

По результатам комплексных исследований химического состава, структуры и механических свойств литых балансиров, разрушившихся в процессе эксплуатации, можно сделать вывод, что их поломка связана, в основном, с низким качеством отливок, наличием пор, раковин, трещин, неравномерностью толщины стенки полый заготовки, несоответствием химического состава стали чертежу, развитием ликвационной неоднородности по углероду. Большое рассеяние механических свойств литой стали, полученное при испытаниях на ударную вязкость, приводит к значительному разбросу наработки до отказа балансира.

Таким образом, для повышения надежности балансиров необходимо улучшить качество литых заготовок, в первую очередь, усилить контроль химического состава стали по углероду перед заливкой формы. Хороший эффект может дать и термообработка: нормализация или закалка с высоким отпуском. Некоторое повышение надежности при сохранении массы может быть достигнуто статистической оптимизацией геометрических параметров сечений балансира, а также за счет уменьшения технологических отверстий под стержневые знаки.

С учетом наших рекомендаций и результатов других исследований и испытаний завод-изготовитель разработал и внедряет систему мероприятий, направленных на повышение безотказности и долговечности литых балансиров, эффективность которых будет проверена в будущем, и откорректировал норму расхода балансиров в качестве запасных частей.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. — М.: Наука, 1983. — 416 с. [2]. ГОСТ 9454—78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенной температурах. Взамен ГОСТ 9454—60, ГОСТ 9455—60 и ГОСТ 9456—60; Введ. 01.01.79 до 01.01.89. — М., Изд-во стандартов, 1982.

Поступила 9 февраля 1987 г.

УДК 625.843.001.24

## О РАСЧЕТЕ ОСНОВАНИЙ КОЛЕЙНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ

Р. Л. КОРОВКИН

Архангельский лесотехнический институт

При оценке прочности грунтовых оснований под железобетонными плитами вязкость основания учитывают различными моделями. В данной работе сделана попытка оценить влияние различных моделей затухания на напряженное состояние грунтовых оснований. Плиты колежных покрытий рассчитывают как балки на упругом основании.

Расчет балки на упругом основании сводится к решению дифференциального уравнения в частных производных следующего вида [6]:

$$EI(1 + i\gamma) \frac{\partial^4 w(x, t)}{\partial x^4} + b[m\ddot{w}(x, t) + f(x, t)] = q(x, t), \quad (1)$$

где  $EI$  — жесткость балки;

$i = \sqrt{-1}$ ;

$\gamma$  — коэффициент вязкости материала плиты;

$w$  — осадка балки;

$b$  — ширина балки;

$m$  — масса балки в расчете на единицу площади опирания;

$f(x, t)$  — неизвестная функция, определяющая упруговязкое сопротивление основания; конкретный вид функции  $f(x, t)$  зависит от вида принятой модели основания, его упругих, вязких и инерционных свойств [1];

$q(x, t)$  — динамическая нагрузка произвольного вида.

Введем начальные и граничные условия:

$$\bar{w}(x, 0) = 0; \quad \dot{\bar{w}}(x, 0) = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 \bar{w}(x, t)}{\partial x^2} = 0 \Big|_{x=0; x=l}; \quad \frac{\partial^3 \bar{w}(x, t)}{\partial x^3} = 0 \Big|_{x=0; x=l}. \quad (3)$$

В дифференциальном уравнении (1) выполним преобразование Лапласа по времени, учитывая начальные условия (2). Затем поделив его на  $EI(1+i\gamma)$ , получим:

$$\frac{d^4 \bar{w}(x, s)}{dx^4} + \frac{b[ms^2 \bar{w}(x, s) + \bar{f}(x, s)]}{EI(1+i\gamma)} = \frac{\bar{q}(x, s)}{EI(1+i\gamma)}. \quad (4)$$

Изображения граничных условий (3) примут вид

$$\frac{d^2 \bar{w}(x, s)}{dx^2} = 0 \Big|_{x=0; x=l}; \quad \frac{d^3 \bar{w}(x, s)}{dx^3} = 0 \Big|_{x=0; x=l}. \quad (5)$$

Если имеется возможность представить функцию  $\bar{f}(x, s)$  в виде

$$\bar{f}(x, s) = k(s) \bar{w}(x, s),$$

то дифференциальное уравнение (4) можно записать следующим образом:

$$\frac{d^4 \bar{w}(x, s)}{dx^4} + 4\lambda^4(s) \bar{w}(x, s) = \frac{\bar{q}(x, s)}{EI(1+i\gamma)}, \quad (6)$$

где

$$4\lambda^4(s) = \frac{b[ms^2 + k(s)]}{EI(1+i\gamma)}.$$

Дифференциальное уравнение (6) имеет тот же вид, что и известное уравнение изгиба балки на упругом винклеровском основании в условиях статики. Комплексная переменная при этом может рассматриваться как параметр. Роль «коэффициента постели» в уравнении (6) играет выражение  $ms^2 + k(s)$ .

При известной зависимости  $\bar{q}(x, s)$  и граничных условиях (5) уравнение (6) может быть легко решено [3]. Результат решения —  $\bar{w}(x, s)$  является изображением Лапласа осадки балки. Действительное значение осадки может быть найдено с помощью формулы обращения или численным методом.

Таким образом, для решения задачи, прежде всего, необходимо установить зависимость  $k(s)$ .

а) Модель Е. С. Сорокина. Рассмотрим упруговязкое основание с «коэффициентом постели»  $c(1+i\psi)$  с учетом вязкости основания по гипотезе Е. С. Сорокина [5]. Основание будем считать весомым с плотностью массы  $\rho$ . Модель такого основания можно представить состоящей из большого числа вертикально расположенных, не связанных между собой весомых упруговязких стержней длиной  $h$ . На верхние концы стержней опирается балка, а нижние заделаны неподвижно.

Уравнение колебаний стержня, заделанного на одном конце и нагруженного силой  $f(x, t)$  на другом, имеет вид:

$$E_{rp}(1+i\psi) \frac{\partial^2 w(x, z, t)}{\partial z^2} - \rho \ddot{w}(x, z, t) = 0. \quad (7)$$

Введем начальные

$$w(x, z, 0) = 0; \quad \dot{w}(x, z, 0) = 0 \quad (8)$$

и граничные условия

$$w(x, 0, t) = 0; \quad E_{rp}(1 + i\psi) \frac{dw(x, h, t)}{dz} = f(x, t). \quad (9)$$

Учитывая начальные условия (8), выполним преобразование Лапласа по времени дифференциального уравнения (7):

$$\frac{E_{rp}(1 + i\psi)}{\rho} \frac{d^2 \bar{w}(x, z, s)}{dz^2} - s^2 \bar{w}(x, z, s) = 0. \quad (10)$$

Изображения граничных условий (9)

$$\bar{w}(x, 0, s) = 0; \quad E_{rp}(1 + i\psi) \frac{d\bar{w}(x, h, s)}{dz} = f(x, s). \quad (11)$$

Решением уравнения (10) в пространстве изображений будет функция [4]

$$\bar{w}(x, z, s) = A e^{-\sqrt{\frac{E_{rp}(1 + i\psi)}{\rho}} \frac{sz}{\rho}} + B e^{\sqrt{\frac{E_{rp}(1 + i\psi)}{\rho}} \frac{sz}{\rho}}. \quad (12)$$

Коэффициенты  $A$  и  $B$  находим из граничных условий (11)

$$A = -B = \frac{f(x, s) \sqrt{\frac{E_{rp}(1 + i\psi)}{\rho}}}{2sE_{rp}(1 + i\psi) \operatorname{ch}\left(\frac{hs}{\sqrt{\frac{E_{rp}(1 + i\psi)}{\rho}}}\right)}. \quad (13)$$

Подставляя (13) в (12) и учитывая, что для конца стержня (на поверхности  $z = h$ )  $\bar{w}(x, h, s) = \bar{w}(x, s)$  и  $E_{rp} = hc$ , получим для неизвестной функции выражение:

$$h(s) = s \sqrt{\rho hc(1 + i\psi)} \operatorname{cth}\left(s \sqrt{\frac{\rho h}{c(1 + i\psi)}}\right). \quad (14)$$

б) Модель Максвелла. Предположим, что упруговязкое основание есть бесконечно большое множество упруговязких стержней. Исходным положением является уравнение движения

$$\frac{\partial \sigma(x, z, t)}{\partial z} = \rho \ddot{w}(x, z, t). \quad (7')$$

Допустим, что исследуемый стержень выполнен из вязкоупругого материала, для которого зависимость между напряжением и деформацией соответствует модели Максвелла:

$$\dot{\varepsilon}(x, z, t) = \frac{1}{E_{rp}} \dot{\sigma}(x, z, t) + \frac{1}{\beta} \sigma(x, z, t), \quad (15)$$

где  $E_{rp}$  — модуль деформации основания;

$\beta$  — вязкость основания.

Принимая во внимание, что

$$\varepsilon(x, z, t) = \frac{\partial w(x, z, t)}{\partial z}; \quad \dot{\varepsilon}(x, z, t) = \frac{\partial \dot{w}(x, z, t)}{\partial z},$$

получим:

$$\frac{\partial \dot{w}(x, z, t)}{\partial z} = \frac{1}{E_{rp}} \dot{\sigma}(x, z, t) + \frac{1}{\beta} \dot{\epsilon}(x, z, t). \quad (16)$$

Введем начальные

$$w(x, z, 0) = 0; \quad \dot{w}(x, z, 0) = 0 \quad (8')$$

и граничные условия

$$w(x, 0, t) = 0; \quad E_{rp} \frac{\partial w(x, h, t)}{\partial z} = f(x, t). \quad (9')$$

Учитывая начальные условия, выполним преобразование Лапласа по времени в выражениях (7') и (16). В результате получим

$$\frac{d\bar{w}(x, z, s)}{dz} = \rho s^2 \bar{w}(x, z, s); \quad (17)$$

$$s \frac{d\bar{w}(x, z, s)}{dz} = \frac{s}{E_{rp}} \bar{\sigma}(x, z, s) + \frac{1}{\beta} \bar{\epsilon}(x, z, s). \quad (18)$$

Изображения Лапласа граничных условий

$$\bar{w}(x, 0, s) = 0; \quad E_{rp} \frac{d\bar{w}(x, h, s)}{dz} = \bar{f}(x, s).$$

В выражении (18) найдем  $\bar{\sigma}(x, z, s)$ , определим ее производную по  $z$  и, подставив полученное выражение в (17), получим:

$$\frac{E_{rp} \beta s}{\rho (E_{rp} + \beta s)} \frac{d^2 \bar{w}(x, z, s)}{dz^2} - s^2 \bar{w}(x, z, s) = 0. \quad (10')$$

Решение полученного уравнения будет аналогично предыдущей модели основания, поэтому его не приводим, а запишем лишь конечный результат, учитывая, что  $E_{rp} = hc$ , а  $\beta = \mu h$ :

$$k(s) = \sqrt{\frac{hc \rho s (c + \mu s)}{\mu}} \operatorname{cth} \sqrt{\frac{hc \rho (c + \mu s)}{\mu}}, \quad (14')$$

где  $\mu$  — коэффициент вязкости основания.

в) Модель Кельвина — Фойгта. Допустим, что исследуемый стержень выполнен из вязкоупругого материала, для которого зависимость между напряжениями и деформациями соответствует модели Кельвина — Фойгта. Исходное уравнение движения при этом будет вида (7'). Связь между напряжениями и деформациями для данной модели описывается уравнением

$$\sigma(x, z, t) = E_{rp} \epsilon(x, z, t) + \beta \dot{\epsilon}(x, z, t), \quad (15')$$

где  $\epsilon(x, z, t) = \frac{\partial w(x, z, t)}{\partial z}$ ;  $\dot{\epsilon}(x, z, t) = \frac{\partial \dot{w}(x, z, t)}{\partial z}$ .

Подставив выражения для  $\epsilon(x, z, t)$  и  $\dot{\epsilon}(x, z, t)$  в (15') и взяв производную по глубине ( $z$ ), получим выражение:

$$\frac{\sigma(x, z, t)}{\partial z} = E_{rp} \frac{\partial^2 w(x, z, t)}{\partial z^2} + \beta \frac{\partial^2 \dot{w}(x, z, t)}{\partial z^2}. \quad (19)$$

Подставим (19) в уравнение движения (7'). Поделив каждое из слагаемых на плотность массы ( $\rho$ ), приведем его к виду:

$$\frac{E_{rp}}{\rho} \frac{\partial^2 w(x, z, t)}{\partial z^2} + \frac{\beta}{\rho} \frac{\partial^2 \dot{w}(x, z, t)}{\partial z^2} - \ddot{w}(x, z, t) = 0. \quad (7'')$$

Начальные и граничные условия аналогичны выражениям (8') и (9').

Выполняя в выражении (7'') преобразование Лапласа по времени, принимая во внимание начальные уравнения (8) и объединив подобные члены, получим:

$$\frac{E_{rp} + \beta s}{\rho} \frac{d^2 \bar{w}(x, z, s)}{dz^2} - s^2 \bar{w}(x, z, s) = 0. \quad (10'')$$

Решение уравнения (10'') аналогично решению уравнения (10), поэтому его не приводим, а запишем только конечный результат, учитывая, что  $E_{rp} = hc$ ;  $\beta = \mu h$ , т. е.:

$$k(s) = s \sqrt{h\rho(c + \mu s)} \operatorname{cth} \left( s \sqrt{\frac{h\rho}{c + \mu s}} \right). \quad (14'')$$

г) Модель Фойгта. В отличие от предыдущей модели вязкость в данном случае учитывается непосредственно в уравнении колебаний балки (1), как это сделано в нашей работе [6]. Не приводя известных выкладок, неизвестную функцию  $k(s)$  перепишем из приведенного источника в виде:

$$k(s) = s \sqrt{hc\rho} \operatorname{cth} \left( s \sqrt{\frac{h\rho}{c}} \right). \quad (14''')$$

Подставляя найденные зависимости в уравнение колебаний балки в пространстве изображений и решая его, получим осадку балки. Последовательным дифференцированием полученного выражения можно получить угол поворота, момент изгиба, перерезывающую силу и реакцию основания в пространстве изображений. Для перехода к оригиналам использован численный метод Папулиса [2].

Алгоритм решения задачи запрограммирован для ЭЦВМ «Наири-3-1» на языке Наири-3.

Реализация программы позволяет получить осадки, изгибающие моменты и реакцию основания в различные моменты времени действия импульсной нагрузки.

Нагрузка задается в виде импульса треугольной формы со следующими параметрами: максимальная сосредоточенная сила — 60 кН, время нагружения — 12 с, время разгрузки — 8 с.

На рис. 1 приведена зависимость осадки балки, рассчитанной по разным моделям, от времени действия импульсной нагрузки; точками показана опытная зависимость осадок от времени.

Как видно из рисунка, наиболее точно с опытными данными совпадает теоретическая кривая, рассчитанная по модели Фойгта (кривые 3, 4), особенно ветвь нагружения. Разгрузочная ветвь ближе к модели Е. С. Сорокина (кривая 1). Нагрузочная ветвь осадки по модели Е. С. Сорокина и осадка по модели Максвелла не могут быть использо-

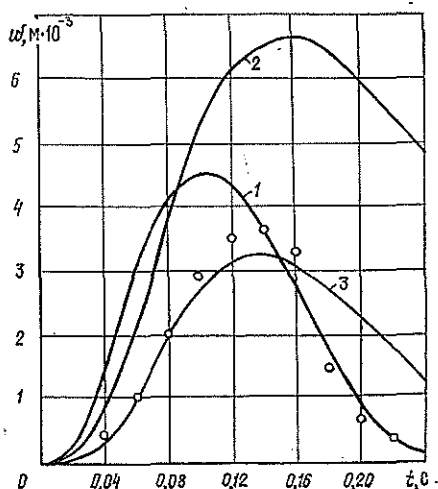


Рис. 1. Зависимость осадки от времени: 1 — по Е. С. Сорокину; 2 — по Максвеллу; 3 — по Кельвину—Фойгту и по Фойгту

ваны для учета вязкости в грунтах. Сказанное можно объяснить, по-видимому, тем, что гипотеза Е. С. Сорокина была предложена для учета неупругого сопротивления жестких тел и не отображает поведения грунтов, находящихся под действием динамических нагрузок. Гипотеза Максвелла, в свою очередь, предназначалась для описания поведения вязких жидкостей.

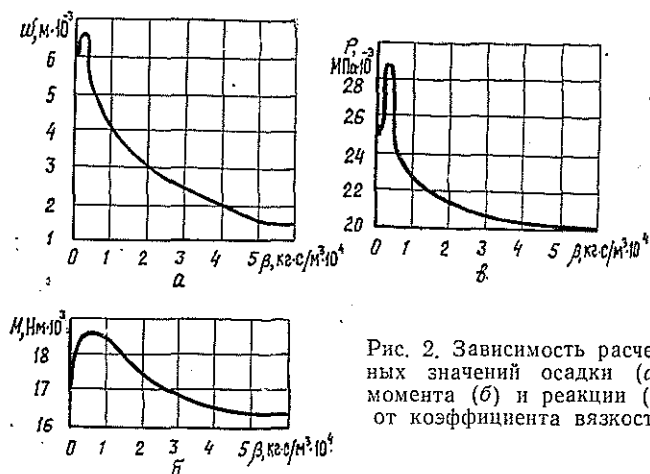


Рис. 2. Зависимость расчетных значений осадки (а), момента (б) и реакции (в) от коэффициента вязкости

На рис. 2 показана зависимость максимальных расчетных значений осадки изгибающего момента и реакции основания от коэффициента вязкости по гипотезе Кельвина — Фойгта. Как видно из графиков, наибольшее влияние коэффициент вязкости оказывает на осадку балки. Причем при увеличении коэффициента вязкости осадка, изгибающий момент и реакция основания сначала возрастают, достигают максимума, а затем начинают уменьшаться. Объяснить это обстоятельство пока довольно затруднительно.

Коэффициент вязкости основания определяли по кривой осадки плиты (рис. 3), рассчитанной для разных коэффициентов вязкости. На данную кривую наносили опытные осадки плиты.

При анализе различных моделей затухания можно сделать вывод, что из рассмотренных моделей наиболее применимы к грунтам гипотезы Кельвина — Фойгта и Фойгта, которые дают удовлетворительные результаты, наиболее сопоставимые с опытом.

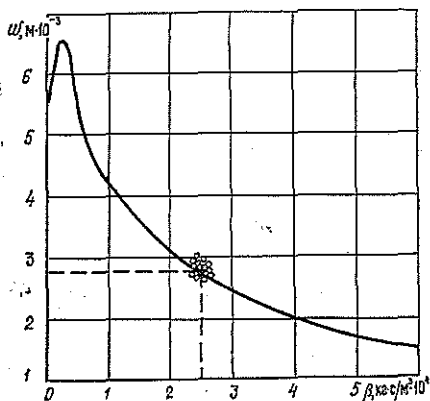


Рис. 3. Зависимость осадки от коэффициента вязкости

## ЛИТЕРАТУРА

[1]. Гольдштейн М. Н. Механические свойства грунтов.— М.: Стройиздат, 1971.— 367 с. [2]. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и  $z$ -преобразования.— М.: Наука, 1971.— 288 с. [3]. Микеладзе Ш. Е. Некоторые задачи строительной механики.— М.; Л.: Гостехиздат, 1948.— 267 с. [4]. Новацкий В. Динамика сооружений.— М.: Госстройиздат, 1963.— 376 с. [5]. Сорокин Е. С. Динамический расчет несущих конструкций зданий.— М.: Госстройиздат, 1956.— 340 с. [6]. Уваров Б. В., Коровкин Р. Л. Расчет балок на упругом основании, работающих в условиях динамического нагружения // Лесн. журн.— 1970.— № 1.— С. 101—107.— (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 26 мая 1986 г.

УДК 630\*323.13 : 629.11.012.816

## ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДАРНО-ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИ ПАКЕТИРОВАНИИ ДЕРЕВЬЕВ НА МАШИНУ

В. К. ХЕГАЙ

Ухтинский индустриальный институт

Правильный выбор защитных средств от ударов и вибрации — одна из важнейших проблем при создании валочно-пакетирующих машин (ВПМ). Для смягчения удара при пакетировании деревьев на ВПМ целесообразно на корпусе машины устанавливать амортизирующие приемные устройства (ПУ) [5]. Как показали исследования [5, 6], параметры подвесок корпуса базовой машины, эквивалентная жесткость которых значительно больше жесткости подвески ПУ, не оказывают существенного влияния на динамику приемного устройства при ударном воздействии дерева на ВПМ. Параметры же ПУ существенно влияют на динамику корпуса машины.

В работе [5] рассмотрен вопрос об определении ударно-динамических нагрузок, передающихся на ВПМ при ударном воздействии в случае линейной амортизации ПУ. При сильных ударах, вызывающих колебания системы за пределы линейности, линейные амортизаторы уже не защищают систему от виброударных воздействий.

В настоящей работе исследованы ударно-динамические нагрузки, передающиеся на корпус ВПМ при нелинейном амортизаторе ПУ.

Предположим, что ударное воздействие дерева на ПУ имеет форму полуволны синусоиды [3], а реакция амортизатора определяется зависимостью:

$$N(y, \dot{y}) = cy + ey^3 + \beta \dot{y}, \quad (1)$$

где  $c$ ,  $e$  и  $\beta$  — коэффициенты пропорциональности.

Пренебрегая влиянием подвесок корпуса машины на динамику ПУ и заменяя распределенную массу дерева двумя дискретными массами  $m_1$  и  $m_2$  [1, 2, 6], расчетную схему для исследования ударного воздействия дерева на ВПМ представим в виде, показанном на рис. 1.

Массы  $m_1$  и  $m_2$  сосредоточены в точках соударения дерева с ПУ и неподвижной опорой (земля, прицеп). Предположим, что удар дерева о ПУ — неупругий, а ударная сила изменяется по закону

$$P(t) = P_0 \sin \frac{\pi}{\tau} t, \quad (2)$$

$P_0$  — максимальная ударная сила;  
 $\tau$  — время удара.