

ЯВЛЕНИЕ РЕЗОНАНСА В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАДШАХТНЫХ КОПРАХ КРИВОРОЖСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО БАСЕЙНА В РЕЗУЛЬТАТЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

А.П. Иванова, А.Н. Чумак, Л.В. Феськова, Государственное высшее учебное заведение "Национальный горный университет", Украина

В статье обоснована необходимость учета частотного состава техногенных землетрясений, что позволяет выполнять необходимую защиту сооружений, особенно длительно эксплуатирующийся, от резонансного воздействия.

Введение. Бурное развитие техники, наращивание темпов добычи полезных ископаемых, развитие энергетики, происходящие в последнее время, сочетаются с увеличением ответственности по отношению к окружающей среде. Постоянное усложнение инженерных конструкций и сооружений увеличивают их уязвимость от природных явлений. К опасным явлениям относятся собственно сейсмические сотрясения, оползни, обвалы, разжижения грунта и сейсмотектонические разрывы (практически мгновенные разрывные сейсмотектонические смещения связаны с разрывными выходами сейсмических очагов на земную поверхность). Смещения земной поверхности могут достигать многих метров и, безусловно, опасны для любых инженерных сооружений.

Большое количество примеров современных сейсмических катастроф показывают, что при проектировании зданий и сооружений очень важен учет степени сейсмической опасности региона строительства. В особенности это касается ответственных сооружений, разрушение которых может привести к гибели людей, большому материальному ущербу и нанести вред окружающей среде.

Состояние вопроса. Последние исследования и наблюдения показали, что во многих районах предполагаемая оценка уровня сейсмичности занижена. Также до сих пор не разработана методика, позволяющая с высокой точностью прогнозировать, где и в какое время произойдет землетрясение. Яркий пример этого – землетрясения в г. Кривой Рог.

На рисунке 1 показан график сейсмической активности в городе Кривой рог. Как видно из графика землетрясения имеют тенденцию возрастать по магнитуде.

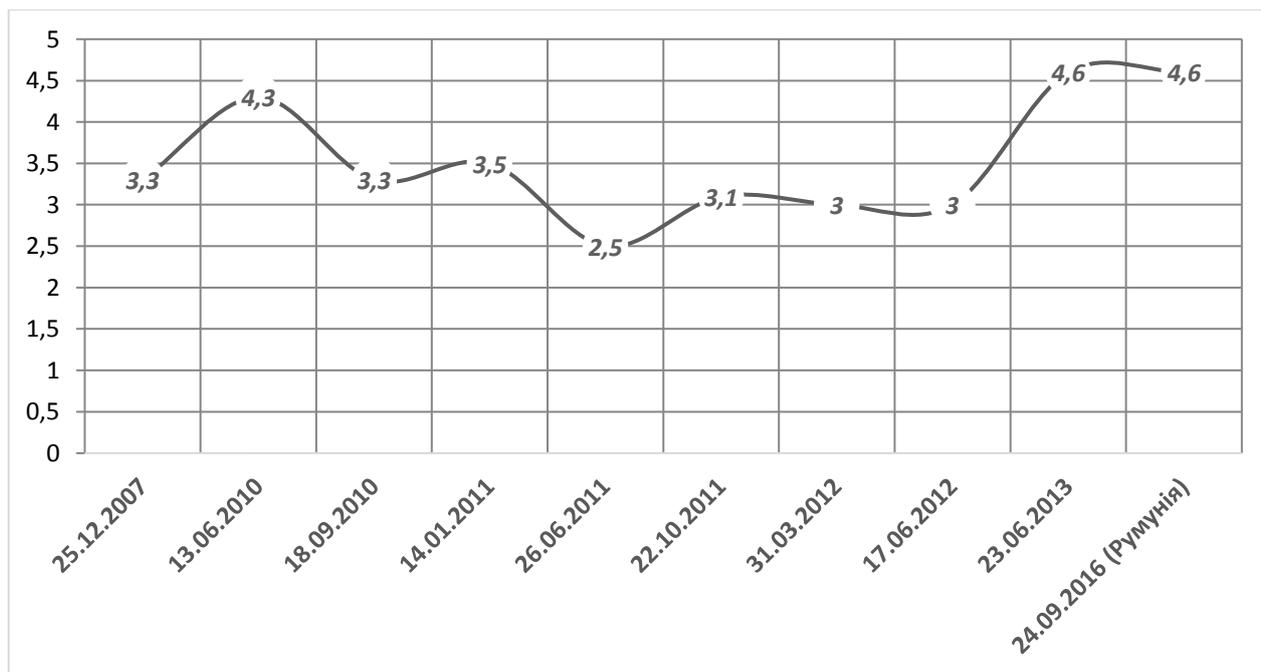
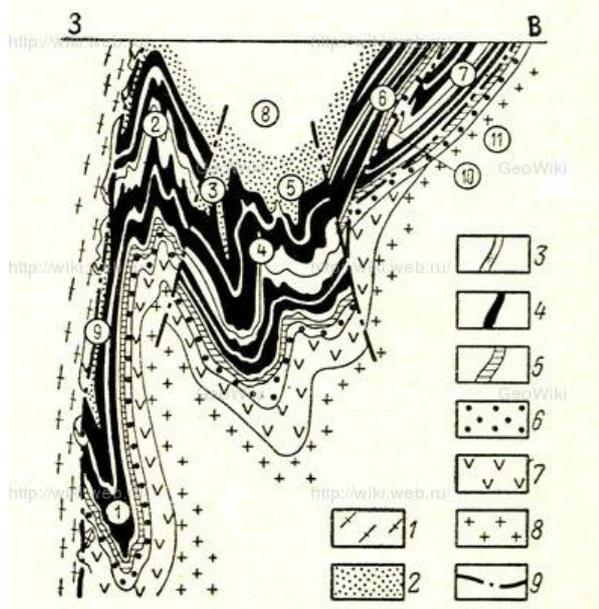


Рис. 1 Основные даты землетрясений и их магнитуда произошедшие в г.Кривой Рог

Согласно карте прогнозируемой интенсивности сейсмических воздействий (сейсмической балльности), территория г. Кривого Рога и Криворожского железорудного бассейна (рис.2) относится к слабосейсмическому региону [6].



1 — микроклин-плагноклазовые граниты; 2 — отложения верхней свиты криворожской серии; 3 — сланцевые горизонты средней свиты; 4 — железистые горизонты средней свиты; 5 — тальк-карбонатный горизонт; 6 — отложения нижней свиты; 7 — амфиболиты; 8 — плагнограниты; 9 — тектонические нарушения.

Складчатые и разрывные структуры: 1 — Лихмановская синклиналь, 2 — Тарапако-Лихмановская антиклиналь, 3 — Западно-Ингулецкая синклиналь, 4 — Советская антиклиналь, 5 — Восточно-Ингулецкая синклиналь, 6 — Саксаганская антиклиналь, 7 — Саксаганская синклиналь, 8 — Основная синклиналь, 9 — Главный Криворожский разлом, 10 — Саксаганский надвиг, 11 — Восточный надвиг

Рис. 2 Тектоническая схема Криворожского бассейна в районе Кривого Рога

Причины данных землетрясений по сей день являются центром споров многих геофизиков основными гипотезами которых являются тектоническая и техногенная природа возникновения явления. По тектонической теории город находится в районе северного края мощного сейсмоактивного пояса нашей планеты, который тянется от Азорских островов через Средиземное море, захватывает Румынию, где Зона Вранча, захватывает Одесскую область, Крым, Кавказ, дальше идет на Гиндукуш, там раздваивается – одна часть идет в сторону Байкала, другая в сторону острова Суматра. В этом поясе такие землетрясения - частое явление.

Цель статьи. Сейсмическая волна имеет определенные характеристики, основными являются - ускорение волны и частота. Именно частотный состав остаётся за пределами внимания и, как следствие, здания не получают должной защиты от резонансного воздействия. Это оправдывает себя при слабых землетрясениях, когда продолжительность воздействия мала и резонансное состояние просто не возникает, но при сильных землетрясениях, с продолжительностью 40 – 100 секунд резонанс, как правило, проявляется и приводит к неожиданным, и часто трагическим последствиям.

Изложение основного материала. Совпадение собственной частоты и частоты колебаний ветра проявилось в рухнувшем Такомском подвесном мосту (рис.3). Данный случай самым ярчайшим и трагическим примером явления резонанса. Во время разрушения на мосту было больше 300 человек, 200 из которых, погибли. Разрушение подвесного моста под действием ветра – это иллюстрация того, как относительно постоянная сила вызывает резонанс. Причиной разрушения был порыв ветра который с определенной частотой отклонил части моста, так внешняя сила способствует возникновению колебаний, сопротивления воздуха было недостаточно, чтобы погасить колебания моста или снизить его амплитуду. В следствии упругости конструктивной системы моста, началось новое движение которое усилил ветер, продолжающий дуть в одном направлении. К сожалению, Такомский мост – это не единственный пример обрушения конструкций. Случаи наблюдались и наблюдаются по всему миру, в том числе и в Украине.

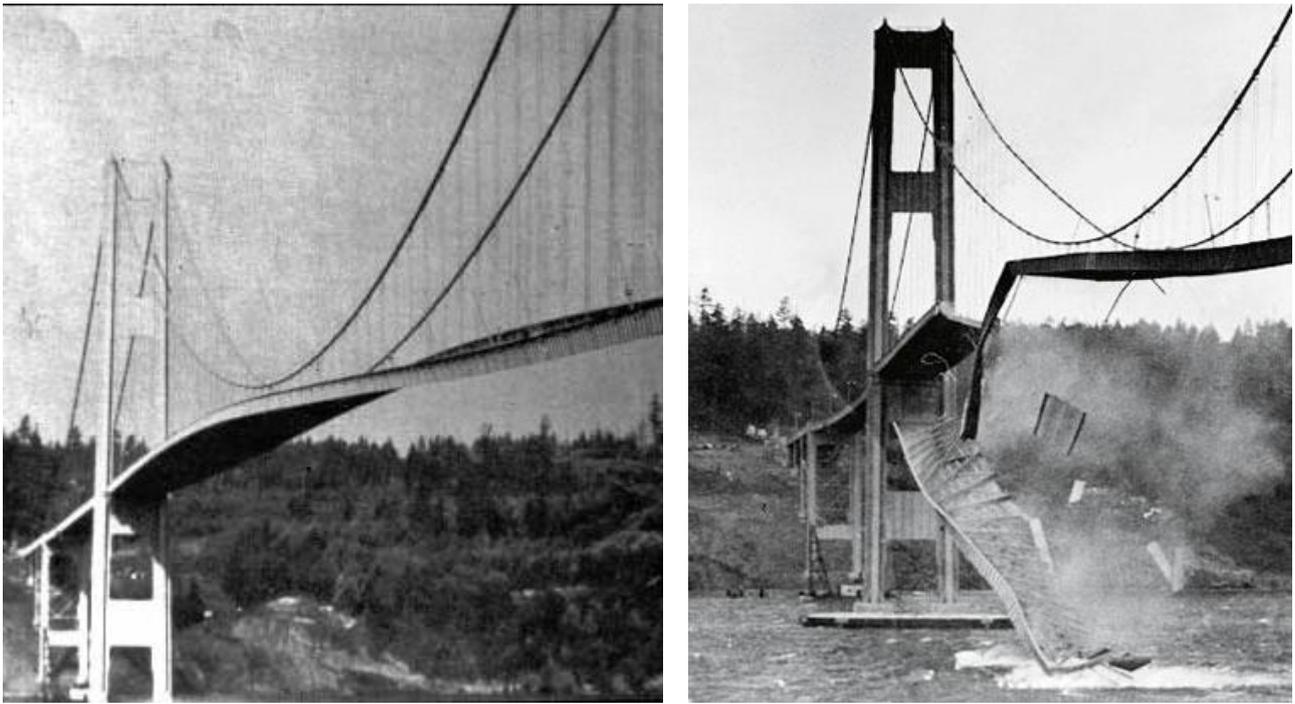


Рис 3. Такомский мост до и после разрушения

Техногенное влияние человека наиболее проявлено в Криворожском регионе. Город Кривой Рог имеет особое расположение вдоль вытянутого месторождения железных руд, длиной до 100 км, и шириной — до 20 км. При этом шахты, карьеры, отвалы находятся в пределах города или вблизи городской черты, на которых производят буровзрывные работы. Также город имеет разветвлённую и глубокую систему заброшенных выработок, которые могут обрушаться. Имеет место увеличение водопотребления, рост объемов промышленного и городского строительства, изменение природных русел рек, создание водохранилищ, затопление отработанных шахт и карьеров, развитие процессов подтопления вследствие недостаточного количества дренажных сооружений, что, в свою очередь, может вызвать повышение сейсмической опасности для промышленных зданий на этой территории.

Сейсмологами и геофизиками учёт спектрального состава землетрясений в теории сейсмозащиты не был принят, хотя предложения по этому вопросу существовали.

В 1921 году Н.Мононобе предложил динамическую теорию, где сейсмическая сила определяется с учётом частотного состава воздействия

$$S = KcBQ$$

где,

$Kc = \frac{a}{g}$ - коэффициент сейсмичности,

B - коэф. динамичности, учитывающий частотный состав воздействия

Q - полная масса сооружения.

Коэффициент B определяется из предположения, что основание зданий совершает гармонические колебания.

Впервые определение коэффициента B по закону косинуса предложил К.С. Завриев в 1927 году.

В настоящее время имеется достаточно информации и опыта, чтобы посмотреть что происходит с конструктивными системами при резонансном состоянии. Возникает вопрос при какой интенсивности сейсмического воздействия реально проявляется явление резонанса в зданиях [5]. Наблюдение за явлениями сейсмического характера позволяет утверждать, что магнитуда до 7 баллов особого вреда не нанесет. Но это, не учитывая уже накопленные повреждения и износ элементов сооружения. Для длительно эксплуатирующихся сооружений,

даже небольшая магнитуда может привести к катастрофическим последствиям.

Кривой Рог в прямом смысле построен в паутине из выработок рудных шахт, которые имеют металлические надшахтные копры высотой более 100 м прослужившие не один десяток лет. За это время многие элементы копров уменьшили свое поперечное сечение или геометрические характеристики, что неуклонно ведет к уменьшению несущей способности и разрушению всего копра. Поэтому необходимо учитывать даже незначительные факторы, которые могут повлиять на устойчивость сооружения, а самое главное необходимо учитывать возможное увеличение магнитуды толчков земной коры в данном регионе.

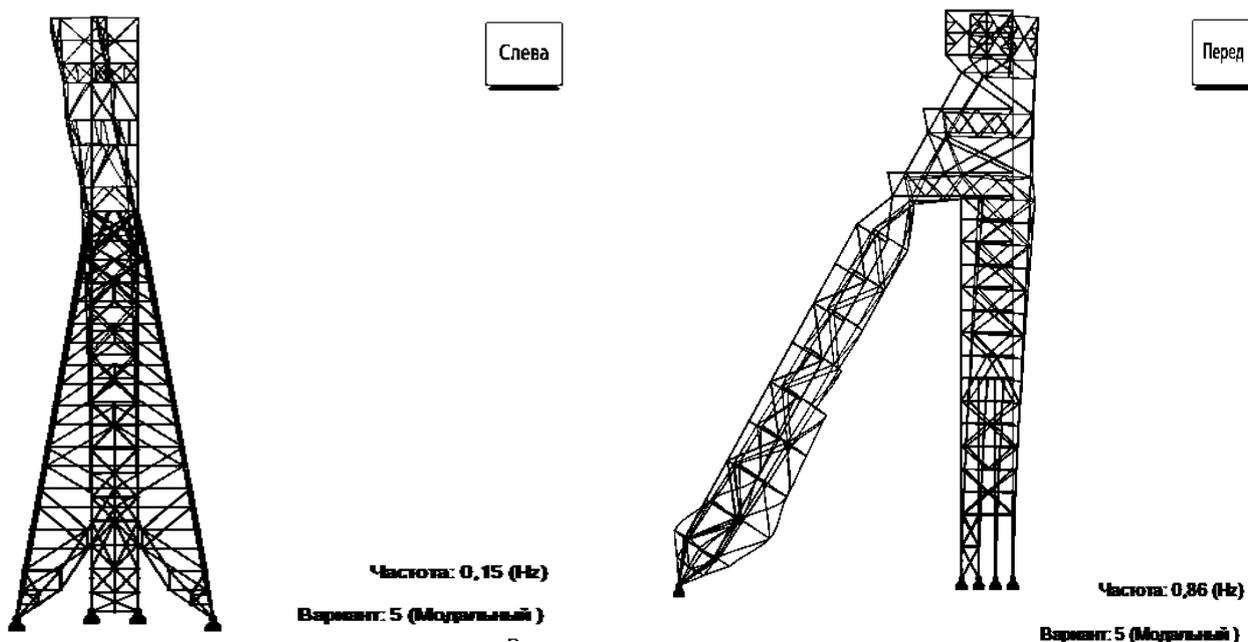


Рис.4 Модальный расчет надшахтного копра в Robot Structural Analysis

Исследования, проводимые С. В. Щербиной, И.И. Пигулевским [4] показали, что на низкой частоте больше всего выражена амплитуда величиной 0,188 Гц что близко к собственным колебаниям надшахтного копра шахты «Новая» (рис.4) Наложение данных частот может привести к возникновению резонанса в сооружении и привести его к потере устойчивости.

Рассчитывать такого рода сочетания можно при помощи резонансного метода расчёта зданий на воздействие землетрясений. Основная расчётная формула

$$S = \left(\frac{a}{g} + R \right) QK$$

где

S - расчётная сейсмическая нагрузка,

a - ускорение преобладающих частот ожидаемого воздействия,

g - ускорение свободного падения,

Q - полная масса здания (сооружения),

R - резонансный коэффициент динамичности.

K - коэф. грунтовых условий.

$$R = \frac{T_0^2}{T_0^2 - T^2}$$

где: T_0 – период колебаний основания.(преобладающие частоты)

T - период собственных колебаний зданий (основной тон).

Заключение. Таким образом, детальный анализ спектров собственных и вынужденных колебаний позволяет исследовать направленно-деформированное состояние системы и на

основе соответствующих данных давать практические рекомендации по защите длительно эксплуатирующихся сооружений

Сейсмическая активность вызывает низкочастотные колебания сооружений. При этом, поскольку они обладают большой массой, возникают значительные силы инерции и в различных местах конструкций возникают значительные механические напряжения сжатия-растяжения и сдвига. Если они превышают заложенную проектировщиками прочность материала в том или ином месте сооружение повреждается.

Проектирование осложняется тем, что в зависимости от спектра сейсмических колебаний, угла подхода волн к земной поверхности, типа и жесткости сооружения, формы и глубины заложения фундамента, гидрологических факторов могут одновременно возбуждаться разные пространственные формы колебаний как сооружения в целом, так и его конструктивных частей.

Поэтому на сейсмоопасных территориях должны возводиться здания с антисейсмическим усилением в уязвимых местах конструкции и учетом возможной тенденции к возрастанию балльности региона.

Использованная литература

1. Мигулин В.В. Основы теории колебаний М.: Наука, 1978.
2. Теодорчик К.Ф. Автоколебательные системы М.: Гостехиздат, 1952.
3. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний М.: Наука, 1964.
4. Щербина С.В., Пигулевский П.И., Криль Т.В. Оценка сейсмической опасности жилых зданий в г.Кривой Рог на основе микросейсмических наблюдений. Геоинформатика, 2012
5. Иванова А.П., Чумак А.Н. Оптимальное проектирование стропильной металлической фермы с учетом возможных повреждений ее отдельных элементов: Строительство и техногенная безопасность, Симферополь, 2014
6. [ДБН В.1.1-12:2014 Строительство в сейсмических районах Украины.](#)