

Прогрессирующее обрушение в областях высокой сейсмической активности с применением Pushover Analysis

Д.О. Лепешкина^{1*}

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье УДК 69

Аннотация

Pushover analysis – нелинейный статический метод анализа сейсмостойкости зданий и сооружений, при котором сейсмическая нагрузка постепенно увеличивается для определения Pushover analysis – нелинейный статический метод анализа сейсмостойкости зданий и сооружений, при котором сейсмическая нагрузка постепенно увеличивается для определения картины распределения усилий в структурных элементах здания а также характера колебаний его верхней точки. Результатом расчета является семейство диаграмм при различных уровнях сейсмической нагрузки. Применительно к расчетам на прогрессирующее обрушение метод применим: для предварительного определения «слабых мест» конструкции; для расчета на сейсмостойкость модели, полученной согласно результатам расчета на прогрессирующее обрушение к расчетам на прогрессирующее обрушение метод применим: для предварительного определения «слабых мест» конструкции; для расчета на сейсмостойкость модели, полученной согласно результатам расчета на прогрессирующее обрушение

Ключевые слова:

нелинейный спектральный метод расчета сейсмостойкости, прогрессирующее обрушение, компьютерное моделирование, геометрическая нелинейность, нормативная документация, экстремальное воздействие, расчетная схема, лавинообразное обрушение, живучесть

Эффект прогрессирующего или лавинообразного обрушения зданий и сооружений состоит в возникновении существенных разрушений конструкции здания, непропорциональных исходному аварийному воздействию.

Прогрессирующее обрушение возникает в результате воздействия на здания различных запроектных нагрузок. Зачастую, причиной лавинообразного обрушения может служить землетрясение [1-3].

В настоящее время существует три типа расчетов здания на сейсмостойкость:

- рекомендуемый российским законодательством линейно-спектральный метод, который широко распространен в инженерной практике, несмотря на вероятность существенных погрешностей;
- нелинейно-статический метод (НСМ), частным случаем которого является Pushover analysis;
- нелинейный динамический метод, который мало распространен ввиду его высокой ресурсоемкости.

Pushover Analysis – нелинейный статический метод анализа сейсмостойкости зданий и сооружений, при котором сейсмическая нагрузка постепенно увеличивается, для того чтобы выявить распределение усилий в структурных элементах здания, а также картину колебаний его верхней точки. Метод заключается в установлении связи перемещения верха здания с горизонтальным сдвигом основания. Параметры сдвига устанавливаются согласно спектру реакции требуемого уровня сейсмоустойчивости.

В современной инженерной практике, как правило, применяется линейно-спектральный (Modal response) метод расчета зданий на сейсмостойкость, при использовании которого по исходным собственным частотам и формам колебаний определяются значения полных сейсмических нагрузок на здание (согласно спектрам оклика). Данный метод является динамическим и линейным. Основное различие состоит в разной применимости вышеперечисленных методов: линейно-спектральный в большей степени подходит для расчета новых зданий, а нелинейно-статический же метод применим для определения сейсмостойкости существующих зданий и сооружений. Наиболее распространенной разновидностью нелинейно-статического метода является методика АТС40 (capacity spectrum method).

При использовании НСМ расчет выполняется на постоянно нарастающую сейсмическую нагрузку, которая была определена заранее. При расчете компьютерной модели получают семейство диаграмм зависимости распределения усилий в элементах строительных конструкций от горизонтальной сдвиговой нагрузки; расчет прекращается по достижении разрушающей сейсмической нагрузки.

При расчетах на лавинообразное разрушение, нелинейно-статический диаграммный метод расчета может применяться двумя способами:

- для предварительного определения «слабых мест» конструкции;
- для расчета на сейсмостойкость модели, полученной согласно результатам учета прогрессирующего обрушения зданий.

Актуальность Pushover analysis подтверждает также его реализация во многих современных программных комплексах, таких как: SAP 2000, SOFiStiK, ЛИРА СОФТ, GT STRUDL, и т.п. Применение нелинейных методов определения сейсмостойкости в условия прогрессирующего обрушения является обоснованным:

- учет геометрической нелинейности необходим по причине существенных по модулю деформаций здания (предельные значения прогибов несущих элементов здания нормативной документацией не регламентированы), которые могут изменить всю схему работы каркаса;
- физическую же нелинейность также следует учитывать, поскольку материалы при запроектных воздействиях работают за пределами стадии упругого деформирования.

Преимуществами Pushover analysis являются:

- учет неупругих свойств материалов;
- применение для типовых зданий жилищного строительства;
- низкая трудоемкость по сравнению с НДМ;
- возможность определения ориентировочной степени повреждений и стоимости ремонта диаграммным методом;
- учет поглощения сейсмической энергии зданием.

Учет поглощения сейсмической энергии происходит путем построения кривой спектра несущей способности в момент реализации предельного состояния [7] – см. рисунок 1, построение которой описано в [8]. Точка М характеризует упруго-пластические свойства системы в момент реализации максимальных допустимых повреждений.

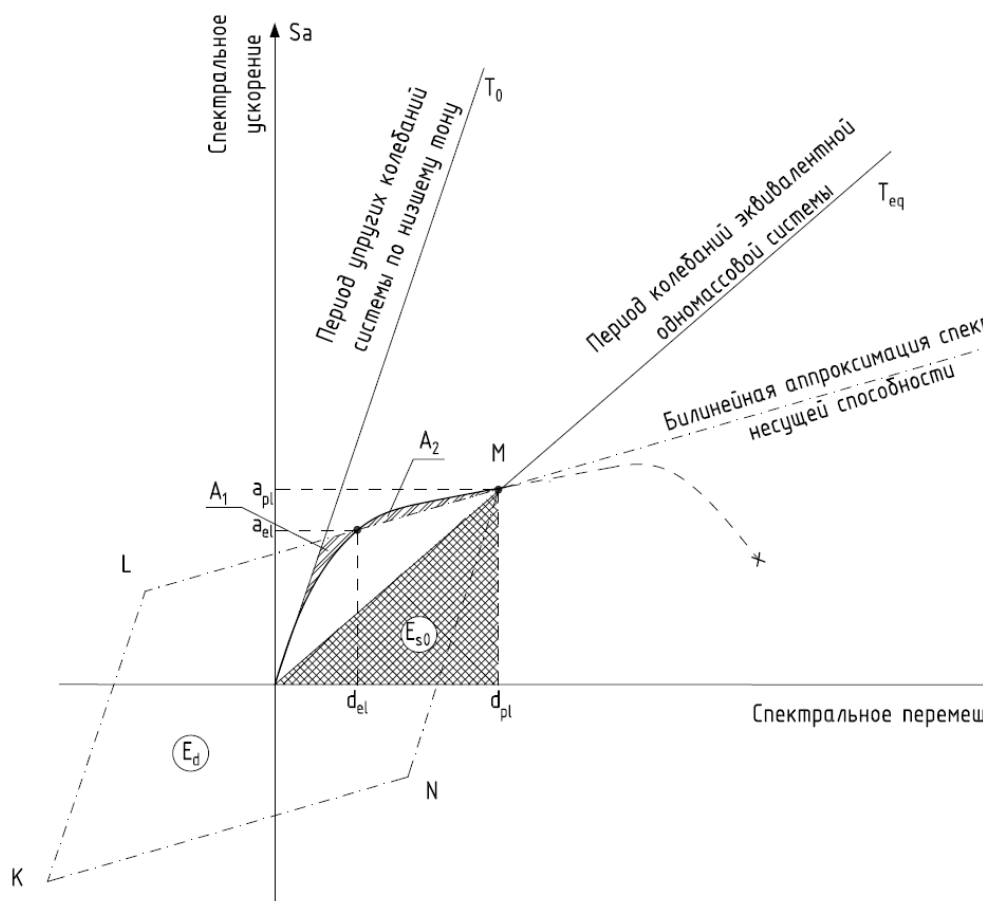


Рисунок 1. Кривая спектра несущей способности

E_d – Рассеиваемая энергия взаимодействия
 E_{s0} – Максимальная энергия, требуемая для реализации оцениваемого механизма деформирования системы
 d_{pl} – Оцениваемое горизонтальное перемещение
 a_{pl} – точка упруго-пластических свойств
 a_{el} – предел упругости

Подводя итог, можно сделать следующие выводы:

1. Прогрессирующее обрушение является актуальным, динамично развивающимся объектом исследований.
2. Российская нормативно-правовая база требует существенных доработок в сфере расчетов на недопущение прогрессирующего разрушения.
3. Учет геометрической и физической нелинейности существенно повышает точность полученных результатов.
4. Pushover analysis является отличным инструментом для определения устойчивости к прогрессирующему разрушению зданий, расположенных в районах с высокой сейсмической активностью.

Литература

- [1]. Алмазов В.О. Сопротивление прогрессирующему разрушению: расчеты и конструктивные мероприятия // Вестник НИЦ Строительство. 2009. №1. С. 179–193.
- [2]. Алмазов В.О. Сопротивление прогрессирующему обрушению – путь обеспечения безаварийности капитальных сооружений // Бетон и железобетон – взгляд в будущее научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону в семи томах. М.: Изд.-во Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2014. С. 13–24
- [3]. Алмазов В.О. Проблемы прогрессирующего разрушения // Строительство и реконструкция. 2014. №6 (56). С. 3–10.
- [4]. Перельмутер А.В. Прогрессирующее обрушение и методология проектирования конструкций

References

- [1]. 1Almazov V.O. Vestnik NITs Stroitel'stvo. 2009. No. 1. Pp. 179–193. (rus)
- [2]. Almazov V.O. Vestnik MGSU. 2014. Pp. 13–24. (rus)
- [3]. Almazov V.O. Building and reconstruction. 2014. No. 6 (56). Pp. 3–10. (rus)
- [4]. Perel'muter A.V. Earthquake engineering. Constructions safety. 2004. No. 6. (rus)
- [5]. Perel'muter A.V. Vestnik MGSU. 2008. No. 1. Pp. 119–129. (rus)
- [6]. Perel'muter A.V., Kriksunov E.Z., Mosina N.V. Magazine of Civil Engineering. 2009. No. 2. (rus)
- [7]. Sosnin A.V. Osobennosti otsenki defitsita seymstoykosti zhelezobetonnykh karkasnykh zdaniy metodom nelineynogo staticheskogo analiza v SAP 2000. V kn.: I-ya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Povysheniye nadezhnosti i bezopasnosti transportnykh sooruzheniy i kommunikatsiy», Saratov, 2015. Pp. 1-16. (rus)

- (совершенствование нормативных документов). №6 «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений». 2004.
- [5]. Перельмутер А.В. О расчетах на прогрессирующее обрушение // Вестник МГСУ. 2008. №1. С. 119–129.
- [6]. Перельмутер А.В., Криксунов Э.З., Мосина Н.В. Реализация расчета монолитных жилых зданий на прогрессирующее (лавинообразное) обрушение в среде вычислительного комплекса SCAD Office // Инженерно-строительный журнал, №2, 2009.
- [7]. Соснин А.В. Особенности оценки дефицита сейсмостойкости железобетонных каркасных зданий методом нелинейного статического анализа в SAP 2000. В кн.: I-я Международная научно-практическая конференция «Повышение надежности и безопасности транспортных сооружений и коммуникаций», Саратов, 2015. С. 1–16.
- [8]. Булушев С.В., Джинчвелашвили Г.А., Колесников А.В. Нелинейный статический метод оценки сейсмостойкости зданий и сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2016. №5. С. 39–47.
- [8]. Bulushev S.V., Dzhinchvelashvili G.A., Kolesnikov A.V. Nelineynyy staticheskiy metod otsenki seysmostoykosti zdaniy i sooruzheniy // Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy. 2016. №5. Pp. 39–47. (rus)

Лепешкина Д.О., Прогрессирующее обрушение в областях высокой сейсмической активности с применением Pushover Analysis // Alfabuild. 2017. №2 (2). С. 39-44

Lepeshkina D.O. Pushover Analysis in progressive collapse of buildings and structures. Alfabuild, 2017, 2 (2), Pp. 39-44(rus)

Pushover Analysis in progressive collapse of buildings and structures

D.O. Lepeshkina^{1*}

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

Article info

Abstract

Pushover analysis is a nonlinear static method of analysis of seismic resistance of buildings and structures, in which the seismic load is gradually increasing to determine the pattern of distribution of forces in the structural elements of the building, as well as the nature of the oscillations of its upper point. The result of the calculation is the family of diagrams at different levels of the seismic load. In calculations for the progressive collapse, the method is applicable: for the preliminary determination of the "weak points" of the structure; to calculate the seismic stability of the model obtained according to the results of calculating the progressive collapse

Keywords:

Pushover Analysis, progressive collapse, computer modeling, geometrical nonlinearity, codes and standards, extremal effect, structural design, survival, disproportional collapse

Corresponding author

1*. +7(999)0367381, ldasha239@mail.ru (Lepeshkina Daria, Student)