

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

С. С. Дарбинян

Об одном дополнительном резерве сопротивляемости
 сооружений сейсмическим воздействиям

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 25/II 1966)

Теоретический анализ поведения сооружений при сильных землетрясениях показывает, что попытка трактовки сооружений, как упругих систем, не позволяет дать исчерпывающее объяснение многим явлениям повреждения и разрушения сооружений.

Здесь мы остановимся на одном из факторов, учет которого может привести, в некоторых случаях, к существенному увеличению сопротивляемости сооружения сейсмическим воздействиям.

Дело в том, что при возникновении остаточных деформаций в виде трещин, разделяющих сооружение на блоки в процессе землетрясения, имеет место накопление дополнительной потенциальной энергии за счет подъема отдельных масс сооружения вверх и связанное с этим появление существенной нелинейности колебаний. Последующий переход этой энергии в кинетическую приводит к соударению отдельных блоков сооружения между собою и к превращению кинетической энергии в тепловую, то есть к рассеянию энергии.

Аналогичный эффект имеет место и при упруго-пластических деформациях, сопровождающихся смещением нейтральной линии в сжатых изогнутых стойках.

Явление это практически не учитывается при анализе поведения сооружения на сейсмические воздействия ввиду его сложности.

Этому вопросу посвящено лишь очень ограниченное количество работ (1-3), наиболее существенной из которых является (3) рассматривающая упрощенную схему сооружения как свободно стоящего прямоугольного параллелепипеда под действием горизонтальных колебаний почвы.

Мы рассмотрим эту же задачу, но с учетом не только горизонтальных, но и вертикальных сейсмических колебаний, то есть в более широкой постановке, нежели это делалось до сих пор. Кроме того, в работе (3) рассматриваются колебания бруса, высота которого значительно превышает поперечные размеры. Мы отбросили и это ограничение.

Предположим, что свободно стоящий на фундаменте призматический недеформируемый брус находится под действием горизонтальных и вертикальных сейсмических сил (фиг. 1).

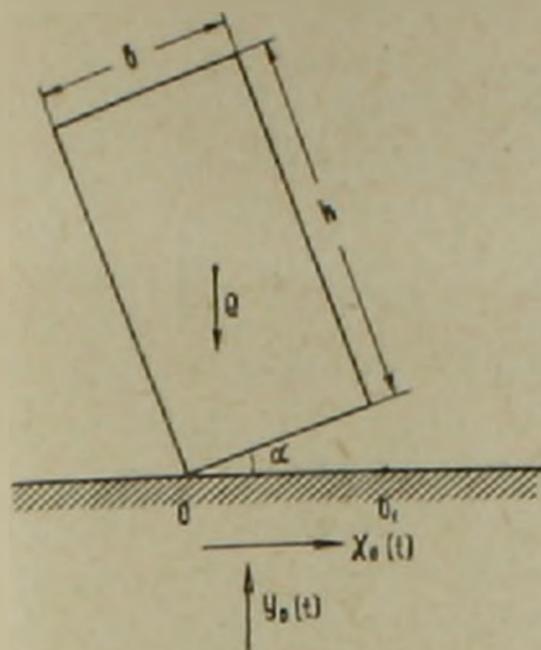


Рис. 1

Фиг. 1.

Горизонтальные и вертикальные смещения верхнего конца бруса связаны с углом α следующими выражениями:

$$x = -b(1 - \cos\alpha) - h\sin\alpha, \quad (1)$$

$$y = b\sin\alpha - h(1 - \cos\alpha).$$

Кинетическая и потенциальная энергии для данной системы соответственно вычисляются по следующим формулам:

$$T = \frac{Q}{2g} \left[\left(\frac{x'}{2} + x_0' \right)^2 + \left(\frac{y'}{2} + y_0' \right)^2 \right] + \frac{J}{2} \alpha'^2, \quad (2)$$

$$\Pi = Q \left(y_0 + \frac{y}{2} \right),$$

где J — момент инерции бруса относительно центра тяжести, Q — вес бруса.

В выражениях (2) x , y , x_0 , y_0 , α — являются функциями от времени t и штрихи означают производные по t .

Пользуясь (1), (2) и уравнением Лагранжа

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial x'} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial \Pi}{\partial x} = 0,$$

получим дифференциальное уравнение движения в виде:

$$\left[\frac{Q}{4g} (b^2 + h^2) + J \right] \alpha'' + \frac{Q}{2g} \left[- (b\sin\alpha + h\cos\alpha) x_0' + (b\cos\alpha - h\sin\alpha)(y_0' + g) \right] = 0$$

или окончательно:

$$A\alpha'' - (b\sin\alpha + h\cos\alpha) x_0' + (b\cos\alpha - h\sin\alpha)(y_0' + g) = 0, \quad (3)$$

где:

$$A = \frac{1}{2} (b^2 + h^2) + \frac{2gJ}{Q} = \frac{2}{3} (b^2 + h^2).$$

Уравнение (3) можно записать в более упрощенном виде, исходя из малости угла α . В этом случае $\sin\alpha \approx \alpha$, $\cos\alpha \approx 1$ и тогда (3) запишется следующим образом:

$$A\alpha'' - [bx_0' + h(y_0' + g)]\alpha - hx_0' + b(y_0' + g) = 0. \quad (4)$$

Таким образом, задача колебания рассматриваемого бруса приводится к интегрированию уравнения (4). Это уравнение является линей-

ным уравнением второго порядка с переменными коэффициентами, которое в общем виде можно представить в виде:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + f_1(t)x = f_2(t).$$

Из (4) видно, что если x весьма малая величина, то можно в первом приближении вторым членом левой части пренебречь.

Тогда (4) запишется следующим образом:

$$x'' = \frac{b}{A} \left(\frac{h}{b} x_0 - y_0 - g \right),$$

решением которого при нулевых начальных условиях будет:

$$x = \frac{b}{A} \left(\frac{h}{b} x_0 - y_0 - \frac{gt^2}{2} \right). \quad (5)$$

Если x очень малая величина и, следовательно, решение (5) выбрано достаточно точно, то для практически применяемых задач можно ограничиться этим решением.

Известно, что расчет сооружений с помощью реальных записей землетрясений связан с определенными трудностями из-за отсутствия акселерограмм, поэтому преимуществом решения (5), помимо простоты, является и то обстоятельство, что становится возможным использовать при расчете непосредственно сейсмограммы землетрясений.

Отметим, что во время колебания после максимального отклонения вокруг точки O брус возвращается в свое первоначальное положение (если не имеет место опрокидывание) и происходит удар по фундаменту. Тогда в зависимости от закона колебания почвы и коэффициента восстановления брус может качаться либо относительно точки O' , либо сдвигаться относительно точки O . В этих двух случаях движение описывается уравнением (4), но начальные условия меняются. Поэтому каждый раз следует учитывать условия сшивания угла поворота и скорости в моментах перехода от одного положения к другому.

Здесь возможен и третий случай, когда после возвращения в первоначальное положение движение прекращается. Это в основном может иметь место при свободных колебаниях, а также если коэффициент восстановления и значение возмущающей силы в момент удара являются малыми величинами.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии
Академии наук Армянской ССР

И. И. ГИРЯНЦАН

Սեյսմիկ ազդեցությունների ենթարկվող կառուցվածքների դիմադրության
մեկ լրացուցիչ պաշարի մասին

Հոդվածում ուսումնասիրվում է սեյսմիկ ազդեցության տակ գտնվող կառուցվածքների դիմադրողականության մեկ լրացուցիչ պաշարի հաշվառման հարցը:

Ճեղքերի ձևով մնայուն դեֆորմացիաների առաջացման դեպքում կառուցվածքը բաժանվում է առանձին մասերի, որի հետևանքով տեղի է ունենում պոտենցիալ էներգիայի լրացուցիչ կուտակում և այդ պատճառով տատանումները դառնում են խիստ ոչ գծային: Այդ էներգիայի հետագա վերածվելը կինետիկ էներգիայի բերում է փոխհարվածի կառուցվածքի առանձին մասերի միջև և կինետիկ վերափոխմանը ջերմայինի, այսինքն էներգիայի ցրման:

Այս երևույթի հաշվառումը որոշ դեպքերում կարող է բերել կառուցվածքների մեջ առաջացող սեյսմիկ ուժերի զգալի փոքրացման, բայց մինչև այժմ այն չի ուսումնասիրված:

Հողվածում բերվում է հարցի քննարկման մի քանի ընդհանուր դրույթներ, հետագայում այն անհրաժեշտ ուսումնասիրելու նպատակով: Քննարկվում է բացարձակ պինդ, ազատ հենված զուգահեռանիստի տատանումները հորիզոնական և ուղղահայաց սեյսմիկ ուժերի ազդեցության դեպքում (նկ. 1):

Ստացված է շարժման դիֆերենցիալ հավասարումը (4) և մասնավորապես դիտարկված է շատ փոքր պատման α անկյան դեպքը, որի համար տրվում է լուծումը առաջին մոտավորությամբ:

Ուղղահայաց ուղղությամբ սեյսմիկ ուժերի ազդեցության հաշվառման հարցը, որքան մեղ հայտնի է, դրվում է առաջին անգամ: Ստացված արդյունքներից, որպես մասնավոր դեպք կարելի է ստանալ (3)-ի արդյունքները:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Ч Р Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

- ¹ Б. Б. Голицын, Избранные труды, т. II, изд. АН СССР, 1960. ² А. Г. Назаров, Метод инженерного анализа сейсмических сил, изд. АН АрмССР, Ереван, 1959. ³ E. W. Housner, The Behavior of Inverted Pendulum Structures during Earthquakes, Bulletin of The Seismological Society of America, February, 1963.

