M_k .

$$\bar{K}_{Mk} = 1 + (\sqrt{(1 - 0,975 * 1,556(2 - 0,975)(2 - 1,556))} / 0,975(2 - 0,975)) = 1,557.$$

По поперечной силе $\bar{S}_Q = 3412 - 2236,947 = 1175 \text{ кН}$.

$$\bar{K} = \frac{1 + \sqrt{1 - k_0 k_n (2 - k_0)(2 - k_n)}}{[k_0 (2 - k_0)]} - \text{коэффициент запаса, где}$$

$k_n = 1 + \beta V(Q_k) = 1 + 2,33 * 0,1975 = 1,460$ – коэффициент перегрузки относительно расчетной нагрузки в сечении k по Q_k ,

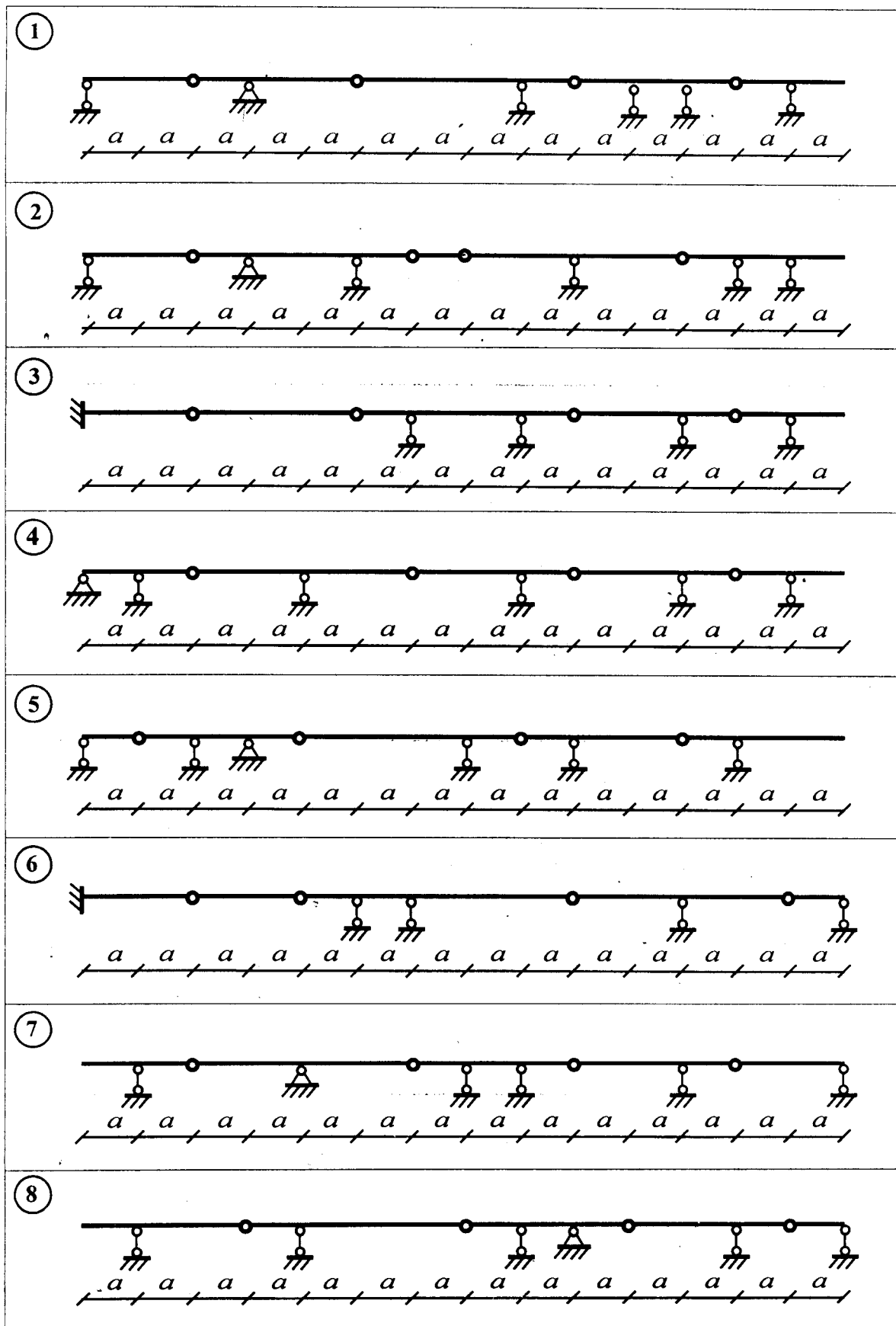
$k_0 = 1 - \beta V(Q_{кпред}) = 1 - 2,33 * 0,132 = 0,692$ – коэффициент однородности относительно несущей способности конструкции в сечении k предельного значения Q_k .

$$\bar{K}_{Qk} = 1 + (\sqrt{(1 - 0,692 * 1,460(2 - 0,692)(2 - 1,460))} / 0,692(2 - 0,692)) = 1,590.$$

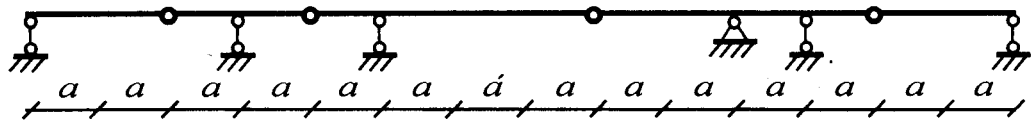
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика: учебник. – Изд. испр. – СПб: Лань, 2004. – 656 с.
2. Райзер В.Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1995. – 352 с.
3. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, 1978. – 240 с.
4. Манапов А.З. Расчет надежности и ресурса строительных конструкций методом статистического моделирования: учеб. пособие. – Казань: КГАСУ, 2010. – 132 с.
5. Лукашенко В.И., Абитов Р.Н., Вильданов И.Э. Использование вычислительного комплекса АРС ЭРА ПК-2000 в решении задач строительной механики: учеб. пособие. – Казань: КГАСУ, 2011. – 73 с.
6. Лившиц Я.Д., Онищенко М.М., Шкуратовский А.А. Примеры расчета железобетонных мостов. – Киев: Вища шк., Головное изд-во, 1986. – 263 с.

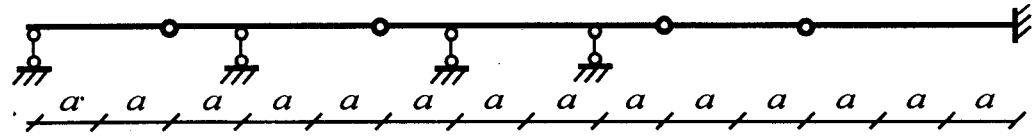
Схемы к РГР № 1



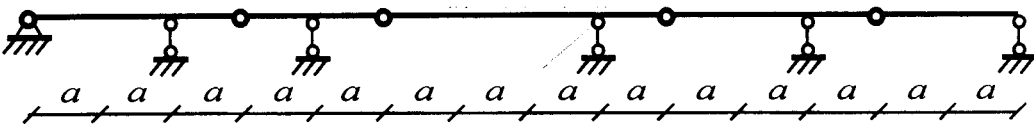
9



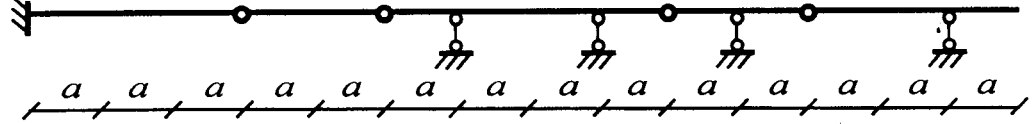
10



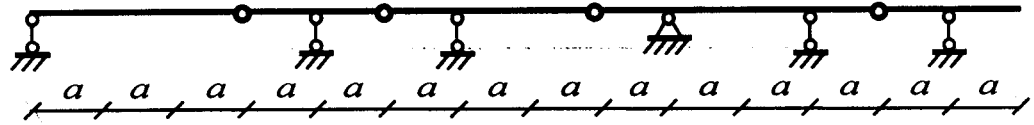
11



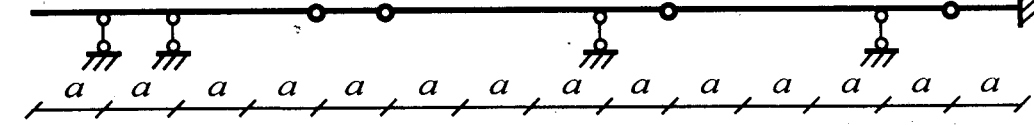
12



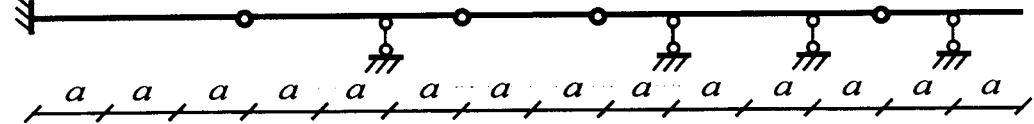
13



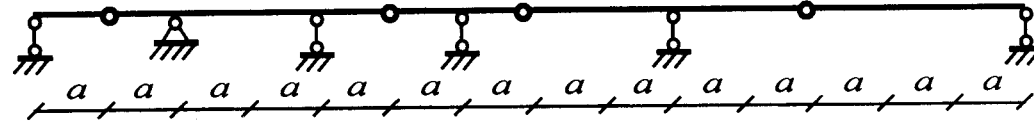
14



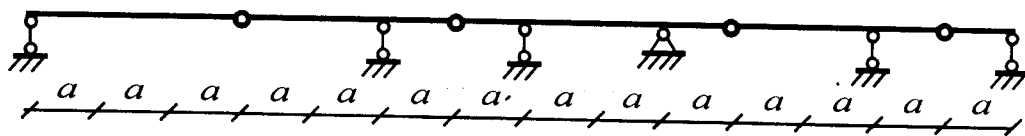
15



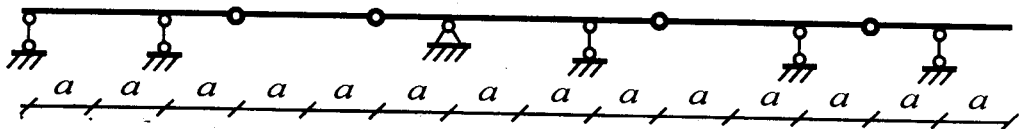
16



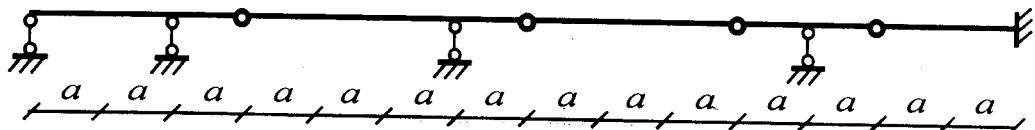
17



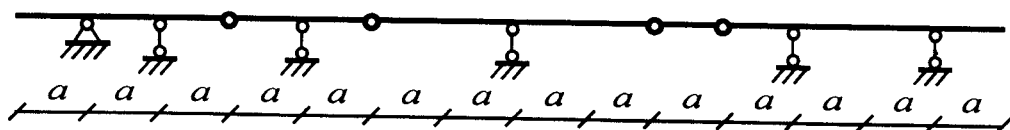
18



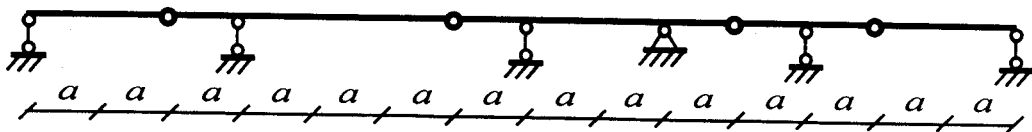
19



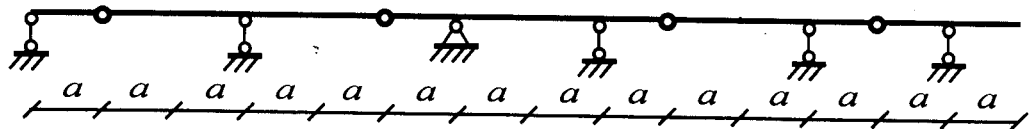
20



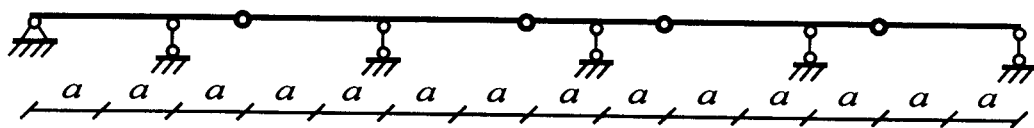
21



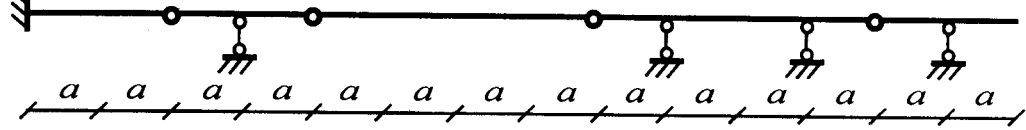
22



23



24



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению расчетно-графической работы (РГР)
по курсу «Вероятностные методы строительной механики и теория
надежности строительных конструкций» для студентов направления
«Строительство уникальных зданий и сооружений»

Составители: Лукашенко Виктор Иванович,
Минсагиров Мухамед Фархатович