

9. Скатынский В.И., Крумелис Ю.В. К выбору теории ползучести для описания длительного деформирования ячеистых силикатных бетонов // Ползучесть и усадка бетона: Тезисы докладов, подготовленные Украинским республиканским правлением НТО стройиндустрии и НИИСК Госстроя СССР. - Киев. - 1969. - С.155-164.
10. Тамразян А.Г., Есаян С.Г. Механика ползучести бетона. – М.: МГСУ, 2012. – 524 с.

УДК 699 841

Зайнулабидова Х.Р., Курбанов И.Б.

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ И АНТИСЕЙСМИЧЕСКОГО УСИЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

Zajnulabidova H.R., Kurbanov I.B.

CALCULATING THE OPTIMUM LEVEL OF RELIABILITY AND ANTI-SEISMIC REINFORCEMENT OF STRUCTURES OF BUILDINGS

Дана постановка задачи оптимизационного расчёта конструкций с учётом сейсмической опасности. Представлены условия оптимизации, основанные на вероятностно-экономическом критерии. Для зданий с возможными неэкономическими последствиями введено ограничение на вероятность отказа, величина которой определяется исходя из ограничения нематериальных потерь. Сейсмическую опасность территории предлагается оценить в виде прогнозируемых за срок службы здания воздействий с соответствующими вероятностями повторяемости и спектральными параметрами или в виде расчётной акселерограммы. Реализуемость методики показана на примере большепролётного здания со стальными колоннами составного двутаврового сечения.

Ключевые слова: *сейсмическое воздействие, здания и сооружения, условия оптимизации, вероятностно-экономический критерий, вероятность отказа, оптимальный коэффициент усиления, оптимальная надёжность.*

Given problem optimization calculation of structures considering seismic hazard. Optimization conditions are presented based on probabilistic and economic criteria. For buildings with possible non-economic effects of a restriction on probability of failure, the amount of which is determined on the basis of the limitations of intangible losses. Seismic risk territories to evaluate as projected over the life-

time of a building influences with the relevant probabilities of occurrence and spectral parameters or in the form of calculation akselerogrammy. The feasibility of the methodology is shown in example Building with large bays with steel columns of the composite section dvutavrogo.

Key words: seismic impact, buildings and structures, optimizing conditions of probabilistic-economic criterion, probability of failure, optimum gain optimal reliability.

Введение. Отказ зданий или сооружений при сейсмическом воздействии может привести к разным последствиям экономического и социального характера. Значит, они имеют разные уровни ответственности, а показатели их безотказности должны быть соответствующими этим уровням. В нормах проектирования в сейсмических районах эту проблему решают введением в формулу расчёта сейсмических нагрузок коэффициента K_0 , который, в зависимости от назначения здания и единовременного количества людей, которые там могут находиться, принимает значения от 1 до 2. Но как при этом изменяется показатель безотказности здания остаётся неясным?

Для этого необходимо, чтобы методы расчёта строительных конструкций были вероятностными, основанными на теории надёжности и риска.

На это обстоятельство ещё во 2-й половине 20-го века было обращено внимание и выполнены основополагающие расчёты такими учёными как С.В. Медведев, В.И. Кейлис-Борок, Л.В. Канторович, Г.М. Молчан, А.Р. Ржаницын, В.В. Болотин, В.И. Снаркис, Я.М. Айзенберг, В.Д. Райзер, Н.Н. Складнев. Из зарубежных исследователей следует отметить А. Фрейдентала, Дж. Бенджамина, Б. Бенедетти, Г. Грандори, Э. Розенблюта, Д. Хаузнера, А. Корнелла, Р. Уитмена, Г. Аугусти.

Постановка задачи. Одной из задач оптимального проектирования зданий и сооружений является оптимизационный расчёт строительных конструкций, формулируемый в следующем виде: при заданном векторе параметров x , заданном виде области допустимых решений D и заданной целевой функции Φ , найти такой вид вектора $x_{\text{опт}}$, который находился бы в пределах области D и обеспечивал бы минимальное (в ряде случаев максимальное) значение Φ . Самое важное в данной задаче – это целевая функция оптимизированного расчёта.

Большинством из вышеперечисленных исследователей [1-6] наиболее подходящей для данной задачи была названа вероятностно-экономическая целевая функция, где условие оптимизационного расчёта записывается в виде:

- для зданий и сооружений с чисто экономической ответственностью

$$C_0(x) + Q(x)C^* \rightarrow \min; \quad (1)$$
- для зданий и сооружений как с экономической, так и с социальной ответственностью

$$\left. \begin{aligned} C_0(\mathbf{x}) + Q(\mathbf{x})C^* &\rightarrow \min \\ Q(\mathbf{x}_{\text{опт}}) &\leq [Q] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Здесь:

C_0 – начальные затраты на возведение сооружения;

C^* – приведённая к единому времени суммарная стоимость прямых и косвенных потерь и убытков, связанных с отказом сооружения;

$Q(\mathbf{x})$ – вероятность отказа сооружения;

$Q(\mathbf{x}_{\text{опт}})$ – вероятность отказа при оптимальных параметрах конструкций, определённых по (1);

$[Q]$ – допустимый уровень вероятности отказа сооружения; $\mathbf{x}$ – вектор оптимизируемых параметров строительных конструкций.

Значение $[Q]$ может быть определено, например, по выражению [7]

$$[Q] = \frac{10^{-5} \xi_s T}{L}, \quad (3)$$

где ξ_s – коэффициент социальной значимости, принимаемый равным 0,05 для гражданских и промышленных зданий;

T – расчётный срок службы здания; L – среднее число людей, находящихся внутри здания.

Минимуму функции (1) будут соответствовать вектор оптимальных параметров конструкций $\mathbf{x}_{\text{опт}}$, вероятность отказа $Q(\mathbf{x}_{\text{опт}})$ и начальные затраты $C(\mathbf{x}_{\text{опт}})$.

В условии (2) если $Q(\mathbf{x}_{\text{опт}})$ получается больше $[Q]$, то значения $\mathbf{x}$ принимают обеспечивающими условие $Q(\mathbf{x}) = [Q]$. Тогда они будут не оптимальными, а соответствующими приемлемому риску.

Важное значение в расчётах имеет C^* , который, как правило, оценивается в денежном выражении. При представлении социальных потерь в денежном выражении, по предлагаемой в работе [6] методике, задачу оптимизации конструкций зданий и сооружений с неэкономической ответственностью можно решить по условию (1).

Здания и сооружения, проектируемые для строительства в сейсмических районах, рассчитываются на основное и особое сочетания нагрузок.

При оптимизационных расчётах оптимальные параметры конструкций так же надо будет определить отдельно на основное сочетание, и отдельно на особое сочетание. Большие из них по значению – будут проектными.

По опыту проектирования зданий и сооружений в сейсмических районах проектировщики знают, что в подавляющем большинстве случаев особое сочетание нагрузок преобладает над основным.

С учётом этого, условие оптимизационного расчёта зданий и сооружений в сейсмических районах можно упростить, обозначив через C_0 начальные затраты на антисейсмическое усиление конструкций, с параметрами, определёнными расчётом на основное сочетание нагрузок, а через Q – вероятность отказа здания при сейсмических воздействиях.

Начальные затраты на антисейсмическое усиление C_0 будут функцией дополнительных изменений в сторону увеличения параметров конструкций, например площади сечения конструкции или арматуры в конструкции.

Эти изменения можно выразить через коэффициент усиления K , равный отношению площади сечения после усиления к площади сечения до усиления.

Тогда вероятностно - экономический критерий оптимизационного расчёта на сейсмическое воздействие можно записать в виде:

$$C = C_0(K) + Q(K)C^* \rightarrow \min, \quad (4)$$

где C – средневероятные полные затраты, связанные с сейсмической опасностью;

$C_0(K)$ – начальные затраты на антисейсмическое усиление;

$Q(K)$ – вероятность отказа здания;

C^* – средняя стоимость ущерба и потерь, вызванная отказом здания;

K – вектор коэффициентов усиления конструкций.

В конечном итоге, минимизируя функцию (4) по коэффициентам усиления, мы получим вектор $K_{\text{опт}}$, начальные затраты $C_0(K_{\text{опт}})$ и вероятность отказа $Q(K_{\text{опт}})$.

Оптимальный уровень надёжности здания, достигнутый при этом

$$P(K_{\text{опт}}) = 1 - Q(K_{\text{опт}}). \quad (5)$$

Ущерб C^* представим в виде:

$$C^* = (\gamma C_{\Pi}(K) + u^*)\mu. \quad (6)$$

Здесь: $C_{\Pi}(K)$ – стоимость конструкций после усиления;

u^* - стоимость косвенных потерь;

γ – коэффициент, показывающий какую часть от C_{Π} составляет стоимость восстановления конструкций после отказа;

μ – коэффициент, учитывающий отдалённость затрат на восстановление конструкций и представляемый в виде $\mu=1/E \cdot T$,

где E – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

Результаты эксперимента и их обсуждение. Реализуемость данной методики покажем на примере оптимизационного расчёта одноэтажной большепролетной рамной системы со стальными колоннами составного двутаврового сечения.

Будем считать, что отказ системы происходит, когда перемещения верха колонн, жёстко связанных с диском покрытия, превышают предельно допустимый уровень перемещения, и последствия отказа - чисто экономические или приведённые к экономическим.

Предельный уровень упругого перемещения верха стальной колонны определяется по формуле:

$$y = \frac{\sigma_T l_p^2 W_x}{3EJ_x}, \quad (7)$$

где l_p – расчётная высота колонны, σ_T – предел текучести, W_x – момент сопротивления сечения; J_x – момент инерции сечения.

Рассмотрим вариант, когда антисейсмическое усиление колонны производится увеличением высоты сечения стенки двутавра h . Обозначим через y_3 и h_3 предельный уровень перемещения и высоту сечения колонны до усиления, а через y_{Π} и h_{Π} – соответственно после усиления.

Если взять отношение перемещений y_3/y_{Π} , выразив каждое из них через (7), получим:

$$\frac{y_3}{y_{\Pi}} = \frac{h_{\Pi}}{h_3}. \quad (8)$$

Здесь в целях не осложнения расчёта принято, что увеличение высоты сечения стенки не оказывает существенного влияния на момент инерции и момент сопротивления полки двутавра.

Обозначим
$$\frac{h_{\Pi}}{h_3} = K, \quad (9)$$

где K – коэффициент усиления колонны ($K \geq 1$).

Из (8) и (9) следует:

$$\frac{y_3}{y_{\Pi}} = K. \quad (10)$$

Учитывая, что площадь сечения стенки до усиления $A_3 = \delta h_3$, а после усиления $A_{\Pi} = \delta h_{\Pi}$, где δ – толщина стенки, получим:

$$\frac{h_3}{h_{\Pi}} = \frac{\delta h_{\Pi}}{\delta h_3} = \frac{A_{\Pi}}{A_3} = K. \quad (11)$$

Стоимость колонны до усиления представим в виде:

$C_{\Pi} = C_1 A_{\Pi} l$, а до усиления $C_3 = C_1 A_3 l$, где l – геометрическая длина колонны, а C_1 – стоимость единицы объёма конструкции.

Исходя из (11) будем иметь:

$$\frac{C_{\Pi}}{C_3} = \frac{A_{\Pi}}{A_3} = K; \quad C_{\Pi} = K C_3. \quad (12)$$

Начальные затраты на антисейсмическое усиление колонн:

$$C_0 = \bar{C}_n - \bar{C}_3 = \bar{C}_3(K - 1). \quad (13)$$

Здесь $\bar{C}_n$ и $\bar{C}_3$ - суммарные стоимости всех колонн после усиления и до усиления соответственно.

Условие оптимизационного расчёта (4) с учётом (6) и (13) будет иметь вид:

$$C = \bar{C}_3(K - 1) + \mu(\gamma\bar{C}_3K + u^*)Q(K) \rightarrow \min. \quad (14)$$

Разделив (14) на $\bar{C}_3$ получим условие оптимизации без прямого денежного выражения:

$$\frac{C}{\bar{C}_3} = K - 1 + \mu(\gamma K + \zeta)Q(K) \rightarrow \min. \quad (15)$$

Здесь $\zeta = u^*/\bar{C}_3$ - коэффициент экономической ответственности здания.

Аналогично можно получить условие оптимизационного расчёта конструкций при изменении высоты и ширины сечения.

На рис. 1 показаны зависимости $K_{\text{опт}}$ от коэффициента экономической ответственности ζ при разных отношениях предельного уровня перемещения до усиления y_3 к среднеквадратической величине перемещения системы σ_y до усиления.

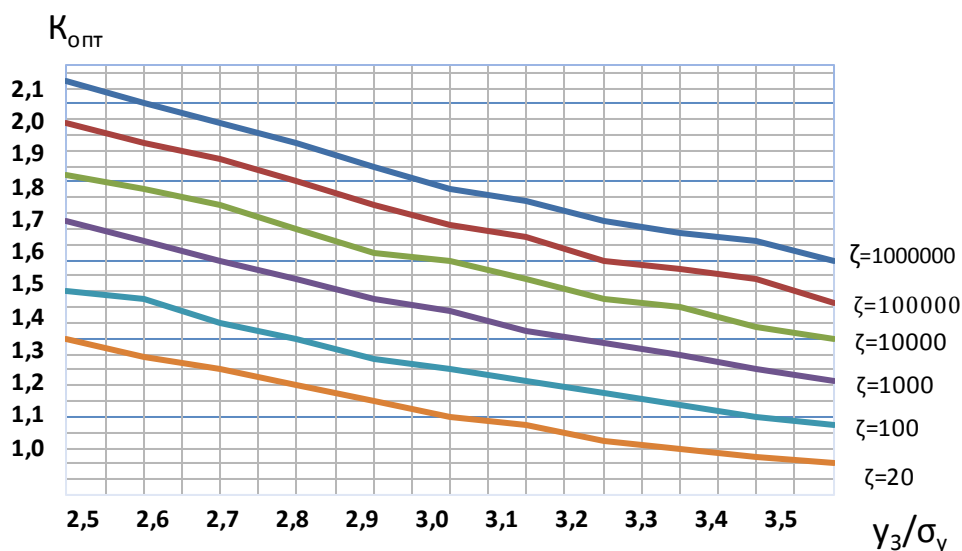


Рисунок 1 - Зависимость оптимального коэффициента усиления $K_{\text{опт}}$ от значений y_3/σ_y и ζ

Здесь можно заметить, что существенное увеличение экономической ответственности здания не приводит к большому увеличению коэффициента $K_{\text{опт}}$. Например, когда ζ увеличивается от 20 до 1000000 (50000 раз), то $K_{\text{опт}}$ увеличивается всего 1,5 раз.

Это говорит о том, что оценка неэкономических потерь в больших денежных выражениях не приводит к существенному увеличению параметров конструкций.

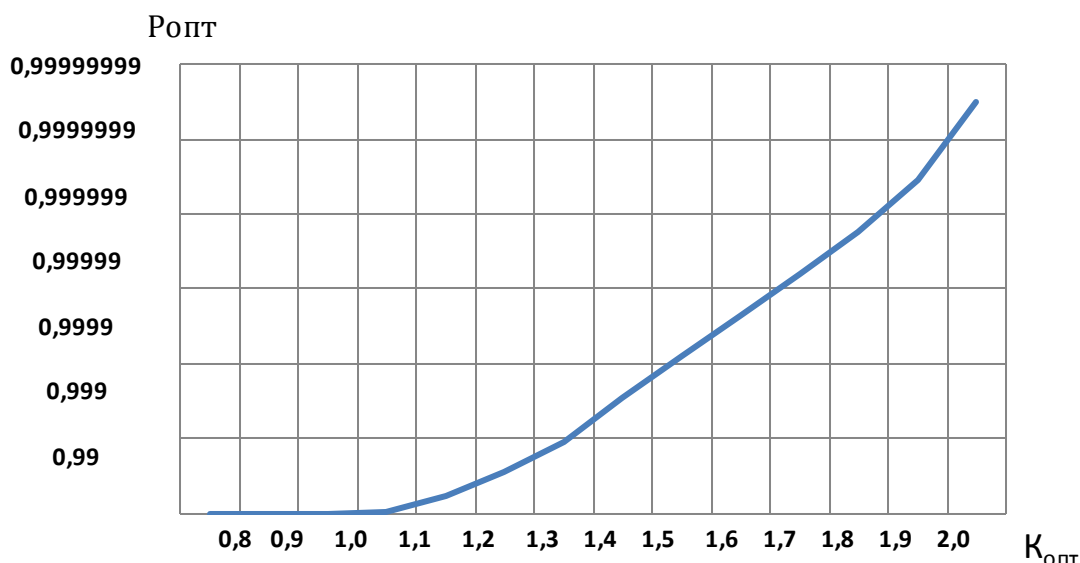


Рисунок 2 - Оптимальные уровни надёжности, соответствующие $K_{\text{опт}}$ при $u_3/\sigma_y=2,5$

На рис. 2 показаны оптимальные уровни надёжности рассматриваемого здания, получаемые при разных значениях $K_{\text{опт}}$.

Сравнение рис. 1 и 2 показывает, что с увеличением коэффициента экономической ответственности ζ существенно увеличивается и уровень оптимальной надёжности здания.

Вывод. Следует отметить, что данные расчёты проведены представив расчётную модель здания в виде одномассового консольного стержня с периодом собственных колебаний до усиления $T=0,6$ с. Продолжительность сейсмического воздействия, представленного в виде стационарного случайного процесса, принята равной 10 сек. Коэффициенты γ и μ приняты равными 1, а вероятность безотказности системы оценена по теории выбросов.

Библиографический список:

1. Свод правил СП 14.13330.2011 «Строительство в сейсмических районах». Актуализированная редакция СНиП II -7-81* «Строительство в сейсмических районах». – М.: Минрегион России, 2010. -83 с.
2. Ржаницын А.Р., Снарксис Б.Н., Сухов Ю.Д. Основные положения вероятностной экономической методики расчёта строительных конструкций//Строительная механика и расчёты сооружений, 1979. -№3. – с. 67-71
3. Айзенберг Я.М., Нейман А.Н. Экономические оценки оптимальности сейсмостойких конструкций и принципы сбалансированного риска // Строительная механика и расчёты сооружений, 1973. -№4. – с. 6-10.

4. Складнев Н.Н. Научные основы оптимального проектирования строительных конструкций//Численные методы расчёта и оптимизации строительных конструкций: Сб. научн. тр. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М., 1989. – 195 с.
5. Сейсмический риск и инженерные решения. Пер. с англ./Под ред. Ц. Ломнитца, Э. Розенблюта. – М.: Наука, 1981. – 375 с.
6. Райзер В.Д. Оптимизация надёжности конструкций и безопасность человека // Строительная механика и расчёты сооружений, 2009. – №6. – с. 54-58
7. Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании/Пер. с англ. Ю.Д. Сухова. – М.: Стройиздат, 1988. – 584 с.

УДК 624.011.1

Керимов Р.М., Муселемов Х.М., Устарханов О.М.

РАСЧЕТ ТРЕХСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Kerimov R.M., Muselemov Kh.M., Ustarkhanov O.M.

CALCULATION OF SANDWICH STRUCTURES UNDER DYNAMIC LOAD CONCENTRATED LOAD

Работа посвящена теоретическим исследованиям расчета трехслойных конструкций (ТК) при динамическом нагружении сосредоточенной нагрузкой. По данным теоретическим исследованиям приведены графические и аналитические зависимости относительной толщины пробивания свободноармированного заполнителя (САЗ) от ее плотности и высоты дискретного пирамидального заполнителя, по которому в случае необходимости можно определить необходимую плотность САЗ для данной скорости попадания ударника.

Ключевые слова: *свободноармированный заполнитель, трехслойный, несущий слой, пробивание, пирамидальный заполнитель.*

Work is devoted to theoretical researches of calculation of the three-layer designs (TLD) at dynamic loading by the concentrated loading. On these theoretical researches graphic and analytical dependences of relative thickness of punching of freely reinforced filler (SAZ) on its density and height of discrete pyramidal filler