

6  
А-11

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УЗБЕКСКОЙ ССР

---

ТАШКЕНТСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

*КАРИЕВ Х. С.*

# СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

ТАШКЕНТ — 1964

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УЗБЕКСКОЙ ССР

---

ТАШКЕНТСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

*На правах рукописи*

*КАРИЕВ Х. С.*

# СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель — академик  
АН УзССР, доктор технических наук,  
проф. М. Т. Уразбаев.

ТАШКЕНТ — 1964

---

Третья Программа Коммунистической партии Советского Союза, принятая XXII съездом, — Программа построения коммунизма — поставила перед Советской наукой, перед всеми ее отраслями грандиозные задачи.

Как отмечено съездом, — эта программа — устремленный ввысь гигантский каркас строящегося огромного здания, покрытого своего рода лесами, поднимаемая по которым со ступеньки на ступеньку, трудящиеся нашей страны своим трудом создают богатства, и, заполняя этот каркас, сооружают здание коммунизма.

Наполнять богатством наш коммунистический дом — значит решать конкретные задачи развития советской экономики, это значит — двигать вперед нашу промышленность, технику, наращивать производство металла, нефти, угля, электроэнергии, развивать химию, машиностроение, строительство и т. п.

В настоящее время расчет зданий и сооружений в сейсмических районах производится по динамической теории сейсмостойкости.

Пользуясь этой теорией можно рассчитывать различного рода конструкции, начиная от водонапорных башен до современных летательных аппаратов.

Вопросами динамической теории сейсмостойкости сооружений вообще, а сейсмостойкости гидроупругих систем в частности, занимаются многие исследователи в Советском Союзе и за рубежом.

Этому вопросу посвящены труды многих ученых, как К. С. Завриева, А. Г. Назарова, М. Т. Уразбаева, Н. К. Снитко, Ш. Г. Напетваридзе, В. А. Быховского, В. И. Новаторцева, И. И. Гольденблата, Н. А. Николаенко, Б. Г. Коренева, С. В. Медведева, И. Л. Корнинского, В. К. Кабулова, Ю. Р. Лейдермана, В. Т. Рассказовского, А. И. Мартемьянова, Г. Хаузнера, Н. Мононобе, А. Руге и многих других.

Однако, вопросы динамического расчета гидроупругих систем башенного типа при сейсмических воздействиях изучены весьма мало. Так впервые этим вопросом занимались И. И. Гольденблат и Н. А. Николаенко [8].

В их работе описано применение динамического метода расчета к сложной конструктивной схеме, учитывающей гидродинамический эффект жидкости при сейсмических воздействиях, для рассматриваемого типа сооружений принимается расчетная схема в виде системы с  $n$  степенями свободы (в зависимости от этажности резервуаров), т. е. сооружение приводится к многомассовой системе, полости которой частично заполнены жидкостью и приведено уравнение движения такой системы с вязким затуханием, которое отличается от уравнений движения многомассовой системы с жесткими массами наличием сил гидродинамического давления.

Рассмотрены свободные и вынужденные колебания системы с одной степенью свободы; полученные результаты обобщены для систем с двумя и более степенями свободы; приведены расчетные формулы для определения сейсмических сил для дискретной системы с учетом гидродинамического эффекта жидкости, а также решена задача в нелинейной постановке, применяя статистические (вероятностные) методы расчета систем на динамические воздействия.

В предлагаемой нами работе исследуются следующие вопросы: исследования поперечных колебаний гидроупругих систем башенного типа с учетом гидродинамического эффекта жидкости при сейсмических воздействиях;

определения спектра частот собственных колебаний исследуемой системы;

вычисления влияний присоединенной массы и переменности сечения на характер движения системы;

применения динамического метода расчета гидроупругой системы башенного типа на сейсмостойкость с учетом нелинейности ее граничных условий.

Для решения поставленных задач принимается расчетная схема в виде упругого консольного стержня постоянного и переменного сечения, как жестко так и упруго заземленного нижним концом и несущего на свободном конце цилиндрический резервуар, наполненный до определенного уровня жидкостью и совершающего поперечное колебательное движение под действием импульсивных сил, приложенных в его основании.

Подобная, по расчетной схеме, задача решена В. К. Кабуловым [7], для случая, когда на конце консоли находилась сосредоточенная масса. Им вычислены частоты собственных колебаний и дан характер распределения нулей собственных функций по длине консоли в зависимости от отношения массы груза к массе консоли.

Обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений является одной из задач, решение которых будет способствовать сохранению материальных благ.

Цель настоящей работы—обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений, в частности—сооружений башенного типа. Таковыми могут являться водонапорные башни, бункерные и силосные башни, а также радио и телевизионные мачты и т. д.

В диссертационной работе даются теоретические расчеты и расчетные формулы сооружений вышеуказанного типа на сейсмостойкость.

Динамическая теория сейсмостойкости играет важную роль в строительстве при проектировании высоких массивных жилых, гражданских, общественных, промышленных и других зданий и сооружений в сейсмических районах. Большое значение имеет также теория сейсмостойкости гидроупругих систем при проектировании плотин, резервуаров и сооружений башенного типа (водонапорная башня, дымовая труба, радио и телевизионная мачта, бункерные и силосные башни и др.) (Понятие „гидроупругая система“ заимствовано из работы [1] акад. М. Т. Уразбаева).

Решениями XX и XXI съездов КПСС, а также решениями совещания по снижению стоимости и улучшению качества сейсмостойкого строительства были предусмотрены высокие темпы строительства многоэтажных жилых, гражданских, промышленных зданий и сооружений.

Теоретический расчет зданий и сооружений на сейсмостойкость имеет целью снизить стоимость и улучшить качество сейсмостойкого строительства. Эту цель преследуют работы многих исследователей.

Как известно, что суть расчета инженерных сооружений на сейсмостойкость заключается в проверке всех элементов сооружения на прочность и устойчивость при действии постоянных и переменных внешних сил.

Ясно, что невозможно предотвратить возникновение землетрясения, но изучая природу сейсмических явлений, выясняя причины разрушения во время землетрясения и возводя сейсмостойкие сооружения, мы можем избежать разрушительных последствий землетрясения. Откуда видно, что наука антисейсмического строительства разрабатывает методы борьбы с последствиями сейсмических воздействий.

Работа посвящена теоретическому расчету гидроупругой системы башенного типа. Одним из характерных примеров гидроупругой системы башенного типа является каркасное сооружение, несущее резервуары с жидкостью—водонапорная башня.

В работе даны методы расчетов гидроупругой системы башенного типа на сейсмостойкость; определены сейсмические нагрузки; аналитически показано влияние резервуара с жидкостью и переменности сечения на все факторы (частоты, формы собственных колебаний, изгибающие моменты, перерезывающие силы) колебаний исследуемой системы.

Работа состоит из шести глав. В первой главе решается задача гидродинамики. В этой главе дается расчет гидродинамического давления жидкости, находящейся в цилиндрическом резервуаре, на боковые стенки последнего, когда он совершает колебательное движение (т. к. по постановке задачи резервуар надвигается на свободном конце стойки, которая совершает поперечное колебательное движение). При расчете гидродинамического давления жидкости на боковые стенки резервуара было исходено из уравнения Лапласа в цилиндрических координатах. Это уравнение решено при соответствующих граничных условиях: когда вертикальная составляющая скорости жидкости на дне резервуара равна нулю; когда на свободной поверхности жидкости динамическое давление отсутствовало и когда на боковой поверхности удовлетворяется условие [8]:

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right|_{r=a} = \frac{\partial y(l, t)}{\partial t} \cdot \sin \theta$$

При этих граничных условиях искомое давление найдено в виде [2, 8]:

$$R_1 = -m_{ж} \frac{\partial^2 y(l, t)}{\partial t^2} \lambda(a, h, \bar{\omega}_k), \quad (1)$$

где  $m_{ж}$  — масса жидкости, находящейся в цилиндрическом резервуаре внутренним радиусом  $a$ ;

$y(l, t)$  — закон движения свободного конца стойки длиной  $l$ ;

$\lambda(a, h, \bar{\omega}_k)$  — коэффициент, зависящий от внутреннего радиуса резервуара и от глубины  $h$  жидкости в нем, а также от частоты колебаний жидкости.

Во второй и последующих главах освещаются вопросы расчета гидроупругой системы башенного типа на сейсмостойкость.

Во второй главе работы исследуются поперечные колебания стойки постоянного сечения, несущей на свободном конце цилиндрический резервуар с жидкостью, и аналитически вычисляются влияния этого резервуара с жидкостью на частоты и фор-

мы ее собственных и вынужденных колебаний, а также даются расчетные формулы для изгибающих моментов и перерезывающих сил с учетом гидродинамического эффекта жидкости.

При исследовании поперечных колебаний рассматриваемой стойки исходили из дифференциального уравнения вида:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[ EJ \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} \right] + m \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} = q(x, t). \quad (2)$$

Решение дифференциального уравнения свободного колебания стойки, защемленной нижним концом и несущей на свободном конце цилиндрический резервуар с жидкостью общей приведенной массой  $M_1$ , ищется в функциях акад. Крылова А. Н.

При этом получается уравнение частот собственных колебаний рассматриваемой стойки в виде:

$$\frac{1}{\alpha} \left[ 1 + \operatorname{ch} \alpha \cos \alpha \right] - \alpha \left[ \operatorname{ch} \alpha \sin \alpha - \operatorname{sh} \alpha \cos \alpha \right] - 2\epsilon \alpha^2 \operatorname{sh} \alpha \sin \alpha - \\ - (r + \epsilon^2) \alpha^3 \left[ \operatorname{ch} \alpha \sin \alpha + \operatorname{sh} \alpha \cos \alpha \right] + \alpha r \alpha^4 \left[ 1 - \operatorname{ch} \alpha \cos \alpha \right] = 0 \quad (3)$$

где  $\alpha = \frac{M_1}{ml}$  — отношение приведенной массы груза ко всей массе стойки.

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{m \omega^2}{EJ}} \cdot l, \quad r = \left( \frac{\rho}{l} \right)^2, \quad \epsilon = \frac{b}{l}.$$

Корни  $\alpha$  уравнения (3) зависят от различных значений параметров  $\alpha$ ,  $r$ ,  $\epsilon$ . В работе приводятся значения корней уравнения (3) и вычисляются значения частот, форм собственных колебаний стойки, а также значения изгибающего момента и перерезывающей силы в любом сечении для любого момента времени [3].

В этой главе отмечен случай резонансного состояния исследуемой системы в зависимости от значений параметра  $\alpha$ .

В третьей главе дается расчет сейсмических нагрузок для сооружений башенного типа. Здесь сооружения башенного типа рассматриваются, сначала, схематически как дискретная система, а затем переходит к обобщению полученных результатов для систем с бесконечным числом степеней свободы. Приведены расчетные формулы сейсмических нагрузок для систем с двумя и

тремя степенями свободы по методике СН и П II А 12-62 и показан метод перехода расчета сейсмических нагрузок для сооружений башенного типа с равномерно распределенной по всей длине  $l$  массой и сосредоточенной на свободном конце массой  $M_1$  [4]. Здесь формула определения сейсмических нагрузок приведена к наиболее удобному для их расчета виду.

В четвертой главе сопоставляются полученные результаты второй главы с экспериментальными и натурными данными, полученными проф. Ruge A. [6].

В пятой главе освещен вопрос о расчете гидроупругой системы башенного типа с переменным сечением на сейсмостойкость. Рассматривается стойка трапециoidalного сечения (вид продольного сечения), несущая на свободном конце цилиндрический резервуар с жидкостью общей массой  $M_1$  и показано влияние переменности сечения на характер движения системы. Уравнение частот для такого типа стойки имеет вид:

$$\begin{aligned} & \left[ 8 J_4 - y J_5 - y^2 \cdot \frac{\bar{\alpha}}{2} \cdot J_2 \right]_{y = \bar{\lambda} n} \cdot \left[ Y_2(n) \left[ K_3(n) I_4(\bar{\lambda} n) + \right. \right. \\ & \left. \left. + I_3(n) K_4(\bar{\lambda} n) \right] + Y_3(n) \left[ I_2(n) K_4(\bar{\lambda} n) - K_2(n) I_4(\bar{\lambda} n) \right] - \right. \\ & \left. - Y_4(\bar{\lambda} n) \left[ I_2(n) K_3(n) + K_2(n) I_3(n) \right] \right] - \\ & - \left[ 8 I_4 + y I_5 - y^2 \cdot \frac{\bar{\alpha}}{2} \cdot I_2 \right]_{y = \bar{\lambda} n} \cdot \left[ - Y_2(n) \left[ J_3(n) K_4(\bar{\lambda} n) - \right. \right. \\ & \left. \left. - K_3(n) J_4(\bar{\lambda} n) \right] + Y_3(n) \left[ J_2(n) K_4(\bar{\lambda} n) - K_2(n) J_4(\bar{\lambda} n) \right] - \right. \\ & \left. - Y_4(\bar{\lambda} n) \left[ J_2(n) K_3(n) - K_2(n) J_3(n) \right] \right] + \\ & + \left[ 8 Y_4 - y Y_5 - y^2 \cdot \frac{\bar{\alpha}}{2} \cdot Y_2 \right]_{y = \bar{\lambda} n} \cdot \left[ - J_2(n) \left[ I_3(n) K_4(\bar{\lambda} n) + \right. \right. \\ & \left. \left. + K_3(n) I_4(\bar{\lambda} n) \right] - J_3(n) \left[ I_2(n) K_4(\bar{\lambda} n) - K_2(n) I_4(\bar{\lambda} n) \right] + \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \left. + J_4(\bar{\lambda} n) \left[ I_2(n) K_3(n) + K_2(n) I_3(n) \right] \right] - \\ & - \left[ 8 K_4 - y K_5 - y^2 \cdot \frac{\bar{\alpha}}{2} \cdot K_2 \right]_{y = \bar{\lambda} n} \cdot \left[ - J_2(n) \left[ I_3(n) Y_4(\bar{\lambda} n) + \right. \right. \\ & \left. \left. + Y_3(n) I_4(\bar{\lambda} n) \right] - J_3(n) \left[ I_2(n) Y_4(\bar{\lambda} n) - Y_2(n) I_4(\bar{\lambda} n) \right] + \right. \\ & \left. + J_4(\bar{\lambda} n) \left[ I_2(n) Y_3(n) + Y_2(n) I_3(n) \right] \right] = 0, \quad (4) \end{aligned}$$

здесь

$$\bar{\alpha} = \frac{M_1}{ml} \cdot \frac{\gamma}{(1-\gamma)^3}$$

Частоты собственных колебаний рассматриваемого типа стойки вычисляются через частоты собственных колебаний стойки с постоянным сечением по формуле:

$$\bar{\omega}_k = \frac{\gamma^2}{4} \cdot \frac{n_k^2}{z_k^2} \cdot \omega_k, \quad (5)$$

где  $\gamma$  — коэффициент, характеризующий переменности сечения,  
 $n_k, z_k$  — соответственно, корни уравнения частот собственных колебаний стойки переменного и постоянного сечения,  
 $\omega_k$  — частоты собственных колебаний стойки постоянного сечения.

В шестой главе освещен вопрос о применимости расчета гидроупругой системы башенного типа на сейсмостойкость с учетом нелинейности деформации основания.

По методике [5] расчета системы с нелинейными граничными условиями решено дифференциальное уравнение движения четвертого порядка в частных производных. Решение выбрано в функциях акад. Крылова А. Н., причем коэффициенты интегрирования считаются зависящими от частот собственных колебаний системы. В результате решений получено уравнение частот в виде:

$$\begin{aligned}
& n^4 r \alpha^2 F_1 + n^3 \alpha (r + \varepsilon^2 + \alpha r h_0) F_2 + n^2 \alpha (r h_0 + \varepsilon + \varepsilon^2 h_0) F_3 + \\
& + n \alpha (1 + \alpha r c_0 + 2 \varepsilon h_0) F_4 - (1 + \alpha^2 r c_0 h_0) F_5 - \alpha h_0 (1 + r + \\
& + \frac{\varepsilon^2 c_0}{h_0}) F_6 - \frac{1}{n} h_0 (1 + \alpha r c_0 + \alpha \varepsilon^2 c_0 + \frac{2 \alpha \varepsilon c_0}{h_0}) F_7 - \\
& - \frac{1}{n^2} \alpha c_0 (1 + \varepsilon h_0) F_8 - \frac{1}{n^3} c_0 (1 + \alpha h_0) F_9 + \frac{1}{n^4} c_0 h_0 F_{10} = 0, \quad (6)
\end{aligned}$$

где введены обозначения:  $h_0 = \frac{l H_{\text{опр}}}{EJ}$ ;  $c_0 = \frac{l^3 C_{\text{опр}}}{EJ}$ ;

$$F_1 = chn \cos n + 1; F_2 = chn \cos n - 1; F_3 = 2chn \cos n; F_4 = 2shn \sin n;$$

$$F_5 = chn \sin n + shn \cos n; F_6 = chn \sin n - shn \cos n.$$

Здесь  $H_{\text{опр}}$  и  $C_{\text{опр}}$  — приведенные жесткости упругой опоры в закрепленном конце стойки относительно, соответственно угловых и поперечных перемещений этого конца стойки.

Частоты собственных колебаний такой системы вычисляются по формуле:

$$\omega_k = \frac{n_k^2 (h_0, c_0, \alpha, r, \varepsilon)}{2\pi \lambda_k^2} \cdot \omega_k, \quad (7)$$

где  $n_k$  — корни уравнения (6).

Формы деформации при свободном колебании упругой системы с нелинейными граничными условиями определяются выражением:

$$u_k(\xi) = V(n_k \xi) + \frac{C}{D} \cdot U(n_k \xi) - \frac{n_k^3}{c_0} S(n_k \xi) + \frac{C}{D} \cdot \frac{n_k}{h_0} \cdot T(n_k \xi). \quad (8)$$

Коэффициент  $C/D$  зависит от значений параметров  $h_0, c_0, \alpha, r, \varepsilon$ . В этой главе приводится метод расчета рассматриваемого типа системы на сейсмостойкость с учетом нелинейности граничных условий.

В диссертационной работе для всех уравнений частот, форм собственных колебаний, изгибающих моментов и перерезываю-

щих сил применены современные электронно-цифровые вычислительные машины и результаты вычислений даются в виде таблиц и приложений.

Содержание работы опубликовано в статьях [2, 3, 4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Уразбаев М. Т. — „Сейсмостойкость гидроупругих систем“. Строительная механика и расчет сооружений, № 5, 1959.
2. Кариев Х. С. — „Давление жидкости на стенки колеблющегося резервуара“. Доклады АН УзССР, № 6, 1961.
3. Кариев Х. С. — „Исследование колебания стойки, несущей на свободном конце резервуар с жидкостью“. Известия АН УзССР, серия техн. наук, № 1, 1962.
4. Кариев Х. С. — „Расчет сейсмических нагрузок для сооружений башенного типа“. Доклады АН УзССР, № 1, 1962.
5. Григорьев Н. В. — „Нелинейные колебания элементов машин и сооружений“. Москва, 1961.
6. Ruge A. — „Transation of American Society Civil Engineers“. vol. 103. 1933. pp: 889 — 949.
7. Кабулов В. К. — „Свободные колебания консоли с массой на конце“. Известия АН УзССР, серия технических наук, № 1, 1957.
8. Гольденблат И. И., Николаенко Н. А. — „Расчет конструкций на действие сейсмических и импульсивных сил“. М. Госстройиздат, 1961.