

ные плиты, усиленные введением дополнительной арматуры в растянутой зоне и наращиванием поперечного сечения сжатой зоны элемента.

Метод позволяет оценить напряженно деформированное состояние элементов на всех стадиях загрузки, вплоть до разрушения, определить трещиностойкость элемента и рассчитать ширину раскрытия трещины при заданных усилиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лазовский Д.Н., Глухов Д.О. Алгоритмы расчета напряженно-деформированного состояния нормального сечения усиленного железобетонного элемента / Сборник научных трудов «Повышение качества строительных работ, материалов и проектных решений. Вып. 2» / Под ред. В.И.Микрина, М.А.Сенющенкова, А.В.Городкова, В.М.Кожухара. — Брянск: БГИТА, 2000.
2. Сидорович Е.М. Нелинейное деформирование, статическая и динамическая устойчивость пространственных систем. — Мн.: БГПА, 1999.- 200с.
3. Лазовский Д.Н., Глухов Д.О. Численный анализ расчетной модели нормального сечения проекта СНБ 2.03.01-98 / Совершенствование железобетонных конструкций, оценка их состояния и усиление: Сб. материалов респ. науч.-техн.

- конференции / Под ред. Т.М.Пецоляда. — Мн.: УП «Технопринт», 2001. — С.97. — ISBN 985-464-055-8.
4. Stroud A. Approximate Calculation of Multiple Integrals, — Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1972.
 5. Lyness J. AUG2-Integration Over a Triangle, Argonne National Laboratory Report. — ANL/MCS-TM-13, 1983.
 6. de Doncker E., Robinson I. An Algorithm for Automatic Integration Over a Triangle Using Nonlinear Extrapolation. — ACM Transaction on Math Software. — pp 1-16, 1984.
 7. Глухов Д.О. Непрерывность поверхности решений системы уравнений деформационной модели / Сборник научных трудов "Инженерные проблемы строительства и эксплуатации сооружений" / Под ред. Д.Н. Лазовского. — Мн.: УП "Технопринт", 2001. — С. 58-62. — ISBN 985-464-019-1, 2001.
 8. Александров А.В., Потанов В.Д., Державин Б.П. Соппротивление материалов: Учеб. для вузов. — 2-е изд. испр. — М.: Высш. шк., 2000. — 560с.: ил. — ISBN 5-06-003732-0.
 9. Лазовский Д.Н. Усиление железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений. — Новополоцк: Изд-во Полоцкого гос. ун-та, 1998. — 280с.: ил. — ISBN 985-418-039-5.

УДК 624.012

Тур В.В.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЙ И ИХ СОЧЕТАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО СНБ 5.03.01–2002

ВВЕДЕНИЕ

Как было показано в наших работах [6, 7], нормативные документы по проектированию бетонных и железобетонных конструкций [1, 2] обеспечивают надежность последних полувольерностными методами расчетов по предельным состояниям, использующими расчетные значения воздействий, расчетные характеристики бетона и арматуры. Расчетное условие метода предельных состояний имеет вид:

$$E_d \leq R_d ; \quad (1)$$

где E_d – расчетное значение эффекта от воздействия; R_d – расчетное значение предельного усилия (вектора предельных усилий), которое способна воспринимать конструкция. Расчетное значение эффекта от воздействия (например, внутреннего усилия или вектора внутренних усилий, вызванных действием внешней нагрузки) принято записывать в общем виде:

$$E_d = E \{ \gamma_{F,i}; F_{rep,i}; a_d \}, i \geq 1; \quad (2)$$

где a_d – расчетные значения геометрических характеристик; $\gamma_{F,i}$ – частный коэффициент безопасности для воздействия, учитывающий ошибки расчетной модели для определения эффекта от воздействия и его отклонения от репрезентативного значения $F_{rep,i} = \Psi_i \cdot F_{k,i}$; здесь F_k – нормативное значение воздействия (эффекта от воздействия); Ψ_i – коэффициент сочетания для воздействия.

Следует отметить, что при определении расчетных эффектов от воздействий СНБ 5.03.01 [1] содержат подходы, несколько отличающиеся от принятых в действующих СНиП [4]. С одной стороны – это изменение в сторону увеличения

значений коэффициентов безопасности для расчетных воздействий γ_F . Методы назначения коэффициентов безопасности γ_F для воздействий на базе статистического моделирования подробно рассмотрены в наших работах [6, 7]. С другой стороны – в СНБ 5.03.01 [1] приняты правила составления расчетных сочетаний (комбинаций) воздействий в соответствии с положениями EN 1990:2001 [3], что вводится впервые и требует некоторых пояснений.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В соответствии с требованиями норм [3], воздействия на элементы конструктивных систем классифицируют в зависимости от:

- 1). *источника их происхождения*: а) «прямые» воздействия или «нагрузка» – силы приложенные непосредственно к конструкциям и вызывающие в элементах напряжения и перемещения; б) «непрямые» или «косвенные» воздействия – реактивные силы, вызванные перемещениями связей, соединяющих конструктивные элементы, неравномерными осадками опор, собственными деформациями (например, температурно-усадочными) при их ограничении;
- 2). *изменения их величины во времени (продолжительности действия)*: а) *постоянные* воздействия (G), например, собственный вес конструкции; вес стационарного оборудования; непрямые воздействия, вызванные усадкой, кроме того, сохраняющиеся в конструкции усилия от предварительного напряжения следует учитывать в расчетах как усилия от постоянных нагрузок; б) *переменные* (или временные) воздействия (Q), например, полезная

Тур Виктор Владимирович. Д.т.н., профессор, проректор по научной работе, зав. каф. технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета. Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

нагрузка, действующая на конструкции перекрытий, кра-
новые, ветровые и снеговые нагрузки; в) *особые* (аварий-
ные) воздействия (A), вызванные, например, взрывным
воздействием, или нагрузки от столкновения транспорт-
ных средств с частями зданий и сооружений;

- 3). *изменения их положения в пространстве*: а) *стацио-
нарные* (неподвижные) воздействия; б) *нестационарные*
(подвижные) воздействия, вызывающие изменения в рас-
пределении усилий, например, подвижные эксплуатац-
онные нагрузки;
- 4). *физической природы*: статические и динамические.

Следует отметить, что п. 1.4 СНиП 2.01.07 [4] вводит
классификацию нагрузок только в зависимости от продолжи-
тельности их действия. При этом нагрузки, как и в случае EN
1990:2001 [3] подразделяются на постоянные и переменные
(временные). Однако, в отличие от норм [3], к временным
нагрузкам относят длительные, кратковременные и особые.
Как было показано выше в концепции EN 1990 [3] особые
нагрузки вынесены в отдельную классификационную группу.

Некоторые несоответствия между СНиП [4] и EN 1990 [3]
имеют место и при отнесении отдельных видов нагрузок к
классификационным подгруппам. Так, согласно п. 1.7 СНиП
нагрузки от стационарного оборудования следует причислять
к длительным (но, временным) нагрузкам, в то время как со-
гласно EN 1990 [3] они относятся к постоянным. Необходимо
отметить, что согласно концепции, принятой в EN 1990 [3]
деление временных (переменных) нагрузок на кратковремен-
ные и длительные не производится. Вместе с тем соответ-
ствующие доли переменных (временных) нагрузок учитыва-
ются в расчетных комбинациях исходя из вероятностных
подходов [3, 5] (см. раздел 3).

2. НОРМАТИВНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕ- НИЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Основными характеристиками постоянных и переменных
воздействий (нагрузок), установленных в нормах [3, 4], явля-
ются их нормативные значения. В соответствии с требова-
ниями норм [1, 3] нормативные значения постоянных воздей-
ствий (G_k) следует принимать пользуясь следующими пра-
вилами:

- если изменчивость постоянного воздействия G во време-
ни незначительна (т.е. коэффициент вариации составляет
 $0,05 \rightarrow 0,10$ в зависимости от типа конструкции), в расче-
тах используют одно нормативное значение G_k , числен-
но равное среднему значению \bar{G}_m . В этом случае нор-
мативные значения постоянных нагрузок принимают с
учетом указаний п. 2.1 СНиП 2.01.07 [4];
- если изменчивость постоянного воздействия G значительна
и ею нельзя пренебречь, в расчет вводится два нор-
мативных значения $G_{k,sup}$ и $G_{k,inf}$. Необходимо отметить,
что два нормативных значения постоянного воздействия
вводится в расчет и в том случае, если конструкция чув-
ствительна к изменению собственного веса (например, не-
которые большепролетные предварительно напряженные
конструкции), даже при незначительном коэффициенте
вариации. Верхнее $G_{k,sup}$ и нижнее $G_{k,inf}$ нормативные
значения постоянной нагрузки определяют используя
нормальный закон статистического распределения (Гаусса)
для величины постоянного воздействия G при обеспе-
ченности $0,95$ [3].

Определение нормативных значений переменных воздей-
ствий (Q_k) согласно [3, 5] связано с выявлением среднего
периода времени t_r между превышениями назначенного
уровня Q_k (см. рис. 1). Нормативным значением переменного
воздействия при данном подходе принято считать значение

Q , имеющее период не превышения t_r , связанный с норматив-
ным сроком службы объекта T_n следующей зависимостью:

$$t_r(Q_k) = \frac{1}{\ln\left(\frac{1}{p}\right)} T_n, \quad (3)$$

где T_n – нормативный срок службы объекта; p – вероятность
превышения переменной (временной) нагрузкой нормативно-
го значения переменного воздействия (нагрузки) Q_k в тече-
ние планируемого нормативного срока службы объекта.

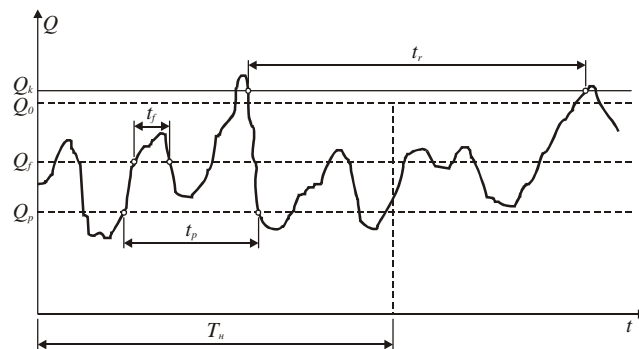


Рис. 1. К определению нормативной нагрузки Q_k и ее репре-
зентативных значений.

Так, принимая вероятность $p = 0,5$, получаем, что норма-
тивное значение переменной нагрузки Q_k является по суще-
ству медианой максимальной нагрузки в интервале времени
 T_n . Из зависимости (3) при $p = 0,5$ получаем $t_r(Q_k) = 1,44 \cdot T_n$,
т.е. временной горизонт, обеспечивающий достоверное про-
гнозирование нормативной нагрузки. Следует отметить, что
для случая, когда не известен закон статистического распре-
деления величины переменной нагрузки $\{Q\}$, в качестве нор-
мативного допускается принимать ее номинальное значение.

В соответствии с положениями, принятыми в СНБ 5.03.01
[1], нормативные значения переменных нагрузок следует
принимать по СНиП 2.01.07 [4]. При этом в расчет принима-
ют полные значения переменных (временных) нагрузок. Кро-
ме того СНБ 5.03.01 [1] допускает, что нормативные значения
переменных нагрузок (Q_k) могут быть назначены заказчиком
или проектировщиком по согласованию с заказчиком. В этом
случае принятые значения нормативных нагрузок не должны
превышать полных значений, установленных СНиП 2.01.07
[4].

Если в расчетах по методу предельных состояний учиты-
вается несколько переменных нагрузок, тогда помимо полных
нормативных значений переменных воздействий (Q_k) вводят
их *репрезентативные* значения F_{rep} , используемые при со-
ставлении расчетных сочетаний (комбинаций). Необходи-
мость выделения репрезентативных значений $F_{rep} = \psi_i \cdot F_k$
обусловлена тем, что часто при расчетах требуется учитывать
наиболее неблагоприятное для данной расчетной ситуации
суммарное влияние нескольких независимых переменных
воздействий (либо усилий, вызванных этими воздействиями),
одновременное появление которых характеризуется очень
малой вероятностью. В качестве репрезентативных значений
переменных воздействий, участвующих в расчетных комбина-
циях, принято рассматривать:

- *редкое* комбинационное значений Q_0 , используемое при
расчетах конструкций по первой группе предельных состо-
яний и при расчете необратимых состояний в эксплуатац-
онной стадии;

Таблица 1. Рекомендуемые значения коэффициентов Ψ_i для переменных воздействий

| № п/п | Нагрузка, воздействие | Значение коэффициента | | |
|-------|--|-----------------------|------------|-------------------|
| | | Ψ_0 | Ψ_1 | Ψ_2 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Временные нагрузки на перекрытия: | | | |
| 1.1 | Квартиры жилых зданий; спальные помещения детских дошкольных учреждений и школ-интернатов; жилые помещения домов отдыха и пансионатов, общежитий и гостиниц; палаты больниц и санаториев; террасы | 0,7 | 0,5 | 0,35 |
| 1.2 | Служебные помещения административного, инженерно-технического, научного персонала организаций и учреждений; классные помещения учреждений просвещения; бытовые помещения (гардеробные, душевые, умывальные, уборные) промышленных предприятий и общественных зданий и сооружений | 0,7 | 0,5 | 0,35 |
| 1.3 | Кабинеты и лаборатории учреждений здравоохранения, лаборатории учреждений просвещения, науки; помещения электронно-вычислительных машин; кухни общественных зданий; технические этажи; подвальные помещения | 0,7 | 0,5 | 0,5 |
| 1.4 | Залы: а) читальные; б) обеденные (в кафе, ресторанах, столовых); в) собраний и совещаний, ожидания, зрительные и концертные, спортивные; г) торговые, выставочные и экспозиционные | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| 1.5 | Книгохранилища, архивы | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| 1.6 | Сцены зрелищных предприятий | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| 1.7 | Трибуны: а) с закрепленными сидениями; б) для стоящих зрителей | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| 1.8 | Чердачные помещения | 0,7 | 0,5 | 0 |
| 1.9 | Покрытия на участках: а) с возможным скоплением людей (выходящих из производственных помещений, залов, аудиторий и т.п.); б) используемых для отдыха; в) прочих | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| 1.10 | Балконы (лоджии) | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| 1.11 | Участки обслуживания и ремонта оборудования в производственных помещениях | 0,7 | 0,5 | 0 |
| 1.12 | Вестибули, фойе, коридоры, лестницы (с относящимися к ним проходам), примыкающие к помещениям, указанным в позициях а) 1, 2 и 3; б) 4, 5, 6 и 11; в) 7 | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| 1.13 | Перроны вокзалов | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| 1.14 | Помещения для скота | 0,5 | 0,5 | 0,3 |
| 1.15 | Складские помещения | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| 1.16 | Транспортные проезды при а) весе транспортного средства не более 30 кН; б) то же более 30 кН но менее 160 кН; | 0,7 0,7 | 0,7 0,5 | 0,6 0,3 |
| 2 | Снеговая нагрузка | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| 3 | Ветровая нагрузка | 0,6 | 0,2 | 0 |
| 4 | Температурное воздействие (за исключением пожара) | 0,6 | 0,5 | 0 |
| 5 | Другие, включая крановые а) для групп режимов кранов 4К–6К ^{*)} б) то же для 7К в) то же для 8К | 0,8 | 0,7 | 0,5 0,6 0,7 |
| 6 | Крыши | 0 | 0 | 0 |

*) Группы режимов работы кранов по ГОСТ 25546

– **частое** комбинационное значение Q_f , используемое при расчетах по первой группе предельных состояний при наличии особых воздействий;

– **практически постоянное** (длительно действующее) значение Q_p , используемое при расчетах по первой группе предельных состояний для комбинаций, включающих особое воздействие, и при расчетах с учетом длительных эффектов (усадки и ползучести бетона).

Таблица 2. Значения частных коэффициентов безопасности γ_F для нагрузок

| Эффект от воздействия | Вид нагрузки | Постоянная G_k, γ_G | Переменная нагрузка Q_k, γ_Q | |
|-----------------------|--------------|----------------------------|--|---|
| | | | одна из временных нагрузок с нормативным значением | остальные с их комбинационными значениями |
| неблагоприятный | | 1,35 | 1,50 | 1,50 |
| благоприятный | | 1,00 | 0 | 0 |

Примечания: 1. Значения коэффициентов γ_F для веса стационарного оборудования принимать по СНиП 2.07.01.
 2. Значения коэффициента γ_Q для крановых нагрузок принимать в зависимости от режима работы крана по СНиП 2.01.07, но не менее указанных в табл. 2.
 3. При определении расчетных значений постоянных нагрузок от собственного веса конструкций заводского изготовления при обеспеченной системе контроля качества допускается принимать $\gamma_G = 1,15$.

Таблица 3. Значения частных коэффициентов безопасности γ_F для нагрузок при проверке условий статического равновесия против опрокидывания

| Нагрузки | Частный коэффициент безопасности γ_F | |
|--|---|-------------------|
| | основная комбинация | особая комбинация |
| а) постоянные (собственный вес конструкции или ее элементов, напор воды, давление грунта) при эффекте: | | |
| • неблагоприятном | 1,1 | 1,0 |
| • благоприятном | 0,9 | 1,0 |
| б) временные при эффекте: | | |
| • неблагоприятном | 1,5 | 1,0 |
| • благоприятном | 0 | 0 |
| в) особые | – | 1,0 |

Редкие комбинационные значения переменных воздействий Q_0 определяют на базе статистического моделирования согласно положений, изложенных в [3]. Основой определения репрезентативных значений переменных нагрузок, включаемых в расчетные сочетания (комбинации) при расчетах по второй группе предельных состояний, является т.н. коэффициент относительной продолжительности превышения (см. рис. 1), определяемый:

- для частого комбинационного значений – $c_f = \sum \frac{t_f}{T}$;
- для практически постоянного (длительно действующего) значения – $c_p = \sum \frac{t_p}{T}$.

Так, принимая согласно [3] для конструкций зданий $c_f \approx 0,01$ и $c_p \approx 0,5$ для планируемого нормативного срока эксплуатации $T_n = 80$ лет, нормативная нагрузка Q_k определяется значением, появляющимся в среднем 1 раз в 115 лет ($1,44 \times 80$), частое значение Q_f будет превышено в общей сложности в течение 0,8 лет ($0,01 \times 80$), а продолжительность превышения практически постоянных (длительно действующих) значений Q_p составит 40 лет ($80 \times 0,5$). На практике представленные репрезентативные значения переменных воздействий (нагрузок) выражают в долях от полного нормативного значения Q_k при помощи системы коэффициентов ψ_i :

- а) редкое комбинационное значение в виде произведения $\psi_0 \cdot Q_k$;
- б) частое комбинационное значение – $\psi_1 \cdot Q_k$;
- в) практически постоянное (длительно действующее) значение – $\psi_2 \cdot Q_k$.

Значения коэффициентов ψ_0, ψ_1, ψ_2 определяют на базе статистического моделирования согласно [3, 5, 7], а их реко-

мендуемые значения для различных переменных воздействий, включенные в СНБ 5.03.01 [1], содержатся в табл. 1.

Следует отметить, что в представленном виде (см. табл.

1) значения коэффициентов ψ_i в СНиП 2.01.07 [4] не содержатся. Вместе с тем, аналогом коэффициента ψ_0 является коэффициент сочетаний ψ_1 согласно п. 1.12 СНиП 2.01.07 [4], а комбинационного коэффициента ψ_2 – коэффициент, определяющий долю длительно действующей временной нагрузки в ее полном значении согласно п. 1.7 [4].

Расчетные значения воздействий F_d определяют путем умножения их нормативного значения F_k на частный коэффициент безопасности по нагрузке γ_F :

$$F_d = F_k \cdot \gamma_F, \tag{4}$$

что выражается для

- постоянных нагрузок произведением $G_d = \gamma_G \cdot G_k$; $\tag{5}$

- переменных нагрузок $Q_d = \gamma_Q \cdot Q_k$ или $Q_d = \gamma_Q \cdot \psi_i \cdot Q_k$; $\tag{6}$

- особых нагрузок (если непосредственно A_d не установлено) $A_d = \gamma_A \cdot A_k$. $\tag{7}$

Значения частных коэффициентов безопасности γ_G и γ_Q для определения расчетных значений воздействий при расчетах по первой группе предельных состояний представлены в табл. 2 и 3.

Значения частных коэффициентов безопасности γ_F , представленные в табл. 2 и 3, получены с использованием статистического моделирования для заданного класса надежности конструкций RC-2, проектируемых по СНБ 5.03.01 [1]. Подробно вопросы, связанные с калировкой коэффициентов безопасности по нагрузке γ_F , рассмотрены в наших работах [6, 7].

Таблица 4. Расчетные значения нагрузок, используемых в основной и особой комбинациях

| Расчетная комбинация | Постоянная нагрузка G_d | Переменные нагрузки | | Особые нагрузки |
|----------------------|---------------------------|--|--|------------------|
| | | доминирующая со своими нормативными значениями | остальные со своими комбинационными значениями | |
| Основная | $\gamma_G G_k$ | $\gamma_Q Q_k$ | $\psi_0 \gamma_Q Q_k$ | – |
| Особая | $\gamma_{GA} G_k$ | $\psi_1 Q_k$ | $\psi_2 Q_k$ | $\gamma_A A_k^*$ |

*Если непосредственно не установлено значение A_d .

$$\underbrace{\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}}_{\text{все постоянные воздействия}} \ll + \gg \underbrace{\gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}}_{\text{доминирующее переменное воздействие}} \ll + \gg \underbrace{\gamma_{Q,2} \cdot \psi_{0,2} \cdot Q_{k,2}}_{\text{следующее за ним переменное воздействие на комбинационном уровне}} \ll + \gg \underbrace{\sum_{i=3}^n \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}}_{\text{длительные части сопутствующих переменных воздействий}} \quad (11)$$

Если результаты расчета в значительной мере зависят от величины постоянного воздействия, действующего на различных участках конструкции, наиболее неблагоприятное и благоприятные части этого воздействия следует рассматривать как отдельные воздействия. Это касается главным образом проверки условий статического равновесия против опрокидывания. На рис. 2 показана расчетная схема распределения постоянных и временных нагрузок при проверке возможности отрыва опоры В неразрезной балки с консольным участком.

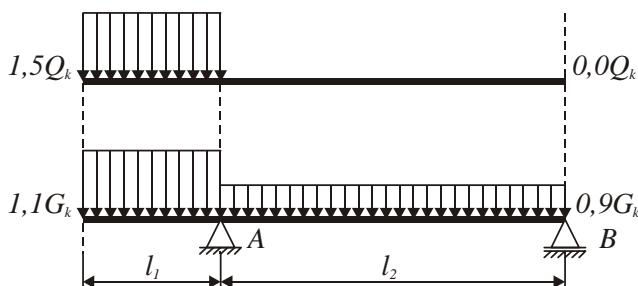


Рис. 2. Схема распределения постоянных (G_k) и временных (Q_k) нагрузок при проверке возможности отрыва опоры В

Постоянная нагрузка в пролете А–В, повышающая устойчивость балки и создающая благоприятный эффект, принята согласно табл. 3 с пониженным значением коэффициента $\gamma_G = 0,9$, а временная с $\gamma_Q = 0,0$. В то же время для нагрузок, действующих на консольном участке балки приняты $\gamma_G = 1,1$ и $\gamma_Q = 1,5$.

3. РАСЧЕТНЫЕ КОМБИНАЦИИ (СОЧЕТАНИЯ) ВОЗДЕЙСТВИЙ

В соответствии с п. 1.10 СНИП 2.01.07 [4] расчет конструкций по предельным состояниям первой и второй групп

следует выполнять с учетом наиболее неблагоприятных сочетаний *нагрузок* или *соответствующих им усилий*. Эти сочетания устанавливаются из анализа реальных вариантов одновременного действия различных воздействий для рассматриваемой стадии работы конструкции с учетом возможности появления различных схем приложения временных нагрузок или при отсутствии некоторых из них.

В общем случае при расчете по *первой группе предельных состояний* расчетное значение эффекта от внешнего воздействия в условии (1) может быть записано с учетом репрезентативных значений переменных нагрузок:

$$E_d = E \{ \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}; \gamma_p \cdot P; \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \}; \quad j \geq 1; i > 1. \quad (8)$$

Основная комбинация воздействий, приведенная в скобках (см. табл. 4), используется при расчете конструкций при постоянных и переходных (временных) расчетных ситуациях, за исключением расчетов на действие многократно повторяющихся нагрузок или при расчете конструкций на действие усилия предварительного напряжения в стадии изготовления и может быть записана в следующем виде:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (9)$$

Особая комбинация, включающая особое воздействие

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} + A_d + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (10)$$

В выражениях (9) и (10): $G_{k,j}$ – нормативные значения постоянных воздействия по СНИП 2.01.07 [4]; $Q_{k,1}$ – нормативное значение доминирующего переменного воздействия по СНИП 2.01.07 [4]; $Q_{k,i}$ – нормативные значения сопутствующих переменных воздействий по СНИП 2.01.07 [4]; A_d – расчетное значение особого воздействия; $\gamma_{G,j}$ – частный коэффициент безопасности для постоянных воздействий по табл. 2; $\gamma_{GA,j}$ – то же для особой комбинации; $\gamma_{Q,i}$ – то же для пере-

Таблица 5. Расчетные комбинации воздействий при расчете конструкций по предельным состояниям второй группы

| Расчетная комбинация | Постоянные воздействия G при эффекте | | Переменные воздействия Q | |
|--|--|---------------|----------------------------|----------------------------|
| | неблагоприятном | благоприятном | доминирующее | другие |
| Нормативная (редкая) | $G_{kj,sup}$ | $G_{kj,inf}$ | $Q_{k,1}$ | $\psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$ |
| Частая | $G_{kj,sup}$ | $G_{kj,inf}$ | $\psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}$ | $\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$ |
| Практически постоянная (длительно действующая) | $G_{kj,sup}$ | $G_{kj,inf}$ | $\psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}$ | $\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$ |

Таблица П-1. Расчетные усилия в сечении IV стойки по оси А от каждого вида загрузки согласно [8]

| Расчетное сечение (см. рис. П-1) | Усилие | | Постоянная нагрузка | Переменные (временные) нагрузки | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------|--|--|--------------|--------------|----------|--------|-----|
| | | | | Снеговая | Крановые | | | | | Ветровая | | |
| | | | | | D^{max} по оси А | D^{max} по оси Б, пролет АБ (см. рис. П-1) | D^{max} по оси Б, пролет БВ (см. рис. П-1) | T по оси А | T по оси Б | слева | справа | |
| № нагружения | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| IV | M_{Sd} , кН·м | $\gamma_F > 1,0$ | -53,0 | +21,0 | +55,0 | -33,2 | +46,5 | ±102,0 | ±19,1 | +350,0 | -327,2 | |
| | | $\gamma_F = 1,0$ | -48,2 | +15,1 | +45,9 | -27,7 | +38,8 | ±85,0 | ±15,9 | +292,0 | -273,0 | |
| | N_{Sd} , кН | $\gamma_F > 1,0$ | 1328,0 | 202,0 | 965,0 | 291,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | | $\gamma_F = 1,0$ | 1207,0 | 144,0 | 805,0 | 242,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Примечание: В знаменателе приведены значения усилий при $\gamma_F = 1,0$

Таблица П-2. Расчетные усилия в сечении IV колонны по оси А

| Сечение | Усилие | Расчетные усилия | | |
|---------------|-----------------|---|---|---|
| | | Основная комбинация, включающая две и более переменных (временных) нагрузки | | |
| | | $M_{Sd}^{max} \leftrightarrow N_{Sd}^{cooms}$ | $M_{Sd}^{min} \leftrightarrow N_{Sd}^{cooms}$ | $N_{Sd}^{max} \leftrightarrow M_{Sd}^{cooms}$ |
| IV (рис. П-1) | Сочетание | 1 + 2 + 3 + 6 + 8 | 1 + 3 + 6 + 9 | 1 + 2 + 3 + 6 + 9 |
| | M_{Sd} , кН·м | 422,2 | -380,0 | -361,1 |
| | | 441,92 | -359,78 | -321,23 |
| | N_{Sd} , кН | 2379,0 | 2197,0 | 2379,0 |
| 2746,75 | | 2595,6 | 2746,75 | |

Примечание: В числителе расчетные усилия с $\psi_I = 0,9$ (по СНиП 2.01.07 [4]), в знаменателе – основная комбинация по СНБ 5.03.01 [1].

менных воздействий по табл. 2; Ψ_0, Ψ_1, Ψ_2 – коэффициенты, принимаемые по табл. 1.

Следует отметить, что знак «+» и суммы «Σ» в выражениях (9) и (10) условны и обозначают, что к конструкции следует одновременно приложить все нагрузки, входящие в расчетное сочетание. При этом действует общее правило составления сочетаний (комбинирования) нагрузок, в соответствии с которым необходимо получить наиболее неблагоприятный эффект для рассматриваемого предельного состояния конструкции.

В качестве доминирующего переменного воздействия следует рассматривать не обязательно воздействие большее по величине, а характеризующее большей продолжительностью (периодом) действия в процессе эксплуатации. При этом, если в расчетное сочетание входят коррелируемые нагрузки (например, давление и торможение крана), в выражении (9) может быть принято два доминирующих воздействия с полными нормативными значениями, а остальные сопутствующие переменные нагрузки вводятся со своими комбинационными значениями. В некоторых случаях выражение (9) записывают в следующем виде (11).

Следует отметить, что запись выражения (11) обоснована тем, что учет оставшихся переменных воздействий (при $i > 2$) на комбинационном уровне с Ψ_0 не имеет особого смысла, так как вероятность совпадения трех редких событий достаточно мала.

Как следует из выражения (1) в особой комбинации переменные нагрузки участвуют с коэффициентом безопасности по нагрузке $\gamma_F = 1$. Это обусловлено тем, что особое воздействие – событие катастрофического характера – является столь редким, что прочность конструкции допускается проверять при пониженном запасе безопасности. Вместе с тем, в особой комбинации всегда участвует совместно с постоянным

воздействием G_k практически постоянные (длительно действующие) части $\Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$ переменных воздействий.

При расчете конструкций по предельным состояниям второй группы рассматриваются следующие комбинации воздействий (см. табл. 5):

– **нормативная** или **редкая** комбинация, применяемая для расчета в том случае, когда в эксплуатационной стадии конструкция переходит в необратимое состояние:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}; \quad (12)$$

– **частая** комбинация, когда в эксплуатационной стадии состояние конструкции является обратимым:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}; \quad (13)$$

– **практически постоянная** или длительно действующая комбинация, применяемая в том случае, когда в расчетах учитываются длительные процессы (усадка и ползучесть бетона):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}. \quad (14)$$

При расчете конструкций зданий нормативная (редкая) комбинация воздействий может быть упрощена следующим образом:

– для расчетных ситуаций, когда действует одна временная нагрузка $Q_{k,1}$:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1}; \quad (15)$$

– когда действуют две или более временных нагрузки $Q_{k,i}$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} Q_{k,i}. \quad (16)$$

Принятые комбинации воздействий применяются для проверки соответствующих предельных состояний второй группы. Так, согласно СНБ 5.03.01 [1] проверка ширины раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента, в железобетонных конструкциях производится при практически постоянной комбинации нагрузок, а предварительно напряженных элементов – используя частую комбинацию. Практически постоянная (длительно действующая) комбинация нагрузок используется также согласно п. 10.7 СНиП 2.01.07 [4] для проверки прогибов конструкций зданий (балок, ферм, ригелей, прогонов, плит, настилов) исходя из предъявляемых к ним эстетико-психологических требований.

Пример расчета

В качестве примера рассмотрим составление комбинаций расчетных усилий при проектировании стойки по оси А двухпролетной рамы поперечника одноэтажного промышленного здания (см. рис. П-1). Исходные данные для статического расчета и значения расчетных усилий приняты по данным примера 6.4 [8]. Полученные в примере 6.4 [8] результаты статического расчета рамы для каждого вида загрузки (постоянные нагрузки, ветровая, снеговая, крановые нагрузки) представлены в табл. П-1, а расчетные усилия для сечения IV крайней колонны по оси А – в табл. П-2.

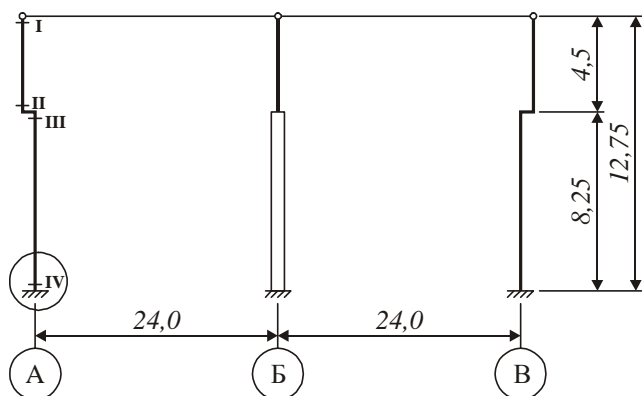


Рис. П-1. Расчетная схема двухпролетной рамы промышленного здания (исходные данные в примере 6.4 [8])

Согласно п. 1.10 СНиП 2.01.07 [4] выполняем расчетные сочетания не воздействий, а усилий, вызванных этими воздействиями.

При расчете по первой группе предельных состояний основная комбинация усилий имеет вид:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Принимаем согласно табл. 2 для постоянной нагрузки $\gamma_G = 1,15$ (для конструкций заводского изготовления), $\gamma_Q = 1,5$. Комбинационные коэффициенты по табл. 1:

- для снеговой нагрузки $\psi_0 = 0,7$;
- для ветровой нагрузки $\psi_0 = 0,6$;

УДК 331.04

Ивасюк П.П., Ивасюк Ю.П.

СНИЖЕНИЕ ШУМА ПРИ РАБОТЕ СВАЕБОЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.

Охрана окружающей среды – важнейшая проблема современности. Неотъемлемой частью охраны окружающей среды является борьба с шумом на производстве и в быту. Как показали исследования [2], 78% невралгических заболеваний в

– для крановой нагрузки (средний режим работы крана) $\psi_0 = 0,8$.

В качестве доминирующих приняты усилия от крановых нагрузок, учитывая то обстоятельство, что суммарный период их действия T_I в течение срока эксплуатации является максимальным. Кроме того принято во внимание, что усилия, вызванные давлением D^{max} и торможением T крана, являются коррелируемыми и учитываются совместно (при $\psi_0 = 1,0$).

Для основной расчетной комбинации (см. табл. 4) получено:

| | |
|---|---|
| 1 | 1 + 2 + 3 + 6 + 8 |
| | $M_{Sd}^{max} = -48,2 \cdot 1,15 + 15,1 \cdot 1,5 \cdot 0,7 + 1,5 \cdot (45,9 + 85) + 0,6 \cdot 292 \cdot 1,5 = 441,92$ кН·м |
| | $N_{Sd}^{coome} = 1207 \cdot 1,15 + 144 \cdot 1,5 \cdot 0,7 + 1,5 \cdot (805 + 0) + 0,6 \cdot 0 \cdot 1,15 = 2746,75$ кН |
| 2 | 1 + 3 + 6 + 9 |
| | $M_{Sd}^{min} = -48,2 \cdot 1,15 + 45,9 \cdot 1,5 - 85 \cdot 1,5 - 273 \cdot 0,6 \cdot 1,5 = -359,78$ кН·м |
| | $N_{Sd}^{coome} = 1207 \cdot 1,15 + 805 \cdot 1,5 + 0 + 0 = 2595,6$ кН |
| 3 | 1 + 2 + 3 + 6 + 9 |
| | $M_{Sd}^{coome} = -48,2 \cdot 1,15 + 15,1 \cdot 1,5 \cdot 0,7 + 1,5 \cdot (45,9 - 85) - 273 \cdot 0,6 \cdot 1,5 = -321,23$ кН·м |
| | $N_{Sd}^{max} = 1207 \cdot 1,15 + 144 \cdot 1,5 \cdot 0,7 + 1,5 \cdot (805 + 0) = 2746,75$ кН |

Результаты расчетов усилий по сравнению с усилиями, полученными в сочетаниях при $\psi_I = 0,9$ (согласно СНиП 2.01.07 [4]), представлены в табл. П-2.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНБ 5.03.01-02 «Бетонные и железобетонные конструкции». – Минск, 217 с.
2. EN 1992-1:2001 (Final Draft, October 2001) Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for building. – Brussels – 2001, October – 230 p.
3. EN 1990:2001 Eurocode 1: Basis of structural design.
4. СНиП 2.01.07 «Нагрузки и воздействия»// Госстрой СССР. – М.: ЦИТП СССР, 1985 – 79 с (с дополн. Гл. 10).
5. ISO 2394 General principles of reliability for structures.
6. Пецольд Т.М., Тур В.В., Рак Н.А. и др. Обеспечение требований безопасности при проектировании железобетонных конструкций по нормам СНБ 5.03.01 «Бетонные и железобетонные конструкции»// Вестник БГТУ. Строительство и архитектура, № 1, 2002 – с. 49–55.
7. Пецольд Т.М., Тур В.В. Новые нормы проектирования бетонных и железобетонных конструкций СНБ 5.03.01-02. – Архитектура и строительство. – № 5, 2002 – с. 17–19.
8. Дрозд Я.И., Пастушков Г.Н. Предварительно напряженные железобетонные конструкции. – Мн.: Вышэйшая школа, 1984 – 208 с.

Ивасюк Петр Петрович. Доцент каф. технологии строительного производства БГТУ.

Ивасюк Петр Петрович. Доцент каф. технологии строительного производства БГТУ.

Беларусь, Брестский государственный технический университет, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.