



**А. Г. ТЯПИН**  
доктор технических наук

АО «Атомэнергoproject», г. Москва

УДК 624.042.7

## КОММЕНТАРИЙ К СТАТЬЯМ «КАК РАБОТАЮТ АМОРТИЗАТОРЫ В ЗАДАЧАХ СЕЙСМОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ?»

**В** последнее время вопросы сейсмозащиты привлекают внимание все более широкого круга специалистов, в том числе и из смежных областей. Примером могут служить две статьи, опубликованные недавно в журнале «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений» [1,2] коллегами из Института Машиноведения РАН и ООО «ТЕСИС».

Первое, в чем хотелось бы, безусловно, согласиться с коллегами, – это утверждение об опасности сейсмических воздействий. Однако именно в силу понимания этой опасности изучением как самих сейсмических воздействий, так и реакции сооружений на них (в частности, систем сейсмозащиты) занималось очень много специалистов на протяжении десятков лет. Прежде, чем делать суждения в этой области, неплохо было бы познакомиться с тем, что накоплено десятилетиями предыдущего развития. К сожалению, авторы в обеих статьях ссылаются только на свои прошлые работы (не считая ссылки на книгу Бендата и Пирсона по прикладному анализу случайных данных). Это, на мой взгляд, объясняет появление утверждений, которые не могут не вызвать удивления.

В [1] авторы пишут: «Мы заранее ничего не знаем про землетрясение: не знаем ни амплитуду колебаний на различных частотах, ни направления возмущения». С этим никак нельзя согласиться. Действительно, точно предсказать акселерограммы воздействия мы не можем, но в статистическом смысле информации накоплено довольно много. Изучение спектров ответа сейсмических воздействий по многочисленным записям как раз и привело к современной концепции сейсмоизоляции: грубо говоря, введение податливых сейсмоизолирующих опор смещает собственные

частоты сооружения на таких опорах вниз – в область, где спектральные ускорения воздействия меньше. В результате спектральные ускорения реакции тоже становятся меньше. К этому добавляется эффект специально устанавливаемых демпферов (реализуемых, например, в виде свинцовых сердечников резинометаллических изоляторов, переходящих в пластическое состояние при сравнительно небольших нагрузках). В итоге ускорения реакции как бы «размениваются» на относительные перемещения (ускорения становятся меньше, зато перемещения – больше). Тысячи зданий по всему миру уже стоят на сейсмоизоляторах. На мощных платформах испытываются натурные образцы сейсмоизоляторов. Выпускаются нормы по испытаниям и расчетам сейсмоизолированных сооружений. Разрабатываются и новые системы сейсмоизоляции, но они тоже реализуют тот же принцип – уйти в область низких частот, чтобы выиграть в ускорениях (даже ценой проигрыша в относительных перемещениях).

Отсюда следует, что судить об эффективности систем сейсмоизоляции на основании амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) без учета частотного состава воздействия (или заменяя его белым шумом, что в принципе то же самое) – это значит расписываться в полном непонимании современной концепции сейсмоизоляции. Выводы о том, что «использование пассивных резиноподобных амортизаторов на фундаменте не решает вопроса об эффективном снижении колебаний этих зданий при низкочастотных ... воздействиях» и «неутешительный прогноз применения пассивных резиноподобных амортизаторов» [2] сделаны авторами без учета общеизвестных и фундаментальных

свойств сейсмического воздействия. Как можно после этого отнестись к таким выводам?

С другой стороны, понятна идея авторов: если во всем интересующем нас частотном диапазоне передаточные функции от воздействия к реакции удастся уменьшить с помощью каких-то мероприятий (авторы в [2] предлагают в качестве такого мероприятия установку динамического гасителя колебаний на крыше сооружения), то можно надеяться и на сокращение сейсмической реакции, независимо от частотного состава воздействия. При этом, правда, авторы в качестве формата сейсмической реакции рассматривают только ускорения – о последствиях такого выбора будет сказано ниже.

К сожалению, представленные в статьях численные результаты трудно назвать убедительными. Приведу как минимум два вопроса, которые возникают при чтении обеих статей.

Первый вопрос касается физического смысла приведенных на рисунках амплитудно-частотных характеристик (АЧХ). Казалось бы, мы имеем дело с модулями передаточных функций от ускорений на фундаменте к ускорениям в точках наблюдения. При этом у авторов, насколько я понял, ускорения на фундаменте имеют единичную амплитуду сразу по трем осям, т.е. модуль вектора ускорений равен корню квадратному из трех, а направление этого вектора – среднее между тремя осями. Мой вопрос к авторам заключается в поведении этих передаточных функций при стремлении частоты к нулю. Физически очевидно, что в этом случае система совершает квазистатические поступательные перемещения вместе с фундаментом. Перемещения, скорости и ускорения всех точек системы при этом равны перемещениям, скоростям и ускорениям фундамента по всем осям. Передаточные функции  $X(X)$ ,  $Y(Y)$  и  $Z(Z)$  при этом к нулю никак стремиться не должны. Если относить модули ускорений реакции по осям к модулю ускорения воздействия, то соответствующие передаточные функции должны стремиться к значению  $3^{-1/2}$ . Почему же тогда в обеих статьях они стремятся к нулю при стремлении частоты к нулю?

Второй вопрос связан с собственными частотами колебаний системы с динамическим гасителем колебаний в статье [2]. Авторы пишут, что нижние частоты такой системы составили 1,7175 Гц и 1,7428 Гц. Однако на рис.8 в статье [2] авторы демонстрируют АЧХ для точек наблюдения на самом гасителе, – кривые, имеющие пики на значительно меньших частотах. Но ведь собственные частоты у здания и гасителя общие?! Никаких пиков нигде в системе (в т.ч. и на гасителе) на частотах, меньших первых собственных частот системы, быть не должно!

Таким образом, представленные численные результаты либо неправильно поясняются, либо просто неправильно получены.

Теперь о самой идее. Я помню работы А.М.Уздина примерно тридцатилетней давности, где он рассматривал здание, в котором одна часть выступает динамическим гасителем колебаний для другой. Почему же мировая практика сейсмозащиты в целом не идет в это направлении?

Возможно, дело в том, что для большинства сооружений критичными в сейсмической реакции являются вовсе не ускорения на отметках, а усилия в конструкциях (именно эти

усилия при выходе за определенные пределы ведут к обрушениям – самым страшным последствиям землетрясений). Как ни странно, наличие динамического гасителя колебаний на крыше, который «перекачал в себя энергию колебаний», по словам авторов, может означать появление в строительных конструкциях этажей больших усилий, даже если ускорения на этажах действительно снизились (чего добивались авторы). Действительно, ведь усилия в консольной модели сооружения при использовании спектрального метода расчета порождаются инерционными нагрузками и, в отличие от ускорений, накапливаются по этажам сверху вниз. Так что большие ускорения в гасителе на крыше, демонстрируемые авторами, приведут к появлению больших инерционных нагрузок на нем самом, а эти нагрузки передадутся вниз, на строительные конструкции этажей. Так что «виброзащитный» подход (означающий стремление минимизировать ускорения в выбранных местах сооружения) может в принципе быть не всегда пригоден к задачам сейсмозащиты с точки зрения снижения усилий в зданиях. Сейсмоизоляция же фундаментов, напротив, снижает ускорения во всем верхнем строении, так что одновременно снижаются и усилия. Для действительной сейсмозащиты консольной модели предлагаемым методом в терминах усилий в конструкциях надо «виброизолировать» (т.е. снизить ускорения) отметку не над, а под защищаемой конструкцией. По логике авторов это означает установку динамического гасителя колебаний не на крышу, а на фундамент. Собственно, так и предлагалось в упомянутой работе А.М.Уздина.

Хочу, чтобы читатель правильно понял мотив написания данного комментария. Автор этих строк не считает себя специалистом по сейсмоизоляции – у меня другая специализация. Поэтому я вовсе не ожидал от авторов ссылок именно на свои работы. Однако после тридцати пяти лет работы в области сейсмостойкого строительства мне просто обидно, например, за таких недавно ушедших специалистов, как Я.М.Айзенберг, В.С.Беляев, В.И.Смирнов, которые посвятили свои жизни решению вопросов сейсмоизоляции и в целом сейсмозащиты. Специалисты смежных отраслей, «вторгаясь» в указанную область, не должны отмахиваться от опыта «местных» предметных специалистов – ни при выборе формата представления результатов, ни при анализе физических эффектов. В принципе, подходы «смежников» (в том числе и идея применения динамических гасителей колебаний) и в самом деле могут оказаться интересны и полезны в сейсмостойком строительстве – но только при корректном и уважительном отношении к существующей теории и практике.

И еще одно замечание, которое носит субъективный характер. Когда предлагаются качественно новые идеи (типа замены сейсмоизоляции на многочастотные гасители колебаний, как в нашем случае), для их обоснования в первую очередь лучше использовать не численное моделирование, а простые модели, допускающие аналитические параметрические исследования. Только после таких исследований, обеспечивающих физическое понимание происходящего, имеет смысл переходить к более сложным моделям – для демонстрации сохранения эффектов, полученных на простых моделях. К такому выводу я пришел на основании десятилетий практических расчетов именно сложных чис-

ленных моделей. В последние годы, к сожалению, заметно снижение интереса молодых инженеров к аналитическим исследованиям (характерно, что в англоязычной литературе сам термин «analysis» эквивалентен русскому термину «расчет», тогда как в отечественной традиции «аналитические исследования» – это работа, прежде всего, с формулами). Лично меня эта тенденция огорчает – вспоминаю, что мой

учитель академик В.В.Болотин не раз подчеркивал, что аналитические результаты всегда имеют приоритет перед численными результатами (другое дело, что аналитические результаты труднее получить для сложных моделей). Хотелось бы, чтобы определенный баланс между аналитическими и численными исследованиями сохранялся, – он, по моему убеждению, необходим для правильного развития.

### Литература

1. Макаров С.Б., Панкова Н.В., Тропкин С.Н. Как работают амортизаторы в задачах сейсмозащиты зданий. Исследование вопроса на SIMULIA ABAQUS.

Часть 1 // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017. №4. С. 39-42.

2. Макаров С.Б., Панкова Н.В., Тропкин С.Н. Как работают амортизаторы в

задачах сейсмозащиты зданий? Исследование вопроса численным моделированием. Часть 2 // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. №1. С.46-50.

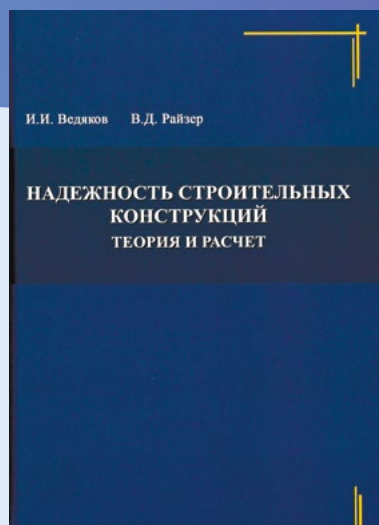
ТЯПИН А., D. Sc., JSC "Atomenergoproject", Moscow

## COMMENTS TO THE ARTICLES «HOW DO THE SHOCK ABSORBERS WORK FOR THE SEISMIC PROTECTION OF BUILDINGS?»

### КНИЖНЫЕ НОВИНКИ

Ведяков И. И., Райзер В. Д.  
**НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ.  
Теория и расчет**

Научное издание, – М.: Издательство АСВ, 2018. – 414с.



ВЫШЛО В СВЕТ НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ «НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ТЕОРИЯ И РАСЧЁТ»

При поддержке АО «НИЦ «Строительство» вышло в свет научное издание «Надёжность строительных конструкций. Теория и расчёт» авторов И.И. Ведякова – директора ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», доктора технических наук, профессора, Почётного строителя России и В. Д. Райзера – инженера-строителя, доктора технических наук, профессора.

Книга написана для широкого круга специалистов строительной отрасли. В ней представлены современные методы анализа надёжности сооружений. Особое внимание авторы уделяют расчёту строительных конструкций, который «... должен в полной мере базироваться на теории надёжности, основанной на вероятностных методах». Это позволяет дать более объективную оценку

конструкции с точки зрения ее пригодности к нормальной эксплуатации.

Также в книге подробно рассказывается об основных положениях теории надёжности строительных конструкций, приводится анализ метода предельных состояний, предложения по совершенствованию методов нормирования расчетов на основе вероятностных подходов.

Наиболее важными авторы считают проблемы безопасности, риска, оптимального уровня надёжности сооружений. В связи с этим ими рассмотрены вероятностные модели климатических и технологических нагрузок, механических свойств конструкций, описаны современные методы вычисления вероятности отказа.

Пристальное внимание уделяется анализу надёжности многоэлементных систем, вероятностному методу предельного равновесия. В книге рассмотрены вероятностные проблемы устойчивости конструкций; исследуется влияние коррозионного износа на надёжность, анализируется надёжность конструкций при эксплуатации.

Книга предназначена для инженеров-проектировщиков, специалистов по оценке недвижимости, а также для студентов и аспирантов строительных ВУЗов.