

# МЕТОД РАСЧЕТА ПРОГИБОВ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ С УЧЕТОМ ИХ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ В МОМЕНТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

**Саатова Нодира Зияевна**

*Доктор философии по техническим наукам, PhD  
Ташкентский институт по проектированию, строительству и  
эксплуатации автомобильных дорог  
(Узбекистан, г. Ташкент)*

## METHOD FOR CALCULATING FLEXIBLE BENDING ELEMENTS OF A FLIGHT STRUCTURE TAKING INTO ACCOUNT THEIR ACTUAL CONDITION AT THE MOMENT OF TECHNICAL DIAGNOSTICS

**Saatova Nodira Ziyaevna**

*Doctor of philosophy in technical sciences, PhD  
Tashkent Institute for the design, construction and operation of roads  
(Uzbekistan, Tashkent)*

В статье даются результаты анализа опытных данных по испытаниям железобетонных элементов на многократно-повторные нагружения и натурным испытаниям эксплуатируемых пролетных строений. В статье предлагается зависимости по определению прогибов в период эксплуатации.

The article presents the results of the analysis of experimental data on the testing of reinforced concrete elements for multiple-repeated loads and field tests of operated span structures. The article proposes dependencies on the definition of deflections during the operation period.

**Ключевые слова:** пролетные строения, прогибы, железобетонные элементы, методика расчета

**Keywords:** span structures, deflections, reinforced concrete elements, calculation method

Результаты обследования железобетонных пролетных строений показали, что фактические накопленные прогибы (провисания) отличаются от расчетных, вычисленных по нормам проектирования года строительства рассматриваемых объектов.

Использование существующих норм в настоящее время также не привело к удовлетворительным результатам. Это особенно четко видно при расчете прогибов консоли плит крайних балок автодорожных мостов и внешней консоли плиты балластного корыта в железнодорожных мостах. Здесь разница фактических и расчетных величин прогибов доходит до 4...5 раз [1, 2].

В связи с вышесказанным ниже сделана попытка усовершенствования

существующей методики расчета прогибов. При этом полная величина деформации остаточных прогибов изгибаемых железобетонных элементов с учетом длительных постоянных и многократно повторных нагрузок представляется в виде:

$$f = f_g + f_N \quad (1)$$

где  $f_g$  – прогиб от воздействия постоянных длительно действующих нагрузок;  $f_N$  – прогиб от многократно повторного воздействия временных нагрузок.

Значение  $f_g$  определяется известными методами [2] с учетом ползучести бетона при действии постоянной нагрузки. При этом, как показано в работе [3], для изгибаемых железобетонных балок, находящихся под действием постоянных длительно действующих нагрузок, в естественных климатических условиях формулы нормативных документов при учете деформации ползучести бетона по рекомендациям [4] дают удовлетворительные результаты.

Прогибы железобетонных балок от длительного действия многократно-повторных нагрузок проявляются за счет деформации виброползучести бетона.

Как отмечает В.М. Бондаренко [5], дополнительное приращение прогиба в динамически нагруженных конструкциях за счет виброползучести бетона может достигать значительных величин.

Ниже сделана попытка разработки практического способа определения прогиба от динамической составляющей нагрузки на основе имеющихся экспериментальных данных [6].

В работе использованы результаты экспериментальных исследований, выполненных в лаборатории ТашИИТ [6].

Для проведения экспериментов были изготовлены две серии опытных балок. Каждая серия состоит из балок прямоугольного сечения размером 16x22 см, пролетом 220 см, армированных стержневой арматурой классов А-I и А-II (рис. 1).

Балки изготовлены в специальных металлических формах на полигоне Мостоотряда №13 треста «Мостострой-7». Для изготовления балок применялся бетон проектного класса В30, в качестве крупного заполнителя использовался щебень Куйлюкского карьера, просеянный через сито с отверстиями 10 мм, с характеристиками: удельный вес – 25,5 кН/м<sup>3</sup>, объемная масса - 13кН/м<sup>3</sup>. Мелкий заполнитель – песок Куйлюкского карьера с удельным весом 23,0 кН/м<sup>3</sup>, объемной массой в насыпном состоянии 14 кН/м<sup>3</sup> и модулем крупности  $M_k=2,75$ .

Цемент Ахангаранского цементного завода с активностью 40.

Состав бетона 1:2,0:4,1; В/Ц=0,5 для изготовления обычных балок принят исходя из реальных составов бетона, применяемых для изготовления железобетонных конструкций, предназначенных для эксплуатации под многократно повторными нагрузками.

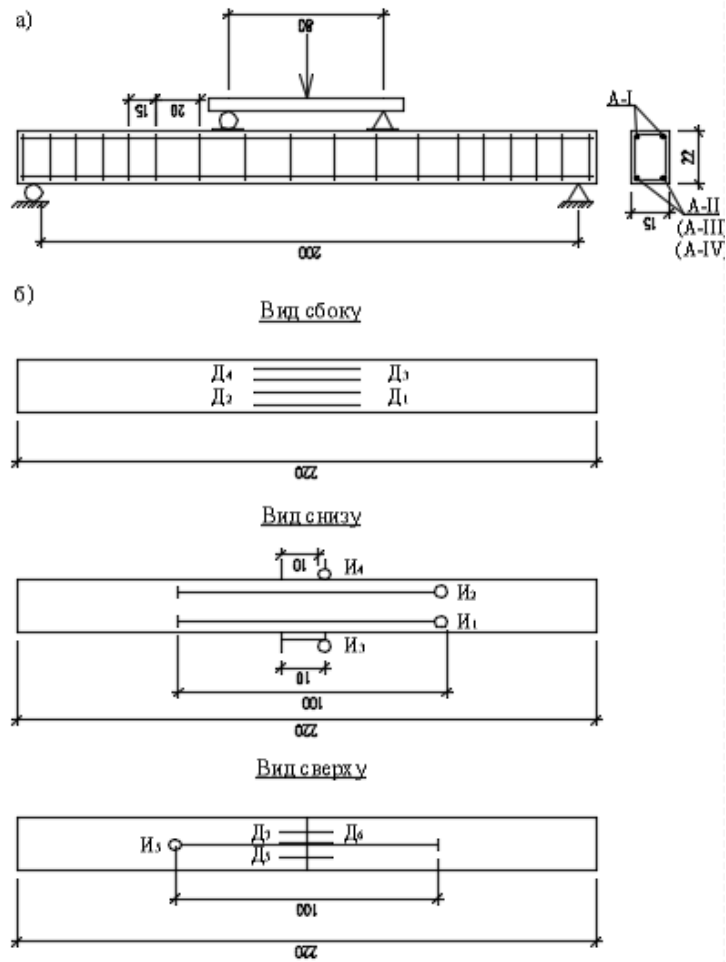


Рис. 1. Схема армирования и испытания опытных балок (а) и расположение деформометров и тензодатчиков (б)

Бетон приготовлен в бетономешалке принудительного действия с емкостью 0,5 м<sup>3</sup>. Дозирование компонентов – весовое. Уплотнение бетонной смеси производилось на виброплощадке, с частотой 2500 колебаний в минуту в течение 20...25 сек.

Кроме того, для определения фактической прочности бетона в момент испытания были забетонированы стандартные кубы с размерами 10x10x10 см и призмы – 10x10x40 см. Всего испытано 16 кубов и 8 призм.

Перед нагружением балок испытывали стандартные бетонные призмы. начальный модуль упругости бетона составил величину, близкую к нормативному значению ШНК 2.05.03-12. «Мосты и трубы»  $E_b=33000$  МПа для бетона класса В30. Предел выносливости, определенный по [6], составил  $0,65 R_b$ . Прочность бетона к моменту испытания имела значение  $R_b=34,6$  МПа.

В качестве продольной арматуры использованы стержни периодического профиля диаметром 14 мм и 12 мм из сталей класса А-I и А-II, в виде поперечной – гладкая проволока диаметром 8 мм из стали класса А-I.

Испытания балок на многократно повторную нагрузку производили на пульсационном прессе фирмы VEBWERKSTOFFRUFMASCHINEN в лаборатории ТашИИТ. Частота прикладываемой нагрузки – 400 циклов в минуту.

Результаты испытания балок на многократно повторные нагружения приведены на рис. 2. Как видно из рис. 2, четкая закономерность изменения прогибов при повторных нагружениях зависит от уровня напряжения. Балки, нагруженные высоким уровнем напряжения, имеют высокие значения относительного прогиба при повторных нагружениях.

Определение ожидаемых предельных величин остаточных прогибов при повторных нагружениях производят построением диаграмм по методике [2] (рис.3). Для этого вычисляем приращение  $N/f$ , где  $N$  – количество циклов нагружения;  $f$  – соответствующее этой величине циклов нагружения значение остаточного прогиба. На диаграмме по оси ординат откладываем  $N/f$ , а по оси абсцисс – значения  $N$ . По полученным точкам графически или аналитически строят прямую регрессии, котангенс угла которой принимают за предельное значение деформации остаточного прогиба  $f_{cr,N}$ , а отрезок, отсекаемый этой прямой на продолжении оси абсцисс, – за параметр скорости нарастания деформации прогиба  $a_N$ .

Предельные значения кривизны от многократно повторного нагружения можно определить зависимостью:

$$\frac{1}{\rho_{N_{cr}}} = \frac{\varepsilon_{bN_{cr}}}{x} = \frac{l\sigma_b C_{fN_{cr}}}{x}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{bN_{cr}}$  – предельные значения деформации от многократно повторного нагружения;  $l$  – длина пролетного строения;  $C_{fN_{cr}}$  – предельные значения меры виброползучести бетона;  $x$  – высота сжатой зоны бетона.

Предельные значения меры виброползучести рекомендуется определить выражением [2]:

$$C_{fN_{cr}} = \frac{\varphi_{cr}(t, \tau_0)}{E_b} \left[ \rho + \frac{1,11 \lg N_{cr} (1 - \rho^2)}{6,3} \right], \quad (3)$$

где  $\varphi_{cr}(t, \tau_0)$  – предельные значения характеристики простой ползучести бетона;  $\rho$  – асимметрия циклов нагружений;  $N_{cr}$  – предельное количество циклов до достижения прогибов допустимых величин.

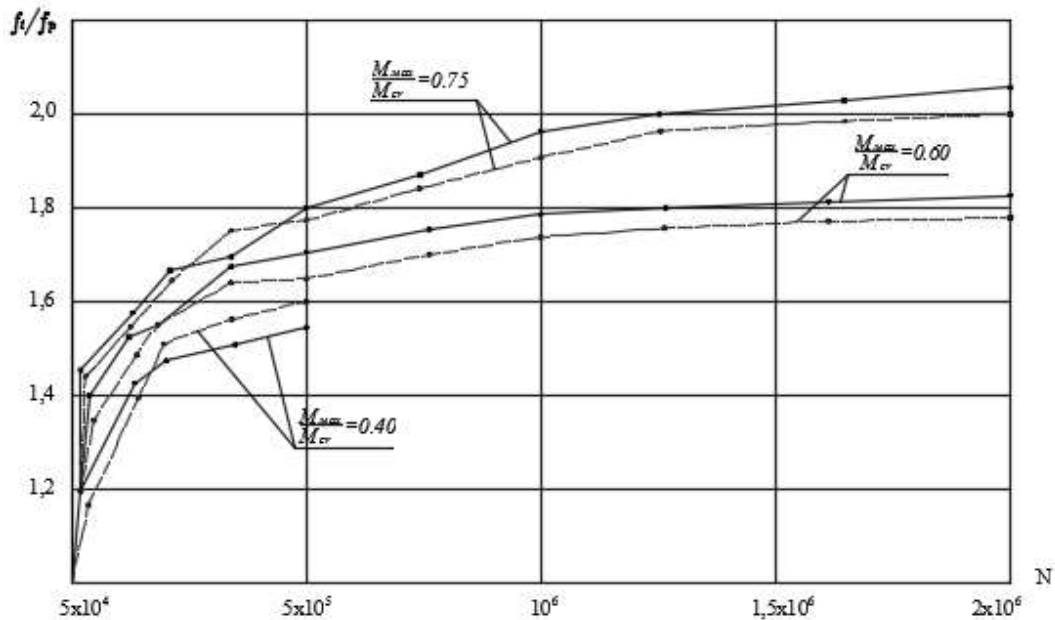


Рис. 2. Нарастание относительного прогиба балок при многократно повторных нагружениях

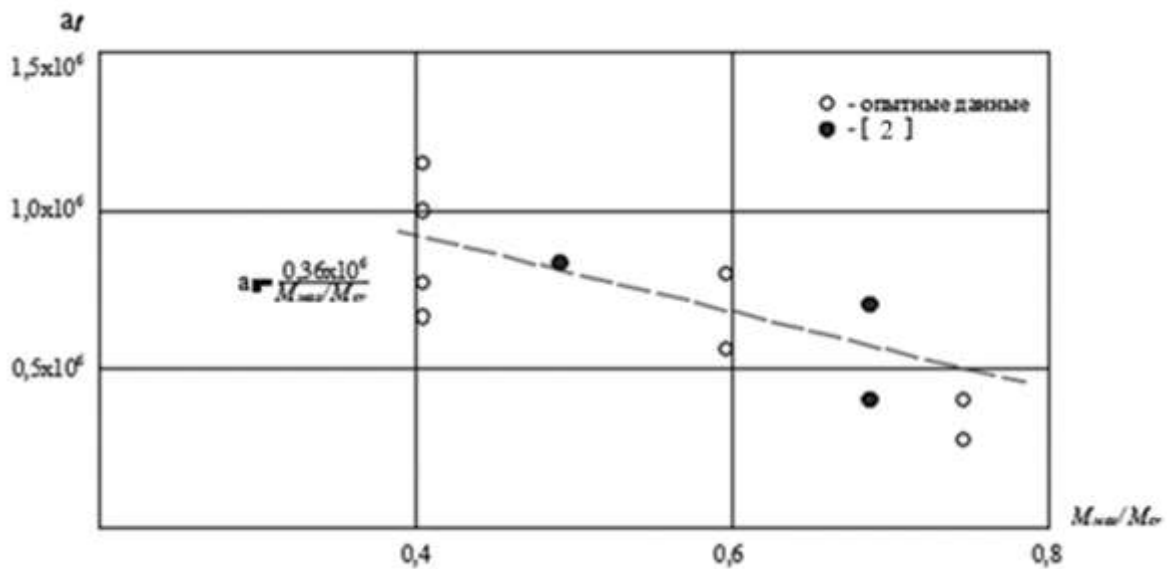


Рис.

### 3. Изменение $a_f$ в зависимости от уровня нагружения $M_{max}/M_{cr}$

Предельный прогиб от многократно повторного нагружения определяется по известной формуле:

$$f_{N_{cr}} = \frac{1}{\rho_{N_{cr}}} M_{max}. \quad (4)$$

По полученным выше параметрам, возможно определить величину прогиба  $f_N$  для любого количества циклов нагружения  $N$  по формуле:

$$f_N = f_{cr} \frac{N}{a_f + N} \quad (5)$$

В формуле параметр  $a_f$  характеризует скорость накопления остаточного прогиба при многократно повторном нагружении и зависит от многочисленных факторов.

Изменение  $a_N$ , определенное по результатам обработки опытных данных, показанных на рис. 3, в зависимости от уровня нагружения балки  $M_{max}/M_{cr}$ . Изменение параметра  $a_f$  от  $M_{max}/M_{cr}$  удовлетворительно описывается выражением:

$$a_f = \frac{0,36 \cdot 10^6}{M_{max}/M_{cr}} \quad (6)$$

Возможно, существует связь  $a_f$  от асимметрии цикла нагружения, механических характеристик бетона и других факторов. Однако в настоящее время по имеющимся экспериментальным данным такую связь не удается установить.

Представляет практический интерес сопоставление фактических величин накопленных остаточных прогибов с расчетными, вычисленными по нормативным документам. В табл. 1 приведены результаты сопоставления прогибов железобетонных балок эксплуатируемых мостов.

Таблица 1

**Сравнение фактических прогибов в середине пролета с расчетными, вычисленными по нормативным документам**

№ п/п	Номер пролета/балки	Фактические прогибы, см	Расчетные прогибы, вычисленные по			
			СН 200-62 (год проектирования)	СНиП 2.05.03-84	ШНК 2.05.03-12	По предлагаемой зависимости (1) $f=f_g+f_N$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
1	6/1	6,8	3,1	3,8	4,3	7,2
2	6/2	6,8	3,0	3,6	4,1	6,5
3	6/3	6,7	3,0	3,6	4,1	6,5
4	6/9	6,7	3,1	3,8	4,3	6,5
5	27/1	5,8	3,1	3,8	4,3	7,2
6	27/2	5,5	3,0	3,6	4,1	6,5
7	27/9	6,9	3,1	3,8	4,3	7,2

Как видно из табл.1, расчетное значение остаточного прогиба в середине

пролета, вычисленное по нормам времени проектирования СН 200-62 для балок пролета №27/1 автодорожного путепровода в г. Ташкенте после 30-летней эксплуатации составило 3,1 см, что существенно меньше фактических величин – 6,9 см.

Перерасчет прогибов по ШНК 2.05.03-12 выполняли с учетом появившихся трещин. При этом среднее напряжение в арматуре определялось в сечении с трещиной посредством коэффициента  $\psi$ . При этом, как видно из табл. 1, расчетное значение остаточного прогиба равно 3,8 см.

Длительные процессы в бетоне учитывали определением характеристик жесткости с учетом ползучести, рекомендуемых для условий сухого жаркого климата.

Из табл. 1 видно, что учет трещин в балках также не дает удовлетворительных результатов при сравнении расчетных величин с фактическими.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что рекомендуемые нормативными документами зависимости в полной мере не отражают фактических условий работы пролетных строений.

Использование предлагаемой зависимости, как показывает табл. 1, обеспечивает более точное совпадение фактических величин прогибов с расчетными. При этом соотношение средних фактических и расчетных величин составляет  $\eta_{cp}=1,05$  при коэффициенте вариации  $\nu=0,16$ . В расчетах количество циклов нагружения по фактической пропускной способности путепровода определено по методике [2].

Для практических расчетов нарастание прогибов во времени может быть установлено с использованием соотношения:

$$\frac{t}{T_{res}} = \frac{N}{N_{cr}} \quad (7)$$

Отсюда:

$$N = t \frac{N_{cr}}{T_{res}} \quad (8)$$

Совместив формулы, получим:

$$f_N = f_{cr} \frac{tN_{cr}}{T_{res}a_N + tN_{cr}} \quad (9)$$

где  $N_{cr}$  - количество циклов нагружения до достижения прогибов величины  $f_{cr}$ ;  $T_{res}$  - срок службы пролетного строения.

По полученной зависимости можно определить величину прогиба от воздействия длительно действующей нагрузки в процессе эксплуатации.

Полный прогиб для изгибаемых балок:

$$f = \frac{5ql^4}{384B} + f_{cr} \frac{tN_{cr}}{T_{res}a_N + tN_{cr}} \quad (10)$$

Для внешней консоли плиты:

$$f = \frac{ql^4}{3B} + f_{cr} \frac{tN_{cr}}{T_{res}a_N + tN_{cr}} \quad (11)$$

Таким образом, на основании обработки имеющихся экспериментальных данных предложены зависимости для определения прогибов при многократно-повторных нагружениях, и на этой базе получены зависимости для прогнозирования остаточного ресурса элементов пролетных строений. Исходными данными для расчетов служат данные по накопленным остаточным прогибам, определяемые в процессе технической диагностики.

### Список литературы

1. Мамажанов Р.К., Низамутдинова Р.З., Кильдеева О.И. Результаты обследования железнодорожных железобетонных мостов // Тр. Международной научно-технической конференции /ТАДИ. – 1996. – С. 102-105.
2. Мамажанов Р. Прогнозирование процесса накопления повреждений в элементах, подверженных режимным нагружениям // Изв. АН УзССР. Серия техн. наук. – 1989. - №2. – С. 22-25.
3. Низамутдинова Р.З. Ресурс железобетонных пролетных строений мостов на железнодорожных линиях промышленных предприятий / ТашИИТ. Дисс. на соиск. уч. степени к.т.н. 05.23.15. – Ташкент, 1994.
4. Рекомендация по оценке и обеспечению надежности транспортных сооружений. – М.: ЦНИСК, 1989 – 71 с.
5. Бондаренко В.М., Иосилевский Л.И., Чирков В.П. Надежность строительных конструкций и мостов. – М: Изд-во Академии архитектуры и строительных наук, 1996. –220 с.