



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2014, ТОМ 20, НОМЕР 2, 109–117

УДК 69.059.4

(14)-0311-1

ВІДНОСНО ОДНІЄЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

А. В. Перельмутер^a, С. Ф. Пічугин^b

^a SCAD Soft Ltd.,

3-а, вул. Освіти, м. Київ, Україна, 03037.

E-mail: avp@scadsoft.com

^b Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,

24, пр. Першотроєвській, м. Полтава, Україна, 36011.

E-mail: pichugin_sf@mail.ru

Отримана 24 лютого 2014; прийнята 25 квітня 2014.

Анотація. Діючий метод розрахунку конструкцій за граничними станами не враховує всі стани конструкції, крім граничних, по відношенню до яких і формулюються розрахункові вимоги до об'єкта. Дана робота фіксує увагу на тому, що завжди існує можливість реалізації деякого непередбаченого ні нормативними документами, ні прогнозом проектувальника випадкового впливу на об'єкт проектування. Пропонується нова тимчасова характеристика, названа «мобілізованість», що показує, наскільки система здатна зреагувати на локальне в часі (імпульсний) несподіване обурення. Відсутність мобілізованості конструкції повинно бути приводом до підвищеної уваги та використання захисних заходів, основою яких мають стати непрямі заходи попереджувального характеру, такі як посилений контроль або конструктивні рішення. За запобіжну мобілізованість пропонується прийняти величину, отриману множенням індексу надійності (числа стандартів, що відокремлюють середнє значення навантаження від його розрахункового значення) на відношення проміжку часу між викидами навантажувального процесу за рівень розрахункового значення і розрахункового терміну експлуатації споруди.

Ключові слова: випадкове навантаження, викид за розрахунковий рівень, надійність.

ОБ ОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

А. В. Перельмутер^a, С. Ф. Пичугин^b

^a SCAD Soft Ltd.,

3-а, ул. Просвещения, г. Киев, Украина, 03037.

E-mail: avp@scadsoft.com

^b Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка,

24, пр. Первомайский, г. Полтава, Украина, 36011.

E-mail: pichugin_sf@mail.ru

Получена 24 февраля 2014; принята 25 апреля 2014.

Аннотация. Действующий метод расчета конструкций по предельным состояниям не учитывает все состояния конструкции, кроме предельных, по отношению к которым и формулируются расчетные требования к объекту. Настоящая работа фиксирует внимание на том, что всегда существует возможность реализации некоторого непредусмотренного ни нормативными документами, ни прогнозом проектировщика случайного воздействия на объект проектирования. Предлагается новая временная характеристика, названная «мобилизованностью», показывающая, насколько система способна среагировать на локальное во времени (импульсное) неожиданное возмущение. Отсутствие мобилизованности конструкции должно служить поводом к повышенному вниманию и использованию защитных мероприятий, основой которых должны стать косвенные меры предупредительного характера, такие как усиленный

контроль или конструктивные решения. В качестве меры мобилизованности предлагается принять величину, полученную умножением индекса надежности (числа стандартов, отделяющих среднее значение нагрузки от ее расчетного значения) на отношение промежутка времени между выбросами нагрузочного процесса за уровень расчетного значения и расчетного срока эксплуатации сооружения.

Ключевые слова: случайная нагрузка, выброс за расчетный уровень, надежность.

ABOUT ONE CHARACTERISTIC OF BUILDING OBJECTS RELIABILITY

Anatoly Perelmuter ^a, Sergey Pichugin ^b

^a SCAD Soft Ltd.,

3-a, Osvity Str., Kyev, Ukraine, 03037.

E-mail: avp@scadsoft.com

^b Poltava National Technical University named of honor Yuri Kondratyuk,

24, Pershotrtavnevy Av., Poltava, Ukraine, 36011.

E-mail: pichugin_sf@mail.ru

Received 24 February 2014; accepted 25 April 2014.

Abstract. Functional limit-state design of construction does not take into account all structural states, besides limit-states. Design requirement to the object is represented in regard to these limit states. Real work fixes eyes on feasibility of some unexpected neither normative documents nor designer forecast random action on design object. The special measure of the indicated quality of structure, named mobilization, demonstrated, as much as the system can respond on local action, unexpected dithering in time, is suggested. Immobility of construction has to cause to heightened level of awareness and the usage of protection measures, dependent measures of warning principles, such as tighten control or structural concept, have to be their basis. It has been suggested to take amount, found out by multiplying of reliability index on rate of time scale between flood-back of load process as level of design value and expected useful life of construction.

Keywords: random load, outliers for a calculation level, reliability.

1. Развитие философии обеспечения безопасности проектируемых зданий и сооружений в своем основном русле проходит под лозунгом все более детального прогнозирования работы конструкций, изучения природы действующих на эти сооружения нагрузок, более отчетливого описания требований к конструктивной форме и условий выполнения таких требований. Важной вехой на этом пути был переход к методу расчетных предельных состояний.

Метод расчетных предельных состояний был введен в СССР в качестве руководящего прин-

ципа расчетов строительных конструкций с 1 января 1955 года при утверждении первого издания Строительных норм и правил. В дальнейшем расчет по предельным состояниям завоевал широкое признание во всем мире и в настоящее время он положен в основу большинства международных и национальных стандартов по проектированию ¹, в частности в системе Еврокодов, где он получил название «метод частных коэффициентов надежности» [9].

Два названия — «метод предельных состояний» и «метод частных коэффициентов надежности» —

¹ Внедрение этого метода за рубежом растянулось на десятки лет и очень трудно объяснить это простым незнанием. Можно предположить, что основную роль здесь сыграло отсутствие в середине 50-х годов необходимого статистического материала для обоснования значений частных коэффициентов надежности (об этом честно говорили авторы метода, но полагались при этом на будущие исследования). Это не давало возможностей в западных странах, где не принята командная система внедрения новшеств, убедить инженерную общественность в необходимости срочной смены подхода к проектированию.

отражают наиболее существенные стороны метода, при этом каждая из этих сторон имеет определенную независимость.

Если рассматривать метод с точки зрения использования предельных состояний, то нужно помнить, что в основе метода лежит идея отказа от детального анализа всех состояний конструкции, кроме предельных, по отношению к которым и формулируются расчетные требования к объекту. Такой подход, кроме известных преимуществ, обладает и серьезным недостатком. Например, запроектировав конструкцию так, чтобы с определенной степенью уверенности можно было говорить, что в течение всего срока службы условие прочности не будет нарушено, мы почти ничего не можем сказать о том, какой уровень фактических напряжений будет соответствовать нормальному (непредельному) состоянию при наиболее часто реализуемых условиях эксплуатации.

Например, нормы проектирования железобетонных конструкций построены на идее рассмотрения предельного состояния сечения, когда вследствие пластической деформации арматуры достигли предельного значения и сжимающие напряжения в бетоне [4]. Но в нормальных условиях эта гипотеза А. Ф. Лоллейта не выполняется и реализуется совершенно другая картина напряженного состояния. Именно она должна быть положена в основу изучения таких, например, реологических процессов, как ползучесть.

Наиболее часто реализуемые условия эксплуатации чаще всего определяют и долговечность конструкции. И с точки зрения предельного анализа могут оказаться почти равноправными конструкция плотины, обычный уровень нагружения которой не очень далек от предельно допустимого (например, он составляет 80 % расчетного), и конструкция дымовой трубы, у которой появление расчетной нагрузки является весьма редким событием, а обычное нагружение соответствует, например, 15 % расчетного.

Если же фиксировать внимание на системе частных коэффициентов надежности, то увидим, что произошла замена одного общего коэффициента запаса производением нескольких (частных) коэффициентов, каждый из которых связан с определенной стороной проблемы безопасности — характером нагрузки, свойствами мате-

риала, степенью ответственности объекта и т. п. Именно детализация в применении комбинации частных коэффициентов надежности обеспечивает (точнее, должна обеспечивать) ситуацию равной вероятности реализации предельного состояния рассмотренных выше двух объектов, обычное состояние которых резко отличается степенью близости к предельному.

Но и здесь имеется определенная неувязка, поскольку мы можем полагаться на равнонадежность только по отношению к тем факторам (например, внешним воздействиям), которые были приняты во внимание при проектировании и статистические характеристики которых использованы при назначении расчетных коэффициентов метода. И в случае некоторого не предусмотренного проектом (и нормами) случайного возмущения вероятность исчерпания 20 % запаса в первом случае намного выше, чем исчерпание 85 % запаса во втором.

Отметим также, что расчет по методу предельных состояний, будучи по форме детерминистическим, не учитывает в явном виде фактор времени и не демонстрирует обеспеченный им уровень надежности (хотя некоторые его параметры имеют вероятностное обоснование и метод носит также название «полупробабалистический»).

2. Настоящая работа фиксирует внимание именно на том, что помимо четко предсказуемых нагрузок и воздействий всегда существует возможность реализации некоторого непредусмотренного ни нормативными документами, ни прогнозом проектировщика случайного воздействия на объект проектирования. Причем в этом контексте понятие «воздействие» понимается очень широко и включает в себя такие, например, события, как грубый брак, ошибка персонала, необычное для данной местности природное явление и т. п., одним словом, всяческие *сюрпризы*, которые ведут к *существенным последствиям*. Эти воздействия, безусловно, не являются массовыми и поэтому невозможен их статистический анализ, а также учет их влияния в вероятностном анализе надежности. Единственная правдоподобная гипотеза вероятностного типа состоит в том, что их реализация равновероятна в течение времени и что они являются весьма редкими явлениями. Американский экономист Nicolas Nassim Taleb [10] назвал подобные события

«черными лебедями»². И с точки зрения этих сюрпризных событий важной характеристикой объекта проектирования является его уязвимость.

Уязвимость — это параметр, характеризующий возможность нанесения рассматриваемой системе повреждений любой природы теми или иными внешними средствами или факторами. Уязвимость неразрывно связана с известной характеристикой «живучесть» и с дополнительно предлагаемой характеристикой — «мобилизованность».

Если, как обычно считается, живучесть является в некотором смысле пространственной характеристикой, показывающей, как локальное возмущение распространяется по пространству системы и может ли это локальное разрушение получить непропорционально большое развитие «вширь», то в качестве мобилизованности будем рассматривать временную характеристику, показывающую насколько система готова и способна среагировать на локальное во времени (импульсное) неожиданное возмущение. В обоих случаях возмущение может быть достаточно сильным, чтобы было необходимо считаться с его последствиями, а природа его такова, что предсказать момент и место появления, а также другие количественные характеристики не представляется возможным. Воздействия такого типа в Еврокоде-1–7 [2, 9] относятся к категории неустановленных (*unidentified actions*).

Заметное отсутствие мобилизованности конструкции, как и недостаточная живучесть, должны служить поводом к повышенному вниманию и использованию некоторых защитных мероприятий. Можно, конечно, повысить уровень прямой защиты такой конструкции, вводя некоторые дополнительные коэффициенты надежности, которые уже точно, как было принято говорить в прошлом веке, следует называть коэффициентами незнания, но вряд ли такой путь является продуктивным. Все же основой стратегии защиты должны стать косвенные меры предупредительного характера, такие как усиленный контроль, или же конструктивные решения.

Из малой вероятности реализации возможного возмущения следует, что проверке подлежит поведение конструкции, на которую действуют только постоянные нагрузки и некоторая наиболее вероятная часть временных нагрузок (например, их средние значения), и оценивать уровень мобилизованности конструкции именно в таком состоянии. Так, в производственных зданиях усилия в колоннах, вызванные постоянными и длительными нагрузками, редко превышают 15–20 %, и поэтому даже вывод колонны из строя (например, вследствие террористического акта) не обязательно должен привести к обрушению всего здания, поскольку при хорошей пространственной развязке двадцатипроцентную нагрузку вместо выбывшего из строя элемента способны нести соседние элементы каркаса. А в офисных, жилых и общественных зданиях усилия от собственного веса несущих и ограждающих конструкций, а также от действия длительной части полезных нагрузок составляют 70–80 % от уровня несущей способности и здесь уже трудно ожидать такого же эффекта.

Поэтому вызывают определенные сомнения слова из статьи [3] «В годы войны отступающие войска фашистов, пытаясь уничтожить наш промышленный потенциал, подрывали колонну громадного цеха, и, оглядываясь назад, с удивлением видели, что он не падает... Сейчас с экранов телевизоров нас убеждают в том, что если одна колонна упадет, то и все здание обязано упасть. Если это так, то такое здание должно стоять вдали от людей с часовым у ворот, который никого бы в него не впускал, кроме авторов проекта». Думаю, что с этим мнением вряд ли согласятся те, кто видел результаты подрыва жилых домов в Москве или в Волгодонске.

Следует заметить, что различия в мобилизованности могут никак не сказаться на вероятности отказа конструкции, если иметь в виду только те воздействия, которые прямо учтены проектом. Действительно, легко себе представить (рис. 1), что если на две конструкции действуют нагрузки с различными значениями

² Ювенал говорил: «*gala avis in terris nigroque simillima cygno*» (лат.) — «хороший человек так же редок, как чёрный лебедь», поскольку существовала гипотеза о том, что все лебеди белые. Это было верно, пока в 1700 г. не был обнаружен чёрный австралийский лебедь...

математических ожиданий \bar{q}_1 и $\bar{q}_2 < \bar{q}_1$, но среднеквадратичные отклонения у них таковы, что $\hat{q}_2 > \hat{q}_1$, то может случиться, что расчетные значения таких нагрузок окажутся одинаковыми и используют одинаковый индекс надежности γ (измеренный в среднеквадратичных отклонениях запас надежности), и одинаковой будет их вероятность отказа³.

Эта ситуация является в достаточной мере типичной, если полагать, что нагружение q_1 связано только с одной временной нагрузкой, а нагружение q_2 включает в себя много (например, n) различных временных нагрузок. Действительно, дисперсии компонентов, входящих в комбинированное нагружение, суммируются и если

для простоты предположить, что дисперсии всех упомянутых нагрузок одинаковы и равны \hat{q}_1 , то будем иметь $\hat{q}_n = n\hat{q}_1$.

Если обратится к описанию картины во времени и учесть, что возмущение может реализоваться в любой момент времени, то здесь важную роль начинает играть вероятность совпадения возмущения с тем или иным значением нагрузки, которая меняется во времени по случайному закону (рис. 2).

Здесь важной характеристикой системы является эффективная частота случайного процесса $\tilde{q}(t)$, которым является действующая нагрузка. Эта частота равна средней частоте пересечения среднего уровня нагрузки \bar{q} и для

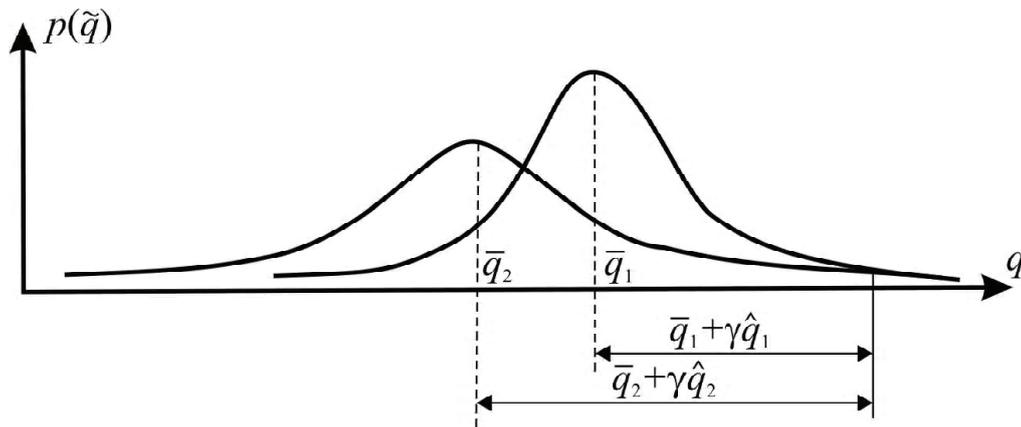


Рисунок 1. К определению связи случайных параметров и расчетных значений нагрузок.

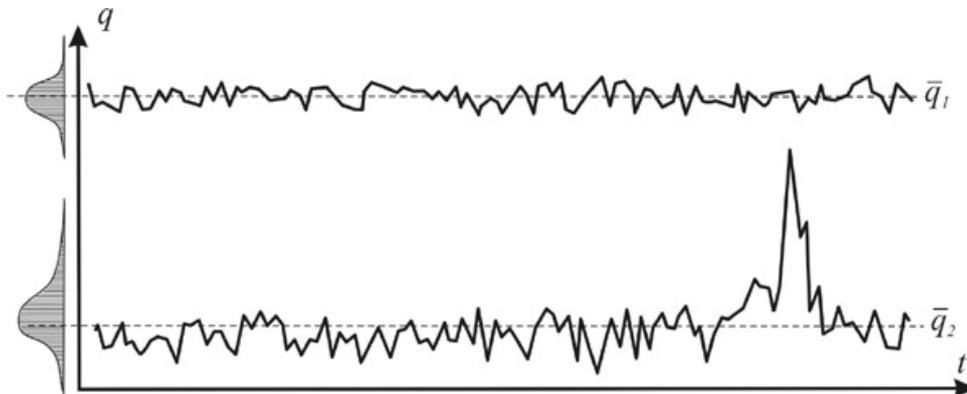


Рисунок 2. Изменение нагрузки на конструкции во времени.

³ Система обозначений параметров случайных величин и случайных процессов принята по [8], где для случайной величины используется обозначение \tilde{x} , для ее математического ожидания – \bar{x} , для дисперсии – \hat{x} , а для стандарта – \hat{x} .

Таблица. Сведения об уровне мобилизованности некоторых нагрузок при сроке эксплуатации конструкции, равном 50 лет

Нагрузка	\bar{q} , Па	V	γ	ω	v_+ , 1/год	T_γ , лет	μ	
Постоянная		0,10			0	∞	∞	
Снеговая	I р-н	163,6	1,60	2,058	0,141 1/с	0,4114	2,43	0,100
	II р-н	343,8	1,26	1,496	0,095 1/с	0,3175	3,15	0,094
	III р-н	631,0	0,92	1,256	0,073 1/с	0,2600	3,85	0,096
Ветровая	I р-н	8,6	1,814	20,130	6,58 1/с	$1,151 \cdot 10^{-2}$	86,8	34,946
	II р-н	14,6	1,781	15,600	5,16 1/с	$3,551 \cdot 10^{-2}$	28,2	8,798
	III р-н	22,3	1,731	13,210	5,42 1/с	$7,456 \cdot 10^{-2}$	13,4	3,540
Вертикальная крановая	Вар-т 1			5,645	106,8 1/ч	$1,79 \cdot 10^{-2}$	55,8	6,300
	Вар-т 2			5,274	106,8 1/ч	$1,36 \cdot 10^{-1}$	7,4	0,780
	Вар-т 3			7,100	106,8 1/ч	$3,00 \cdot 10^{-7}$	$3,32 \cdot 10^6$	471440
	Вар-т 4			6,730	106,8 1/ч	$3,88 \cdot 10^{-6}$	$2,58 \cdot 10^5$	34726,8

V — коэффициент вариации, v_+ — среднегодовое число выбросов за расчетный уровень нагрузок.

нормального стационарного процесса определяется по формуле

$$\omega_{ef} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\hat{q}}{\bar{q}}}, \quad (1)$$

где \hat{q} , \bar{q} — дисперсия скорости процесса и дисперсия его ординат. Эффективный период $T_{ef} = 1/\omega_{ef}$ определяет среднее время между этими пересечениями.

Знание эффективной частоты открывает возможность для определения частоты выбросов случайного процесса за нормированный уровень γ за время t , в частности, при нормальном распределении ординаты процесса, по известной формуле

$$v_+(\gamma, t) = \frac{1}{2\pi} \omega_{ef} \cdot t \cdot \exp\left(-\frac{\gamma^2}{2}\right). \quad (2)$$

3. Очевидно, что мобилизованность конструкции повышается как с увеличением индекса надежности γ (числом стандартов, отделяющих среднее значение нагрузки от ее расчетного значения), так и с увеличением промежутка времени T_γ между выбросами нагрузочного процесса за уровень расчетного значения. Поэтому предлагается в качестве меры мобилизованности в первом приближении принять величину

$$\mu = \gamma(T_\gamma/T_s), \quad (3)$$

где T_s — расчетный срок эксплуатации сооружения.

Для нормального случайного процесса величина T_γ определяется формулой

$$T_\gamma = \frac{1}{v_+(\gamma)} = \frac{2\pi}{\omega_{ef}} \cdot \exp\frac{\gamma^2}{2}, \quad (4)$$

следовательно, в этом случае

$$\mu = \frac{2\pi\gamma}{\omega_{ef}T_s} \cdot \exp\frac{\gamma^2}{2}. \quad (5)$$

В таблице 1 приведены сведения об уровне мобилизованности некоторых нагрузок при сроке эксплуатации, равном 50 годам. Параметры вероятностного описания нагрузок приняты по данным [6].

Из этой таблицы видно, насколько различными могут быть значения μ у нагрузок, которые, мы полагаем, в некотором смысле равноценны, поскольку все они нормами проектирования отнесены к одному классу временных нагрузок. **4.** На практике редко встречаются конструкции, подверженные действию только одной нагрузки, чаще всего используется расчетная комбинация нагрузок, которую мы будем полагать суммой стационарных случайных процессов

$$\tilde{q}_s = \sum_{i=1}^n c_i \tilde{q}_i, \quad (6)$$

где коэффициенты влияния c_i переводят значения нагрузок в компоненты расчетного усилия или напряжения.

Математическое ожидание и стандарт суммарной нагрузки определяются как

$$\bar{q}_s = \sum_{i=1}^n c_i \bar{q}_i; \quad \hat{q}_s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i \bar{q}_i V_i)^2}. \quad (7)$$

Если составляющие этой суммы не коррелированы между собой, то, следуя рассуждениям В. В. Болотина [1], будем иметь для эффективной частоты суммарной нагрузки

$$\omega_{\Sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\omega_i c_i \bar{q}_i V_i)^2}{\sum_{i=1}^n (c_i \bar{q}_i V_i)^2}}. \quad (8)$$

В качестве примера рассмотрим случай, когда на конструкцию действует постоянная нагрузка \bar{q}_1 с математическим ожиданием $\bar{q}_1 = 15,12$ Па, снеговая нагрузка I-го района \bar{q}_2 и ветровая нагрузка II-го района \bar{q}_3 . Коэффициенты $c_i \geq 0$ зависят от параметров конструкции и, в общем случае, от того, для проверки какого элемента (и какого его сечения) предполагается использовать расчетную комбинацию усилий. Мы для простоты рассмотрим вариант $c_1 = c_2 = c_3 = 1$.

Числовые характеристики суммарного усилия, согласно формулам (7)

$$\bar{q}_{\Sigma} = 15,12 + 163,6 + 14,6 = 193,3;$$

$$\hat{q}_{\Sigma} = \sqrt{(15,2 \cdot 0,1)^2 + (163,6 \cdot 1,6)^2 + (14,6 \cdot 1,78)^2} = 263,0.$$

Принимая во внимание расчетное значение суммарного усилия

$$q_{\Sigma}^p = 19 + 700 + 420 = 1139,$$

определим его нормированное отклонение

$$\gamma_{\Sigma} = \frac{q_{\Sigma}^p - \bar{q}_{\Sigma}}{\hat{q}_{\Sigma}} = \frac{1139 - 193,3}{263,0} = 3,60.$$

По формуле (8) вычисляем эффективную частоту суммарного воздействия, используя вероятностные параметры нагрузок из табл.

$$\omega_{\Sigma} = \left\{ \left[(0,141 \cdot 163,6 \cdot 1,6)^2 + (5,16 \cdot 14,6 \cdot 1,78)^2 \right] / \left[(15,2 \cdot 0,1)^2 + (163,6 \cdot 1,6)^2 + (14,6 \cdot 1,78)^2 \right] \right\}^{1/2} = 0,529 \text{ 1/сутки.}$$

Годичную частоту выбросов определяем по формуле (2), принимая во внимание среднюю продолжительность зимнего периода $t_3 = 145$ суток и введя в знаменатель коэффициент широкости $\beta_{\omega} = 3$, учитывающий многочастотность суммарного случайного процесса [6]:

$$v_{\Sigma}(\gamma_{\Sigma}, t_3) = \frac{0,529 \cdot 145 \cdot \exp(-0,5 \cdot 3,6^2)}{3 \cdot 2\pi} = 0,00623 \text{ 1/год.}$$

Полученный период повторяемости выбросов $T_{\Sigma} = 1/v_{\Sigma} = 160,5$ лет намного превышает период повторяемости взятых порознь снеговой и ветровой нагрузок, то же самое относится к величине $\mu = 11,56$.

Необходимо отметить, что значение мобилизованности характеризует не конструкцию в целом, а ее отдельный элемент (сечение). Подобно оценке надежности, минимальное из значений этой характеристики можно отнести к конструкции в целом (схема слабого звена).

5. Необходимо отметить, что вычисление мобилизованности требует более тщательной оценки статистических свойств действующих на сооружение нагрузок, и коэффициент γ ни в коем случае не следует отождествлять с известным из норм коэффициентом надежности по нагрузке γ_f . Последний учитывает далеко не все факторы, определяющие реальную картину изменения нагрузок во времени. Так, например, для крановой нагрузки СНиП дает значение $\gamma_f = 1,1$, что очень далеко отстоит от данных таблицы 1. И дело не только в том, что коэффициент надежности по нагрузке γ_f связан с переходом от нормативного (характеристического) значения к расчетному, а коэффициент γ определяет переход от среднего значения к расчетному.

Более важным является то обстоятельство, что нормируемые величины γ_f определены для «нагрузки вообще» и не учитывают целого ряда дополнительных случайных параметров, появляющихся при анализе способа реализации такой нагрузки в определенной конструкции.

Так, например, для крановой нагрузки [7] важным может быть такой фактор, как вероятность вполне конкретного положения на линии влияния, когда может реализоваться расчетное усилие в конструкции. Если же учитывать совместное действие нескольких кранов, то оказывается, что вероятность совпадения их расчетных позиций еще меньше, что резко снижает средний уровень усилия в конструкции.

Другой пример – действие ветровой нагрузки на башенное сооружение. Здесь появление расчетного значения усилия в каком-нибудь элементе конструкции связано со случайным направлением ветра. Кроме того, приведенная в нормах картина распределения ветрового напора по высоте, является некой огибающей реальных реализаций скорости ветра и имеет некоторую вероятность реализации, далеко не равную

единице. Не случайно, что вся мировая история высотного строительства не знает случаев обрушения башен от действия ветровой нагрузки (исключением являются торнадо и сочетание ветра с гололедом, да и то это в основном относится к мачтам на оттяжках).

6. В заключение подведем некоторые итоги:

- Мобилизованность, как новая характеристика процесса нагружения конструкции и ее способности к восприятию внезапного возмущения, может служить, по-видимому, основой для принятия проектных и организационных решений, в особенности для сооружений повышенного уровня ответственности.

Литература

1. Болотин, В. В. О сочетании случайных нагрузок, действующих на сооружение [Текст] / В. В. Болотин // Строительная механика и расчет сооружений. – 1962. – № 2. – С. 1–5.
2. Гульванесян, Х. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 1: Воздействия на сооружение. Разделы EN 1991-1-1 и с EN 1991-1-3 по EN 1991-1-7 [Текст] / Х. Гульванесян, П. Формичи, Дж. А. Калгаро. – М.: МГСУ, 2011. – 343 с.
3. Ларионов, В. В. Публичная техническая политика в строительстве [Текст] / В. В. Ларионов // Промышленное и гражданское строительство. – 2004. – № 5. – С. 11–12.
4. Лоллейт, А. Ф. О подборе сечений железобетонных элементов по критическим усилиям [Текст] / А. Ф. Лоллейт. – М.–Л.: Стройиздат, 1933. – 68 с.
5. Перельмутер, А. В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций [Текст] / А. В. Перельмутер. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: АСВ, 2007. – 256 с.
6. Пичугин, С. Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий [Текст] / С. Ф. Пичугин. – М.: АСВ, 2011. – 456 с.
7. Пичугин, С. Ф. Крановые нагрузки на строительные конструкции [Текст] / С. Ф. Пичугин. – Полтава: ООО «АСМИ», 2014. – 504 с.
8. Ржаницын, А. Р. Теория расчета конструкций на надежность [Текст] / А. Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.
9. EN 1991-1-7. Eurocode 1: Actions on structures. Part 1–7: General actions. Accidental actions [Текст]. – Brussels: European Committee for Standardisation, 2006. – 66 p.
10. Nassim, Nicolas Taleb. The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable [Текст] / Nicolas Taleb Nassim. – New York: Random House, 2007. – 394 p.

- Нуждается в дальнейшем изучении вопрос о выборе удобного способа измерения мобилизованности. Соответствующая мера может быть сконструирована на основе сопоставления с хорошо зарекомендовавшими себя проектными решениями. Возможен также подход, основанный на соглашении о параметрах некоторого стандартизованного тестового возмущения (различного для разных типов сооружений). Примером может служить рекомендация пункта 3.3(2) из EN 1991-1-7 [9] об использовании для проверки живучести системы гипотетической нагрузки 34 кН/м^2 , которая прикладывается в любом направлении к ключевому элементу здания.

References

1. Bolotin, V. V. About combination of accidental load, operating on constructions. In: *Building mechanics and analysis of constructions*, 1962, Number 2, p. 1–5. (in Russian)
2. Gulvanesian, H.; Formichi, P.; Kalgaro, Dzh. A. Guidelines for design engineers to the Eurocode. The first: effect on construction. Sections EN 1991-1-1 and from EN 1991-1-3 to EN 1991-1-7. Moscow: MGSU, 2011. 343 p. (in Russian)
3. Larionov, V. V. Public engineering policy in the construction industry. In: *Industrial and civil construction*, 2004, Number 5, p. 11–12. (in Russian)
4. Lolleit, A. F. About dimensioning of reinforced concrete elements according to critical force. Moscow–Leningrad: Stroiizdat, 1933. 68 p. (in Russian)
5. Perelmuter, A. V. Chosen problems of reliability and safety of engineering constructions. The third edition, revised and enlarged. Moscow: ASV, 2007. 256 p. (in Russian)
6. Pichugin, S. F. Reliability of industrial building steel structures. Monograph. The second edition. Moscow: ASV, 2011. 455 p. (in Russian)
7. Pichugin, S. F. Crane loads on engineering constructions. Poltava: ASMI, 2014. 504 p. (in Russian)
8. Rzhantsyn, A. R. The theory of calculating building structures according to the durability. Moscow: Stroiizdat, 1978. 239 p. (in Russian)
9. EN 1991-1-7. Eurocode 1: Actions on structures. Part 1–7: General actions. Accidental actions. Brussels: European Committee for Standardisation, 2006. 66 p.
10. Nassim, Nicolas Taleb. The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable. New York: Random House, 2007. 394 p.

Перельмутер Анатолий Викторович – д. т. н., головний науковий співробітник НВО СКАД Софт, дійсний член Академії будівництва України та Російської академії архітектури і будівельних наук, член Української Асоціації з металевих конструкцій. Наукові інтереси: нелінійні задачі будівельної механіки, надійність конструкцій і споруд, обґрунтування розрахункових моделей.

Пічугін Сергій Федорович – д. т. н., проф., завідувач кафедри конструкцій з металу, дерева і пластмас Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, дійсний член Академії будівництва України, член Української Асоціації з металевих конструкцій, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки. Наукові інтереси: розвиток загальної методики розрахунку надійності будівельних конструкцій і статично невизначних систем, опис випадкових навантажень і їх сполучень в різній імовірнісній техніці, оцінка технічного стану і ресурсу конструкцій, що знаходяться в експлуатації.

Перельмутер Анатолий Викторович – д. т. н., главный научный сотрудник НПО СКАД Софт, действительный член Академии строительства Украины и Российской академии архитектуры и строительных наук, член Украинской Ассоциации по металлическим конструкциям. Научные интересы: нелинейные задачи строительной механики, надежность конструкций и сооружений, обоснование расчетных моделей.

Пичугин Сергей Федорович – д. т. н., проф., заведующий кафедрой конструкций из металла, дерева и пластмасс Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка, действительный член Академии строительства Украины, член Украинской Ассоциации по металлическим конструкциям, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники. Научные интересы: развитие общей методики расчета надежности строительных конструкций и статически неопределимых систем, описание случайных нагрузок и их сочетаний в различной вероятностной технике, оценка технического состояния и ресурса конструкций, находящихся в эксплуатации.

Perelmuter Anatoly – D.Sc. in Engineering, Main Researcher of SCAD Soft Com., He is a member of the Civil Engineering Academies of Ukraine and the Russian Architecture and Building Academy. A member of the Ukrainian Association of Metal Structures. Scientific interest: non-linear problems on the structural mechanics, reliability of structure and constructions, substantiation of settlement models.

Pichugin Sergey – D.Sc. in Engineering, Professor, Head of the Metal, Wooden and Plastic Structures Department, Yuri Kondratyuk Poltava National Technical University, an actual member of Civil Engineering Academy of Ukraine, a member of the Ukrainian Association of Metal Structures, Laureate of the State Prize of Ukraine in the field of science and technique. Scientific interests: development of general methodology of reliability calculation of building structures and statically redundant systems, description of the random loads and their combinations in a different probabilistic technique, estimation of the technical state and resource of structures being in exploitation.