

ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, 1981. – С. 5-7.

8. **Аникеева Ф.Л.** Выбор соотношения твердости пары колесо-рельс и производство заготовок крановых колес // Реферативный сборник «Повышение прочности и долговечности крановых ходовых колес». – М.: ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, 1981. – С. 7-9.

9. **Аникеева Ф.Л.** Пути повышения долговечности крановых ходовых колес. – М.: ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, 1984. – 35 с.

10. **Липатов А.С.** Исследование случайных нагрузок на реборды колес мостовых кранов: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1982. – 133 с.

11. **Липатов А.С.** Методы повышения безопасности грузоподъемных кранов при ненормируемых условиях эксплуатации : дис. ... д-ра техн. наук. – Новочеркасск, 2005. – 259 с.

12. **Спицына Д.Н.** Исследование боковых сил, действующих на многоколесные мостовые краны // Вестник машиностроения. – 2003. – № 3. – С. 3-9.

13. **Спицына Д.Н., Юрин А.Н.** Определение боковых сил, действующих на ходовые колеса мостовых кранов // Подъемно-транспортное дело. – 2013. – № 5-6. – С. 10-15.

14. **Спицына Д.Н., Юрин А.Н.** Исследование боковых сил, действующих на движущиеся мостовые краны // Вестник машиностроения. – 2017. – № 10. – С. 39-45.

15. **Спицына Д.Н., Юрин А.Н.** Пути увеличения долговечности ходовых колес мостовых кранов // Подъемно-транспортное дело. – 2016. – № 1-2. – С. 2-7.

16. **Спицына Д.Н., Юрин А.Н.** Исследование нагрузок, возникающих при движении полярных кранов // Подъемно-транспортное дело. – 2017. – № 6. – С. 6-13.

17. **Лобов Н.А.** Разработка основ динамики передвижения кранов по рельсовому пути и методов повышения ресурса работы крановой системы : дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2005. – 293 с.

18. **Голутвина А.Л.** Износ ходовых колес мостовых кранов и пути повышения срока их службы // Подъемно-транспортные машины: Тр. Тульского политех. ин-та. – Тула,

1974. – Вып. 3. – С. 199-203.

19. **Сабуров В.Ф.** Закономерности усталостных повреждений и разработка метода расчетной оценки долговечности подкрановых путей производственных зданий : дис. ... д-ра техн. наук. – Челябинск, 2002. – 387 с.

20. **Зотов Д.А.** Оптимизация параметров механизмов передвижения многоколесных козловых кранов : дис. ... канд. техн. наук. – Балаково, 2001. – 153 с.

21. **Балашов В.П.** Исследование поперечных сил при движении мостовых кранов : дис. ... канд. техн. наук. – М., 1958. – 193 с.

22. **Антерейкин Е. С.** Оценка влияния параметров рельсовой колеи на интенсивность износа рельсов в кривых : дис. ... канд. техн. наук. – М., 2010. – 187 с.

23. **Бондаренко А.И.** Влияние геометрических параметров профиля поверхности катания колеса рельсового транспорта на износ контактирующих поверхностей : дис. ... канд. техн. наук. – М., 2000. – 144 с.

24. ГОСТ Р 53866-2010. Рельсы крановые. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2011. – 13 с.

25. ГОСТ Р 51685-2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014. – 101 с.

26. **Балашов В.П., Розенштейн Б.М., Щербакова И.М.** Испытания мостового крана грузоподъемностью 12,5 т, пролетом 23 м // Новые конструкции и типизация кранового оборудования. – М., 1962. – С. 44-64.

27. NBN-1. Belgium standard. Overhead cranes. Horizontal forces. – Repr. June, 1967.

28. Расчеты крановых механизмов и их деталей. – Изд. 4-е : В 2 т. / под ред. Р.А. Лалаянца. – М.: ВНИИПТМАШ, 1993. – Т.1. – 187 с.

П.В. Витчук. Тел. +7(4842)74-05-59. zzzVentor@yandex.ru

А.А. Шубин. Тел. +7(4842)74-05-59. Shubin55@mail.ru

В.Ю. Анцев. Тел. +7(4872)25-46-88. anzev@tsu.tula.ru

К.Ю. Крылов. Тел. +7(4842)79-39-09. krylov@ritc-k.ru



АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ФЕРМЫ МОСТОВОГО КРАНА

Евгений Михайлович КУДРЯВЦЕВ, д-р техн. наук, профессор,

Александр Валерьевич ГАВРИЛЕНКО, аспирант

Национальный исследовательский московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Составлены уравнения взаимосвязи силовых факторов при различных вариантах нагружения фермы стрелы мостового крана, используемые в

качестве исходных условий компьютерного моделирования.

Ключевые слова: мостовой кран, линии влияния, ферма, аналитическое моделирование.

Значения реакций опор или усилия к какому-либо элементу конструкции зависят от места приложения нагрузки и ее величины. Процесс определения максимальных нагрузок в каждом элементе секции фермы пролетного строения мосто-

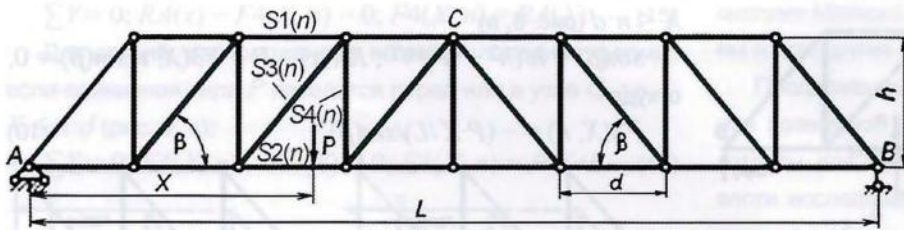


Рис. 1. Схема трапециевидальной балочной фермы мостового крана

вого крана при изменении положения (движении) единичной силы, моделирующей перемещение груза при эксплуатации, требует больших затрат труда и времени. Для решения таких задач используют различные методы. Определяются линии влияния – зависимости исследуемой величины (внутреннего усилия в стержнях) от места приложения единичной нагрузки и их графическое отображение. Их можно выразить и аналитически в виде уравнений. Аналитическое моделирование позволяет для типичных элементов фермы любого сечения получить математические выражения, по которым при наличии их конкретных размеров можно рассчитать искомые нагрузки.

Процесс аналитического моделирования линий влияния элементов фермы рассмотрим на примере трапециевидальной балочной симметричной фермы мостового крана (рис. 1) длиной L , высотой h с числом секций N (четное число), длиной одной секции d . Обозначим порядковый номер секции n , координату местоположения единичной силы P (вес единичного груза) – X . Основной особенностью фермы является наличие восходящих и нисходящих диагональных элементов [1]. Выделим четыре типовых элемента фермы $SK(n)$ и соответственно усилий в них $FK(X, n)$. Номер типового элемента K характеризует его тип: $K = 1$ для горизонтальных стержней верхнего пояса, $K = 2$ для горизонтальных стержней нижнего пояса; $K = 3$ для диагональных стержней (восходящего и нисходящего вида); $K = 4$ для вертикальных стержней в каждой секции фермы.

Процесс аналитического моделирования линий влияния [2, 3] элементов фермы включает ряд этапов.

1. Определение линий влияния в опорах A и B фермы $RA(X)$ и $RB(X)$, см. рис. 1

$$\sum M_A = 0; RB(X) \cdot L = P \cdot X \text{ или } RB(X) = P \cdot X / L, \\ \sum M_B = 0; RA(X) \cdot L = P \cdot (L - X) \text{ или } RA(X) = P \cdot (1 - X / L). \quad (1)$$

Максимальные и минимальные нагрузки в указанных опорах [4], зависящие от местоположения X единичного груза P , соответственно равны:

$$\max RA(X) = P \text{ при } X = 0 \text{ и } \min RA(X) = 0 \text{ при } X = L; \\ \max RB(X) = P \text{ при } X = L \text{ и } \min RB(X) = 0 \text{ при } X = 0.$$

Определение линий влияния для усилий $FK(X, n)$ в элементах $SK(n)$ возможно в двух вариантах: расположении секций в левой ($n < N/2$) и в правой ($n > N/2$) половинах фермы. В каждом из этих случаев возможно еще два варианта по местоположению X единичной силы P в пределах или

за пределами рассматриваемого участка фермы. При составлении уравнений для верхних и нижних горизонтальных стержней $S1(n)$, $S2(n)$ и усилий в них $F1(X, n)$ и $F2(X, n)$ условием является равенство нулю суммы моментов от действующих сил; для вертикальных стержней $S4(n)$ и усилий $F4(X, n)$ –

равенство нулю суммы проекций на ось Y реакций $RA(x)$ и $RB(X)$, единичной силы P при ее наличии и силы $F4(X, n)$. В диагональных стержнях $S3(n)$ линии влияния для усилий $F3(X, n)$ определяются с учетом угла их наклона β . Проводимые расчеты без изменений применимы для n числа одинаковых промежуточных секций. На рисунках это обстоятельство отмечено тем, что эти секции показаны пунктиром. Отдельно рассматриваются усилия в центральном верхнем узле фермы и в центральном вертикальном стержне [5].

2. Определение линии влияния $F1(X, n)$ в элементе $S1(n)$.

Для секций, расположенных в левой половине фермы, когда единичная сила P находится перед или в узле D , т.е. $X \leq (n - 1) \cdot d$ (рис. 2, а):

$$\sum M_D = F1(X, n) \cdot h - P \cdot (n \cdot d - X) + RA(X) \cdot n \cdot d = 0, \\ \text{откуда с учетом (1)} \\ F1(X, n) = -P \cdot X \cdot (1 - n \cdot d / L) / h. \quad (2)$$

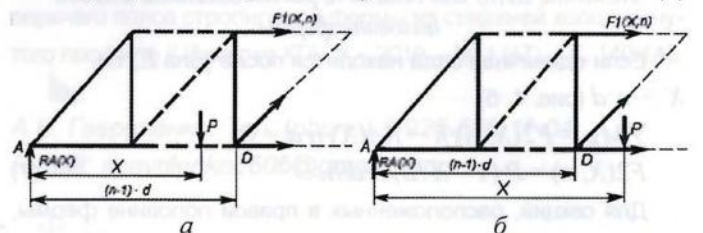


Рис. 2. Схемы определения линии влияния $F1(X, n)$ в элементе $S1(n)$ для секции n , расположенной в левой половине фермы

Если единичная сила находится после узла D , т.е. $X > (n - 1) \cdot d$ (рис. 2, б)

$$\sum M_D = F1(X, n) \cdot h + RA(X) \cdot (n - 1) \cdot d = 0, \text{ откуда} \\ F1(X, n) = -RA(X) \cdot n \cdot d / h = -P \cdot (1 - X / L) \cdot n \cdot d / h. \quad (3)$$

Максимальная $\max F1(X, n)$ и минимальная $\min F1(X, n)$ нагрузки в стержне $S1(n)$, зависящие от местоположения X единичной силы P , равны по модулю и противоположны по направлению.

Для секций, расположенных в правой половине фермы, если единичная сила P находится перед или в узле D , т.е. $X \leq n \cdot d$ (рис. 3, а)

$$\sum M_D = -F1(X, n) \cdot h - RB(X) \cdot (L - n \cdot d) = 0, \text{ откуда} \\ F1(X, n) = -P \cdot X / L \cdot (L - n \cdot d) / h. \quad (4)$$

Если единичная сила находится после узла D , т.е. $X > n \cdot d$ (рис. 3, б)

$$\sum M_D = F1(X, n) \cdot h + RB(X) \cdot (L - n \cdot d) - P \cdot (X - n \cdot d) = 0, \text{ откуда} \\ F1(X, n) = -P \cdot n \cdot d \cdot (1 - X / L) / h. \quad (5)$$

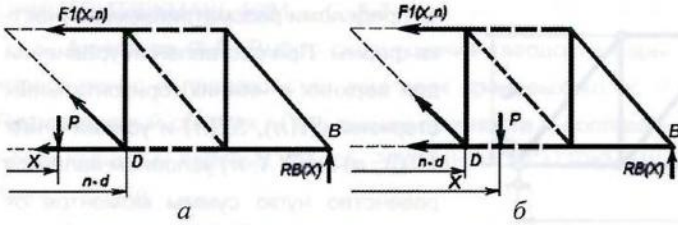


Рис. 3. Схемы определения линии влияния $F1(X, n)$ в элементе $S1(n)$ для секции n , расположенной в правой половине фермы

3. Определение линии влияния $F2(X, n)$ в элементе $S2(n)$.

Для секций, расположенных в левой половине фермы, если единичная сила P находится перед узлом E , т.е.

$X \leq n \cdot d$ (рис. 4, а)
 $\sum M_E = F2(X, n) \cdot h + P \cdot (n \cdot d - X) - RA(X) \cdot n \cdot d = 0$, откуда
 $F2(X, n) = [P \cdot (1 - X/L) \cdot n \cdot d - P \cdot (n \cdot d - X)] / h =$
 $= P \cdot X \cdot h \cdot (1 - n \cdot d / L)$. (6)

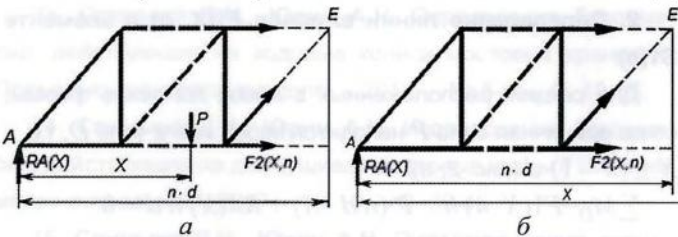


Рис. 4. Схемы определения линии влияния $F2(X, n)$ в элементе $S2(n)$ для секции n , расположенной в левой половине фермы

Если единичная сила находится после узла E , т.е.

$X > n \cdot d$ (рис. 4, б)
 $\sum M_E = F2(X, n) \cdot h - RA(X) \cdot n \cdot d = 0$;
 $F2(X, n) = P \cdot (1 - X/L) \cdot n \cdot d / h$. (7)

Для секций, расположенных в правой половине фермы, если единичная сила P находится перед или в узле E , т.е.

$X \leq n \cdot d$ (рис. 5, а)
 $\sum M_E = F2(X, n) \cdot h - RB(X) \cdot (L - n \cdot d) = 0$, откуда
 $F2(X, n) = P \cdot X / L \cdot (L - n \cdot d) / h$. (8)

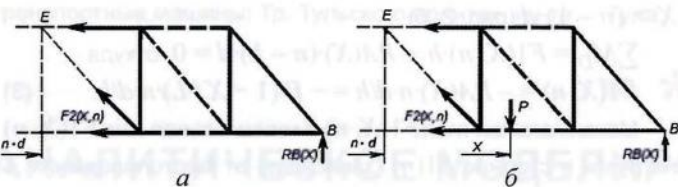


Рис. 5. Схемы определения линии влияния $F2(X, n)$ в элементе $S2(n)$ для секции n , расположенной в правой половине фермы

Если единичная сила находится после узла E , т.е.

$X > n \cdot d$ (рис. 5, б)
 $\sum M_E = F2(X, n) \cdot h + P \cdot (X - n \cdot d) - P \cdot (L - n \cdot d) = 0$, откуда
 $F2(X, n) = [P \cdot X / L \cdot (L - n \cdot d) - P \cdot (X - n \cdot d)] / h$. (9)

4. Определение линии влияния $F3(X, n)$ в элементе $S3(n)$.

Для секций, расположенных в левой половине фермы, если единичная сила P находится перед или в узле E , т.е.

$X \leq n \cdot d$ (рис. 6, а)
 $\sin(\beta) = h / (h^2 + d^2)^{1/2}$; $RA(x) - P + F3(X, n) \cdot \sin(\beta) = 0$,
 откуда
 $F3(X, n) = - (P \cdot X / L) / \sin(\beta)$. (10)

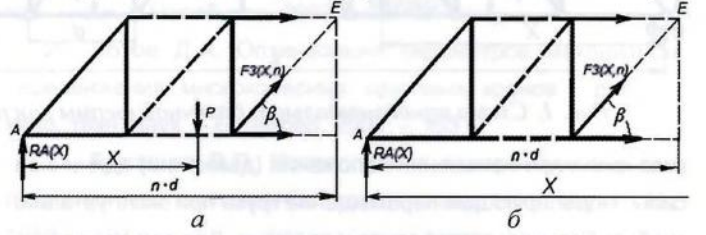


Рис. 6. Схемы определения линии влияния $F3(X, n)$ в элементе $S3(n)$ для секции n , расположенной в левой половине фермы

Если единичная сила находится после узла E , т.е.

$X > n \cdot d$ (рис. 6, б)
 $RA(x) - P + F3(X, n) \cdot \sin(\beta) = 0$, откуда
 $F3(X, n) = - P \cdot (1 - X / L) / \sin(\beta)$. (11)

Для секций, расположенных в правой половине фермы, если единичная сила P находится перед или в узле E , т.е.

$X \leq (n - 1) \cdot d$ (рис. 7, а)
 $F3(X, n) \cdot \sin(\beta) + RB(X) = 0$, откуда
 $F3(X, n) = - P \cdot X / L \cdot \sin(\beta)$. (12)

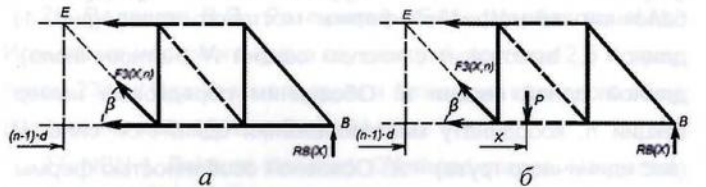


Рис. 7. Схемы определения линии влияния $F3(X, n)$ в элементе $S3(n)$ для секции n , расположенной в правой половине фермы

Если единичная сила находится после узла E , т.е.

$X > (n - 1) \cdot d$ (рис. 7, б)
 $F3(X, n) \cdot \sin(\beta) + RB(X) - P = 0$, откуда
 $F3(X, n) = - P \cdot (1 - X / L) / \sin(\beta)$. (13)

5. Определение линии влияния $F4(X, n)$ в элементе $S4(n)$.

Для секций, расположенных в левой половине фермы, если единичная сила P находится перед или в узле C , т.е.

$X \leq n \cdot d$ (рис. 8, а)
 $\sum Y = 0$; $RA(x) - P - F4(X, n) = 0$;
 $F4(X, n) = P \cdot (1 - X / L) - P = - P \cdot X / L$. (14)

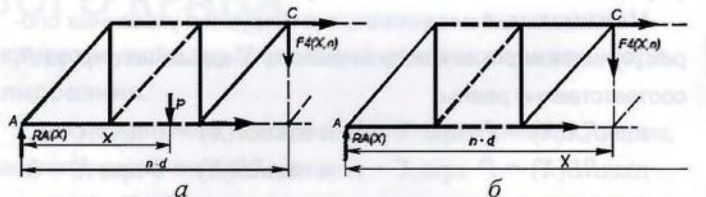


Рис. 8. Схемы определения линии влияния $F4(X, n)$ в элементе $S4(n)$ для секции n , расположенной в левой половине фермы

Если единичная сила находится после узла C , т.е.

$X > n \cdot d$ (рис. 8, б):



$$\sum Y = 0; RA(x) - F4(X, n) = 0; F4(X, n) = RA(X). \quad (15)$$

Для секций, расположенных в правой половине фермы, если единичная сила P находится перед или в узле C , т.е.

$X \leq n \cdot d$ (рис. 9, а):

$$\sum Y = 0; F4(X, n) - RB(X) = 0; F4(X, n) = P \cdot X / L. \quad (16)$$

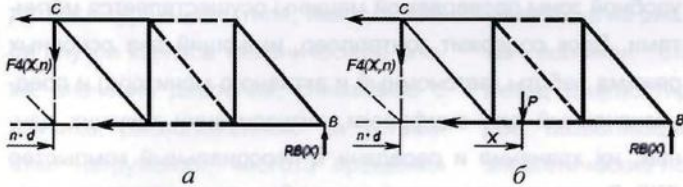


Рис. 9. Схемы определения линии влияния $F4(X, n)$ в элементе $S4(n)$ для секции n , расположенной в правой половине фермы

Если единичная сила находится после узла C , т.е.

$X > n \cdot d$ (рис. 9, б)

$$\sum Y = 0; F4(X, n) + P - RB(X) = 0; F4(X, n) = P \cdot X / L - P. \quad (17)$$

6. Определение усилия $F4(X, n)$ в элементе $S4(n)$ для секции $n = N/2$ (в средней стойке). Здесь возможны четыре варианта. При отсутствии единичной силы, а также ее наличии и нахождении:

$$\text{в секциях } n \leq (N/2 - 1) \quad F4(X, N/2) = 0; \quad (18)$$

$$\text{в секциях } n > (N/2 + 1) \quad F4(X, N/2) = 0. \quad (19)$$

При наличии и нахождении единичной силы:

$$\text{в секции } N/2 \quad F4(X, N/2) = [X - (N/2 - 1) \cdot d] / d; \quad (20)$$

$$\text{в секции } (N/2 + 1) \quad F4(X, N/2) = [1 - (X - N/2 \cdot d)] / d. \quad (21)$$

Заключение. Составлены аналитические выражения сил (линии влияния) в элементах фермы в зависимости от положения единичной силы. Они используются в разработанном алгоритме и комплексе программ для автоматизации вычисления действующих нагрузок во всех элементах фермы в

системе Mathcad. Подобные зависимости могут быть получены и для других ферм, лучей и связей.

Предложенные процедуры моделирования линий влияния позволяют существенно уменьшать время и трудовые затраты для выполнения таких вычислений и эффективно вести исследования, связанные с изменяющимися параметрами в любых элементах фермы.

Литература

1. Колесов А.И., Лапшин А.А., Ямбаев И.А., Морозов Д.А. Опытные исследования стальных ферм из тонкостенных холодногнутых профилей на самонарезающих винтах // Приволжский научный журнал. – 2013. – № 4 (28). – С. 15-19.
2. Кудрявцев Е.М. Алгоритм расчета линий влияния в стержнях стрелы башенного крана // Механизация строительства. – 2017. – № 11. – С. 46-54.
3. Кудрявцев Е.М. Расчет и построение линий влияния в системе Mathcad // Механизация строительства. – 2017. – № 12. – С. 15-23.
4. Кузнецов И.Л., Салахутдинов М.А., Гайнетдинов Р.Г. Стенд и результаты испытания фермы пролетом 24 м со стержнями из оцинкованных холодногнутых профилей // Известия КГАСУ. – 2018. – № 4 (46). – С. 193-199.
5. Кузнецов И.Л., Гайнетдинов Р.Г. Центральный узел верхнего пояса стропильной фермы из стержней холодногнутого профиля // Известия КГАСУ. – 2019. – № 1 (47). – С. 140-146.

А.В. Гавриленко. Тел. (phone) 8-929-606-11-04.
E-mail: agavrilenko0605@gmail.com



ГИДРОТЕСТЕР ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГИДРОПРИВОДОВ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН

Сергей Аркадьевич ЛАРИОНОВ, канд. техн. наук, доцент ТГАСУ, директор

ООО фирма «Техносинтез», г. Томск

Денис Константинович ЦЕПАЕВ, студент

Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ)

Рассмотрены новые технические средства диагностирования гидроприводов грузоподъемных машин статопараметрическим методом.

Ключевые слова: грузоподъемные машины, гидропривод, диагностирование, гидротестер.

Эксплуатационная надежность гидроприводов грузоподъемных машин во многом обеспечивается применением

своевременных средств технической диагностики [1]. Разработаны и проходят натуральные испытания в климатических условиях Сибири современные электронно-механические гидротестеры ГТ400/200.1(2), конструкция которых защищена патентами [2-4]. Гидротестер предназначен для безразборной диагностики гидроагрегатов, оперативного выявления неисправностей гидропривода, прогнозирования ресурса и оптимальной настройки режимных параметров в гидросистемах дорожных, строительных машин и технологического транспорта. Он обеспечивает измерение основных параметров гидросистем с рабочей жидкостью вязкостью до 100 мм²/с (сСт). Эксплуатируется при относительной влажности воздуха до 98 % и температуре до +35°С. Нормально работает после воздействия ударных нагрузок многократного действия с ускорением до 10 g и длительностью от 5 до