

А.Ф. Колинченко

A.F. Kolinichenko

Научно-технический центр «Промбезопасность-Оренбург»

Scientific technical center OOO "Prombezopasnost-Orenburg"

ПРОБЛЕМА ЗАЩИТЫ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

PROBLEM OF PROTECTION OF EXPLOSIVE AND FIRE RISK FACILITIES DURING EARTHQUAKING

Аннотация. Автор делает обобщение о том, что многие виды электротехнического оборудования способны разрушаться при землетрясениях интенсивностью 6 и менее баллов. Это может инициировать аварии на взрывопожароопасных производствах. В статье рассматривается метод решения данной проблемы на основе собственных разработок автора и известных работ в данном научном направлении.

Abstract. The author makes a conclusion that many types of electrotechnical equipment can be destroyed by 6 point and less earthquakes. This can initiate accidents at explosive and fire risk works. In the article a method of solution of this problem is considered on basis of author's personal researches and well-known works in this scientific direction.

Практика сейсмостойкого строительства зданий и сооружений получила широкое развитие в нашей стране. Эти вопросы регламентирует главный документ СНиП II-7-81* «Сейсмостойкое строительство». Он рекомендует антисейсмические мероприятия разрабатывать при интенсивности землетрясений более 6 баллов. Но анализ последствий многочисленных землетрясений, имевших интенсивность 6 и менее баллов говорит о том, что многие технические системы обладают значительно меньшей прочностью, чем конструкции зданий или сооружений.

Примером тому может служить Румынское землетрясение (март 1977г.), имевшее интенсивность в эпицентре 9 баллов по шкале MSK-64. На удаленных территориях бывшего Советского Союза при интенсивности 5 баллов отмечался массовый выход из строя электротехнического оборудования, а также оборудования и устройств, обеспечивающих автоматическое управление производственными процессами (далее «ЭТО»). Другим примером может служить Джамбульское землетрясение интенсивностью 7 баллов (май 1971г.) Характерно, что здесь остались практически неповрежденными строительные конструкции, но на многих подстанциях были разрушены выключатели, разрядники, изоляторы, маслонаполненные вводы и др., с соответствующим выходом из строя всех систем энергообеспечения. Что это означает на взрывопожароопасных предприятиях?

За разъяснением ситуации обратимся к объектам газовой промышленности и в частности, к объектам переработки газа.

Такие предприятия характеризуются высокой опасностью производства, вызванной свойством сырья – природного газа, конденсата, а также параметрами технологических процессов, таких как давление и температура. Для них характерна высокая степень автоматизации и ее неоднородность как по уровню самих систем, так и по степени внедрения в процессы. На таких предприятиях имеется большая насыщенность силовыми электрическими машинами (насосы и компрессоры), а также большое количество исполнительных механизмов (заслонки, задвижки, краны, регуляторы, вентили и др.) с пневмогидравлическими или электрическими приводами. В дополнение к этому, немаловажным является тот факт, что газоперерабатывающие предприятия являются частью технологических цепей общих систем газоснабжения. Они располагаются на больших расстояниях и их работа невозможна без надежной связи и средств автоматизации. Выход из строя силовых машин или исполнительных механизмов, управляемых по достаточно протяженным сетям способен инициировать опасные явления, такие как взрывы и пожары.

Отсюда вытекает вывод о научной и практической актуальности проблемы, связанной с защитой производственных фондов, обслуживающего персонала, а также с экологической безопасностью.

Не случайно, на таких особо опасных объектах, как атомные электростанции, рекомендуется учитывать сейсмические воздействия, начиная с 4 баллов, а все ЭТО должно поставляться в сейсмостойком исполнении. Подобные требования предъявляются и в других зарубежных странах, в том числе, в США и Японии.

Методология определения уровней сейсмостойкости различных видов оборудования у нас в стране разработана достаточно хорошо. Имеется необходимое количество ГОСТов, устанавливающих классификацию технических изделий и уровни сейсмических нагрузок на эти изделия в зависимости от интенсивности землетрясений и их места размещения.

Но, несмотря на достаточно глубокую проработку этих вопросов, на опасных производственных объектах, газовой промышленности ЭТО в сейсмостойком исполнении не встречается.

До выхода в свет СНиП II-7-81* с комплектом карт ОСР-97 такая ситуация была нормальной и объяснимой. В настоящее время объяснения этому нет. А вопрос, когда произойдет то или иное землетрясение техногенного характера, можно и не ставить. Они, уже имеют место и особенно в районах интенсивной добычи углеводородного сырья.

Автор считает что, игнорируя эти опасности, мы ставим нашу среду обитания на уровень высочайшего риска, который может обернуться крупными авариями и катастрофами.

Известно, что для ЭТО высокочастотные резонансные колебания являются наиболее опасными. А с учетом того, что декременты колебаний таких устройств значительно меньше декрементов колебаний строительных конструкций, резонансные колебания могут приводить к ускорениям в десятки раз превышающим ускорения оснований, на которых установлены эти устройства. К тому же, на верхних этажах (ярусах), где размещается оборудование, сейсмический эффект может возрасти на 1 – 2 балла. Именно по этой причине известны многочисленные факты, когда строительные конструкции остаются неповрежденными, а выходят из строя, прежде всего фрагменты оборудования, особенно те, в которых имеются детали, обладающие высокой хрупкостью.

Расчет ЭТО на сейсмические нагрузки включает в себя определение характеристик различных тонов колебаний, их частот и коэффициентов затухания. Для таких устройств удобно проводить поэлементный расчет собственных частот. В соответствии с [1] частоты отдельных элементов принимаются выше частот колебаний основного тона конструкции в целом, и ее минимальная частота определяется по формуле Донкерли:

$$f_c \leq \left(\sum_{i=1}^n f_i^{-2} \right)^{-\frac{1}{2}},$$

где f_c - частота основного тона колеблющейся конструкции;

f_i - парциальные частоты отдельных элементов.

Этот метод позволяет выделять отдельные элементы, подлежащие доработке или замене.

Но постановка вопроса о полной замене ЭТО на взрывопожароопасных объектах представляется неосуществимой и наиболее приемлемыми и эффективными могут быть конструктивные меры, основанные на применении систем местной амортизации. Научные интересы автора выражаются в разработке упруго-пластических элементов крепления защищаемых объектов, которые в обычных условиях, работают в упругой стадии, а в случае кинематических воздействий, вызываемых землетрясениями, работают в стадии пластического деформирования. В этом и заключается смысл научной задачи, решаемой автором.

Физический смысл таких креплений наглядно представлен на рисунке 1^а. Здесь система

крепления состоит из упругого и параллельно присоединенного к нему вязкого элемента. Общее сопротивление движению такой системы, обладающей массой m связано с сопротивлением упругого элемента c и сопротивлением вязкого элемента, который характеризует интенсивность затухания колебаний.

Из элементарного курса динамики сооружений известно, что дифференциальное уравнение движения таких объектов имеет вид

$$\ddot{y} + 2k \dot{y} + \omega^2 y = 0. \quad (1)$$

Ввиду того, что круговая частота затухающих колебаний выглядит как

$$\omega_1^2 = \omega^2 - k^2,$$

где k - коэффициент неупругого сопротивления, общее решение этого дифференциального уравнения будет

$$y = e^{-kt} (M \sin \omega_1 t + N \cos \omega_1 t), \quad (2)$$

где M и N – произвольные постоянные, определяемые в зависимости от начальных условий, перемещения, скорости и времени.

Если значение k ничтожно мало ($k \rightarrow 0$), будем иметь дифференциальное уравнение колебания без учета сил неупругого сопротивления

$$m \ddot{y} = -cy, \quad (3)$$

и в практических расчетах можно считать, что $\omega_1 = \omega$.

Если $k > \omega$, происходит перемещение объекта от положения равновесия и его возвращение обратно, а в случае $k = \omega$, обратного возвращения не происходит, объект плавно перемещается в другое положение без колебаний, т.е. происходит аperiодическое движение.

Конструктивная особенность упруго-пластических элементов выражается в создании саморегулируемых моделей, позволяющих обеспечивать заданное значение k , и перемещение защищаемых объектов в допустимых пределах δ , с безопасно-необходимым значением ускорения, а также в возможности, уводить систему от резонансного или квазирезонансного состояния. В тех случаях, когда аппаратура и приборы размещаются на панелях или стойках, расчетные схемы могут иметь вид, представленный на рисунке 1^б. Здесь под каждую массу значение k индивидуально, а взаимными влияниями колебаний можно пренебречь [2].

Упруго-пластические элементы, о которых идет речь, представляют собой устройства, способные при воздействии внешних нагрузок, кинетическую энергию удара преобразовывать в работу упруго-пластических деформаций за счет изгиба, растяжения, сжатия, кручения или среза, специально предусмотренных для этих целей, элементов. Их конструктивные особенности зависят от величины допускаемого абсолютного ускорения защищаемого объекта и пространства, на котором возможно его перемещение. Простейшим представителем таких устройств является полукольцевая металлическая скоба, сочетающая в себе возможность работы в упругой и пластической стадии. Упругая работа обеспечивается в условиях обычного режима, а пластическая при ударных или кинематических воздействиях (рисунок 1^б).

Главным условием для таких упруго-пластических элементов [3] является

$$P_2^k - P_1^k = \sum A_i, \quad (4)$$

где P_1^k - кинетическая энергия объекта в момент начала сейсмического воздействия;

P_2^k - кинетическая энергия на пути торможения (при $P_2^k = 0$ перемещение объекта полностью прекращено).

$\sum A_i$ - сумма работ реакций связей на пути торможения объекта.

Если объект перемещается вертикально (рис.1^б) реакциями связи является

сопротивление всех полукольцевых скоб деформируемого упруго-пластического элемента.

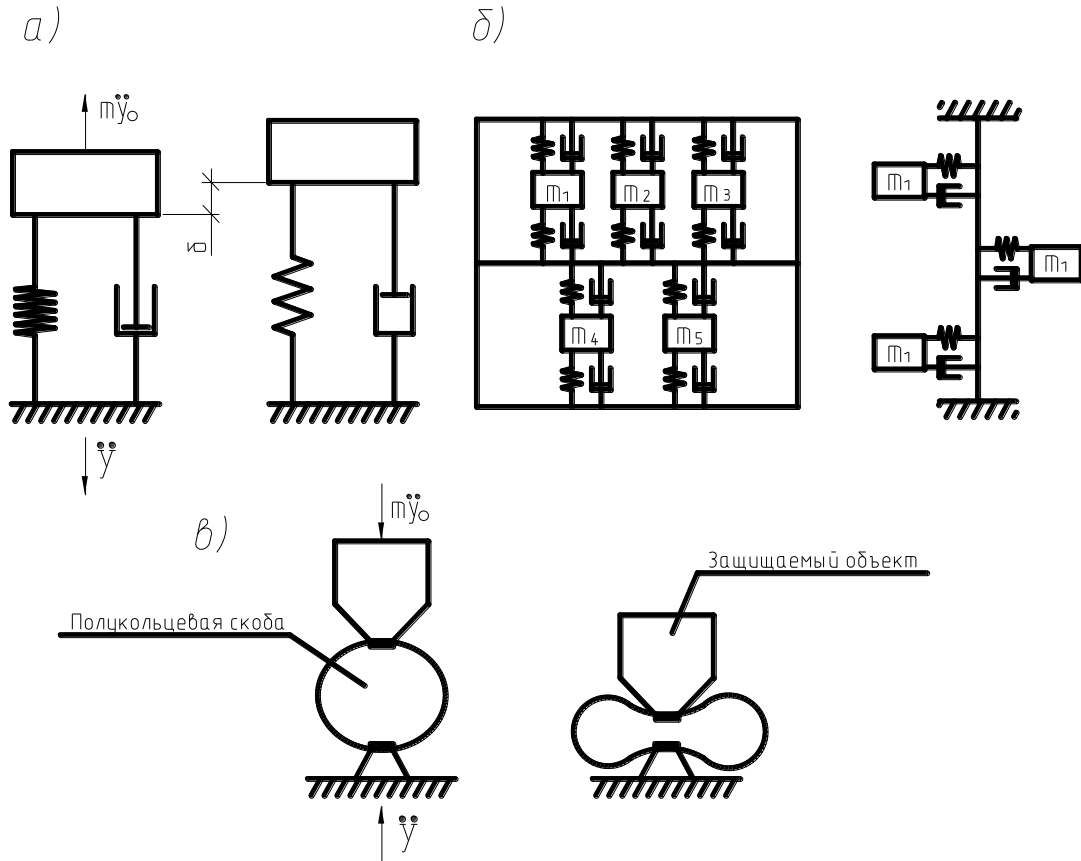


Рис.1. Расчетные схемы механических систем (рисунки а, б) и схема простейшего представителя упруго-пластического элемента (полукольцевая скоба) до деформирования и после (рисунок в).

Тогда момент в каждом изгибаемом элементе, в зависимости от кривизны выражается как

$$M = E\varepsilon \int_0^{y_r} y^2 \sqrt{r^2 - y^2} dy + \sigma_T \int_{y_r}^r y \sqrt{r^2 - y^2} dy, \quad (5)$$

где ε - характеристика изменения кривизны;

σ_T - предел текучести материала скоб.

При движении объекта по вертикали, усилие сопротивления определяется из условия

$$P_o = \frac{T_1 \pm Gh}{n(h - \frac{\Delta h}{2})}, \quad (6)$$

где G - вес объекта;

h - длина пути торможения, на котором необходимо погасить кинетическую энергию перемещаемого объекта;

n - число упруго-пластических элементов;

Δh - величина перемещения, при которой наступает предел упругости упруго-пластического элемента.

В выражении 6 знаки «+» и «-» принимаются в зависимости от движения вниз или вверх.

Если известна величина допускаемой перегрузки или допускаемого абсолютного ускорения объекта усилие сопротивления деформирования одного упруго-пластического элемента может быть определено из условия

$$P_0 \leq \frac{[k_n]G}{n}, \quad (7)$$

где k_n - допускаемый коэффициент перегрузки, установить который можно экспериментальным методом на аналоговых объектах.

Или по условиям допускаемого абсолютного ускорения

$$\frac{nP_0 - G}{m} \leq [\ddot{Y}], \quad (8)$$

где $[\ddot{Y}]$ - абсолютное ускорение, допустимое для конкретного объекта.

Для решения задачи, необходимо знать характеристику возмущающей силы, которая может быть получена различными методами в виде акселерограмм сейсмического движения грунта, зарегистрированного в данном районе. А если учитывать, что многие виды оборудования размещаются непосредственно на конструкциях зданий или сооружений, которые в свою очередь имеют свои индивидуальные динамические характеристики, то для этого необходимо иметь кроме акселерограмм сейсмического движения грунта, еще амплитудно-частотные характеристики конструкций зданий. Методы решения этих задач известны.

Приведенные выше выкладки показывают принципиальный ход расчета и конструирования упруго-пластических элементов, как при однократном сейсмическом воздействии, так и при многократном, в том числе неперiodического характера [4,5].

Конструкция упруго-пластических элементов не является сложной и дорогостоящей. К примеру, для крепления электрического шкафа, установленного на железобетонном постаменте или на междуэтажном железобетонном или металлическом перекрытии, вместо жесткого крепления достаточно установить податливое. Вариантом такого крепления может быть упруго-пластический болт (рис.2), способный работать в шести направлениях по трем взаимно перпендикулярным осям [6].

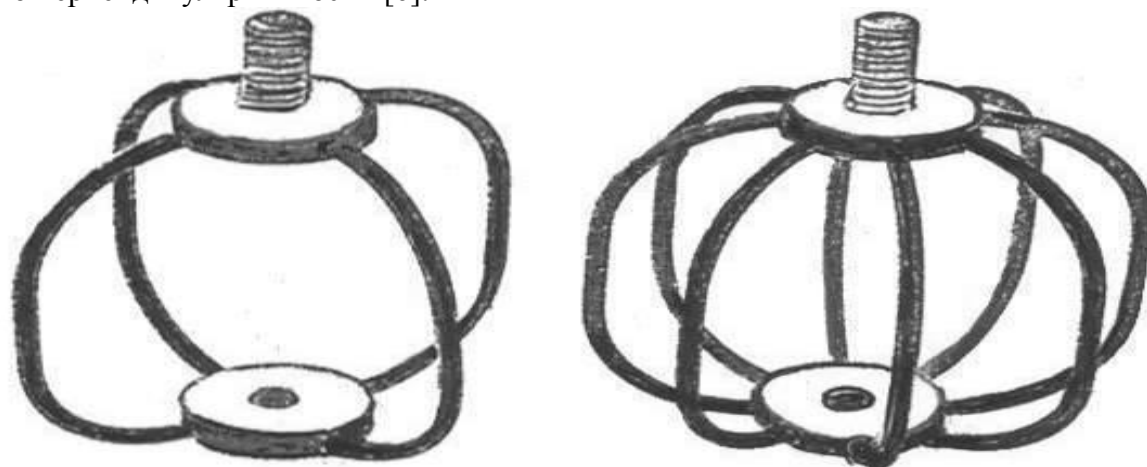


Рис.2. Упруго-пластический элемент (болт) для крепления оборудования.

Материалом для таких креплений могут быть обычные малоуглеродистые стали или алюминий-магниево-сплавы, обладающие достаточными пластическими свойствами.

Способ защиты ЭТО с помощью вышепредставленных устройств обладает научной и практической новизной. Он позволяет повышать надежность работы взрывопожароопасных производств, не заменяя работающее ЭТО на новое, изготовленное во взрывобезопасном исполнении. Одновременно большая энергоемкость, низкая материалоемкость, простота изготовления и практически неограниченный ресурс использования таких элементов, не требующих регламентного обслуживания, делают этот способ защиты экономически привлекательным и целесообразным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бернштейн С.А. Основы динамики сооружений.- М.: Госстройиздат, 1983 - 620с.
2. Д.К. Драгун, В.И. Демин, В.Я. Иванин Местные системы амортизации пластического типа. - М.: МО СССР, 1988 - 77с.
3. ОСТ 92-9011-78 Элементы упруго-пластические амортизаторов пластического типа. М.: МО СССР, 1978 - 247с.
4. Рутман Ю.Л., Колинченко А.Ф. и др. Методика расчета рабочих характеристик податливых опор. - М.: ВНИИГАЗ, 1991 - 131с.
5. Колинченко А.Ф. Безопасность промышленных производств и активные способы ее обеспечения. - Свердловск: АН СССР УО, 1991- 42с.
6. Парфенников В.А., Жуков А.П. и др. Податливый болт для крепления оборудования. а.с. 127380 от 11.03.1979.
7. Жуков А.П., Колинченко А.Ф. и др. Податливый болт для крепления оборудования. А.с. 237446 от 05.05.1985г.