

**ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ УСИЛИЙ В СТЫКАХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ  
ТОННЕЛЬНОЙ СБОРКИ ПО ИЗМЕРЕННЫМ ДЕФОРМАЦИЯМ**

**Москва 1978**

**УДК 624.193.001.42+624.193.001.5**

**(c) Всесоюзный научно-исследовательский институт  
транспортного строительства, 1978**

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие Методические рекомендации предназначены для определения усилий в старых железобетонных тоннельных конструкциях по известным из опыта деформациям.

Методические рекомендации разработаны Ленинградской лабораторией отделения тоннелей и метрополитенов Всесоюзного научно-исследовательского института транспортного строительства (ЦНИИС) при участии Ленгипротрансомста и ЛАСИ.

Авторы: канд.техн.наук Сильвестров С.Н.(ЦНИИС), инж.Созинов В.В.(Ленгипротрансомст), канд.техн.наук Харлаб В.Д. (ЛАСИ), кандидаты техн.наук Щербаков Б.Н., Мандриков С.Г., инженеры Любарец И.И., Бевродный К.П.(ЦНИИС).

Замечания и предложения следует направлять по адресу:  
129329, Москва, Игарский проезд, 2, Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства(ЦНИИС).

Заместитель директора ЦНИИС

Г.Д.Хасхачах

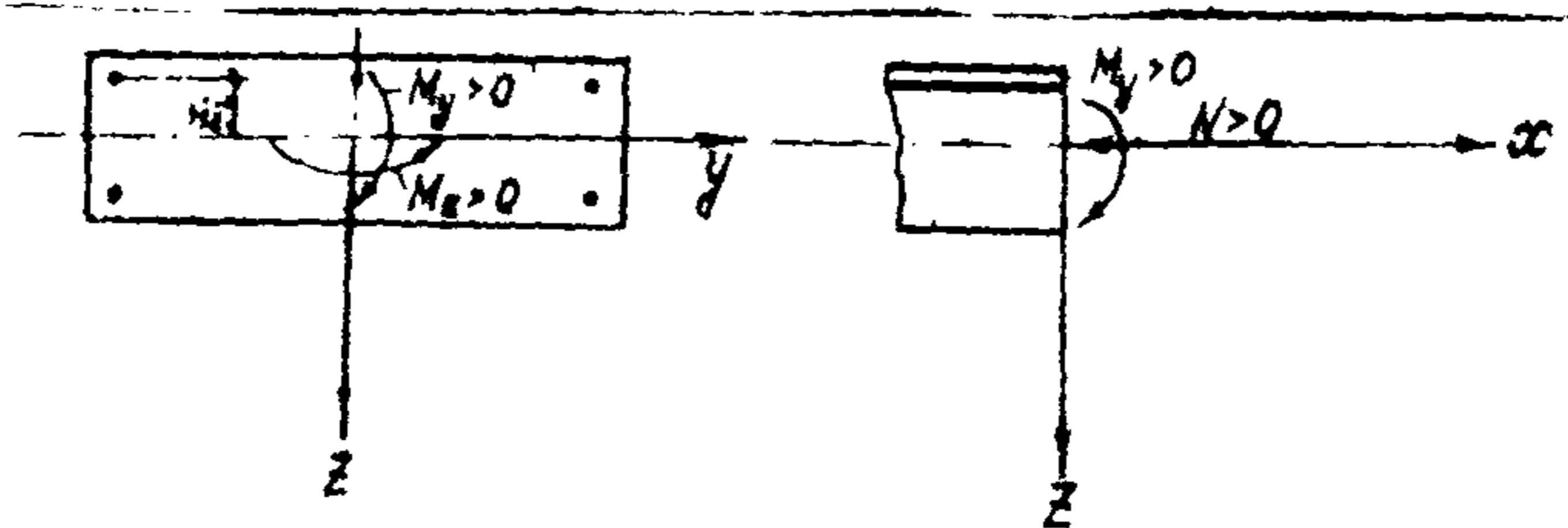
Руководитель отделения  
тоннелей и метрополитенов

В.П.Самойлов

## 1. Методные предпосылки

Берется расчет при следующих допущениях:

1. Учитываются только деформации от внешней нагрузки на конструкцию, поэтому из измеренных (общих деформаций) необходимо вычесть температурные деформации и деформации усадки бетона, либо убедиться, что они невелики.
2. Деформации и напряжения в арматуре ссылаются законом Гука; арматура деформируется совместно с бетоном.
3. Бетон представляет собой линейно-деформируемый упруго-пластичный материал.
4. В пределах рассматриваемого поперечного сечения бетон является однородным по составу и возрасту.
5. Рассматриваемое сечение симметрично относительно оси  $Z$  (см. рисунок); в качестве осей координат выбраны главные центральные оси бетонного сечения.
6. Принимается гипотеза плоских сечений; предполагается отсутствие трещин в бетоне.
7. Не учитывается кривизна оси стержня.



## 2. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

2.1. Рассматривается некоторое поперечное сечение железобетонного стержня, находящегося под нагрузкой с момента времени  $t_0$ . Предполагается, что в трех точках  $j$  с различными координатами  $y_j$ ,  $z_j$  в любой момент времени  $t$  известны относительные удлинения волокон стержня  $\epsilon_j(t)$ .

Геометрические характеристики сечения и деформационные характеристики материала также предполагаются известными. Целью расчета является определение продольной силы  $N(t)$  и изгибающих моментов  $M_y(t)$ ,  $M_z(t)$  в рассматриваемом сечении.

2.2. Согласно допущениям 3 и 4 напряжения и деформации в бетоне связаны между собой соотношениями:

$$\sigma_{ij}(t) = E(t)\epsilon_j(t) + \int_{t_0}^t K(t,\tau) \sigma_{ij}(\tau) d\tau \quad (j=1,2,3); \quad (1)$$

$$K(t,\tau) = E(t) \frac{d}{dt} \left[ \frac{1}{E(\tau)} + C(t,\tau) \right], \quad (2)$$

где  $E$ ,  $C$  - модуль упругости и мера цементации бетона [1,2].

При известных деформациях  $\epsilon_j(t)$  напряжения  $\sigma_{ij}(t)$  определяются путем решения интегральных уравнений (1).

2.3. Так как материал в пределах сечения однородный, связь между напряжениями и деформациями линейная и координатные оси являются главными центральными осями бетонной части сечения, то

$$\sigma_{ij}(t) = \frac{N_i(t)}{F_i} + \frac{M_{iy}(t)}{J_{iy}} + \frac{M_{iz}(t)}{J_{iz}} \quad (j=1,2,3), \quad (3)$$

где  $N_i$ ,  $M_{iy}$ ,  $M_{iz}$  - усилия в бетоне;

$F_i$ ,  $J_{iy}$ ,  $J_{iz}$  - соответственно площадь и моменты инерции бетона в сечении.

При известных напряжениях  $\sigma_{ij}(t)$  (определенны выше) усилия  $N_i(t)$ ,  $M_{iy}(t)$ ,  $M_{iz}(t)$  находятся на системе линейных алгебраических уравнений (3).

## 2.4. По гипотезе плоских сечений

$$\varepsilon_j(t) = \varepsilon_o(t) + \omega_y(t) z_j + \omega_z(t) y_j \quad (j=1,2,3), \quad (4)$$

где  $\varepsilon_o$  - удлинение волокна, проходящего через начало координат;

$\omega_y$  - угол поворота сечения относительно оси  $y$ ;

$\omega_z$  - угол поворота сечения относительно оси  $z$ .

Это соотношение одинаково относится как к бетонной части сечения, так и к арматуре.

Из системы уравнений (4) находятся функции  $\varepsilon_o(t)$ ,  $\omega_y(t)$ ,  $\omega_z(t)$ .

Напряжение в стержне (арматуре)

$$\sigma_{ai}(t) = E_a [ \varepsilon_o(t) + \omega_y(t) z_{ai} + \omega_z(t) y_{ai} ]. \quad (5)$$

Усилия в арматуре

$$N_a(t) = \sum_i F_{ai} \sigma_{ai}(t); \quad (6)$$

$$M_{ay}(t) = \sum_i F_{ai} \sigma_{ai}(t) z_{ai}; \quad (7)$$

$$M_{az}(t) = \sum_i F_{ai} \sigma_{ai}(t) y_{ai}. \quad (8)$$

Если армирование симметрично относительно осей  $y$  и  $z$  (центр тяжести арматуры совпадает с центром тяжести бетонного сечения), то

$$N_a(t) = E_a F_a \varepsilon_o(t); \quad (9)$$

$$M_{ay}(t) = E_a J_{ay} \omega_y(t); \quad (10)$$

$$M_{az}(t) = E_a J_{az} \omega_z(t). \quad (11)$$

Полные усилия в сечении равны сумме усилий в бетоне и арматуре.

### 3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ Измерений деформации МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

Для фиксированной точки  $j$  сечения стержня экспериментально найдены значения деформации  $\varepsilon_j$  в моменты времени  $t_0, t_1, \dots$ , образующие монотонно возрастающую последовательность. Задача состоит в получении аналитической зависимости  $\varepsilon_j = f_j(t)$  по методу наименьших квадратов (ниже индекс  $j$  опущен).

Предлагается аппроксимировать кривые деформаций функцией

$$\varepsilon(t) = \varepsilon(t_0)(1 + \delta \frac{t - t_0}{\sqrt{t - t_0}}). \quad (12)$$

Некоторые параметры функции (12)  $\varepsilon(t)$ ,  $\delta$  и  $\nu$  находятся методом наименьших квадратов, т.е. из условий минимизации отклонения

$$S = \sum_{(i)} [\varepsilon(t_i) - \varepsilon(t_0)(1 + \delta \frac{t_i - t_0}{\sqrt{t_i - t_0}})]^2, \quad (13)$$

где  $t_i' = t_i - t_0$ .

Упомянутые условия имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial \varepsilon(t_0)} &= -2 \sum_{(i)} [\varepsilon(t_i) - \varepsilon(t_0)(1 + \delta \frac{t_i - t_0}{\sqrt{t_i - t_0}})] (1 + \delta \frac{t_i - t_0}{\sqrt{t_i - t_0}}) = 0; \\ \frac{\partial S}{\partial \delta} &= -2 \sum_{(i)} [\varepsilon(t_i) - \varepsilon(t_0)(1 + \delta \frac{t_i - t_0}{\sqrt{t_i - t_0}})] \frac{t_i - t_0}{\sqrt{t_i - t_0}} = 0; \\ \frac{\partial S}{\partial \nu} &= -2 \sum_{(i)} [\varepsilon(t_i) - \varepsilon(t_0)(1 + \delta \frac{t_i - t_0}{\sqrt{t_i - t_0}})] \frac{\varepsilon(t_i) \delta t_i'}{(\sqrt{t_i - t_0})^2} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Эти уравнения нелинейны.

При заданном  $\varepsilon(t_0)$  нелинейная функция (12) тождественным преобразованием приводится к другой, линейной, функции

$$y = \delta_0 \delta' + \delta_1, \quad (15)$$

где  $y = \frac{t'}{\varepsilon(t) - \varepsilon(t_0)}$ ,  $\delta_0 = \frac{1}{\delta \varepsilon_0}$ ,  $\delta_1 = \frac{\nu}{\delta \varepsilon_0}$ . (16)

Система нелинейных уравнений (14) преобразуется в линейную систему

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial \delta_0} &= -2 \sum_{(i)} (y_i - \delta_0 t_i' - \delta_1) t_i' = 0; \\ \frac{\partial S}{\partial \delta_1} &= -2 \sum_{(i)} (y_i - \delta_0 t_i' - \delta_1) = 0. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

### Среднеквадратичная ошибка

$$e^2 = \frac{1}{\delta_{\text{ном}} - \delta_0} \int_{\delta_0}^{\delta_{\text{ном}}} (\epsilon(t) - \epsilon_i(t))^2 dt . \quad (I8)$$

Выбирается интервал изменения  $\epsilon_i$ , и находится минимум функции (I8) при изменении  $\epsilon_i$  в этом интервале. Затем по точке  $(\epsilon_0, \delta_0, \delta_i)$ , соответствующей минимуму  $e^2$ , из формулы (I6) находятся параметры  $b$  и  $v$ . Такой метод определения параметров аппроксимирующей функции (I2) реализован в программе, составленной для ЭВМ "Найри-2" (приложение 1).

#### 4. ВЫЧИСЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В БЕТОНЕ

Основной (наиболее трудной) частью расчета является определение напряжений в бетоне путем решения интегрального уравнения (I). Ниже описываются три рекомендуемых способа выполнения этой операции.

1. Численное решение интегрального уравнения.

В уравнении

$$\sigma(t) = \epsilon(t) E(t) + \int_{t_0}^t K(t, \tau) \delta(\tau) d\tau \quad (19)$$

промежуток интегрирования разбивается на  $n$  частей, в пределах каждой из которых напряжение можно принять постоянным:

$$\begin{aligned} \int_{t_0}^t K(t, \tau) \delta(\tau) d\tau &= \int_{t_0}^{t_1} K(t, \tau) \delta(\tau) d\tau + \sum_{j=1}^{n-1} \int_{t_j}^{t_{j+1}} K(t, \tau) \delta(\tau) d\tau + \int_{t_n}^t K(t, \tau) \delta(\tau) d\tau, \\ \int_{t_j}^{t_{j+1}} K(t, \tau) \delta(\tau) d\tau &\approx \delta(t_j) [C^*(t_j, \frac{t_j+t_{j+1}}{2}) - C^*(t_j, \frac{t_j+3t_{j+1}}{4})], \\ \text{где } C^*(t, t) &= E(t) \left[ \frac{1}{E(t)} + C(t, t) \right]. \end{aligned} \quad (20)$$

Тогда

$$\delta(t) = E(t_0) \epsilon(t_0); \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \delta(t_i) &= \left\{ E(t_i) \cdot \delta(t_0) [C^*(t_0, \frac{t_0+t_i}{2}) - C^*(t_0, t_0)] + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{j=1}^{i-1} \delta(t_j) [C^*(t_j, \frac{t_j+t_{j+1}}{2}) - C^*(t_j, \frac{t_j+3t_{j+1}}{4})] \right\} \frac{1}{[1(C^*(t_i, t_i) C^*(t_i, \frac{t_i+3t_{i+1}}{4}))]}, \end{aligned} \quad (22)$$

$$i = 1, 2, \dots$$

Данный способ решения задачи не накладывает никаких специальных условий на вид функций  $E(t)$  и  $C(t, t)$ . В частности, эти функции могут быть заданы дискретно. В приложении 2 приводится программа расчета по данному алгоритму на ЭВМ "Наира-2" при  $E(t) = \text{const}$ .

2. Решение интегрального уравнения через разольвенту.

Это решение имеет вид

$$\sigma(t) = \epsilon(t) E(t) + \int_{t_0}^t R(t, \tau) \epsilon(\tau) E(\tau) d\tau, \quad (23)$$

где  $R(t,t)$  - результат, подлежащий определению через ядро  $k(t,t)$ .

Для меры полвучести бетона широкое используется аналитическое выражение, предложенное И.Х.Арутиняном [1]:

$$C(t,\tau) = \Psi(t) \left[ 1 - e^{-\frac{R(t,\tau)}{\Psi(t)}} \right]. \quad (24)$$

При такой мере полвучести [2]

$$R(t,t) = \int_{t_0}^t \left\{ x(t,\xi) E(\xi) \right\} \left[ E(\xi) e^{E(\xi)} d\xi F(t) \Psi(\xi) E(\xi) \right], \quad (25)$$

$$\left. \begin{aligned} & \text{где } t, \xi - \text{произвольные выбранные моменты времени; точкой отмечено дифференцирование по времени.} \\ & \text{таким образом, если для меры полвучести принимается выражение (24), то напряжения в бетоне могут быть найдены по формулам (23), (25) путем численного интегрирования.} \end{aligned} \right. \quad (26)$$

3. Приближенное аналитическое решение интегрального уравнения.

Если  $E(t)=E=\text{const}$ , то, как показала проверка в рассматриваемом вопросе, применим простой приближенный метод [3]:

$$\delta(t) = \delta(t_0) + \frac{\dot{\delta}(t_0)}{\alpha} (1 - e^{-\alpha(t-t_0)}), \quad (27)$$

$$\text{где } \alpha = \frac{\ddot{\delta}(t_0)}{\dot{\delta}(t_0)} > 0. \quad (28)$$

При использовании меры полвучести бетона, рекомендуемой в [4, 5],

$$C(t,\tau) = \Psi(t) \frac{t-\tau}{Q_0+t-\tau}; \quad (29)$$

$$\Psi(t) = C_n \xi_1 \xi_2 \xi_3 \xi_4 = C_n (Q_6 + Q_65 e^{-Q_7 t}), \quad (30)$$

и с учетом (12)

$$\dot{\delta}(t) = \delta(t_0) \left[ \frac{\delta}{\gamma} - \frac{E}{Q_0} \Psi(t_0) \right]; \quad (31)$$

$$\ddot{\delta}(t) = -2\dot{\delta}(t_0) \frac{\delta}{\gamma^2} + \frac{E}{Q_0} \Psi(t_0) \left( \frac{2}{Q_0} \delta(t_0) - \dot{\delta}(t_0) \right) \quad (32)$$

В случае использования мори ползучести (24)

$$\dot{\delta}(t_0) = \delta(t_0) \left( \frac{\delta}{\delta} - EC_m \delta (46 + 0,65 e^{\frac{A t_0}{2}}) \right), \quad (22)$$

$$\ddot{\delta}(t_0) = -2\delta(t_0) \frac{\delta}{\delta^2} \cdot EC_m \Gamma(46 + 0,65 e^{\frac{A t_0}{2}}) (\delta(t_0) - \dot{\delta}(t_0)). \quad (24)$$

В приложении 2 приведена программа численной реализации данного метода на ЭВМ "Байри-2".

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнин Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести. М., Гостехтеориздат, 1952.
2. Александровский С.В. Расчет ограждающих и железобетонных конструкций на температурные и влажностные воздействия (с учетом ползучести). М., Стройиздат, 1966.
3. Харлаб В.Д. Приближенный метод расчета железобетонных конструкций с учетом ползучести бетона. З кн: "Механика". Краткие содержания докладов к XXX научной конференции АИСИ, Л., 1972.
4. Щербаков В.И. О прогнозе величин деформаций ползучести и усадки гидролого бетона в стадии проектирования конструкций. Труды ЦНИИС "Исследование деформаций, прочности и долговечности бетона транспортных сооружений", вып. 2. М., 1969.
5. Методические указания по расчету потерь предварительного напряжения, вызванных ползучестью и усадкой бетона, в железобетонных конструкциях транспортных сооружений. М., изд. ЦНИИС, 1972.

## ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

## Текущая программа

№ шага	ЯП	Алгоритм
1	алг	
2	$i = 2 \ j = 3 \alpha$	
3	$i = 3 \ \delta \delta$	
4	$i = 50 \ t \geq s$	
5	$i = 5 \ H$	
6	$88 \ H_0$	
7	песк с 1 зн $H_0$	
8	доп $i = 1 \ n = 0 \ h = 1$	
9	$88 \ t_i$	
10	если $t_i \geq 0$ идти к 9	
11	$R_{14} \Gamma = t_i$	
12	доп $\Gamma = 1\Gamma$	
13	идти к 11	
14	если $i = i + 1 \ n = n + 1$	
15	идти к 4	
16	$88 \ H_i$	
17	песк с 1 зн $H_i$	
18	доп $w = 0$	
19	доп $i = 1$	
20	$88 \ Z_i$	
21	если $i = i + 1$	
22	если $i - n \leq 0$ идти к 15	

№ шпар.	НДР	Алгоритм
18	анн 8 3	
19	анн $i=1$	
20	если $Z_i < 0$ идти к 23	
21	begin $i=i+1$	
22	идти к 9	
23	доп $K=L$	
24	begin $Z_0 = Z_K$	
25	доп $L=K$ $J=1$	
26	доп $\delta_0 = 0$ $\delta_1 = 0$ $\delta_2 = 0$ $\delta_3 = 0$	
27	если $Z_i < 0$ идти к 31	
28	если $Z_i - Z_0 = 0$ идти к 31	
29	begin $\delta_2 = \alpha_1 t_i$ $\alpha_1 = \delta_1 + c_1 / (Z_i - Z_0)$ $\delta_2 = \delta_2 + t_i^2$ $\delta_3 = \delta_3 + t_i^2 / (Z_i - Z_0)$	
30	begin $J=J+1$	
31	begin $i=i+1$	
32	если $i = N = 0$ идти к 27	
33	begin $\alpha_{0,0} = \delta_0$ $\alpha_{0,1} = J$ $\alpha_{0,2} = \delta_1$ $\alpha_{1,0} = \delta_2$ $\alpha_{1,1} = \delta_0$ $\alpha_{1,2} = \delta_3$	
34	идти к 35	
35	анн 28	
36	идти к 90	
38	begin $\vartheta = \sqrt{\delta_0 / (t_i - t_K)}$	

номер	НДЛ	Алгоритм
	$B_2 = 1/B_0 R_0 \quad B_3 = B_1/R_0$	$B = 1/B_0 E_0 \quad \vartheta = B/B_0$
39	если $R \cdot 3 < 0$ иди к 83	
40	печ с 5 ЗН $Z_0 \ B_2 \ B_3 \ e$	получить $E_0 \ B \ \vartheta \ e$
41	идти к 46	
42	для $i=1$	
43	печ с 1 ЗН $Z_i \ B_i \ S_i$	
44	если $i=11$ иди к 48	
45	если $i=12 < 0$ иди к 43	
46	если $B \cdot 3 < 0$ иди к 48	
47	если 1 иди к 83	
48	если $W = 0$ иди к 48	
49	если $W < 0$ иди к 18	
50	изменить $\vartheta$	
51	если $G_{11} = 0$ иди к 1	
52	если $G_{11} \neq 0$ иди к 61	
53	идти к 1	
54	$L_{11} R_0 = 0,3 R_K \quad D = 0,12_K$	
55	если $D < 0 \quad G = 0 \quad M = 0 \quad Z = 0$	
56	$M = 999993$	
57	идти к 25	
58	если $Z > 0 < D$ иди к 61	
59	если $M < 0 \quad Z = M + 11$	

№ опис.	ИД	Алгоритм
61	$\delta_{014} Z_0 = Z_0 + \beta_1 \quad U = U + 1$	
62	$\cos(\theta - 10) \leq 0 \quad U\bar{U}MU \times 25$	
63	$\delta_{014} Z_0 = 0,5 Z_K + (m-1)\beta_1$	
	$\alpha = 0,02 Z_K$	
64	$\sin \theta : \alpha = 0 \quad 0 = 0 \quad M - 9999,19$	
65	$U\bar{U}MU \times 25$	
66	$\cos M - e < 0 \quad U\bar{U}MU \times 68$	
67	$\sin M - e \quad 0 = U$	
68	$\delta_{014} Z_0 = Z_0 + \alpha \quad U = U + 1$	
69	$\cos(\theta - 10) \leq 0 \quad U\bar{U}MU \times 25$	
70	$\delta_{014} Z_0 = 0,5 Z_K + (2-1)\beta_1$	
71	$\sin \theta - 2 \quad U = 0 \quad C = 0 \quad P = 9999999$	
72	$U\bar{U}MU \times 25$	
73	$\cos M - e < 0 \quad U\bar{U}MU \times 75$	
74	$\sin M - e \quad C = U$	
75	$\delta_{014} Z_0 = Z_0 + \alpha \quad U = U + 1$	
76	$\cos(\theta - 10) \leq 0 \quad U\bar{U}MU \times 25$	
77	$\cos M - p < 0 \quad U\bar{U}MU \times 80$	
78	$\delta_{014} Z_0 = 0,5 Z_K + (m-1)\beta_1 + \alpha x$	
79	$U\bar{U}MU \times 81$	
80	$\delta_{014} Z_0 = 0,5 Z_K + (2-1)\beta_1 + Cx$	
81	$\sin M - z - 4$	

№	ЯП	Алгоритм
82	услу к 25	
83	если $\ell - 2 = 0$ услов к 73	
84	если $\ell - 1 = 0$ услов к 66	
85	если $\ell = 0$ услов к 59	
86	услу к 56	
87		
88	доп $i = 1$ $\delta_0 = 0$	
89	доп $H_5 = 0$	
90	если $S_i = t_i / (\beta_0 t_i + \beta_1) + Z_0$	
91	если $Z_i < 0$ услов к 95	
92	если $H_2 = S_i$ $H_3 = Z_i$ $H_4 = t_i$	
93	$H_5 = 1$	
94	если $i = i + 1$	
95	если $i - 10 > 0$ услов к 38	
96	если $H_5 = 0$ услов к 98	
97	если $S_i = t_i / (\beta_0 t_i + \beta_1) + Z_0$	
98	если $Z_i < 0$ услов к 103	
99	если $\delta_0 = \delta_0 + ((S_i - Z_i)^2 +$	
100	$+ (H_2 - H_3)^2) (t_i - H_4) / R$	
101	доп $i = i$	
102	услу к 91	
103	если $i = i + 1$	



Контрольный пример

Исходные данные:

Блок № 265,  $t_s = 52$

$t'_1$	$\varepsilon_1$		
	Н о м е р   т о ч к и		
	2	3	4
4	25,4	33,9	17,3
6	30,6	39,1	19,8
8	34,7	41,7	21,1
12	39,9	43	21,8
15	42,5	44,8	22,3
25	44,5	44,8	23,3
34	45,7	46,1	24,8
47	45,7	47	24,9
59	46,3	49,5	27,3
78	46,6	49,6	27,7
98	48,2	53,8	29
113	49,2	52,8	30,8
141	50,4	53,6	32,5
169	50,7	54,3	33,1
-3			

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА  
(нажата клавиша "Выполнить")

Р3 ..

{ ИСПОЛНИМ }

$H = 265,0$	$b_2 = 1,04685$	$b_3 = 12,55768$	$B =$
$H_F = 2,0$			
$Z = 25,39999$			
$\underline{Z} = \overline{10,15999}$	$b_2 = 4,04681$	$b_3 = 5,47310$	$B *$
$-1,14387$			
 $H_F = 3,0$			
$Z = 33,89999$	$b_2 = 0,64844$	$b_3 = 18,86957$	$B =$
$\underline{Z} = \overline{1,39394}$			
$\underline{Z} = \overline{32,54399}$	$b_2 = 0,75460$	$b_3 = 24,02253$	$B *$
$-1,25375$			
 $H_F = 4,0$			
$Z = 17,29999$	$b_2 = 1,03576$	$b_3 = 38,64117$	$B *$
$\underline{Z} = \overline{1,16520}$			
$\underline{Z} = \overline{19,37599}$	$b_2 = 1,02283$	$b_3 = 88,66461$	$B =$
$0,77004$			

## Составление исходных данных и чтение результатов расчета

Исходные данные заносятся в следующем порядке:

$N^k$  - номер блока обделки;

$t_i' (i=1, 2, \dots, m)$  - моменты времени наблюдения, где  $m$  - число точек наблюдения;  $t_i' = t_i - t_0$  ( $t_0$  - момент времени загружения); начало времени отсчета совпадает с окончанием термовлажного хранения блока;

$-n$  - количество точек в сечении блока, в которых проводились измерения; знак минус служит границей ввода массива  $\epsilon$  (одновременно и массива  $\varepsilon$ );

$N^l$  - номер точки в сечении блока обделки;

$\varepsilon_i(t_i')$  - массив относительных деформаций (увеличенный в  $10^5$  раз) одной точки сечения, далее  $\varepsilon_i(t_i')$  другой точки сечения - по всем точкам сечения, в которых измеряется деформация; в массиве деформаций в местах прочерков при вводе набивается минус единица (для машины это означает, что такую деформацию при обработке точек надо пропускать).

После ввода исходных данных производится расчет при  $\varepsilon_0 = \varepsilon(t_{\text{наг}})$  параметров  $b$  и  $\nu$  аппроксимирующей функции. При нажатой клавише "Вариант" производится оптимальный подбор  $\varepsilon_0$ .

В результате расчета печатаются номер блока, номер точки, параметры  $\varepsilon_0$ ,  $b$ ,  $\nu$  аппроксимирующей функции и  $e$  - квадратичное отклонение аппроксимирующей кривой от ломаной, проведенной через натурные точки. При нажатой клавише "Вариант" печатаются оптимальные параметры  $\varepsilon_0$ ,  $b$ ,  $\nu$ ,  $e$ . Если оператор 4I "Иди к 46" заменить на оператор 4I "Иди к 42", то кроме  $\varepsilon_0$ ,  $b$ ,  $\nu$ ,  $e$  будут печататься  $t_i'$  и соответствующие ординаты кривых  $\varepsilon_i(t_i')$  и  $\varepsilon(t_i')$  ( $\varepsilon(t_i')$  - точки аппроксимирующей функции).

## Приложение 2

# ПРОГРАММЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ В СЕЧЕНИИ ЖЕЛЗОВОГО ТОННОГО СТВРКНА

# Численное решение интегрального уравнения Текущая программа

шаг.	ЯН	алгоритм
	an	
	i = 21 a	
	j = 2 i = 26	
	j = 2 read xyz HMS	
	j = 3 i = 4 w	
	i = 17 t	
	j = 2 K = 17 g	
1	don j = 0	
2	don i = 0	
3	don $\beta_{j,i} = 0$	
4	begin i = i + 1	
5	если $i - 2 \leq 0$ то идти к 3	
6	begin j = j + 1	
7	если $j - 2 \leq 0$ то идти к 2	
8	begin	loop m-как до конца блока.
9	begin Q <sub>0</sub> $\beta_{0,0}$	begin F <sub>0</sub> F <sub>g</sub>
10	если m-1 = 0 то идти к 14	
11	begin Q <sub>1</sub> $\beta_{0,1}$ $\beta_{1,1}$	begin J <sub>0y</sub> S <sub>0y</sub> J <sub>ay</sub>
12	если m-2 = 0 то идти к 14	
13	begin Q <sub>2</sub> $\beta_{2,2}$	begin J <sub>0x</sub> J <sub>ax</sub>
14	begin Q <sub>3</sub> Q <sub>4</sub>	begin E <sub>a</sub> $\beta$

№ опер.	РНП	Алгоритм
15	88 $Q_{20} Q_{21}$	8800 № начца, № блока
16	88 $Q_5 Q_6 Q_8 Q_9$	8800 $Q_0 t_0 E EG_{10}$
17	дел $j=0 n=m$	
18	88 $E_j \delta_j P_j$	8800 $E_j \delta_j V_j$
19	если $m-1=0$ идти к 25	
20	88 $Z_j$	8800 $Z_j$
21	если $m-2=0$ идти к 23	
22	88 $Y_j$	8800 $Y_j$
23	если $j=n < 0$ идти к 18	
24	если $j-n < 0$ идти к 18	
25	идти к 26	
26	дел $A=9 S=1$	
27	если $t_0 = Q_6$ $t_1 = t_0 + 10$	
	$t_2 = t_0 + 20$ $t_3 = t_0 + 30$	
28	если $t_4 = t_0 + 80$ $t_5 = t_0 + 180$	
	$t_6 = t_0 + 180$	
29	если $t_7 = t_0 + 380$ $t_8 = t_0 + 720$	
30	идти к 36	
31	дел $A=17 S=2$	
32	если $t_1 = t_0 + 5$ $t_2 = t_0 + 10$	
	$t_3 = t_0 + 15$ $t_4 = t_0 + 20$	
	$t_5 = t_0 + 25$ $t_6 = t_0 + 30$	

№ опр.	РАД	Алгоритм
33	$B_{6/4} \quad t_7 = t_0 + 45 \quad t_8 = t_0 + 60$ $t_9 = t_0 + 90 \quad t_{10} = t_0 + 120$	
34	$B_{6/4} \quad t_{11} = t_0 + 150 \quad t_{12} = t_0 + 180$ $t_{13} = t_0 + 210$	
35	$B_{6/4} \quad t_{14} = t_0 + 360 \quad t_{15} = t_0 + 540$ $t_{16} = t_0 + 720$	
36	НЕИ С 13Н $\alpha_{20} \alpha_{R1}$	
37	ЗОН $R=0$	
38	НЕИ С 13Н $t_K$ 5	
39	УДМУ $R=41$	
40	СНООСУМ	
41	ЗОН $j=0 \quad \sigma=0$	
42	$B_{6/4} \quad Z_j = E_j (1 + \xi_j (t_K - Q_0)) /$ $(\beta_j + t_K - Q_0))$	$\xi_j(t) = E_j (\gamma + \delta_j \frac{t-t_0}{\beta_j + t - t_0})$
43	$B_{6/4} \quad j=j+1 \quad \sigma=\sigma+1$	
44	ЕСЛУ $\sigma=m < 0$ УДМУ $R=42$	
45	ЗОН $W_{0,0}=1 \quad W_{1,0}=1 \quad W_{2,0}=1$	
46	$B_{6/4} \quad X_0 = Z_0$	
47	ЕСЛУ $m-1=0$ УДМУ $R=57$	
48	$B_{6/4} \quad W_{q,1}=Z_0 \quad W_{s,1}=Z_1$	
49	ЕСЛУ $m-2 \neq 0$ УДМУ $R=54$	
50	$B_{6/4} \quad Q_{15}=Z_1-Z_0 \quad Q_{17}=Z_3-Z_0$	$\Delta, \Delta_\omega$

опер.	ЯДП	Алгоритм
51	$B_0/4 \quad Q_{15} = Z_0 Z_1 - Z_1 Z_0$	$\Delta_\varepsilon$
52	$B_0/4 \quad Z_0 = Q_{15}/Q_{15} \quad Z_1 = Q_{17}/Q_{15}$	$E_0(t) = \frac{4\varepsilon}{A} \quad \omega_y(t) = \frac{4\omega}{A}$
53	услы к 57	
54	$B_0/4 \quad W_{q,2} = Y_0 \quad W_{z,2} = Y_1$ $W_{e,2} = Y_2 \quad W_{x,1} = Z_2$	
55	$B_0/4 \quad W_{q,3} = Z_0 \quad W_{z,3} = Z_1$ $W_{e,3} = Z_2$	
56	из С6 ШЗ 26	
57	доп $j=0 \quad H_0=0 \quad H_1=0 \quad H_2=0$	
58	доп $i=0$	
59	$B_0/4 \quad H_j = H_j + Q_{j,1} B_{j,1} 26$	
60	всп $i=i+1$	
61	если $i-2 \leq 0$ услы к 59	
62	всп $j=j+1$	
63	если $j-2 \leq 0$ услы к 58	
64	$B_0/4 \quad H_0 = H_0/1000 \quad H_1 = H_1/100000$ $H_2 = H_2/100000$	
65	если $m-1 \neq 0$ услы к 68	
66	из С1 ЗН $H_0$	печать $H$
67	услы к 72	
68	если $m-2 \neq 0$ услы к 71	
69	из С1 ЗН $H_0 \quad H_1$	

№ опер.	ЯП	Алгоритм
70	удал к 72	
71	пер с 1 ЗН $H_0 H_1 H_2$	
72	don $U = K$	
73	беск $U = U - 1$	
74	беск $Q_7 = F \quad F = 0$	
75	don $j = 0 \quad O = 0$	
76	беск $g_{jK} = Q_8 \cdot g_j$	$EE_j(t_K)$
77	don $b = 0$	
78	беск $Q_{18} = g_{jK}$	$\delta_{j,0}$
79	если $F = 0$ удал к 101	
80	don $i = U$	
81	беск $Q_{13} = (t_0 + t_i)/2$	$\frac{t_0 + t_i}{2}$
	$a_{14} = (t_K + t_i)/2$	$\frac{t_K + t_{K-1}}{2}$
84	если $K-1 < 0$ удал к 101	
85	беск $g_{jK} = g_{jK} + 2_{18} C$	$\tilde{\delta}_{jK} = EE_j(t_K) \cdot \delta_{j,0} (C(t_K, \frac{t_0 + t_i}{2}) - C(t_K, t_i))$
86	если $K-2 < 0$ удал к 100	
87	don $i = 1$	
88	don $b = i$	
89	беск $i = i - 1$	
90	беск $Q_{19} = t_i$	$t_{i-1}$
91	беск $i = i + 2$	
92	беск $Q_{10} = t_i$	$t_{i+1}$

№ шага.	НАП	АЛГОРИТМ
93	ДОП $i = 61$	
94	БОЛУ $\alpha_{11} = (t_1 + \alpha_{13})/2$	$\frac{t_1 + t_{41}}{2}$
	$\alpha_{12} = (t_6 + \alpha_{13})/2$	$\frac{t_6 + t_{41}}{2}$
95	БОЛУ $g_{1x} = g_{2x} + g_{4x}$	
96	БОЛУ $i = i+1$	
97	ДОП $b1 = i$	
98	БОЛУ $b1 - 1 < 0$ УДАЛ $\times 88$	
100	БОЛУ $g_{1x} = g_{2x} / (1 + p)$	
101	БОЛУ $j = j+1 \quad \sigma = \sigma + 1$	
102	БОЛУ $\sigma - m < 0$ УДАЛ $\times 76$	
103	ДОП $j = 0$	
104	БОЛУ $x_1 = g_{1x}$	
105	БОЛУ $j = j+1$	
106	БОЛУ $j - 2 \leq 0$ УДАЛ $\times 104$	
107	БОЛУ $w_{0,0} = 1/q_0 \quad M_0 = x_0 q_0$	
108	БОЛУ $m - 1 = 0$ УДАЛ $\times 119$	
109	БОЛУ $w_{0,1} = z_0/q_1 \quad w_{1,0} = 1/q_0$	
	$w_{1,1} = z_1/q_1$	
110	БОЛУ $m - 2 \neq 0$ УДАЛ $\times 115$	
111	БОЛУ $\alpha_{15} = (t_1 - z_0)/q_0 q_1$	$\Delta$
	$\alpha_{17} = (z_1 - x_0)/q_1$	$\Delta_{M_0}$
112	БОЛУ $Q_0 = (x_0 z_1 - x_1 z_0)/q_1$	$\Delta_{N_0}$

№ п.п.	РАН	АЛГОРИТМ
113	$B614 M_0 = Q_{16}/Q_{15}$ $M_1 = Q_{17}/Q_{15}$	$N_5(t) = \frac{A_{48}}{\Delta}, M_{5y}(t) = \frac{B_{48}}{\Delta}$
114	услу к 119	
115	$B614 W_{0,2} = Y_0/Q_2$ $W_{1,2} = Y_1/Q_2$ $W_{2,2} = Y_2/Q_2$	
116	$B614 W_{2,1} = Z_2/Q_1$ $W_{2,0} = 1/Q_0$	
117	$B614 W_{0,3} = X_0$ $W_{1,3} = X_1$ $W_{2,3} = X_2$	
118	110 СУ УЗМ	
119	$B614 M_0 = M_0/1000$ $M_1 = M_1/100000$ $M_2 = M_2/100000$	$N_5(t)$ $M_{5y}(t)$ $M_{5z}(t)$
120	$B614 S_0 = H_0 + M_0$ $S_1 = H_1 + M_1$ $S_2 = H_2 + M_2$	$N(t)$ $M_{5y}(t)$ $M_{5z}(t)$
121	если $m-1 \neq 0$ услу к 125	
122	печ с 1 ЗН $M_0$	печать $N_5(t)$
123	печ с 1 ЗН $S_0$	печать $N(t)$
124	услу к 131	
125	если $m-2 \neq 0$ услу к 129	
126	печ с 1 ЗН $M_0$ $M_1$	печать $N_5(t)$ $M_{5y}(t)$
127	печ с 1 ЗН $S_0$ $S_1$	печать $N(t)$ $M_y(t)$
128	услу к 131	
129	печ с 1 ЗН $M_0$ $M_1$ $M_2$	печать $N_5(t)$ $M_{5y}(t)$ $M_{5z}(t)$
130	печ с 1 ЗН $S_0$ $S_1$ $S_2$	печать $N(t)$ $N_y(t)$ $N_z(t)$



№ опер.	ЯДП	АЛГОРИТМ
	$EC(t, \tau) = EC_m (0,6 + 0,65 e^{-\alpha_5 (t - \tau)}) (1 - e^{-\alpha_4 (t - \tau)})$	
82	$b_{014} = Q_9 ((0,6 + 0,65 \exp(-Q_4 Q_{14})) /$ $\exp(Q_5 (Q_{14} - t_k)))$	$EC(t_k, \frac{t_k + t_{k-1}}{2})$
83	$b_{014} C = Q_9 ((0,6 + 0,65 \exp(-Q_4$ $Q_{13})) (1 - \exp Q_5 (Q_{13} - t_k)) - (0,6 +$ $0,65 \exp(-Q_4 t_0)) (1 - \exp Q_5 (t_0 - t_k)))$	$EC(t_k, \frac{t_0 + t_1}{2}) - EC(t_k, t_0)$
95	$b_{014} C = Q_9 ((0,6 + 0,65 \exp(-Q_4$ $Q_{11})) (1 - \exp Q_5 (Q_{11} - t_k)) - (0,6 +$ $0,65 \exp(-Q_4 Q_{12})) (1 - \exp Q_5 (Q_{12} -$ $t_k)))$	

опер.	РДП	АЛГОРИТМ
82	$EC(t, \tau) = EC_m (Q_6 + Q_{65} e^{-\alpha t}) \frac{t - \tau}{Q_5 + t - \tau}$	
83	$B_{64} P = Q_9 ((Q_6 + Q_{65} \exp(-Q_4 t_x))$ $(t_x - Q_{14}) / (Q_5 + t_x - Q_{14}))$	
84	$B_{64} C = Q_9 ((Q_6 + Q_{65} \exp(-Q_4 t_x))$ $(-Q_4 Q_{13})) (t_x - Q_{13}) / (Q_5 + t_x - Q_{13})$ $- (Q_6 + Q_{65} \exp(-Q_4 t_0)) (t_x - t_0) /$ $(Q_5 + t_x - t_0))$	
85	$B_{64} L = Q_9 ((Q_6 + Q_{65} \exp(-Q_4 t_x))$ $(t_x - Q_{14}) / (Q_5 + t_x - Q_{14}))$ $- (Q_6 + Q_{65} \exp(-Q_4 Q_{14})) (t_x -$ $Q_{14}) / (Q_5 + t_x - Q_{14}))$	

Контрольный пример

Исходные данные:

Общие для всех рассчитываемых блоков

Номер точки сечения блока № 3	Площадь		Относительно оси $y$		Относительно оси $z$		Модуль упругости арматуры $E_a \times 10^5$ , кг/см <sup>2</sup>	Характеристика склонности старения бетона $\beta$ , 1/сутки	
	бетона $F_b$ , см <sup>2</sup>	арматуры $F_{ay}$ , см <sup>2</sup>	Момент инерции плоскости сечения $J_y$ , см <sup>4</sup>	Статический момент плоскости сечения относительно оси $y$ $S_{ay}$ , см <sup>3</sup>	Момент инерции плоскости сечения относительно оси $z$ $J_z$ , см <sup>4</sup>	Момент инерции арматуры относительно оси $z$ $J_{az}$ , см <sup>4</sup>			
3	3391	109	1356069	109	73094	696594	32572	21	0,0162

Для каждого блока

Номер блока	Характеристика скорости ползучести бетона $Q_b$ , сутки	Время установки блока под нагрузку $t_s$ , сутки	Модуль упругости бетона $E_b \times 10^5$ , кг/см <sup>2</sup>	Конечная характеристика ползучести $C_b = E_b$
265	185	52	3,32	0,7

Для каждой точки блока

Параметры кривых деформаций			Координаты точек	
Начальная упругая относительная деформация	$\delta$	$\gamma$	$z$ , см	$y$ , см
25	1	12	-28,5	-20
34	0,6	18	-28,5	20
17	1	36	30,5	-20

**Приложение к аналитическому решению интегрального  
уравнения**

**Текст программы**

<b>№ ОДНН.</b>	<b>НАР</b>	<b>Алгоритм</b>
1	$a_{11}$	
2	$i = \bar{a} / a$	
3	$j = 2 \quad l = 2 \cdot b$	
4	$j = 2 \times \text{без} \lfloor NMSg \rfloor$	
5	$j = 3 \quad l = 4 \times$	
6	$i = a \cdot b$	
7		
8		
9	1 $\text{доп } j = 0$	
10	2 $\text{доп } i = 0$	
11	3 $\text{доп } B_{j,l} = 0$	
12	4 $\text{если } i = 2 \neq 0 \text{ идти к } 5$	
13	5 $\text{если } j = j + 1$	
14	6 $\text{если } j = j + 1$	
15	7 $\text{если } j = 2 \neq 0 \text{ идти к } 2$	
16	8 $\text{и } m$	
17	9 $\text{бл } a_0, B_{0,0}$	$\text{блод } F_g F_a$
18	10 $\text{если } m - 1 = 0 \text{ идти к } 14$	
19	11 $\text{бл } a_1, B_{0,1}, B_{1,1}$	$\text{блод } J_{a_1} J_{B_{0,1}} J_{B_{1,1}}$
20	12 $\text{если } m - 2 = 0 \text{ идти к } 14$	
21	13 $\text{бл } a_2, B_{2,2}$	$\text{блод } J_{B_{2,2}} J_{a_2}$
22	14 $\text{бл } a_3, a_4$	$\text{блод } E_a \beta$
23	15 $\text{бл } a_{20}, a_{21}$	$\text{блод } \text{Номера, } \text{Блоки в порядке}$

опер.	РАН	Алгоритм
16	$88 Q_5 Q_6 Q_8 Q_9$	$8800 Q_0 t_0 E f_{-m}$
17	$\partial n_j = 0 \quad n = m$	
18	$88 E_j \delta_j f_j$	$8800 E_j \delta_j f_j$
19	$если \quad m-1 = 0 \quad udmu \times 25$	
20	$88 Z_j$	
21	$если \quad m-2 = 0 \quad udmu \times 23$	
22	$88 y_j$	
23	$bcm_j = j+1$	
24	$если \quad j-n < 0 \quad udmu \times 18$	
25	$B614 \quad t_0 = Q_6 \quad t_1 = t_0 + 10$	
	$t_2 = t_0 + 20 \quad t_3 = t_0 + 30$	
26	$B614 \quad t_4 = t_0 + 60 \quad t_5 = t_0 + 120$	
	$t_6 = t_0 + 180 \quad t_7 = t_0 + 360$	
	$t_8 = t_0 + 720$	
27	$нв4 \quad c \quad f3H \quad Q_{20} \quad Q_{21}$	переход $N^{\#}$ календаря, $N^{\#}$ Евроизд
28	$\partial n \quad K = 0$	
29	$нв4 \quad c \quad f3H \quad t_K$	
30	$\partial n \quad j = 0 \quad O = 1$	
31	$B614 \quad Z_j = E_j (1 + \delta_j (t_K - Q_6)) / (f_j + t_K - Q_6)$	$E(t) = E_0 \cdot (1 + \delta_j \frac{t - t_0}{f_j + t - t_0})$
32	$если \quad m-O = 0 \quad udmu \times 35$	
33	$bcm \quad j = j+1 \quad O = O+1$	

н опр.	РАН	АЛГОРИТМ
34	установ $\kappa 31$	
35	зан $W_{1,2} = 1$ $W_{1,3} = 1$ $W_{2,3} = 1$	
36	зан $X_0 = Z_0$	
37	если $M_1 - 1 = 0$ идти $\kappa 45$	
38	борт $W_{3,1} = Z_1$ $W_{3,2} = Z_2$	
39	если $M_1 - 2 + 0$ идти $\kappa 43$	
40	борт $Z_{1,2} = Z_1 - Z_2$	a
	$Z_{1,3} = Z_0 Z_1 - Z_2 Z_0$	$\Delta_x$
	$Z_{2,3} = Z_1 - Z_2$	$\Delta_w$
	$a_0 = a_{1,0}/a_{1,1}$ $x_1 = x_{1,0}/a_{1,0}$	$E_0(t) = \frac{\Delta_x}{A} \omega_y(t) - \frac{\Delta_w}{A}$
41	идти $\kappa 70$	
42	борт $W_{2,2} = y_0$ $W_{3,2} = y_1$	
	$W_{2,3} = y_2$ $W_{3,1} = Z_2$	
43	борт $W_{3,3} = Z_0$ $W_{1,3} = Z_1$ $W_{2,3} = Z_2$	
44	идти $\kappa 34$ $W 3 X$	$E_0(t)$ $\omega_y(t)$ $\omega_z(t)$
45	зан $j = 0$ $H_0 = 0$ $H_1 = 0$ $H_2 = 0$	
46	зан $i = 0$	
47	борт $H_i = H_{i-1} + Q_3$ $B_{di}$ $X_i$	$N_a(t)$ $N_{ay}(t)$ $N_{az}(t)$
48	борт $i = i + 1$	
49	если $i - 2 < 0$ идти $\kappa 47$	
50	борт $j = j + 1$	
51	если $j - 2 = 0$ идти $\kappa 46$	

№ опер.	ЯДР	Алгоритм
52	$B_{614} H_0 = H_0 / 1000 \quad H_1 = H_1 / 100000$	
	$H_3 = H_3 / 100000$	
53	если $m-1 \neq 0$ идти к 56	
54	печ с 13Н $H_0$	
55	идти к 60	
56	если $m-2 \neq 0$ идти к 59	
57	печ с 13Н $H_0 H_1$	
58	идти к 60	
59	печ с 13Н $H_0 H_1 H_2$	
60	don $J=0$	
61	don $j=0 \quad O=0$	
62	если $J \neq 0$ идти к 65	
63	$B_{614} g_j = Q_8 z_j$	
64	идти к 70	
65	$B_{614} Q_{14} = Q_8 E$	$\tilde{E}_{g_j}(t_0) = E_5 E_j(t_0)$
66	$B_{614} Q_{12} = -Q_{16}/Q_{15}$	$\alpha_j = -\tilde{E}_{g_j}(t_0)/\tilde{E}_{g_j}(t_0)$
67	$B_{614} g_j = Q_{11} + Q_{15}(1-\exp Q_{17}(t_0 - t_x))/Q_{17}$	
70	$\delta cm \quad j=j+1 \quad O=O+1$	
71	если $O-m < 0$ идти к 62	
72	$B_{614} W_{q_0} = 1/Q_0 \quad M_0 = g_0 Q_0$	
73	если $m-1=0$ идти к 83	

№ опер.	РАП	Алгоритм	15
74	$\text{Б014 } \omega_{g_1} = Z_0 / Q_1 \quad \omega_{g_0} = 1 / Q_0$		
	$\omega_{g_1} = Z_1 / Q_1$		
75	если $IT-2 \neq 0$ идти к 79		
76	$\text{Б014 } Q_{15} = (Z_1 - Z_0) / Q_0 Q_1$		
	$Q_{16} = (Z_0 Z_1 - Z_1 Z_0) / Q_1$		
	$Q_{17} = (Z_1 - Z_0) / Q_0$		
77	$\text{Б014 } M_0 = Q_{16} / Q_{15} \quad M_1 = Q_{17} / Q_{15}$		
78	идти к 83		
79	$\text{Б014 } \omega_{g_2} = Y_0 / Q_2 \quad \omega_{g_1} = Y_1 / Q_2$		
	$\omega_{g_2} = Y_2 / Q_2$		
80	$\text{Б014 } \omega_{g_1} = Z_2 / Q_2 \quad \omega_{g_0} = 1 / Q_2$		
81	$\text{Б014 } \omega_{g_3} = g_0 \quad \omega_{g_2} = g_1$		
	$\omega_{g_3} = g_2$		
82	70 СУ $\omega_{3M}$		
83	$\text{Б014 } M_0 = M_3 / 1000 \quad M = M_3 / 100000$		
	$M_2 = M_3 / 100000$		
84	$\text{Б014 } S_0 = H_0 + N_0 \quad S_1 = H_1 + M_1 \quad S_2 = H_2 + N_2$		
85	если $IT-1 \neq 0$ идти к 89		
86	пев с 1 ЗН $M_0$		
87	пев с 1 ЗН $S_0$		
88	идти к 95		
89	если $IT-2 \neq 0$ идти к 93		



№ опер.	ЯП	Алгоритм
	$EC(t, \tau) = EC_m (0,6 + 0,65 e^{-\delta \tau}) (1 - e^{-\delta(t-\tau)})$	
66	$B_{014} Q_{15} = Q_{14} (\delta_i / r_j - Q_9 Q_5 (0,6 + 0,65 e^{-\delta(t_0 - \tau)}))$	$\dot{\sigma}_{ij}(t) = \sigma_{ij}(t_0) \left( \frac{\delta_i}{r_j} - EC_m \delta (0,6 + 0,65 e^{-\delta t_0}) \right)$
67	$B_{014} Q_{16} = -2 Q_{14} \frac{\delta_i}{r_j} / r_j^2 + Q_9 Q_5 ((0,6 + 0,65 e^{-\delta(t_0 - \tau)}) (Q_{14} Q_5 - Q_{15}))$	$\ddot{\sigma}_{ij}(t) = -2 \dot{\sigma}_{ij}(t_0) \frac{\delta_i}{r_j} + EC_m \delta (0,6 + 0,65 e^{-\delta t_0}) (B_{ij} \delta - \dot{\sigma}_{ij}(t_0))$
	$EC(t, \tau) = EC_m (0,6 + 0,65 e^{-\delta \tau}) \frac{t - \tau}{Q_9 + t - \tau}$	
66	$B_{014} Q_{15} = Q_{14} (\delta_i / r_j - Q_9 (0,6 + 0,65 e^{-\delta(t_0 - \tau)}) / Q_5)$	$\dot{\sigma}_{ij}(t_0) = \sigma_{ij}(t_0) \left( \frac{\delta_i}{r_j} - EC_m (0,6 + 0,65 e^{-\delta t_0}) / Q_9 \right)$
67	$B_{014} Q_{16} = -2 Q_{14} \frac{\delta_i}{r_j} / r_j^2 + Q_9 ((0,6 + 0,65 e^{-\delta(t_0 - \tau)}) / Q_5) (2 Q_{14} / Q_5 - Q_{15})$	$\ddot{\sigma}_{ij}(t_0) = -2 \dot{\sigma}_{ij}(t_0) \frac{\delta_i}{r_j} + EC_m (0,6 + 0,65 e^{-\delta t_0}) / Q_9 (2 \frac{\delta_{ij}(t_0)}{Q_9} - \dot{\sigma}_{ij}(t_0))$

## Составление исходных данных и чтение результатов расчета

Исходные данные, общие для всех рассчитываемых блоков:

$m$  - число точек в сечении блока ( $m=1$ ,  $m=2$  или  $m=3$ );  
 $F_b$  - площадь бетонного сечения,  $\text{см}^2$ ;  
 $F_a$  - площадь арматуры,  $\text{см}^2$ ;  
 $J_{by}$  - момент инерции площади бетонного сечения относительно оси  $y$ ,  $\text{см}^4$ ;  
 $S_{ay}$  - статический момент площади арматуры относительно оси  $y$ ,  $\text{см}^3$ ;  
 $J_{ay}$  - момент инерции площади арматуры относительно оси  $y$ ,  $\text{см}^4$ ;  
 $J_{bz}$  - момент инерции площади бетона относительно оси  $z$ ,  $\text{см}^4$ ;  
 $J_{az}$  - момент инерции площади арматуры относительно оси  $z$ ,  $\text{см}^4$ ;  
 $J_{by}$ ,  $S_{ay}$ ,  $J_{ay}$  - задаются только при  $m=2$  и  $m=3$ ;  
 $J_{bz}$ ,  $J_{az}$  - задаются только при  $m=3$ ;  
 $E_a$  - модуль упругости арматуры, умноженный на  $10^{-5}$ ,  $\text{кг}/\text{см}^2$ ;  
 $\beta$  - характеристика скорости старения материала (обычно  $\beta = 0,0167 \text{ I}/\text{сутки}$ ).

Исходные данные по каждому блоку:

$N^{\#}$  - номер кольца;  
 $N^{\#}$  - номер блока в кольце;  
 $a_0$  - характеристика скорости ползучести, сутки;  
 $t_0$  - возраст бетона в момент загружения;  
 $E_b$  - модуль упругости бетона, умноженный на  $10^{-5}$ . Модуль упругости во времени не меняется;  
 $C-E_b$  - конечная характеристика ползучести.

Исходные данные для каждой точки блока, в которой измеряется деформация:

$\epsilon_i(t_0)$  - величина упругой деформации, умноженная на  $10^5$ ;  
 $\delta_i$ ,  $\gamma_i$  - параметры аппроксимирующей функции;  
 $Z_i$  - аппликата точки, задается только при  $m=2$  и  $3$ ;

$\zeta_i$  - ордината точки, задается только при  $m=3$ ,  $z_i$  и  $y_i$ ,  
при  $m=1$  не задается.

Результаты расчета печатаются в следующем порядке (число точек в сечении  $m=3$ ):

$N_a(t)$ ,  $M_y(t)$ ,  $M_{xz}(t)$  - усилия в арматуре;

$N_b(t)$ ,  $M_y(t)$ ,  $M_{xz}(t)$  - усилия в бетоне без учета ползучести;

$N(t)$ ,  $M_y(t)$ ,  $M_z(t)$  - усилия в арматуре и бетоне без учета ползучести;

$N_b(t)$ ,  $M_y(t)$ ,  $M_{xz}(t)$  - усилия в бетоне с учетом ползучести;

$N(t)$ ,  $M_y(t)$ ,  $M_z(t)$  - усилия в арматуре и бетоне с учетом ползучести.

Если число точек в сечении  $m=1$ , то печатаются только продольные силы. При числе точек  $m=2$  печатаются продольные силы и изгибающие моменты относительно оси  $y$ . Единицы измерения результатов расчета - тонны и метры.

## УСЛОВИЯ 1

$S_{20} = 265,0$	$\beta_{21} = 1,0$	
$\beta_0 = 52,0$	$M_1 = 1,0$	
$M_0 = 58,3$	$H_1 = -2,0$	$H_2 = 1,5$
$M_0 = 25,06$	$M_1 = 76,1$	$M_2 = 5,2$
$S_0 = 346,9$	$S_1 = -78,1$	$S_2 = 6,7$
$M_0 = 288,6$	$M_1 = -5,1$	$M_2 = 5,2$
$S_0 = 546,9$	$S_1 = -6,1$	$S_2 = 6,7$
$t_1 = 62,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 70,7$	$H_1 = -40^{\circ}$	$H_2 = 0,8$
$M_0 = 25,10$	$M_1 = -12,0$	$M_2 = 2,8$
$S_0 = 421,0$	$S_1 = -16,1$	$S_2 = 3,6$
$M_0 = 341,1$	$M_1 = -11,7$	$M_2 = 2,7$
$S_0 = 411,1$	$S_1 = -15,9$	$S_2 = 3,5$
$\beta_0 = 72,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 77,1$	$H_1 = -40,6$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 383,1$	$M_1 = -13,5$	$M_2 = 2,3$
$S_0 = 461,1$	$S_1 = -18,1$	$S_2 = 3,0$
$M_0 = 364,0$	$M_1 = -12,9$	$M_2 = 2,1$
$S_0 = 441,3$	$S_1 = -17,5$	$S_2 = 2,8$
$t_2 = 82,0$	$\pi = 1,00$	
$H_0 = 81,5$	$H_1 = -4,7$	$H_2 = 0,6$
$M_0 = 404,0$	$M_1 = -14,00$	$M_2 = 2,2$
$S_0 = 486,1$	$S_1 = -18,7$	$S_2 = 2,9$
$M_0 = 375,1$	$M_1 = -13,0$	$M_2 = 2,0$
$S_0 = 450,1$	$S_1 = -17,8$	$S_2 = 2,6$
$t_4 = 112,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 88,2$	$H_1 = -40,7$	$H_2 = 0,6$
$M_0 = 437,5$	$M_1 = -14,00$	$M_2 = 2,2$
$S_0 = 525,7$	$S_1 = -18,6$	$S_2 = 2,8$
$M_0 = 383,3$	$M_1 = -12,2$	$M_2 = 1,8$
$S_0 = 471,5$	$S_1 = -17,0$	$S_2 = 2,5$
$\beta_0 = 172,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 93,4$	$H_1 = -4,6$	$H_2 = 0,6$
$M_0 = 463,0$	$M_1 = -13,5$	$M_2 = 2,3$
$S_0 = 556,4$	$S_1 = -18,2$	$S_2 = 3,0$
$M_0 = 374,02$	$M_1 = -10,7$	$M_2 = 1,08$
$S_0 = 467,7$	$S_1 = -17,4$	$S_2 = 2,4$
$t_6 = 232,0$	$\pi = 1$	
$H_0 = 95,6$	$H_1 = -4,5$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 473,8$	$M_1 = -13,2$	$M_2 = 2,3$
$S_0 = 569,4$	$S_1 = -17,8$	$S_2 = 3,0$
$M_0 = 363,0$	$M_1 = -9,9$	$M_2 = 1,7$
$S_0 = 458,6$	$S_1 = -14,04$	$S_2 = 2,4$
$t_7 = 412,0$	$\pi = 1,00$	
$H_0 = 98,2$	$H_1 = -40,3$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 486,2$	$M_1 = -12,8$	$M_2 = 2,4$
$S_0 = 564,4$	$S_1 = -17,2$	$S_2 = 3,1$
$M_0 = 342,1$	$M_1 = -6,7$	$M_2 = 1,6$
$S_0 = 443,1$	$S_1 = -15,0$	$S_2 = 2,3$
$\beta_0 = 772,0$	$\pi = 1,0$	
$H_0 = 99,6$	$H_1 = -4,2$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 493,1$	$M_1 = -12,5$	$M_2 = 2,4$
$S_0 = 592,7$	$S_1 = -16,8$	$S_2 = 3,2$
$M_0 = 326,1$	$M_1 = -7,9$	$M_2 = 1,05$
$S_0 = 425,7$	$S_1 = -12,2$	$S_2 = 2,3$

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА КОНТРОЛЬНОГО  
ПРИМЕРА**

$\alpha_{2c} = 265,0$	$\alpha_{2r} = 1,92$	
$M_0 = 52,0$		
$H_0 = 58,3$	$H_1 = 2,0$	$H_2 = 1,7$
$M_0 = 286,0$	$M_1 = -6,1$	$M_2 = 0,1$
$S_0 = 346,5$	$S_1 = -8,0$	$S_2 = 0,7$
$M_0 = 288,0$	$M_1 = -9,1$	$M_2 = 0,7$
$S_0 = 346,9$	$S_1 = -8,1$	$S_2 = 0,7$
$t_1 = 62,0$		
$H_0 = 70,7$	$H_1 = -4,1$	$H_2 = 1,2$
$M_0 = -351,6$	$M_1 = -12,0$	$M_2 = 1,6$
$S_0 = 421,6$	$S_1 = -16,1$	$S_2 = 1,7$
$M_0 = 335,0$	$M_1 = -11,0$	$M_2 = 2,3$
$S_0 = 409,7$	$S_1 = -15,1$	$S_2 = 1,4$
$t_2 = 72,0$		
$H_0 = 77,3$	$H_1 = -4,6$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 383,9$	$M_1 = -13,5$	$M_2 = 2,1$
$S_0 = 461,4$	$S_1 = -16,1$	$S_2 = 2,0$
$M_0 = 357,1$	$M_1 = -13,6$	$M_2 = 3,1$
$S_0 = 434,5$	$S_1 = -15,7$	$S_2 = 3,8$
$t_3 = 82,0$		
$H_0 = 81,85$	$H_1 = -4,7$	$H_2 = 0,4$
$M_0 = 404,5$	$M_1 = -14,0$	$M_2 = 2,1$
$S_0 = 486,1$	$S_1 = -18,7$	$S_2 = 2,5$
$M_0 = 366,5$	$M_1 = -10,6$	$M_2 = 3,2$
$S_0 = 446,0$	$S_1 = -15,2$	$S_2 = 3,9$
$t_4 = 112,0$		
$H_0 = 88,2$	$H_1 = -4,7$	$H_2 = 0,6$
$M_0 = 437,5$	$M_1 = -14,0$	$M_2 = 2,2$
$S_0 = 525,7$	$S_1 = -18,8$	$S_2 = 2,8$
$M_0 = 370,0$	$M_1 = -10,0$	$M_2 = 3,3$
$S_0 = 458,3$	$S_1 = -14,8$	$S_2 = 4,0$
$t_5 = 172,0$		
$H_0 = 93,4$	$H_1 = -4,6$	$H_2 = 0,6$
$M_0 = 463,0$	$M_1 = -13,5$	$M_2 = 2,3$
$S_0 = 556,4$	$S_1 = -18,2$	$S_2 = 3,0$
$M_0 = 370,9$	$M_1 = -9,6$	$M_2 = 3,3$
$S_0 = 464,3$	$S_1 = -14,5$	$S_2 = 4,5$
$t_6 = 232,0$		
$H_0 = 95,6$	$H_1 = -4,5$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 473,8$	$M_1 = -13,2$	$M_2 = 2,3$
$S_0 = 567,4$	$S_1 = -17,8$	$S_2 = 3,5$
$M_0 = 370,9$	$M_1 = -9,6$	$M_2 = 3,3$
$S_0 = 466,6$	$S_1 = -14,4$	$S_2 = 4,6$
$t_7 = 412,0$		
$H_0 = 98,2$	$H_1 = -4,3$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 486,2$	$M_1 = -12,8$	$M_2 = 2,4$
$S_0 = 584,4$	$S_1 = -17,2$	$S_2 = 3,1$
$M_0 = 370,9$	$M_1 = -9,6$	$M_2 = 3,7$
$S_0 = 469,1$	$S_1 = -14,3$	$S_2 = 4,0$
$t_8 = 572,0$		
$H_0 = 99,6$	$H_1 = -4,2$	$H_2 = 0,7$
$M_0 = 493,1$	$M_1 = -12,5$	$M_2 = 2,4$
$S_0 = 592,7$	$S_1 = -16,6$	$S_2 = 3,1$
$M_0 = 370,9$	$M_1 = -9,6$	$M_2 = 3,7$
$S_0 = 470,1$	$S_1 = -14,2$	$S_2 = 4,7$

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДСЛОВИЕ .....	3
1. Исходные предпосылки .....	4
2. Основные расчетные формулы .....	5
3. Обработка результатов измерений землемерно-геодезическими методами взвешенных изображений .....	7
4. Вычисление изображений в Сетке .....	9
ЛITERATURЫ .....	II
ПРИЛОЖЕНИЯ	
1. Программы обработки измерительных изображений .....	12
2. Программы определения усилий в сечении таков обобщенного стержня .....	27

Редактор Н.Н.Шкуренко  
Корректор С.Д.Сухорук

Бюл.к печ.31.07.78г. Заказ № 369  
Тираж 180 экз. Объем 2,6 л.л.  
Редакция ЦНИИСа