



УДК 539.415

А.Н. Драновский, А.И. Латыпов

АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Возникновение автоколебаний в элементах и конструкциях различных технических устройств может привести к нарушению их нормальной работы и аварийным ситуациям, предусмотреть которые традиционными методами расчета невозможно. Примером этого служит разрушение крыльев и хвостового оперения самолетов из-за флаттера одного из разновидностей автоколебаний. Другим примером автоколебаний являются землетрясения высокого класса, возникающие при взаимном смещении блоков земной коры.

В процессе проектирования строительных конструкций возникает задача предотвращения катастрофических разрушений зданий и сооружений при неблагоприятных условиях. Для ее решения необходим полный анализ взаимодействия всех элементов и конструкций сооружения. Выбор конструктивной схемы, прочностных, деформационных и геометрических параметров отдельных элементов должен производиться на основе исследования несущей способности, деформативности, устойчивости, а также прогнозирования кинетики процесса деформирования и разрушения как отдельных элементов, так и всей системы в целом. Под кинетикой процесса разрушения понимаются скорости и, особенно, ускорения процесса деформирования при разрушении.

Процесс деформирования и разрушения строительных изделий и конструкций при статическом нагружении может происходить медленно, постепенно, квазистатически, т.е. без возникновения значительных ускорений и инерционных сил. Такой процесс в механике сплошной среды рассматривается как устойчивый. Перераспределение усилий в элементах, снижение их прочностных свойств происходит постепенно, без резких скачков. Процесс разрушения в этом случае носит длительный характер. Появление в элементах и конструкциях трещин, деформаций предупреждает о нарушении прочности и устойчивости сооружения и позволяет вовремя предотвратить разрушение принятием необходимых мер.

Гораздо более опасным является разрушение зданий и сооружений, возникающее внезапно, при отсутствии до разрушения значительных дефектов и деформаций. В силу кратковременности протекания предотвратить такой процесс часто бывает невозможно.

Такой вид разрушения может произойти из-за потери устойчивости несущих конструкций, оснований фундаментов, а также вследствие динамических воздействий, возникающих при автоколебаниях системы сооружения. В этом случае процесс разрушения протекает неустойчиво, дискретно, сопровождаясь резкими, скачкообразными изменениями прочностных и деформационных свойств элементов и конструкций.

В предлагаемой статье рассматривается новый подход к объяснению механизма разрушения, основанный на исследованиях прочности песчаного грунта при кинематическом режиме нагружения [1]. При дальнейших наших исследованиях [2-5] оказалось, что такой вид разрушения может возникать в статически неопределимых системах для любых материалов и конструкций, обладающих остаточной прочностью в запредельном состоянии. Основная особенность этого вида разрушения состоит в том, что оно развивается в результате возбуждения в системе автоколебательного процесса.

Для иллюстрации вышеизложенного рассмотрим испытание на прочность образца какого-либо материала, например, бетона, в испытательной машине с винтовым приводом (рис. 1а). Образец помещается между испытательным столиком и верхней плитой, соединенными между собой винтовыми штангами, вращением которых осуществляется подъем или опускание плиты.

Различными исследователями отмечался тот факт, что разрушение образца в значительной степени зависит от системы нагружения. Для одного и того же образца при испытаниях на прочность может произойти или не произойти полная потеря сплошности, монолитности. На рис. 1б показаны две возможные диаграммы разрушения. После достижения максимальной прочности при выключении мотора испытательной машины образец может продолжать деформироваться, не разрушаясь (диаграмма 1), а может полностью потерять свою несущую способность (диаграмма 2).

На сегодняшний день существует мнение, что, изменяя жесткость испытательной машины k_m и жесткость образца $k_{об}$, можно добиться для одного и того же материала устойчивого или неустойчивого разрушения. С этой целью предлагается, например, увеличить площадь поперечного сечения или уменьшить высоту образца.

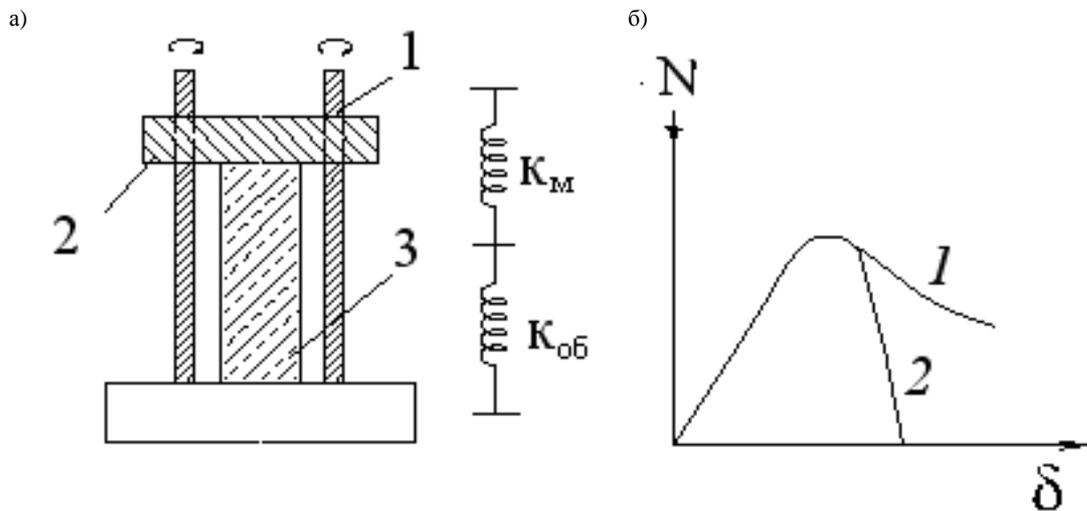


Рис.1. Влияние жесткости испытательной машины на разрушение:
 а - схема испытательной машины: 1 - винтовая штанга, 2 - верхняя плита, 3 - образец;
 б - примеры устойчивого 1 и неустойчивого 2 разрушения

Однако наши исследования показали, что характер разрушения зависит не от жесткости машины и жесткости образца, а от жесткости нагружающей системы, которая приблизительно может рассматриваться как жесткость системы образец-машина и диаграммы деформирования в запредельном состоянии.

Жесткость системы образец-машина определяется схемой нагружения. Например, для схемы, изображенной на рис.1а, суммарное перемещение системы d_Σ определяется выражением:

$$d_\Sigma = \frac{N}{K_M} + \frac{N}{K_{об}} = \frac{N(K_M + K_{об})}{K_M \cdot K_{об}}, \quad (1)$$

где N - передаваемое на образец вертикальное усилие.

Тогда жесткость системы равна:

$$K_\Sigma = \frac{K_M + K_{об}}{K_M \cdot K_{об}}. \quad (2)$$

На основе проведенных ранее экспериментов установлено, что характер разрушения образцов и кинетика процесса разрушения зависят от того, происходит ли в системе возбуждение автоколебаний или нет.

Теоретический вывод критерия самовозбуждения колебаний был выполнен в работе [5] на основе анализа модели упругопластической системы. Устойчивость процесса запредельного деформирования определяется условием невозникновения в системе автоколебаний. Последнее зависит от соотношения жесткости системы K_Σ и резкости спада позиционной характеристики силы пластического сопротивления $N(\delta)$ образца (рис.2).

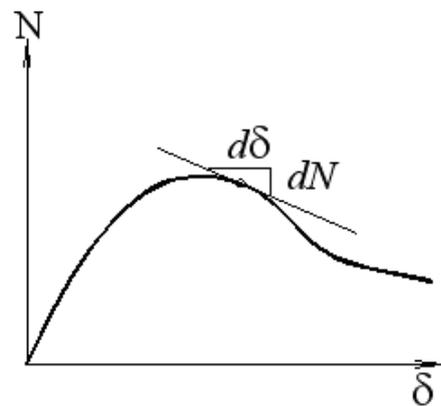


Рис.2.Графическое определение момента страгивания

Система деформируется устойчиво при

$$K_\Sigma + \frac{dN}{d\delta} > 0 \quad (3)$$

и неустойчиво – при

$$K_\Sigma + \frac{dN}{d\delta} \leq 0. \quad (4)$$

Физический смысл приведенного выше неравенства следующий: пластическая деформация происходит динамически, если при малом ее приращении скорость снижения разрушающего усилия меньше скорости падения сопротивления разрушению.

Момент возникновения неустойчивого разрушения, момент страгивания, может быть определен графически, как показано на рис.2. Для этого необходимо к кривой $N(\delta)$ провести касательную, наклон которой равен коэффициенту K_Σ с обратным знаком.



Условие (4) является критерием самовозбуждения колебаний, который может быть выражен через потенциальную энергию системы W :

$$\frac{\partial^2 W}{\partial d^2} + \frac{dN}{dd} \leq 0. \quad (5)$$

Таким образом, при статическом нагружении процесс разрушения элементов и конструкций может носить автоколебательный характер. Из-за неустойчивости и быстротечности такого вида разрушения невозможно провести полноценные испытания на прочность некоторых материалов с получением остаточной ветви диаграммы напряжение - деформация. То есть задача проектировщика - добиться, чтобы разрушение было устойчивым. Поэтому для исключения неустойчивого разрушения элементов и конструкций их жесткость на стадии проектирования должна рассматриваться не только с позиций недопущения предельных деформаций, но и с позиции исключения возможности автоколебательного разрушения.

Необходимо отметить, что в настоящий момент изучаются, в основном, фрикционные автоколебания, т.е. автоколебания, возникающие при контакте трущихся поверхностей. Причем, многими исследователями в качестве обязательного условия возникновения автоколебаний считается падающая характеристика трения. Например, способность смычка скрипки поддерживать колебания струны связывается со снижением трения при переходе от малых скоростей к средним.

Исследования показали, что в статически неопределимых системах автоколебательный характер процесса разрушения может наблюдаться для любых конструкций или элементов конструкций, характеризуемых падающей ветвью диаграммы деформирования. Причем, причиной снижения запредельной прочности могут быть как особенности свойств материала конструкции, так и образование ослабленных участков, например, шейки при растяжении стального стержня или трещин при сжатии бетонного или железобетонного элемента.

Выводы:

1. Процесс деформирования и разрушения строительных изделий и конструкций при статическом

нагружении может происходить как медленно, постепенно, квазистатически, так и неустойчиво, дискретно, динамически.

2. Характер процесса деформирования при разрушении и кинетика процесса зависят от жесткости конструктивной системы и резкости спада позиционной характеристики силы пластического сопротивления элемента системы.

3. Автоколебательный процесс разрушения может наблюдаться для любых материалов и конструкций, характеризуемых падающей ветвью диаграммы деформирования в запредельном состоянии.

4. Необходимо проведение исследований работы конструкций и сооружений с позиции невозникновения в их элементах автоколебательного разрушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Драновский А.Н. Явление автоколебаний при испытании грунтов на прямой срез при кинематическом режиме нагружения // В сб. трудов международной конференции по механике грунтов и фундаментостроению Геотехника Поволжья-99. Йошкар-Ола, Салика, 1999. - С.22-27.
2. Латыпов А.И., Савкин С.М. О прочностных свойствах песчаных грунтов при автоколебательном разрушении // Сборник трудов Международной научно-технической конференции Современные проблемы фундаментостроения, часть 3,4. Волгоград, 2001. - С.55-57.
3. Савкин М.С., Латыпов А.И. Определение статических и кинетических характеристик сопротивления грунтов разрушению // Міжвідомчий науково-технічний збірник 4-та українська науково-технічна конференція Механіка ґрунтів та фундаментобудування, Вып.53. кн.1. Київ, НДІБК, 2000. - С.215-220.
4. Драновский А.Н. Влияние жесткости зданий и сооружений на кинетику разрушения оснований фундаментов // Міжвідомчий науково-технічний збірник 4-та українська науково-технічна конференція Механіка ґрунтів та фундаментобудування, Вып.53. кн.1. Київ, НДІБК, 2000. - С. 102-107.
5. Драновский А.Н. О механизме дискретного деформирования грунтов // В сб. трудов Международной научно-технической конференции. Современные проблемы фундаментостроения, часть 3, 4. Волгоград, 2001. - С.34-37.