

УДК 624.012.35

## ОЦЕНКА РАСЧЕТНОЙ ПРОЧНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО МЕТОДИКАМ РАЗЛИЧНЫХ НОРМ

*канд. техн. наук, доц. А.И. КОЛТУНОВ,  
канд. техн. наук, доц. А.А. БАКАТОВИЧ, В.И. ЛЫМОРЕВА  
(Полоцкий государственный университет)*

*Рассматривается этап проектирования и реконструкции молочно-товарных ферм после проведения обследований данных объектов с целью определения технического состояния зданий и дальнейшей их модернизации. Для определения необходимости усиления конструкций с учетом их фактического состояния требуется выполнение проверочных расчетов. В данной работе проведен сравнительный анализ расчета эксплуатируемых железобетонных конструкций по СНиП 2.03.01-84, СНБ 5.03.01-02, ТКП EN 1991-1-1-2009, выявлены основные различия при определении расчетных значений сопротивлений арматуры и бетона, изменения в области коэффициентов надежности (безопасности) по нагрузкам, а также различия при определении нормативных значений снеговых нагрузок. По представленным методикам выполнен расчет с определением коэффициентов запаса конструкций по прочности.*

**Введение.** В последнее время уделяется большое внимание реконструкции и модернизации сельскохозяйственных зданий. В декабре 2011 года Правительством Беларуси была поставлена задача реконструкции в каждом хозяйстве республики одной молочно-товарной фермы с учетом современных прогрессивных технологий.

В Витебской области реконструкции подлежат 228 молочно-товарных ферм, при этом все работы планируется завершить к сентябрю 2012 года. Для составления проекта реконструкции данных объектов специалистами Полоцкого государственного университета был проведен ряд обследований с целью определения фактического технического состояния зданий.

Обследованные фермы построены в 80 – 90-х годах, несущие элементы запроектированы по СНиП 2.03.01-84 [1]. Проверочные расчеты железобетонных конструкций независимо от времени их проектирования и возведения следует производить согласно СНБ 5.03.01-02 [2], а также ТКП EN 1991-1-1-2009 [3]. Пригодность к дальнейшей эксплуатации оценивается выполнением всех требований норм расчета по предельным состояниям первой и второй групп. Конструкции, которые по результатам расчетов не удовлетворяют требованиям норм, подлежат усилению либо замене.

Целью данной работы являлось проведение сравнительного анализа расчета несущей способности железобетонных конструкций по СНиП 2.03.01-84 (далее – СНиП), СНБ 5.03.01-02 (далее – СНБ), ТКП EN 1991-1-1-2009 (далее – ТКП).

### **Расчет железобетонных конструкций по предельным состояниям первой группы**

В основе расчета изгибаемых железобетонных элементов по предельным состояниям первой группы как по СНБ, так и по СНиП, и ТКП лежит метод предельных состояний.

Расчет железобетонных конструкций по прочности производится исходя из общего условия метода предельных состояний:

$$S_d \leq R_d, \quad (1)$$

где  $S_d$  – внутреннее усилие в сечении конструкции, которое вызвано расчетным воздействием;  $R_d$  – предельное усилие, которое способна воспринять конструкция в сечении, нормальном к продольной оси, и определяемое при линейно-упругом расчете сечений по формуле:

$$R_d = R \left( \frac{\alpha f_{ck}}{\gamma_c}, \frac{\alpha f_{yk}}{\gamma_s}, \frac{\alpha f_{pk}}{\gamma_s}, \dots a_d \right), \quad (2)$$

где  $f_{ck}$ ,  $f_{yk}$ ,  $f_{pk}$  – нормативное сопротивление бетона, арматуры, предварительно напряженной арматуры соответственно;  $\gamma_c$ ,  $\gamma_s$  – частные коэффициенты безопасности по бетону и арматуре соответственно;  $a_d$  – геометрические параметры поперечного сечения.

Расчет по СНиП предполагает использование того же условия при отличающихся буквенных обозначениях.

**Сравнение коэффициентов безопасности (надежности) по материалу**

Отметим различия при переходе от нормативных значений сопротивлений бетона и арматуры к расчетным согласно ранее действующему СНиП, а также ныне действующим нормам СНБ и ТКП.

Согласно СНиП расчетные сопротивления бетона осевому сжатию  $R_b$  определяются путем деления нормативных сопротивлений на коэффициент надежности по бетону при сжатии  $\gamma_{bc}$ , принимаемый для основных видов бетона равным 1,3.

Для перехода от нормативного сопротивления бетона осевому сжатию к его расчетному значению по СНБ и ТКП используют частный коэффициент безопасности по бетону  $\gamma_c$ , который при расчете по предельным состояниям первой группы принимается равным 1,5.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}. \quad (3)$$

Обозначим различия при вычислении расчетного значения сопротивления растяжению арматуры.

Для перехода к расчетным сопротивлениям арматуры растяжению  $R_s$  согласно СНиП используют зависимость:

$$R_s = \frac{R_{sn}}{\gamma_s}, \quad (4)$$

где  $\gamma_s$  – коэффициент надежности по арматуре, определяемый по таблице 1.

Таблица 1

Коэффициенты надежности и безопасности по арматуре

Арматура		СНиП	СНБ и ТКП
СНиП	СНБ, ТКП	коэффициент надежности по арматуре $\gamma_s$	коэффициент безопасности по арматуре $\gamma_s$
A-I, A-II	S240, S300	1,05	1,1
A-III	S400		1,1
Ø, мм: 6 – 8, 10 – 40		1,1 1,07	
	S500 Ø, мм: 6 – 22, 4 – 5, 25 – 40		1,15 1,2

Расчетное сопротивление арматуры  $f_{yd}$  согласно СНБ и ТКП определяют путем деления нормативного сопротивления  $f_{yk}$  ( $f_{0,2k}$ ) на частный коэффициент безопасности по арматуре  $\gamma_s$ , определяемый из таблицы 1.

Сравнение расчетных сопротивлений арматуры растяжению согласно СНиП, СНБ и ТКП представлено в таблице 2.

Таблица 2

Расчетные сопротивления арматуры растяжению

Стержневая арматура классов		Расчетные сопротивления растяжению арматуры для предельных состояний первой группы, МПа	
СНиП	СНБ, ТКП	$R_s$	$f_{yd}$
A-I	S240	225	218
A-II	S300*	280	272*
A-III	S400	355 365	364
Ø, мм: 6 – 8 10 – 40			
	S500 Ø, мм: 4 – 5 6 – 22 25 – 40		417 435 417

\*В настоящее время на территории Беларуси арматура класса S300 не сертифицирована.

Анализируя вопрос перехода от нормативных к расчетным сопротивлениям материалов можно отметить, что расчетные сопротивления арматуры изменились не существенно. Изменения в расчетном сопротивлении бетона при проверке прочности изгибаемых элементов сказываются незначительно (разница несущей способности не превышает 2 %).

#### Сравнение коэффициентов безопасности (надежности) по нагрузкам

Основными характеристиками постоянных и переменных нагрузок являются их нормативные значения. Нормативные значения нагрузок и воздействий следует принимать согласно СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия» [4]. Расчетные значения нагрузок определяют путем умножения их нормативного значения на частный коэффициент безопасности (надежности).

При расчетах по СНиП значения коэффициентов надежности по нагрузке  $\gamma_f$  принимали согласно СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия». Значения данных коэффициентов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Значения коэффициентов надежности по нагрузке

Конструкции сооружений	Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f$
Металлические	1,05
Бетонные со средней плотностью свыше 1600 кг/м <sup>3</sup> , железобетонные, каменные, армокаменные, деревянные	1,1
Бетонные со средней плотностью 1600 кг/м <sup>3</sup> и менее, изоляционные, выравнивающие и отделочные слои (плиты, материалы в рулонах, засыпки, стяжки и т.п.), выполняемые:	
- в заводских условиях	1,2
- на строительной площадке	1,3

Значения частных коэффициентов безопасности для нагрузок при расчете по СНБ и ТКП приведены в таблице 4.

Таблица 4

Значения частных коэффициентов безопасности для нагрузок

Эффект от воздействия	Частный коэффициент безопасности при нагрузках	
	постоянных $G_k, \gamma_G$	переменных $Q_k, \gamma_Q$
Неблагоприятный	1,35	1,50

Отдельным вопросом стоит рассмотреть различия в определении нормативных значений снеговой нагрузки при расчете по СНиП, СНБ и ТКП.

Нормативные значения снеговой нагрузки для расчета по СНиП определялись согласно приложению к СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия» по картам районирования территории СССР.

Согласно карте районирования по весу снегового покрова (рис. 1) территория Беларуси разделена на 3 района: I, II, III. Значения нормативной снеговой нагрузки составляли: для I района – 50 кг/м<sup>2</sup>; для II – 70 кг/м<sup>2</sup>, для III – 100 кг/м<sup>2</sup>.



Рис. 1. Карта районирования по весу снегового покрова территории Беларуси согласно приложению к СНиП 2.01.07-85

Нормативное значение снеговой нагрузки для расчета по СНБ определяется согласно Изменению № 1 к СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия» (рис. 2), согласно которому территория Беларуси делится на 2 района: I Б и II Б.



Рис. 2. Карта районирования по весу снегового покрова территории Беларуси согласно Изменению № 1 к СНиП 2.01.07-85

Нормативные значения снеговой нагрузки для района I Б составляют  $80 \text{ кг/м}^2$ , для II Б –  $120 \text{ кг/м}^2$ . Для определения нормативного (характеристического) значения снеговой нагрузки по ТКП EN 1991-1-3-2009 [5] используется карта районирования (рис. 3).

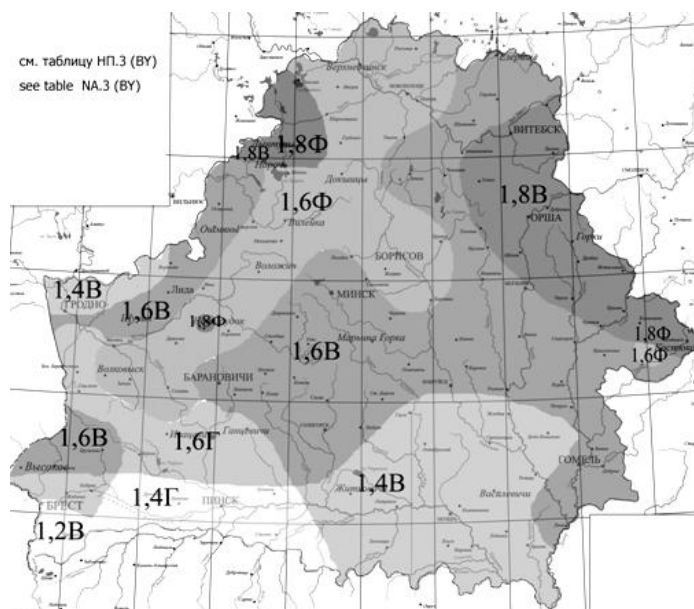


Рис. 3. Карта районирования по весу снегового покрова территории Беларуси для расчета по ТКП EN 1991-1-3-2009

Территория Беларуси разделена на районы, для которых рассчитаны значения снеговой нагрузки по математическим зависимостям. Численные значения, представленные на карте, соответствуют интенсивности нагрузки, выраженной в килоньютонах на метр квадратный.

#### Основные сочетания нагрузок при расчете конструкций

Расчет конструкций следует производить по наиболее неблагоприятному сочетанию нагрузок. Эти сочетания устанавливаются из анализа вариантов одновременного действия различных нагрузок.

В соответствии с ТКП и СНБ при расчете конструкций по предельным состояниям первой группы следует принимать следующие сочетания нагрузок:

- первое основное сочетание

$$\sum_j (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + \sum_{i=1} (\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}); \quad (5)$$

- второе основное сочетание

$$\sum_j (\xi \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}), \quad (6)$$

где  $\gamma_{G,j}$  – частный коэффициент безопасности для постоянных нагрузок;  $\gamma_{Q,i}$  – то же для переменных нагрузок;  $G_{k,j}$  – нормативные значения постоянных нагрузок;  $Q_{k,i}$  – нормативные значения сопутствующих переменных нагрузок;  $\psi_{0,i}$ ,  $\psi_{1,1}$ ,  $\psi_{2,i}$  – коэффициенты сочетаний переменных нагрузок, принимаемые в зависимости от типа ответственности зданий и сооружений;  $\xi$  – коэффициент уменьшения для неблагоприятно действующей постоянной нагрузки (принимается равным 0,85);  $Q_{k,1}$  – нормативное значение доминирующей переменной нагрузки.

В соответствии с рекомендациями к СНиП при условии действия не более одной временной нагрузки расчет может производиться с коэффициентом сочетания, равным 1.

#### Поверочные расчеты несущих конструкций покрытия по различным нормативным документам

Приведем расчет по представленным методикам, выполненный для ребристой плиты покрытия размером 1,5 × 6 м, высотой 300 мм, изготовленной из бетона класса С25/30. Продольная рабочая арматура класса S400 2Ø18. Предварительно были собраны сведения о нагрузках на плиту покрытия, представленные в таблице 5.

Таблица 5

Сбор нагрузок на плиту покрытия

Состав кровли	Нормативное значение нагрузки (кН/м <sup>2</sup> )			Коэффициент надежности по нагрузке			Расчетное значение нагрузки (кН/м <sup>2</sup> )		
				СНиП	СНБ	ТКП	СНиП	СНБ	ТКП
<b>Постоянная нагрузка</b>									
Гидроизоляционный ковер $\delta = 9$ мм, $\rho = 1800$ кг/м <sup>3</sup>	0,162			1,3	1,35	1,35	0,211	0,219	0,219
Асфальтобетонная стяжка, $\delta = 40$ мм, $\rho = 1760$ кг/м <sup>3</sup>	0,704						0,915	0,950	0,950
Утеплитель (газосиликат) $\delta = 150$ мм, $\rho = 540$ кг/м <sup>3</sup>	0,81						1,053	1,094	1,094
Обмазочная пароизоляция, $\delta = 9$ мм, $\rho = 1700$ кг/м <sup>3</sup>	0,153						0,199	0,207	0,207
Собственный вес ребристой плиты покрытия	2,06			1,1			2,266	2,781	2,781
Итого постоянная	–			–			<b>4,644</b>	<b>5,251</b>	<b>5,251</b>
<b>Временная</b>									
Снеговая	1	1,2	1,6	1,4	1,5	1,5	<b>1,4</b>	<b>1,8</b>	<b>2,4</b>
<b>Полная</b>	–			–			<b>6,044</b>	<b>7,051</b>	<b>7,651</b>

Полная расчетная равномерно распределенная нагрузка на 1 метр погонный железобетонной ребристой плиты шириной 1,5 м максимальным пролетом 6 м составит:

- по СНиП:  $q_p = 6,044 \cdot 1,5 = 9,066$  кН/м;
- по СНБ:  $q_p = (5,251 + 0,7 \cdot 1,8) \cdot 1,5 = 9,766$  кН/м;
- по ТКП:  $q_p = (5,251 + 0,7 \cdot 2,4) \cdot 1,5 = 10,396$  кН/м.

Расчетный изгибающий момент в плите покрытия максимальным пролетом 6 м равен:

- по СНиП  $M = (q \cdot l^2) / 8 = 40,8$  кН·м;
- по СНБ  $M = 43,94$  кН·м;
- по ТКП  $M = 46,78$  кН·м.

Полученные коэффициенты запаса прочности приведены в таблице 6.

Таблица 6

## Коэффициенты запаса прочности

Наименование конструкций	Максимальные усилия в конструкциях от действующих нагрузок $M_{Sd}$ , кН·м			Предельное усилие, которое способна воспринять конструкция $M_{Rd}$ , кН·м			Коэффициенты запаса прочности		
	СНиП	СНБ	ТКП	СНиП	СНБ	ТКП	СНиП	СНБ	ТКП
Ребристые железобетонные плиты покрытия	40,8	43,94	46,78	49,95	49,84	49,84	1,22	1,13	1,06

На основании проведенного сравнительного анализа расчета несущей способности конструкции по СНиП 2.03.01-84, СНБ 5.03.01-02 (с изменениями), ТКП EN 1991-1-1-2009 можно сделать следующие **выводы**:

1) прочностные характеристики элемента, рассчитанные по различным нормам, изменяются существенно;

2) расчетные усилия, возникающие от действующих нагрузок, рассчитанных по различным нормам, имеют значительную разницу, что связано с повышением коэффициентов надежности (безопасности) по нагрузкам, а также изменением нормативных значений снеговых нагрузок.

Анализ, выполненный в рамках исследований, позволяет рекомендовать использование вероятностного метода расчета для более точной оценки прочности элемента при наличии достаточного количества статистических данных по результатам обследования. Высокая точность позволяет использовать данный метод тогда, когда другие методы показывают, что прочность не обеспечена.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01-84\* / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989.
2. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. – Минск: Изд-во стандартов, 2003.
3. Проектирование железобетонных конструкций: ТКП EN 1992-1-1-2009 / НПП РУП «Стройтехнорм». – Минск, 2009.
4. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85 / Госстрой СССР – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.
5. Воздействия на конструкции: ТКП EN 1991-1-3-2009 / НПП РУП «Стройтехнорм». – Минск, 2009. – Ч. 1 – 3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки.

Поступила 23.05.2012

#### ASSESSMENT OF SETTLEMENT OF STRENGTH CONCRETE STRUCTURES OPERATED BY THE METHOD OF DIFFERENT STANDARDS

A. KOLTUNOV, A. BAKATOVICH, V. LYMOREVA

*After numerous surveys during the company of modernizing of the milk - commodity farm, a planning phase of the reconstruction of the objects came. It's required to perform verification calculations to determine the need to strengthen the structures according to their actual state. Buildings, engineered by the requirements of the previous TNPA, should be checked with the current regulations. The comparative analysis of calculations of the reinforced concrete structures were held according to SNiP 2.03.01-84, SNB 5.03.01-02, TKP EN 1991-1-3-2009 in the present work. The major differences in the determination of the values of resistivity of concrete and rebar, as well as, changes in safety factors of stress were revealed. Also, differences in the determination of the normative values of snow loads were identified. Also, there were identified differences in the determination of the normative values of snow loads. The calculations were held according to presented methods with determination of safety factors for structural strength.*