

УДК 629.039.58

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ АЭС, ПОДВЕРЖЕННЫХ УДАРУ БОЛЬШИХ КОММЕРЧЕСКИХ САМОЛЕТОВ

Т.Д. Талай¹, О.Б. Ташчи²

^{1,2} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

Аннотация. Были обследованы здания атомной электростанции, на которую упал большой коммерческий самолет. Модель железобетонной конструкции была проанализирована методом конечных элементов в программе ANSYS. Было проведено сравнение линейных воздействий двух различных коммерческих самолетов на железобетонную конструкцию моделей «Боинг 707-320» и «АН-26». Кроме того, были расследованы два случая крушения грузового самолета типа АН-26 на разной скорости. В соответствии с полученными здесь результатами были определены эффекты скорости и массы в конструкциях, подвергшихся ударному воздействию. Атомные электростанции построены на прочном фундаменте. Матрица динамической жесткости и матрица демпфирования были построены путем определения средних упругих данных и коэффициента Пуассона каменистых грунтов в качестве данных о грунте для структуры, используемой для анализа. Жесткость конструкции определяется с использованием этих данных при модальном анализе с достаточным количеством режимов. Используя все интегрирования общего уравнения движения, спектры отклика на ускорение были определены методом анализа переходных процессов в соответствии со значениями жесткости и количеством режимов.

Ключевые слова: железобетон, самолет, ударное воздействие, атомная электростанция, удар, метод конечных элементов, спектр отклика, деформация, Boeing 707-320, АН-26, демпфирование, динамический анализ, спектры отклика на ускорение.

Ссылка для цитирования: Талай Т.Д., Ташчи О.Б. Анализ конструкций АЭС, подверженных удару больших коммерческих самолетов // Инженерные исследования. 2022. № 1(6). С. 3-8. URL: <http://eng-res.ru/archive/2022/1/3-8.pdf>

ANALYSIS OF NPP STRUCTURES EXPOSED TO IMPACT OF LARGE COMMERCIAL AIRCRAFT

T.C. Talay¹, O.B. Tasci²

^{1,2} Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. The buildings of the nuclear power plant were examined, on which a large commercial plane crashed. The model of the reinforced concrete structure was analyzed by the finite element method in the ANSYS program. A comparison was made between the linear effects of two different commercial aircraft on the reinforced concrete structure of the Boeing 707-320 and AN-26 models. In addition, two cases of an AN-26 cargo plane crash at different speeds were investigated. In accordance with the results obtained here, the effects of velocity and mass in structures subjected to impact were determined. Nuclear power plants are built on solid foundations. The dynamic stiffness matrix and the damping matrix were constructed by determining the average elastic data and Poisson's ratio of stony soils as the soil data for the structure used for the analysis. The stiffness of the structure is determined using this data in a modal analysis with a sufficient number of modes. Using all the integrations of the general equation of motion, the acceleration response spectra were determined by transient analysis in accordance with the stiffness values and the number of modes.

Keywords: reinforced concrete, aircraft, shock effect, Nuclear Power Plant, impact, finite element method, response spectrum, deformation, Boeing 707-320, AN-26, damping, dynamic analysis, acceleration response spectra.

For citation: Talay T.C., Tasci O.B. Analysis of NPP structures exposed to impact of large commercial aircraft // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2022. No. 1(6). Pp. 3-8. URL: <http://eng-res.ru/archive/2022/1/3-8.pdf>

ВВЕДЕНИЕ

Мировой спрос на энергию продолжает расти из-за достижений в области технологий и роста населения. Количество атомных электростанций также увеличивается из-за растущего спроса на энергию. Для продолжения безопасной эксплуатации станции необходимо обеспечить безопасную работу ее систем внутри АЭС при воздействии удара [1]. Террористические атаки 11 сентября 2001 года показали, что удар самолета, врезавшегося в здания, является элементом, который ставит под угрозу безопасность конструкции. Этот эффект следует учитывать при строительстве АЭС, которые относятся к особо рискованным сооружениям. Воздействие самолета на конструкции варьируется в зависимости от скорости самолета, типа самолета и количества топлива в нем [2-4]. Данные по этому поводу предоставлены Международным атомным агентством (МАГАТЭ). В этом исследовании были использованы данные, полученные отсюда [5-7].

Цель работы - является определение поведения конструкции при ударе самолета и изучение взаимосвязи спектров реакции с различными данными самолета путем их сравнения.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ КОНСТРУКЦИИ

С помощью программного обеспечения ANSYS была создана конечно-элементная модель здания для моделирования поведения железобетонной конструкции при динамических нагрузках (рис. 1). Имитируемое служебное здание АЭС имеет 3 этажа. Размеры здания 52,40 м - 19,50 м, высота 18,65 м. Все внешние стены из несущего железобетона, их толщина 40 см, толщина внутренних стен 20 см, толщина железобетонных перекрытий 40 см. Толщина фундаментной плиты 90 см. Применяется бетон класса В35 / 45.

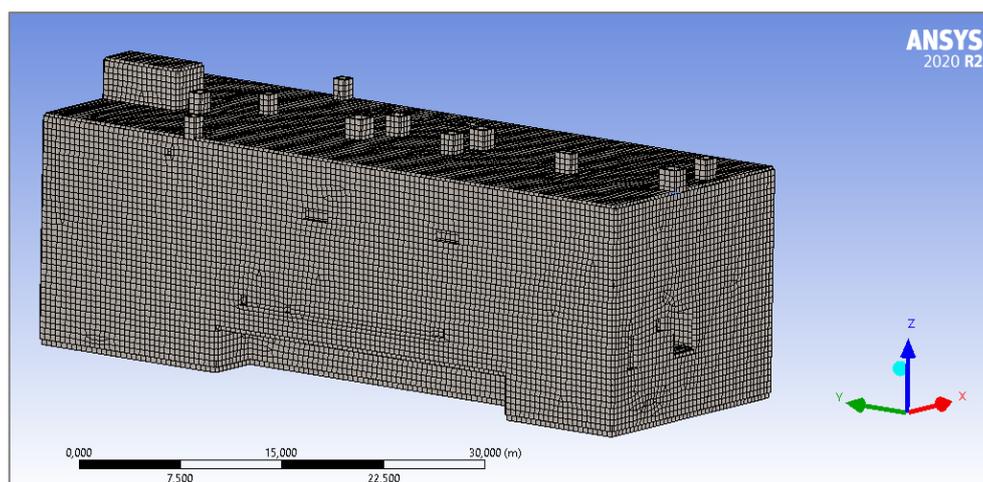


Рис. 1. Структурная модель, созданная в программе ANSYS
Fig. 1. The structural model created in the ANSYS program

Некоторые проблемы возникают при применении метода конечных элементов к железобетонным конструкциям. Железобетонная конструкция должна быть смоделирована в 2D или 3D. Кроме того, нелинейность графика напряжений и деформаций бетона усложняет расчеты. Для этого анализ железобетонной конструкции методом конечных элементов может быть проведен с помощью компьютерных программ. Таким образом, каждая поверхность анализируемой конструкции делится на сетки размером 0,50 метра, и результат анализа всей конструкции получается путем применения дифференциальных решений к каждому элементу [8].

ДААННЫЕ О САМОЛЕТАХ, ИСПОЛЬЗОВАННЫХ В АНАЛИЗЕ

При анализе использовались две модели самолетов. Это модели Boeing 707-320¹ и Ан-26². Характеристики этих самолетов приведены в Табл. 1 и Табл. 2. Были использованы значения нагрузки двух различных скоростей грузового самолета АН-26.

¹ Boeing 707 - пассажирский самолет. Фото, характеристики, отзывы. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.airlines-inform.ru/commercial-aircraft/boeing-707.html> (дата обращения: 25.12.2021).

² Антонов Ан-26 - пассажирский самолет. Фото, характеристики, отзывы [Электронный ресурс]. -URL: <https://www.airlines-inform.ru/commercial-aircraft/an-26.html> (дата обращения: 25.12.2021).

Таблица 1. Технические характеристики Boeing 707-320
 Table 1. Technical specifications Boeing 707-320

№	Параметры	Значения
1	Размах крыла, м	44,40
2	Длина самолета, м	46,60
3	Высота самолета, м	12,70
4	Число двигателя, шт	4
5	Масса максимальная взлетная, кг	151300
6	Макс. крейсерская скорость (км/ч)	965

Таблица 2. Технические характеристики АН-26
 Table 2. Technical specifications AN-26

№	Параметры	Значения
1	Размах крыла, м	29,20
2	Длина самолета, м	23,80
3	Высота самолета, м	8,58
4	Число двигателя, шт	2
5	Масса максимальная взлетная, кг	24000
6	Макс. крейсерская скорость (км/ч)	440

МАГАТЭ предоставляет информацию для анализа удара самолета о атомные электростанции. Соответственно, для Boeing 707-320 предполагалось, что самолет разбился на скорости 360 км/ч. Для этого умножения создается график нагрузки, зависящий от времени (рис. 3). Для Ан-26 построены графики нагрузки от времени для скоростей 220 км/ч и 430 км/ч (рис. 5) [5, 9].



Рис. 2. Общий вид самолета Boeing 707-320
 Fig. 2. General view of the Boeing 707-320 aircraft

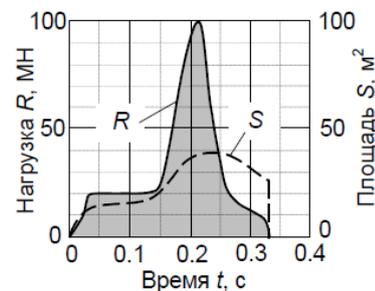


Рис. 3. График Время – Нагрузка Boeing 707-320
 Fig. 3. Time - Load Graph Boeing 707-320



Рис. 4. Общий вид самолета АН-26
 Fig. 4. General view of the AN-26 aircraft

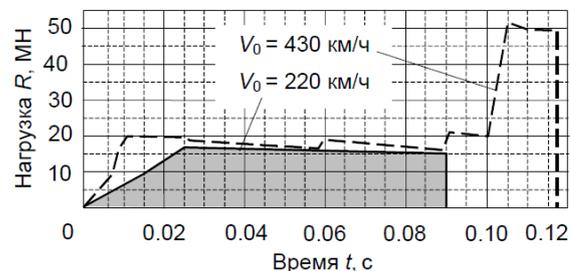


Рис. 5. График Время – Нагрузка АН-26
 Fig. 5. Time - Load Graph AN-26

Определяется проекция самолета в момент удара о здание. К проекции самолета в этой конструкции прилагаются точечные нагрузки, зависящие от времени. В зависимости от этих нагрузок определяются воздействия на конструкцию. Размах крыла самолета типа Боинг 707-320 составляет 44,40 метра. На каждом крыле по два двигателя (рис. 6). Размах крыла самолета АН-26 составляет 29,20 метра. Каждое крыло имеет двигатель (рис. 7).

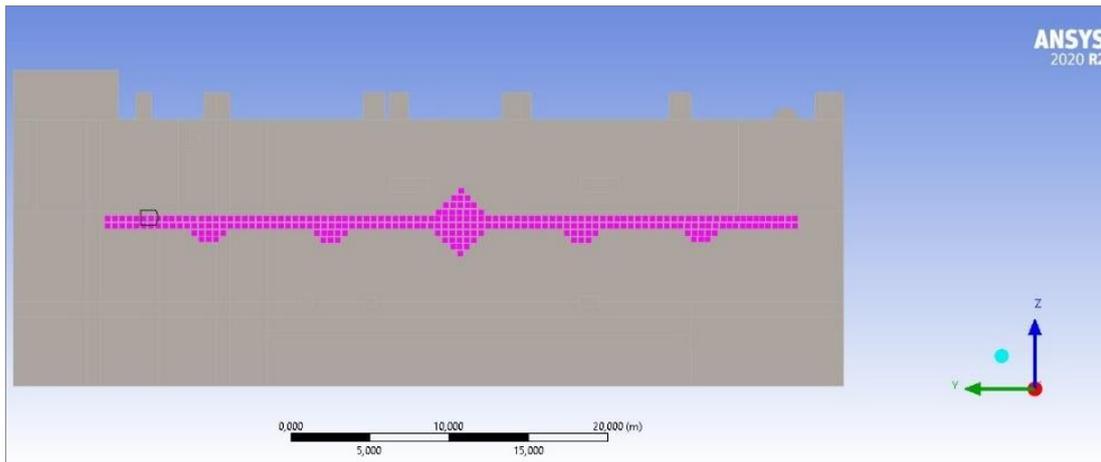


Рис. 6. Проекция самолета в железобетонной конструкции – Boeing 707-320
Fig. 6. Projection of aircraft in reinforced concrete structure - Boeing 707-320

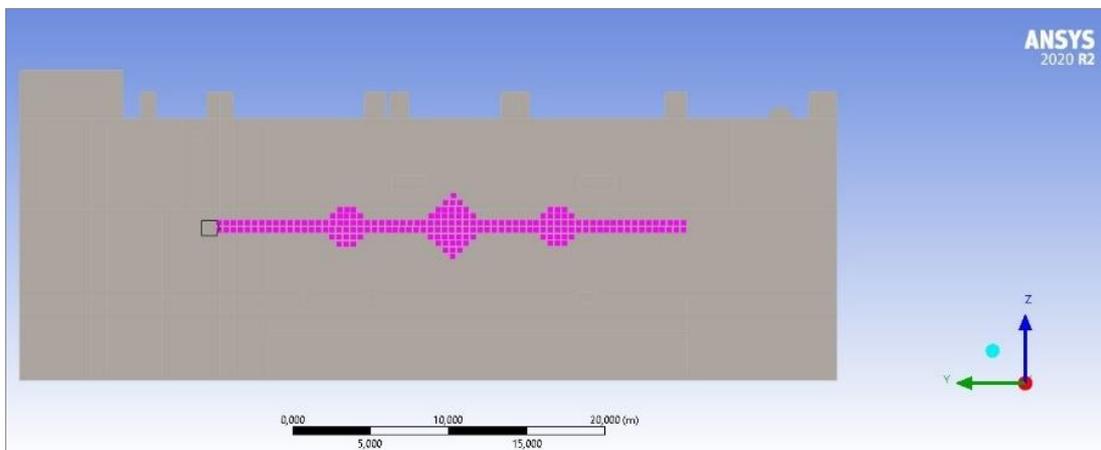


Рис. 7. Проекция самолета в железобетонной конструкции – AN-26
Fig. 7. Projection of aircraft in reinforced concrete structure – AN-26

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Спектр реакции представляет собой график наибольшего отклика (наибольшее перемещение, скорость, ускорение или другие величины) систем с одинаковым коэффициентом демпфирования, но с разными периодами собственных колебаний на определенную функцию нагрузки или, в случае землетрясения, на движение грунта. Горизонтальная ось показывает частоту, а вертикальная ось показывает наибольший отклик.

Во время анализа ускорения регистрировались как функция времени (запись ускорения) в трех направлениях в целевых точках на одинаковых уровнях высоты. Расчеты конструкций АЭС проводились методом спектра реакции с 5% -ным демпфированием при динамических нагрузках. Исходными данными, относящимися к динамическим нагрузкам в конструкции, являются спектры реакции деформации, скорости и ускорения в соответствии с теорией спектра реакции. Наиболее часто используемой моделью отклика является спектр отклика ускорения.

Во-первых, был создан спектр реакции ускорения, образованный ударным воздействием при врезании в здание пассажирского самолета типа Боинг 707-320 на скорости 360 км/ч. Затем были построены спектры разгона грузового самолета типа Ан-26 на скоростях 220 км/ч и 430 км/ч за счет ударного воздействия от удара о здание. Коэффициент демпфирования был принят равным 5% для всех трех случаев.

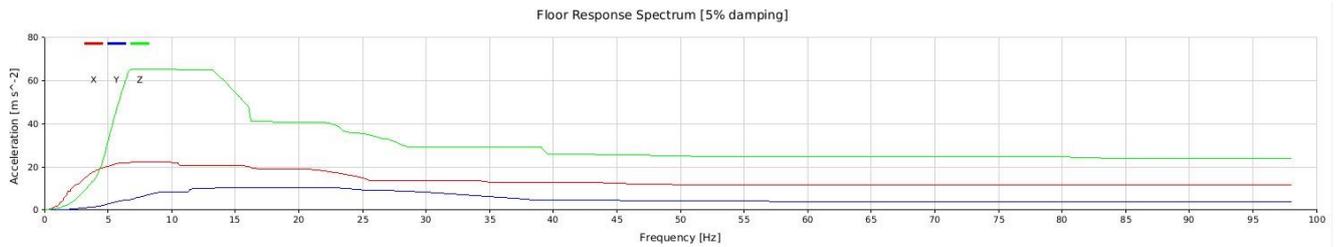


Рис. 8. График Ускорения - Частота (Гц) – Boeing 707-320 (360 км/ч)
Fig. 8. Acceleration – Frequency (Hz) Graph - Boeing 707-320 (360 km/h)

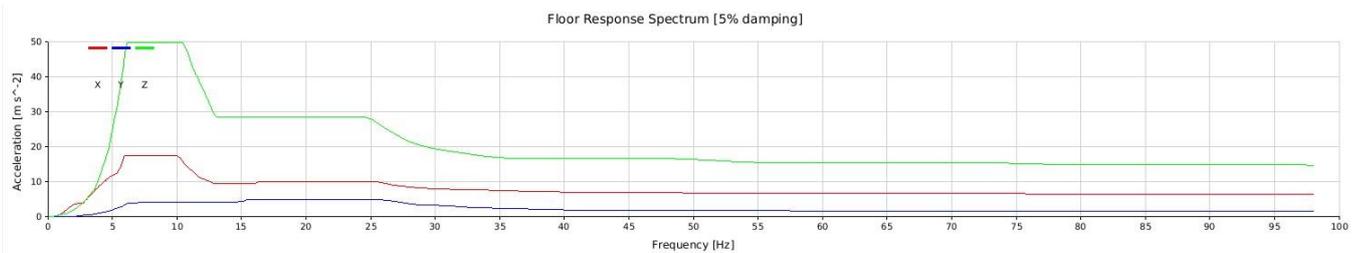


Рис. 9. График Ускорения - Частота (Гц) – AN-26 (220 км/ч)
Fig. 9. Acceleration – Frequency (Hz) Graph – AN-26 (220 km/h)

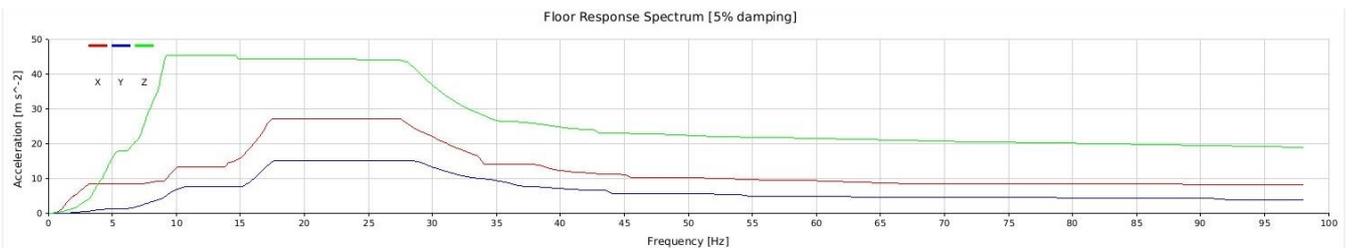


Рис. 10. График Ускорения - Частота (Гц) – AN-26 (430 км/ч)
Fig. 10. Acceleration – Frequency (Hz) Graph - AN-26 (430 km/h)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам анализа, представленным выше, мы видим, что в первом случае самолет типа Боинг 707-320 вызвал сильное ускорение конструкции. Причина этого в том, что масса пассажирского самолета выше грузового самолета типа AN-26. Даже в случае крушения грузового самолета на большей скорости это значение ускорения не могло быть достигнуто. Эта ситуация показывает влияние массы поражающего объекта на конструкции, подвергшиеся ударному воздействию. При рассмотрении графики грузового самолета типа AN-26 видно, что вторым важным фактором является скорость. Значения максимального ускорения близки друг к другу. Однако ударная нагрузка, действующая на конструкцию, вызывает большие колебания конструкции. Хотя скорость увеличена примерно вдвое, время гашения удара намного больше. Таким образом, в выводах, сделанных по результатам анализа, наблюдались эффекты скорости и массы. Увеличение скорости и массы вызывает большие колебания конструкции.

Принципы проектирования АЭС, основанные на воздействии последствий авиакатастрофы, должны быть включены в нормативные документы стран, где расположена АЭС. В ходе исследований были определены величины спектров ускорения от единичного удара самолета. В проектируемых зданиях и сооружениях АЭС необходимо наносить «удары» по всем характерным местам, а затем учитывать результаты, полученные при проектировании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернуха Н.А., Лалин В.В., Бирбраер А.Н. Вероятностное обоснование динамических нагрузок на оборудование АЭС при ударе самолета // Материаловедение Энергетика. 2017. Т. 23. № 4. С. 159-171. DOI: 10.18721/JEST.230416
2. Sadique M.R., Iqbal M.A., Bhargava P. Nuclear containment structure subjected to commercial and fighter aircraft crash // Nuclear Engineering and Design. 2013. Vol. 260. С. 30-46.

3. Abbas H. et al. Aircraft crash upon outer containment of nuclear power plant // Nuclear Engineering and Design. 1996. Vol. 160. С.13-50.
4. Zhang T. и др. Numerical simulations of nuclear power plant containment subjected to aircraft impact // Nuclear Engineering and Design. Elsevier Ltd, 2017. Vol. 320. С. 207-221.
5. IAEA Safety Standards Series External Human Induced Events In Site Evaluation For Nuclear Power Plants International Atomic Energy Agency Vienna.
6. Fedorenko R. v. et al. Strength analysis of nuclear power plant structures in case of aircraft crash impact // Procedia Structural Integrity. Elsevier B.V., 2017. Vol. 6. С. 244-251.
7. Arros J., Doumbalski N. Analysis of aircraft impact to concrete structures // Nuclear Engineering and Design. 2007. Vol. 237. № 12-13. С. 1241-1249.
8. Rapp В.Е. Finite Element Method // Microfluidics: Modelling, Mechanics and Mathematics. Elsevier, 2017. С. 655-678.
9. Birbraer A.N., Roleder A.J. Экстремальные воздействия на сооружения. 2009. С. 249-253.

ОБ АВТОРАХ

Талат Джан Талай – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: talaytalat@gmail.com

Омер Бугра Ташчи – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: tascibugra@gmail.com

ABOUT THE AUTHORS

Talat Can Talay – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: talaytalat@gmail.com

Omer Bugra Tasci – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: tascibugra@gmail.com