

Погрешность при расчете несущей способности плит в обследовании зданий

М.С. Холмин^{1*}, А.В. Улыбин², А.В. Фролов³

¹⁻³ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 692.522

doi: 10.18720/CUBS.55.2

История

Подана в редакцию 21.11.2016

Ключевые слова

Обследование зданий;
методы неразрушающего контроля;
несущая способность плит;
гражданское строительство;
здания;
строительство

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается погрешность, возникающая при использовании неразрушающих методов контроля в обследовании зданий и сооружений. В ходе работы оценена ошибка в расчете несущей способности железобетонных плит перекрытия, которая является следствием погрешности приборов. Рассмотрены два типа плит: гладкая, многпустотная. В статье обзревается такие методы неразрушающего контроля, как: ультразвуковой метод, метод упругого отскока, метод ударного импульса и метод поверхностной твердости. Данные методы используются для определения параметров железобетона: прочность бетона на сжатие, прочность арматуры на растяжение и сжатие, величина защитного слоя бетона, диаметр арматуры. Расчет произведен согласно действующим СП и СНиП.

Содержание

1.	Введение	20
2.	Гладкая плита с продольным армированием в верхней и нижней части	20
3.	Многпустотная плита с продольным армированием в нижней части	25
4.	Заключение	30

Контакты авторов:

- 1* +7(981)7554946, Holmin-mihail@mail.ru (Холмин Михаил Сергеевич, студент)
2 +7(921)7774516, ulybin@mail.ru (Улыбин Алексей Владимирович, к.т.н., доцент)
3 +7(911)0880935, artemfrolov007@mail.ru (Фролов Артём Владимирович, студент)

1. Введение

При обследовании зданий и сооружений часто применяются методы неразрушающего контроля. Популярность данных методов обусловлена их малой трудоемкостью, стоимостью испытаний, а также минимальным затратам на оборудование. Помимо этого, они не наносят повреждения конструкциям, что часто является решающим фактором для заказчика при выборе способа обследования. Однако, при использовании неразрушающих методов зачастую организации, выполняющие обследование, не оценивают погрешность, принимая полученные результаты за достоверные.

Приборы неразрушающего контроля наиболее часто применяются при обследовании железобетонных конструкций. Их используют для определения следующих параметров материала и конструкции:

- прочность бетона на сжатие;
- прочность арматуры на растяжение и сжатие;
- величина защитного слоя бетона;
- диаметр арматуры.

При измерении каждого из параметров возникает погрешность, которая в дальнейшем при расчетах может существенно завязать (вариант а) или снизить (вариант б) несущую способность конструкции. Это может привести, соответственно, к переоценке надежности сооружения или к ненужным финансовым расходам на его усиление. Для получения вышеперечисленных данных в России наибольшую популярность получили такие методы неразрушающего контроля, как: ультразвуковой метод, метод упругого отскока, метод ударного импульса, метод поверхностной твердости и др. Эти методы соответствуют требованиям нормативных документов, регламентирующих проведение неразрушающего контроля. При исследовании используют приборы, основанные на данных методах, как отечественного, так и зарубежного производства. Каждый метод имеет погрешность [1,2], во многом зависящую от условий проведения измерений и данными, о конструкции, которыми обладает обследователь.

При проведении обследования приходится иметь дело с различного рода железобетонными конструкциями. В данной работе речь пойдет о влиянии погрешности методов неразрушающего контроля на несущую способность железобетонных плит перекрытия (гладкой, многопустотной).

В ходе проведения исследования произведен обзор отечественной литературы [1-9,14,17-28] и зарубежных научных статей [10-13,15,16,29-32]. Существуют исследования [5-9], в которых опытным путем оценена погрешность некоторых методов неразрушающего контроля. Однако, в данных статьях не учитывается влияние погрешности на несущую способность конструкций, на основании которой во многих случаях составляется заключение по результатам обследования.

Цель работы - оценить влияния погрешности приборов неразрушающего контроля на несущую способность железобетонных конструкций (гладкой и многопустотной плит). Для этого необходимо произвести расчет конструкций по первой группе предельных состояний и сравнить с таким же расчетом, но с учетом погрешности неразрушающих методов. Расчет сделать в совокупности для всех параметров и для каждого в отдельности.

Для проведения расчета использовались Российские нормативы (СНиП, СП, ГОСТ)[22-26], а так же пособия к ним [27-28].

2. Гладкая плита с продольным армированием в верхней и нижней части

В расчете принята конструктивная схема с шарнирно опертой плитой, работающей в одном направлении, т. е. как балка. Равномерно распределенная нагрузка приложена по всей длине плиты.

Оценка погрешности определения несущей способности произведена через максимально допустимый момент, возникающий в плите и максимально допустимую нагрузку на конструкцию, согласно принятой расчетной схеме на рисунке 1.

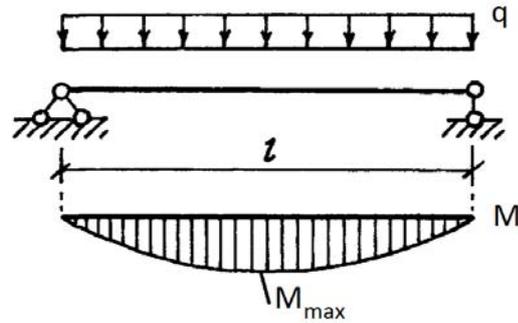


Рисунок 1. Расчетная схема плиты перекрытия

Значение максимального момента от равномерно распределенной нагрузки q определяется, как:

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8}. \quad (1)$$

Из (1) допустимая нагрузка q будет равна:

$$q_{\text{доп}} = \frac{8M_{\max}}{l^2}. \quad (2)$$

Схема железобетонной плиты представлена на рисунке 2.

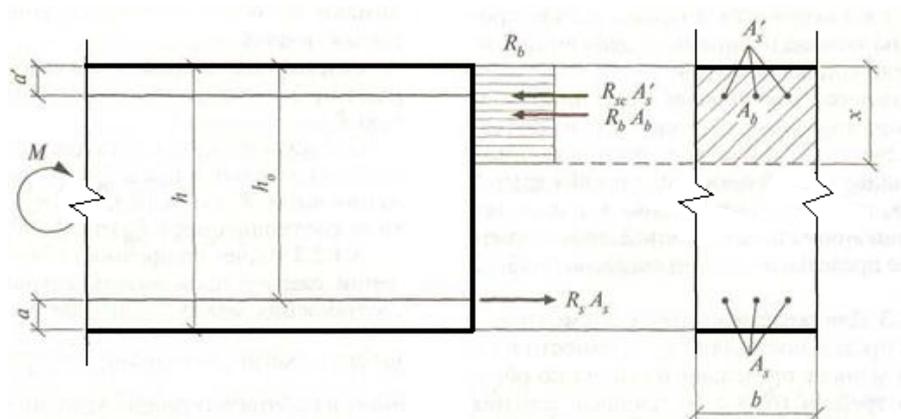


Рисунок 2. Схема гладкой железобетонной плиты

Зададимся следующими параметрами перекрытия:

$R_s = 435\text{МПа}$ – расчетное сопротивление арматуры А500 на растяжение;

$R_{sc} = 400\text{МПа}$ – расчетное сопротивление арматуры А500 на сжатие;

$R_b = 11,5\text{МПа}$, – прочность бетона В20 на сжатие;

$A_s = 10,05\text{ см}^2$ - площадь нижней арматуры (5d16);

$A'_s = 3,93\text{ см}^2$ - площадь верхней арматуры (5d10);

$h_0 = 15\text{ см}$ – расстояние от верхней грани плиты до оси нижней арматуры;

$a = 5\text{ см}$ – расстояние от нижней грани плиты до оси нижней арматуры;

$a' = 3\text{ см}$ – расстояние от верхней грани плиты до оси верхней арматуры;

x – высота сжатой зоны бетона;

b – ширина сжатой зоны.

Тогда, уравнение равновесия запишется в виде:

$$R_s A_s - R_{sc} A'_s = R_b b x. \quad (3)$$

Из уравнения (3) находим высоту сжатой зоны:

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b}. \quad (4)$$

А уравнение для максимального момента запишется, как:

$$M_{\max} = (h_0 - \frac{x}{2}) b x R_b + (h_0 - a') R_{sc} A'_s. \quad (5)$$

1. Определим максимальный момент M_{\max} , который может воспринять 1 п.м. перекрытия, исходя из (4) и (5):

$$x = \frac{435 \cdot 10,05 - 400 \cdot 3,93}{11,5 \cdot 100} = 2,43 \text{ см};$$

$$M_{\max} = (15 - \frac{2,43}{2}) 11,5 \cdot 2,43 \cdot 100 + (15 - 3) 400 \cdot 3,93 = 57416 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2. В случае использования методов НК для определения прочности бетона ошибка в результатах может достигать $\pm 50\%$ (метод ударного импульса) [4,9,21], тогда M_{\max} , в случае завышения показаний прибора, будет равен:

$$\text{а). } x = \frac{435 \cdot 10,05 - 400 \cdot 3,93}{1,5 \cdot 11,5 \cdot 100} = 1,62 \text{ см};$$

$$M_{\max} = (15 - \frac{1,62}{2}) 1,5 \cdot 11,5 \cdot 1,62 \cdot 100 + (15 - 3) 400 \cdot 3,93 = 58518 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

а ошибка в определении максимального момента и нагрузки $q_{\text{доп}}$ составит всего 1,9% для данного перекрытия.

б). В случае занижения прочности бетона:

$$x = \frac{435 \cdot 10,05 - 400 \cdot 3,93}{0,5 \cdot 11,5 \cdot 100} = 4,87 \text{ см};$$

$$M_{\max} = (15 - \frac{4,87}{2}) 0,5 \cdot 11,5 \cdot 4,87 \cdot 100 + (15 - 3) 400 \cdot 3,93 = 54049 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ошибка в определении несущей способности 5,9%.

3. Однако, при расчете на действие поперечных сил точность определения прочности бетона будет иметь большее влияние на несущую способность плиты.

Определим максимальное перерезывающее усилие, воспринимаемое данной плитой:

$$Q_{\max} = Q_b + Q_{sw} \quad [26], \text{ где:}$$

$$Q_b = \frac{M_b}{c} - \text{поперечная сила, воспринимаемая бетоном в наклонном сечении;}$$

c - проекция наклонного сечения;

$$M_b = \varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2$$

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} \cdot q_{sw} \cdot c - \text{поперечная сила, воспринимаемая поперечной арматурой в наклонном сечении.}$$

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{S_w} - \text{усилие в поперечной арматуре на единицу длины элемента}$$

В результате расчета получим:

$$M_b = 1,5 \cdot 0,9 \text{ МПа} \cdot 100 \text{ см} \cdot (15 \text{ см})^2 = 30,375 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Проекцию наклонного сечения принимаем: $c = 2h_0 = 0,3 \text{ м}$,

$$q_{sw} = \frac{300 \text{ МПа} \cdot 0,789 \text{ см}^2}{0,1 \text{ м}} = 236,7 \text{ кН} / \text{м};$$

$$Q_{sw} = 0,75 \cdot 236,7 \text{ кН} / \text{м} \cdot 0,3 \text{ м} = 53,26 \text{ кН};$$

$$Q_b = \frac{30,375 \text{ кН} \cdot \text{м}}{0,3 \text{ м}} = 101,25 \text{ кН};$$

$$Q_{\max} = 101,25 \text{ кН} + 53,26 \text{ кН} = 154,21 \text{ кН}$$

а). При завышении прочности бетона:

$$M_b = 1,5 \cdot 1,5 \cdot 0,9 \text{ МПа} \cdot 100 \text{ см} \cdot (15 \text{ см})^2 = 45,563 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$Q_{sw} = 53,26 \text{ кН};$$

$$Q_b = \frac{45,563 \text{ кН} \cdot \text{м}}{0,3 \text{ м}} = 151,88 \text{ кН};$$

$$Q_{\max} = 151,88 \text{ кН} + 53,26 \text{ кН} = 205,14 \text{ кН}$$

Таким образом, несущая способность завышена на 33%.

б). При занижении прочности бетона:

$$M_b = 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,9 \text{ МПа} \cdot 100 \text{ см} \cdot (15 \text{ см})^2 = 15,188 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$Q_{sw} = 53,26 \text{ кН};$$

$$Q_b = \frac{15,188 \text{ кН} \cdot \text{м}}{0,3 \text{ м}} = 50,63 \text{ кН};$$

$$Q_{\max} = 50,63 \text{ кН} + 53,26 \text{ кН} = 103,89 \text{ кН}$$

Несущая способность занижена на 32,6%.

4. При определении толщины защитного слоя отечественными приборами отклонения от фактического значения могут составлять 5-7 мм (в зависимости от величины защитного слоя)[14]. Тогда:

$$\text{а). } M_{\max} = \left(15,6 - \frac{2,43}{2}\right) 11,5 \cdot 2,43 \cdot 100 + (15,6 - 2,5) 400 \cdot 3,93 = 60792 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Полученный результат на 5,9% больше исходного значения.

$$\text{б). } M_{\max} = \left(14,4 - \frac{2,43}{2}\right) 11,5 \cdot 2,43 \cdot 100 + (14,4 - 3,5) 400 \cdot 3,93 = 53980 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Значение момента занижено на 6%.

Более прогрессивными в этом направлении считаются рентгеновский метод [10,11] и метод ультразвуковой томографии и георадиолокации [12,13], однако в связи с высокой стоимостью оборудования и потребностью в высококвалифицированных специалистах в нашей стране данные методы широкого распространения не получили.

5. Не редко методы неразрушающего контроля применяются и для определения диаметра арматуры[30-32]. Использование некоторых отечественных приборов, может привести к ошибке в 50% и более[14,17]. Очевидно, что такая погрешность не допустима и показания такого оборудования не стоит

учитывать в определении диаметра арматуры. При использовании некоторых европейских приборов ошибка не превышает 25% [14]. В таком случае, значение максимального момента, составит:

$$а). x = \frac{435 \cdot 1,25^2 \cdot 10,05 - 400 \cdot 1,25^2 \cdot 3,93}{11,5 \cdot 100} = 3,80 \text{ см};$$

$$M_{\max} = (15 - \frac{3,80}{2}) 11,5 \cdot 3,80 \cdot 100 + (15 - 3) 400 \cdot 1,25^2 \cdot 3,93 = 86712 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ошибка в определении M_{\max} и $q_{\text{доп}}$ в таком случае достигает 51%

$$б). x = \frac{435 \cdot 0,75^2 \cdot 10,05 - 400 \cdot 0,75^2 \cdot 3,93}{11,5 \cdot 100} = 1,37 \text{ см};$$

$$M_{\max} = (15 - \frac{1,37}{2}) 11,5 \cdot 1,37 \cdot 100 + (15 - 3) 400 \cdot 0,75^2 \cdot 3,93 = 33164 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Погрешность несущей способности 42,2%.

6. В случае, когда нет возможности вскрыть защитный слой, прочность арматуры определить не удастся. Тогда принимаем, что R_s и R_{sc} известно из исходных данных и рассчитаем ошибку при обследовании без вскрытия бетона:

$$а). x = \frac{435 \cdot 1,25^2 \cdot 10,05 - 400 \cdot 1,25^2 \cdot 3,93}{1,5 \cdot 11,5 \cdot 100} = 2,54 \text{ см};$$

$$M_{\max} = (15,6 - \frac{2,54}{2}) 1,5 \cdot 11,5 \cdot 2,54 \cdot 100 + (15,6 - 2,5) 400 \cdot 1,25^2 \cdot 3,93 = 94964 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Завышение на 65,4%.

$$б). x = \frac{435 \cdot 0,75^2 \cdot 10,05 - 400 \cdot 0,75^2 \cdot 3,93}{0,5 \cdot 11,5 \cdot 100} = 2,74 \text{ см};$$

$$M_{\max} = (14,4 - \frac{2,74}{2}) 0,5 \cdot 11,5 \cdot 2,74 \cdot 100 + (14,4 - 3,5) 400 \cdot 0,75^2 \cdot 3,93 = 30,166 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Занижение на 47,5%.

7. Для определения прочности арматуры возможно применение метода измерения твердости стали [8,14,18,20]. При проверке данного метода коэффициент вариации составил не более 5% (в случае подготовки поверхности арматуры к измерениям – снят слой краски, поверхность отшлифована), и не более 13% при пересчете из твердости в прочность [8]. Таким образом, общая погрешность измерений прочности арматуры при использовании данного метода не превышает 20% [14]. Так как, данный метод подразумевает вскрытие защитного слоя бетона, то сводится к нулю ошибка в определении его толщины и в определении диаметра арматуры:

$$а). x = \frac{1,2 \cdot 435 \cdot 10,05 - 1,2 \cdot 400 \cdot 3,93}{11,5 \cdot 100} = 2,92 \text{ см};$$

$$M_{\max} = (15 - \frac{2,92}{2}) 11,5 \cdot 2,92 \cdot 100 + (15 - 3) 1,2 \cdot 400 \cdot 3,93 = 68,103 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Значение превышает начальный результат на 18,6%.

$$б). x = \frac{0,8 \cdot 435 \cdot 10,05 - 0,8 \cdot 400 \cdot 3,93}{11,5 \cdot 100} = 1,95 \text{ см};$$

$$M_{\max} = (15 - \frac{1,95}{2}) 11,5 \cdot 1,95 \cdot 100 + (15 - 3) 0,8 \cdot 400 \cdot 3,93 = 46,542 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

M_{\max} меньше на 18,9% исходного.

8. Учитывая все погрешности, найдем суммарную ошибку в определении несущей способности плиты, в случае, когда имеется возможность вскрыть защитный слой конструкции, что приводит к отсутствию необходимости определения защитного слоя бетона прибором неразрушающего контроля и уменьшает отклонение в определении диаметра арматуры от истинного до 2мм (из-за периодического профиля арматуры):

$$а). x = \frac{1,2 \cdot 435 \cdot 12,72 - 1,2 \cdot 400 \cdot 5,65}{1,5 \cdot 11,5 \cdot 100} = 2,28 \text{ см};$$

$$M_{\max} = (15 - \frac{2,28}{2}) 1,5 \cdot 11,5 \cdot 2,28 \cdot 100 + (15 - 3) 1,2 \cdot 400 \cdot 5,65 = 87,055 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$б). x = \frac{0,8 \cdot 435 \cdot 7,69 - 0,8 \cdot 400 \cdot 2,51}{0,5 \cdot 11,5 \cdot 100} = 3,26 \text{ см};$$

$$M_{\max} = (15 - \frac{3,26}{2}) 0,5 \cdot 11,5 \cdot 3,26 \cdot 100 + (15 - 3) 0,8 \cdot 400 \cdot 2,51 = 34700 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таким образом, с учетом всех погрешностей в нахождении параметров перекрытия в случае, когда не имеется никаких данных о конструкции и материалах, (такой случай наиболее часто встречается при обследовании) несущая способность может быть завышена на 51,6% или занижена на 39,6%.

3. Многопустотная плита с продольным армированием в нижней части

Фактическое сечение плиты (рисунок 3) заменяется двутавровым сечением (рисунок 4), являющимся расчетным.

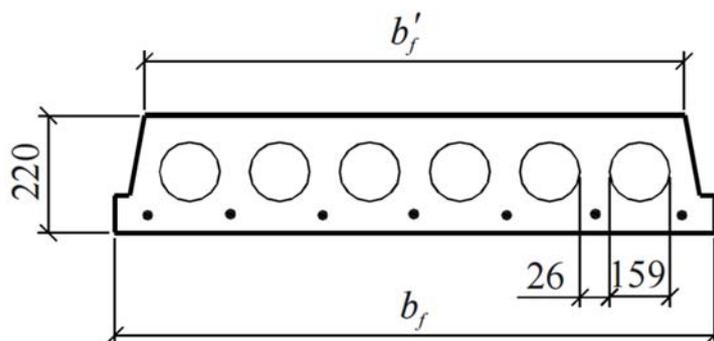


Рисунок 3. Сечение плиты

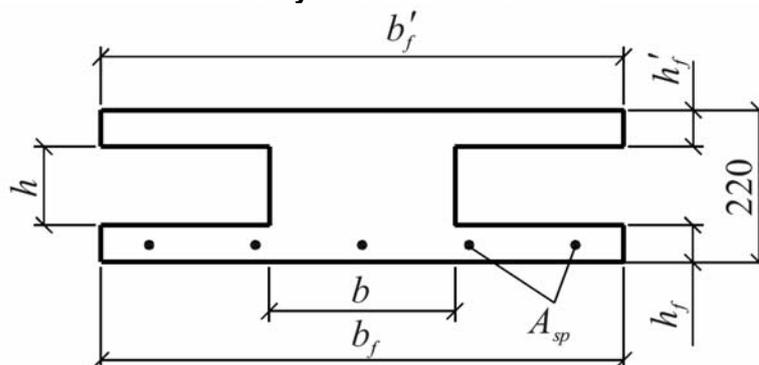


Рисунок 4. Расчетное сечение плиты, приведенное к двутавровому

Геометрические характеристики расчетного сечения:

$b'_f = 116$ см - ширина плиты по верху;

$h = \frac{r}{2} \sqrt{12} = 13,77$ см - приведенная высота пустоты;

$A_{\text{пуст}} = \pi \cdot n \cdot r^2 = 1191 \text{ см}^2$ - суммарная площадь пустот, где $n = 6$ - количество пустот

$$b_{\text{пуст}} = \frac{A_{\text{пуст}}}{h} = 86,5 \text{ см} - \text{приведенная ширина всех пустот}$$

$$b = b'_f - b_{\text{пуст}} = 29,5 \text{ см} - \text{ширина ребра};$$

$$h'_f = h_f = \frac{H}{2} - \frac{h}{2} = 4,1 \text{ см} - \text{толщина верхней и нижней полок, где } H - \text{высота сечения плиты};$$

$$\sigma_{\text{сп}} = 320 \text{ МПа} - \text{предварительное напряжение};$$

$$R_s = 520 \text{ МПа} - \text{нормативное сопротивление арматуры А600 на растяжение};$$

$$R_b = 14,5 \text{ МПа} - \text{прочность бетона В25 на сжатие};$$

$$A_{\text{сп}} = 15,27 \text{ см}^2 - \text{площадь напрягаемой арматуры (7d18)};$$

$$h_0 = 19 \text{ см} - \text{расстояние от верхней грани плиты до оси нижней арматуры};$$

$$a = 5 \text{ см} - \text{расстояние от нижней грани плиты до оси арматуры};$$

1. Определим максимальный момент M_{max} , который может воспринять данное перекрытие:

Проверим, выполняется ли условие:

$$x = R_s A_s \leq R_b b'_f h'_f + R_{sc} A'_s, \quad [25, \text{ формула 8.6}]. \quad (6)$$

$$520 \cdot 15,27 = 794,0 \text{ кН} \geq 11,5 \cdot 4,1 \cdot 116 = 546,9 \text{ кН}.$$

Т.е. условие не соблюдается, значит, граница сжатой зоны проходит в ребре, а высота сжатой зоны рассчитывается по формуле:

$$x = \frac{R_s A_s - R_b (b'_f - b) h'_f}{R_b b}. \quad (7)$$

Тогда значение наибольшего момента, воспринимаемого плитой, определяется формулой [26, формула 38]

$$M_{\text{max}} = R_b b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + R_b (b'_f - b) h'_f \left(h_0 - \frac{h'_f}{2} \right); \quad (8)$$

$$x = \frac{520 \cdot 15,27 - 11,5(116 - 29,5)4,1}{11,5 \cdot 29,5} = 11,4 \text{ см};$$

Т.к. $x \geq \xi_R \cdot h_0$, то допускается производить расчет, подставляя значение $x = \xi_R \cdot h_0$.

$$\xi_R = \frac{0,8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{0,0035}}.$$

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{520 + 400 - 320}{2 \cdot 10^5} = 0,003;$$

$$\xi_R = \frac{0,8}{1 + \frac{0,003}{0,0035}} = 0,431;$$

$$x = 0,431 \cdot 17 = 7,32 \text{ см};$$

$$M_{\text{max}} = 11,5 \cdot 29,5 \cdot 7,32 \left(17 - \frac{7,32}{2} \right) + 11,5 (116 - 29,5) 4,1 \left(17 - \frac{4,1}{2} \right) = 94100 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2. а). В случае завышения значения прочности бетона условие (6) выполняться будет:

$$520 \cdot 15,27 = 794,0 \text{ кН} \leq 1,5 \cdot 11,5 \cdot 4,1 \cdot 116 = 820,4 \text{ кН.}$$

Тогда M_{\max} рассчитывается по формулам (4), (5):

$$x = \frac{520 \cdot 15,27}{1,5 \cdot 11,5 \cdot 116} = 3,97 \text{ см;}$$

$$M_{\max} = 1,5 \cdot 11,5 \cdot 116 \cdot 3,97 \left(17 - \frac{3,97}{2} \right) = 119279 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Ошибка в определении максимального момента и нагрузки $q_{\text{доп}}$ составит 26,8%.

б). В случае занижения значения прочности бетона условие (6) выполняться не будет:

$$520 \cdot 15,27 = 794,0 \text{ кН} \geq 0,5 \cdot 11,5 \cdot 4,1 \cdot 116 = 273,5 \text{ кН.}$$

Тогда M_{\max} рассчитывается по формулам (7), (8):

$$x = \frac{520 \cdot 15,27 - 0,5 \cdot 11,5 \cdot (116 - 29,5) \cdot 4,1}{0,5 \cdot 11,5 \cdot 29,5} = 34,60 \text{ см;}$$

В случае отсутствия информации о предварительном напряжении конструкции расчет обычно производят, как без преднапряжения, тогда высота сжатой зоны не должна превышать [26, формулы 6.11, 6.12]:

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{520}{2 \cdot 10^5} = 0,0026;$$

$$\xi_R = \frac{0,8}{1 + \frac{0,0026}{0,0035}} = 0,459;$$

$$x_R = 0,459 \cdot 17 = 7,80 \text{ см;}$$

Т.к. $x \geq x_R$, то принимаем $x = x_R = 7,80 \text{ см;}$

$$M_{\max} = 0,5 \cdot 11,5 \cdot 29,5 \cdot 7,80 \left(17 - \frac{7,80}{2} \right) + 0,5 \cdot 11,5 \cdot (116 - 29,5) \cdot 4,1 \left(17 - \frac{4,1}{2} \right) = 47819 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Ошибка в определении максимального момента и нагрузки $q_{\text{доп}}$ составит 49,2%.

3. Расчет на действие поперечных сил.

Определим максимальное перерезывающее усилие, воспринимаемое данной плитой:

$$Q_{\max} = Q_b + Q_{sw} \text{ [26], где:}$$

$$Q_b = \frac{M_b}{c} \text{ - поперечная сила, воспринимаемая бетоном в наклонном сечении;}$$

c - проекция наклонного сечения;

$$M_b = \varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2$$

$Q_{sw} = \varphi_{sw} \cdot q_{sw} \cdot c$ - поперечная сила, воспринимаемая поперечной арматурой в наклонном сечении.

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{S_w} \text{ - усилие в поперечной арматуре на единицу длины элемента}$$

В результате расчета получим:

$$M_b = 1,5 \cdot 1,05 \text{ МПа} \cdot 29,5 \text{ см} \cdot (19 \text{ см})^2 = 16,773 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Проекцию наклонного сечения принимаем: $c = 2h_0 = 0,3 \text{ м,}$

$$q_{sw} = \frac{300 \text{ МПа} \cdot 0,789 \text{ см}^2}{0,1 \text{ м}} = 236,7 \text{ кН / м};$$

$$Q_{sw} = 0,75 \cdot 236,7 \text{ кН / м} \cdot 0,3 \text{ м} = 53,26 \text{ кН};$$

$$Q_b = \frac{16,773 \text{ кН} \cdot \text{м}}{0,3 \text{ м}} = 55,91 \text{ кН};$$

$$Q_{\max} = 55,91 \text{ кН} + 53,26 \text{ кН} = 109,17 \text{ кН}$$

а). При завышении прочности бетона:

$$M_b = 1,5 \cdot 1,5 \cdot 1,05 \text{ МПа} \cdot 29,5 \text{ см} \cdot (19 \text{ см})^2 = 25,159 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$Q_{sw} = 53,26 \text{ кН};$$

$$Q_b = \frac{25,159 \text{ кН} \cdot \text{м}}{0,3 \text{ м}} = 83,86 \text{ кН};$$

$$Q_{\max} = 83,86 \text{ кН} + 53,26 \text{ кН} = 137,12 \text{ кН}$$

Таким образом, несущая способность завышена на 26%.

б). При занижении прочности бетона:

$$M_b = 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,9 \text{ МПа} \cdot 100 \text{ см} \cdot (15 \text{ см})^2 = 8,386 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$Q_{sw} = 53,26 \text{ кН};$$

$$Q_b = \frac{8,386 \text{ кН} \cdot \text{м}}{0,3 \text{ м}} = 27,95 \text{ кН};$$

$$Q_{\max} = 27,95 \text{ кН} + 53,26 \text{ кН} = 81,21 \text{ кН}$$

Несущая способность занижена на 26%.

4. Расчет ошибки при определении толщины защитного слоя бетона приборами неразрушающего контроля:

а). $x_R = 0,459 \cdot 17,6 = 8,08 \text{ см};$

$$x = x_R = 8,08 \text{ см};$$

$$M_{\max} = 11,5 \cdot 29,5 \cdot 8,08 \left(17,6 - \frac{8,08}{2}\right) + 11,5 (116 - 29,5) 4,1 \left(17,6 - \frac{4,1}{2}\right) = 100590 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

б) $x_R = 0,459 \cdot 16,4 = 7,53 \text{ см};$

$$x = x_R = 7,53 \text{ см};$$

$$M_{\max} = 11,5 \cdot 29,5 \cdot 7,53 \left(16,4 - \frac{7,53}{2}\right) + 11,5 (116 - 29,5) 4,1 \left(16,4 - \frac{4,1}{2}\right) = 90802 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

что на 6,9% и на 3,5% соответственно отличается от исходного значения.

5. Расчет ошибки при определении диаметра арматуры приборами неразрушающего контроля:

а). $x = \frac{520 \cdot 1,25^2 \cdot 15,27 - 11,5(116 - 29,5)4,1}{11,5 \cdot 29,5} = 24,5 \text{ см};$

$$x_R = 0,459 \cdot 17 = 7,80 \text{ см};$$

$$x = x_R = 7,80 \text{ см};$$

$$M_{\max} = 11,5 \cdot 29,5 \cdot 7,80 \left(17 - \frac{7,80}{2}\right) + 11,5 (116 - 29,5) 4,1 \left(17 - \frac{4,1}{2}\right) = 94100 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

б). В случае завышения занижения прочности бетона условие (6) выполняться будет:

$$0,75^2 \cdot 520 \cdot 15,27 = 446,0 \text{ кН} \leq 11,5 \cdot 4,1 \cdot 116 = 546,9 \text{ кН}.$$

Тогда M_{\max} рассчитывается по формулам (4), (5):

$$x = \frac{520 \cdot 0,75^2 \cdot 15,27}{11,5 \cdot 116} = 3,73 \text{ см};$$

$$M_{\max} = 11,5 \cdot 116 \cdot 3,73 \left(17 - \frac{3,73}{2}\right) = 75309 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Результат в определении M_{\max} и $q_{\text{доп}}$ отличается на 20,0% при занижении диаметра арматуры, в случае завышения несущая способность по расчету не отличается от первоначального значения.

6. С учетом всех ошибок в определении параметров плиты (без вскрытия защитного слоя, R_s известно):

$$\text{а). } x = \frac{520 \cdot 1,25^2 \cdot 15,27 - 1,5 \cdot 11,5 (116 - 29,5) 4,1}{1,5 \cdot 11,5 \cdot 29,5} = 12,36 \text{ см};$$

$$x_R = 0,459 \cdot 17,6 = 8,08 \text{ см};$$

$$x = x_R = 8,08 \text{ см};$$

$$M_{\max} = 1,5 \cdot 11,5 \cdot 29,5 \cdot 8,08 \left(17,6 - \frac{8,08}{2}\right) + 1,5 \cdot 11,5 (116 - 29,5) 4,1 \left(17,6 - \frac{4,1}{2}\right) = 150885 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Несущая способность завышена на 60,3%.

$$\text{б). } x = \frac{520 \cdot 0,75^2 \cdot 15,27 - 0,5 \cdot 11,5 (116 - 29,5) 4,1}{0,5 \cdot 11,5 \cdot 29,5} = 14,3 \text{ см};$$

$$x_R = 0,459 \cdot 16,4 = 7,53 \text{ см};$$

$$x = x_R = 7,53 \text{ см};$$

$$M_{\max} = 0,5 \cdot 11,5 \cdot 29,5 \cdot 7,53 \left(16,4 - \frac{7,53}{2}\right) + 0,5 \cdot 11,5 (116 - 29,5) 4,1 \left(16,4 - \frac{4,1}{2}\right) = 45401 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Несущая способность занижена на 51,8%.

7. Расчет ошибки при определении прочности арматуры приборами неразрушающего контроля:

$$\text{а). } x = \frac{1,2 \cdot 520 \cdot 15,27 - 11,5 (116 - 29,5) 4,1}{11,5 \cdot 29,5} = 16,06 \text{ см};$$

$$x_R = 0,459 \cdot 17 = 7,80 \text{ см};$$

$$x = x_R = 7,80 \text{ см};$$

$$M_{\max} = 11,5 \cdot 29,5 \cdot 7,80 \left(17 - \frac{7,80}{2}\right) + 11,5 (116 - 29,5) 4,1 \left(17 - \frac{4,1}{2}\right) = 94100 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$\text{б). } x = \frac{0,8 \cdot 520 \cdot 15,27 - 11,5 (116 - 29,5) 4,1}{11,5 \cdot 29,5} = 6,70 \text{ см};$$

$$M_{\max} = 11,5 \cdot 29,5 \cdot 6,70 \left(17 - \frac{6,70}{2}\right) + 11,5 (116 - 29,5) 4,1 \left(17 - \frac{4,1}{2}\right) = 91999 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Результат в определении M_{\max} и $q_{\text{доп}}$ отличается на 2,2% при занижении сопротивления арматуры, при завышении несущая способность по расчету не отличается от первоначального значения.

8. С учетом всех ошибок в определении параметров плиты (со вскрытием защитного слоя):

$$а). x = \frac{1,2 \cdot 520 \cdot 18,85 - 1,5 \cdot 11,5(116 - 29,5)4,1}{1,5 \cdot 11,5 \cdot 29,5} = 11,09 \text{ см};$$

$$x_R = 0,459 \cdot 17 = 7,80 \text{ см};$$

$$x = x_R = 7,80 \text{ см};$$

$$M_{\max} = 1,5 \cdot 11,5 \cdot 29,5 \cdot 7,80 \left(17 - \frac{7,80}{2}\right) + 1,5 \cdot 11,5 (116 - 29,5)4,1 \left(17 - \frac{4,1}{2}\right) = 143457 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$б). x = \frac{0,8 \cdot 520 \cdot 12,06 - 0,5 \cdot 11,5(116 - 29,5)4,1}{0,5 \cdot 11,5 \cdot 29,5} = 17,55 \text{ см};$$

$$x_R = 0,459 \cdot 17 = 7,80 \text{ см};$$

$$x = x_R = 7,80 \text{ см};$$

$$M_{\max} = 0,5 \cdot 11,5 \cdot 29,5 \cdot 7,80 \left(17 - \frac{7,80}{2}\right) + 0,5 \cdot 11,5 (116 - 29,5)4,1 \left(17 - \frac{4,1}{2}\right) = 47819 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Результат в определении M_{\max} отличается от первоначального значения на 52,5% и на 49,2% соответственно при завышении и занижении значений.

4. Заключение

Таблица 1. Ошибка при определении несущей способности плиты методами неразрушающего контроля

Тип плиты перекрытия	Ошибка в % при определении несущей способности плиты методами неразрушающего контроля						
	Без вскрытия защитного слоя				Со вскрытием защитного слоя		
	Прочность бетона		Толщина защитного слоя	Диаметра арматуры	Общая	Прочность арматуры	Общая
	M_{\max}	Q_{\max}					
Гладкая	1,9	33,0	5,9	51,0	65,4	18,6	51,6
	5,9	32,6	6,0	42,2	47,5	18,9	39,6
Многopустотная	26,8	25,6	6,9	-	60,3	-	52,5
	49,2	25,6	3,5	20,0	51,8	2,2	49,2

Примечание: над чертой показано завышение несущей способности, под чертой показано её занижение.

Исходя из представленного расчета, можно сделать следующие выводы:

- При использовании неразрушающих методов наибольшая ошибка в определении несущей способности может быть получена из-за погрешности в определении диаметра арматуры;
- В железобетонной плите с рабочей арматурой в верхней и нижней части (гладкая плита) наибольшее влияние на несущую способность оказывает погрешность в определении параметров арматуры (диаметр, прочность арматуры).
- В железобетонной плите с рабочей арматурой только в нижней части (многopустотная плита) на несущую способность больше влияют параметры бетона (толщина защитного слоя, прочность бетона).
- При вскрытии защитного слоя бетона ошибка в значении несущей способности может быть снижена в 1,5 - 2 раза.

Следует отметить, что значение ошибок при определении параметров плиты приборами неразрушающего контроля может меняться в зависимости от условий проведения измерений, характеристик бетона [3, 15] и информации, имеющейся у обследователя изначально. Так же, погрешность в расчете несущей способности может варьироваться в ситуациях с другими геометрическими характеристиками перекрытий, классом бетона и арматуры.

Таким образом, применение неразрушающих методов контроля допустимо только для качественной оценки несущей способности или в совокупности с разрушающими методами и непосредственным испытанием конструкций [16-29].

Литература

- [1] Штенгель, В.Г. Общие проблемы технического обследования неметаллических строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2010. №7(17). С. 4-9.
- [2] Алешин, Д. Н., Котова, Н. В., Алешина, Е. А. Комплекс методов неразрушающего контроля для обследования фундаментов зданий // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2014. № 4 (10). С. 40-42.
- [3] Бурмин А. В. Влияние влажности бетона на точность определения его прочности // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2007. № 4. С. 135-139.
- [4] Царьков, А. А. Электромагнитный метод контроля расположения металлической арматуры опор контактной сети при смешанном армировании // М.: ВНИИЖТ, 2010. 23 с.
- [5] Улыбин, А. В. О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2011. №4(22). С. 10-15.
- [6] Улыбин, А. В., Федотов, С. Д., Тарасова, Д. С. Определение прочности бетона при обследовании зданий и сооружений // Мир строительства и недвижимости. 2012. №45. С. 2-4.
- [7] Улыбин, А. В., Корнеев, В. В. Метод контроля длины стальных свай-оболочек // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №1 (6). С. 28-35.
- [8] Улыбин, А. В., Зубков, С. В., Сударь, О. Ю., Лаптев, Е. А. Стандартная и альтернативная методики определения прочности кирпича при обследовании зданий и сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №3 (18). С. 9-24.
- [9] Власова, Е. А., Улыбин, А. В. Несовершенство косвенных методов определения характеристик строительных материалов // XXXIV Неделя науки СПбГПУ. Материалы межвузовской научно-технической конференции. 2006. Ч.1. С 121.
- [10] Ansaldi A., Contin J., Fierro V., Tichno M.A., Distefano A., Mariscotti M.A.J. The application of gammametry to the study of reinforced concrete. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms.1993. Vol. 73(4). pp. 531–542
- [11] Mohamed, A.B., Al-Sheikhly, M., Livingston, R., Saleh, H., Monte Carlo simulations of a portable prompt gamma system for nondestructive determination of chloride in reinforced concrete. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B-Beam Interactions with Materials and Atoms. 2008. Vol. 266(15). pp. 3397-3405.
- [12] Yong Hao, Zheng Ee, Kee Ee. Evaluation of Concrete Structures by Advanced Nondestructive Test Methods – Impact Echo Test, Impulse Response Test and Radar Survey [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.ndt.net/article/ndtce03/papers/v100/v100.htm> (Дата обращения: 17.11.2016).
- [13] Michel, A., Pease, B., Geiker, M.R., Stang, H., Olesen, J.F. Monitoring reinforcement corrosion and corrosion-induced cracking using non-destructive x-ray attenuation measurements. Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41(11), pp. 1085-1094.
- [14] Бербеков, Ж. В. Неразрушающие методы контроля прочности бетона // Молодой ученый. 2012. №11. С. 20-23.
- [15] Pease B, Scheffler G, Janssen H. Monitoring moisture movements in building materials using x-ray attenuation: Influence of beam-hardening of polychromatic x-ray photon beams. Construction and Building Materials. 2012. Vol. 36. pp. 419-429
- [16] Fernandes F.M., Ramos L.F., Manning E., Ferreira J., Mendes P. Multi-technique approach for the assessment of historical masonry constructions. 10th International Conference on Damage Assessment of Structures. Dublin, Ireland. 2013. Vol. 569-570. pp.1249-1256.
- [17] Дроков, А. В., Капленко, О. А. Определение свойств стали неразрушающими методами контроля при обследовании конструкций // Молодежный научный форум: Технические и математические науки: электр. сб. ст. по материалам X студ. междунар. заочной науч.-практ. конф. М.: «МЦНО». 2014 № 3(10). С.48-56.
- [18] Симигуллин, Г. Х. Оценка применимости методов неразрушающего контроля для диагностирования зданий и сооружений взрывоопасных производств // Проблемы сбора, Подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2014. №4(98). С. 123-127.
- [19] Нестеренко, М. Ю., Нестеренко, А. М. Определение свойств стали неразрушающими методами контроля при обследовании конструкций // Молодежный научный форум: Технические и математические науки: электр. сб. ст. по материалам X студ. междунар. заочной науч.-практ. конф. — М.: «МЦНО». 2014. № 3(10). С.48-56.
- [20] Кириленко, А. М., Шилин, А. А., Знайченко П. А. Комплексные обследования бетонных и железобетонных обделок транспортных тоннелей ультразвуковым и ударно-акустическим методом // Транспортное строительство. М. 2014. № 5. С.12-14.
- [21] Джонс Р., Фэкзоару И. Неразрушающие методы испытаний бетонов. М.: Стройиздат, 1974. 292 с.

- [22] ГОСТ 22904-93. Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры.
- [23] СП 52-102-2004 «Предварительно напряженные железобетонные конструкции»
- [24] СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции». Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.
- [25] СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры».
- [26] С.В. Климов, Т.В. Юрина, С.Л. Бугаев. Проектирование и расчет железобетонных многослойных плит перекрытий: учеб.-метод. пособие. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. 79 с.
- [27] Пособие к СНиП 2.08.01-85 «Пособие по проектированию жилых зданий».
- [28] Пособие к СП 52-102-2004: «Пособие по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций из тяжелого бетона».
- [29] Lombillo I., Thomas C., Villegas L., Fernández-Álvarez J.P., Norambuena-Contreras J. Mechanical characterization of rubble stone masonry walls using non and minor destructive tests. Construction and Building Materials. 2013. Vol. 43, pp. 266-277.
- [30] Shaw M. R., Millard S. G., Molyneaux T. C. K., Bungey J. H., Taylor M. J. Location of steel reinforcement in concrete using Ground Penetrating Radar and neural networks. NDT & E International. Vol 34, pp. 419-425.
- [31] Shaw M. R., Millard S. G., Molyneaux T. C. K., Bungey J. H., Taylor M. J. Interpretation of Radar Test Results. Innovations in Non-Destructive Testing, ACI SP-168, pp. 1-24.
- [32] Jing Li Huichun Xing, Xuemin Chen, Sun Y., Liu, R., Hua Chen ; Oshinsk E., Moon Won, Claros G. Extracting rebar's reflection from measured GPR data. Ground Penetrating Radar, 2004. GPR 2004. Proceedings of the Tenth International Conference. pp. 367 – 370.

The deviation in the calculation of the load-carrying ability of the slabs in the survey of buildings

M.S. Holmin^{1*}, A.V. Ulybin², A.V. Frolov³,

¹⁻³ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

scientific article

doi: 10.18720/CUBS.55.2

Article history

Received 21.11.2016

Keywords

structural survey;
non-destructive testing methods;
load-carrying ability of the floor slabs;
civil engineering;
building construction;

ABSTRACT

The article discusses the deviation that occurs when a non-destructive testing methods are used in the survey of buildings and structures. The errors in the calculation of the load-carrying ability of metal deck slabs, which is a consequence of this deviation are estimated, as well. Two types of slab are considered: plain and hollow. The paper surveyed the NDT methods such as: ultrasonic method, rebound hammer method, shock pulse method and surface hardness method. These methods are used to determine reinforced concrete parameters: concrete strength, steel strength, protective concrete layer, width reinforcement. The calculation was made according to the current set of rules and construction norms and regulations of Russian Federation.

Contact information:

- 1* +7(981)7554946, Holmin-mihail@mail.ru (Mikhail Holmin, Student)
2 +7(921)7774516, ulybin@mail.ru (Aleksey Ulybin, Ph.D., Associate Professor)
3 +7(911)0880935, artemfrolov007@mail.ru (Artem Frolov, Student)

References

- [1] Shtengel, V.G. Obshchiye problemy tekhnicheskogo obsledovaniya nemetallicheskih stroitelnykh konstruksiy ekspluatiruyemykh zdaniy i sooruzheniy. [General problems of technical diagnosis of non-metal building structures in explorable buildings and erections]. Magazine of Civil Engineering. 2010. No 7(17). Pp. 4-9. (rus)
- [2] Aleshin, D. N., Kotova, N. V., Aleshina, Ye. A. Kompleks metodov nerazrushayushchego kontrolya dlya obsledovaniya fundamentov zdaniy. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrialnogo universiteta. 2014. № 4 (10). Pp. 40-42. (rus)
- [3] Burmin A. V. Vliyaniye vlazhnosti betona na tochnost opredeleniya yego prochnosti. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2007. № 4. Pp. 135-139. (rus)
- [4] Tsarkov, A. A. Elektromagnitnyy metod kontrolya raspolozheniya metallicheskoj armatury opor kontaktnoy seti pri smeshannom armirovanii. M.: VNIIZhT, 2010. 23 p. (rus)
- [5] Ulybin, A. V. O vybore metodov kontrolya prochnosti betona postroyennykh sooruzheniy [On the choice of concrete strength inspection methods of ready-built structures]. Magazine of Civil Engineering. 2011. No. 4 (22). Pp. 10-15. (rus)
- [6] Ulybin, A. V., Fedotov, S. D., Tarasova, D. S. Opredeleniye prochnosti betona pri obsledovanii zdaniy i sooruzheniy. Mir stroitelstva i nedvizhimosti. 2012. №45. Pp. 2-4. (rus)
- [7] Ulybin, A. V., Korneyev, V. V. Metod kontrolya dliny stalnykh svay-obolochek [The method of length measurement for hollow steel piles]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. No. 1 (6). Pp. 28-35. (rus)
- [8] Ulybin, A. V., Zubkov, S. V., Sudar, O. Yu., Laptev, Ye. A. Standartnaya i alternativnaya metodiki opredeleniya prochnosti kirpicha pri obsledovanii zdaniy i sooruzheniy [Standard and alternative methods of determination of the strength of brick at inspection of buildings and structures]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. No. 3 (18). Pp. 9-24. (rus)
- [9] Vlasova, Ye. A., Ulybin, A. V. Nesovershenstvo kosvennykh metodov opredeleniya kharakteristik stroitelnykh materialov. XXXIV Nedelya nauki SPbGPU. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. 2006. Ch.I. Pp. 121. (rus)
- [10] Ansaldi A., Contin J., Fierro V., Tichno M.A., Distefano A., Mariscotti M.A.J. The application of gammametry to the study of reinforced concrete. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 1993. Vol. 73(4). Pp. 531–542
- [11] Mohamed, A.B., Al-Sheikhly, M., Livingston, R., Saleh, H., Monte Carlo simulations of a portable prompt gamma system for nondestructive determination of chloride in reinforced concrete. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B-Beam Interactions with Materials and Atoms. 2008. Vol. 266(15). Pp. 3397-3405.
- [12] Yong Hao, Zheng Ee, Kee Ee. Evaluation of Concrete Structures by Advanced Nondestructive Test Methods – Impact Echo Test, Impulse Response Test and Radar Survey [online]. URL: <http://www.ndt.net/article/ndtce03/papers/v100/v100.htm> (date of reference: 17.11.2016).
- [13] Michel, A., Pease, B., Geiker, M.R., Stang, H., Olesen, J.F. Monitoring reinforcement corrosion and corrosion-induced cracking using non-destructive x-ray attenuation measurements. Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41(11), Pp. 1085-1094.
- [14] Berbekov, Zh. V. Nerazrushayushchiye metody kontrolya prochnosti betona. Molodoy uchenyy. 2012. №11. Pp. 20-23. (rus)
- [15] Pease B, Scheffler G, Janssen H. Monitoring moisture movements in building materials using x-ray attenuation: Influence of beam-hardening of polychromatic x-ray photon beams. Construction and Building Materials. 2012. Vol. 36. Pp. 419-429
- [16] Fernandes F.M., Ramos L.F., Manning E., Ferreira J., Mendes P. Multi-technique approach for the assessment of historical masonry constructions. 10th International Conference on Damage Assessment of Structures. Dublin, Ireland. 2013. Vol. 569-570. Pp.1249-1256.
- [17] Drovkov, A. V., Kaplenko, O. A. Opredeleniye svoystv stali nerazrushayushchimi metodami kontrolya pri obsledovanii konstruksiy. Molodezhnyy nauchnyy forum: Tekhnicheskkiye i matematicheskkiye nauki: elektr. sb. st. po materialam X stud. mezhdunar. zaobnoy nauch.-prakt. konf. M.: «MTsNO». 2014 № 3(10). Pp.48-56. (rus)
- [18] Simigullin, G. Kh. Otsenka primenimosti metodov nerazrushayushchego kontrolya dlya diagnostirovaniya zdaniy i sooruzheniy vzryvoopasnykh proizvodstv. Problemy sbora, Podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov. 2014. №4(98). Pp. 123-127. (rus)
- [19] Nesterenko, M. Yu., Nesterenko, A. M. Opredeleniye svoystv stali nerazrushayushchimi metodami kontrolya pri obsledovanii konstruksiy. Molodezhnyy nauchnyy forum: Tekhnicheskkiye i matematicheskkiye nauki: elektr. sb. st. po materialam X stud. mezhdunar. zaobnoy nauch.-prakt. konf. — M.: «MTsNO». 2014. № 3(10). Pp.48-56. (rus)
- [20] Kirilenko, A. M., Shilin, A. A., Znaychenko P. A. Kompleksnyye obsledovaniya betonnykh i zhelezobetonnykh obdelok transportnykh tonney ul'trazvukovym i udarno-akusticheskim metodom. Transportnoye stroitelstvo. M. 2014. № 5. Pp.12-14. (rus)

- [21] Dzhons R., Fekeoar I. Nerazrushayushchiye metody ispytaniy betonov. M.: Stroyizdat, 1974. 292 p. (rus)
- [22] Russian State Standard GOST 22904-93. Konstruktsii zhelezobetonnyye. Magnitnyy metod opredeleniya tolshchiny zashchitnogo sloya betona i raspolozheniya armatury. (rus)
- [23] Set of Rules SP 52-102-2004 «Predvaritelno napryazhennyye zhelezobetonnyye konstruktsii». (rus)
- [24] Set of Rules SP 63.13330.2012 «Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruktsii». Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 52-01-2003. (rus)
- [25] Set of Rules SP 52-101-2003 «Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruktsii bez predvaritelnogo napryazheniya armatury». (rus)
- [26] S.V. Klimov, T.V. Yurina, S.L. Bugayev. Proyektirovaniye i raschet zhelezobetonnykh mnogopustotnykh plit perekrytiy: ucheb.-metod. posobiye. Perm: Izd-vo Perm. gos. tekhn. un-ta, 2008. 79 p. (rus)
- [27] Posobiye k SNIIP 2.08.01-85 «Posobiye po proyektirovaniyu zhilykh zdaniy». (rus)
- [28] Posobiye k SP 52-102-2004: «Posobiye po proyektirovaniyu predvaritelno napryazhennykh zhelezobetonnykh konstruktsiy iz tyazhelogo betona». (rus)
- [29] Lombillo I., Thomas C., Villegas L., Fernández-Álvarez J.P., Norambuena-Contreras J. Mechanical characterization of rubble stone masonry walls using non and minor destructive tests. Construction and Building Materials. 2013. Vol. 43, Pp. 266-277. (rus)
- [30] Shaw M. R., Millard S. G., Molyneaux T. C. K., Bungey J. H., Taylor M. J. Location of steel reinforcement in concrete using Ground Penetrating Radar and neural networks. NDT & E International. Vol 34, Pp. 419-425. (rus)
- [31] Shaw M. R., Millard S. G., Molyneaux T. C. K., Bungey J. H., Taylor M. J. Interpretation of Radar Test Results. Innovations in Non-Destructive Testing, ACI SP-168, Pp. 1-24. (rus)
- [32] Jing Li Huichun Xing, Xuemin Chen, Sun Y., Liu, R., Hua Chen ; Oshinsk E., Moon Won, Claros G. Extracting rebar's reflection from measured GPR data. Ground Penetrating Radar, 2004. GPR 2004. Proceedings of the Tenth International Conference. Pp. 367 – 370. (rus)

Холмин М.С., Улыбин А.В., Фролов А.В. Погрешность при расчете несущей способности плит в обследовании зданий, Строительство уникальных зданий и сооружений, 2017, №4 (55). С. 19-35.

Holmin M.S., Ulybin A.V., Frolov A.V. The deviation in the calculation of the load-carrying ability of the slabs in the survey of. Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. 4(55). Pp. 19-35. (rus)