

П.Б. ЗАБИРОХИН, Д.Е. БОНДАРЕВ, канд. техн. наук
ООО «ЦКТИ-ВИБРОСЕЙСМ»; e-mail: 89523684328@mail.ru

РАСЧЕТ НАГРУЗОК ПРИ ПАДЕНИИ ГРУЗА И ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ПЕРЕКРЫТИЯ ПО РОССИЙСКИМ НОРМАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ANSYS EXPLICIT И SCAD

В статье предлагается методика расчета нагрузок и оценки прочности перекрытия при падении груза, основанная на совместном использовании явного решателя программного комплекса ANSYS с моделями, описывающими нелинейные характеристики как металла, так и бетона, возможность их разрушения, а также системы прочностного анализа и проектирования строительных конструкций SCAD Office. Исследования показали, что на основании расчетов в ANSYS может быть сделан вывод о сохранении целостности строительного перекрытия, подверженного падению на него груза. В ПК ANSYS могут быть определены нагрузки на перекрытие в виде зависимости силы от времени, которые впоследствии могут быть использованы в ПК SCAD. Методика предполагает использование полученной в ПК ANSYS нагрузки в ПК SCAD с целью оценки прочности несущих конструкций согласно российским нормам. Исследования показали, что использование ANSYS в связке со SCAD Office позволяет существенно снизить консерватизм расчета – до 10 раз, что может позволить исключить необоснованное увеличение толщины и армирования перекрытия в процессе проектирования несущих конструкций.

Ключевые слова: прочность перекрытия, падение груза, расчет нагрузки, явный решатель, ANSYS, SCAD.

Введение

В настоящей работе рассматривается задача о падении груза на железобетонное перекрытие. Как правило, падение груза может происходить из-за разрушения опорных конструкций, вызванного внешним воздействием, а также из-за ошибок при транспортировке тяжелого оборудования и при других аварийных ситуациях.

В данном исследовании рассматривается прочность перекрытия, подверженного нагрузке от падающего груза. У данного типа расчёта, как правило, две задачи: исследование последствий падения груза (растрескивание или сохранение целостности перекрытия), либо формальное удовлетворение требований норм прочности (в предположении отсутствия повреждения перекрытия в том случае, когда необходимо сохранить герметичность помещения).

Система прочностного анализа и проектирования строительных конструкций SCAD ориентирована на проверку прочности согласно российским нормам. Для использования программы SCAD в данном случае необходимо определить нагрузку во времени, действующую со стороны падающего груза. Подходы к определению этой нагрузки могут быть различными. Для этого необходимо предварительно определить длительность воздействия, площадь контакта груза с поверхностью соударения и скорость груза перед соударением. Груз и перекрытие не могут считаться абсолютно жесткими, поскольку в этом случае расчетная нагрузка окажется неограниченно высокой. Чем больше податливостей в системе «груз – перекрытие» будет учтено в расчетной схеме, тем длительнее будет процесс нагружения и меньше пиковые значения нагрузки. Таким образом, усложнение расчетной схемы в данном случае приводит к снижению консерватизма расчета. Наиболее детальный учет податливостей системы возможен при использовании 3D конечно-элементного (КЭ) моделирования. Одним из наиболее широко используемых программных комплексов (ПК), позволяющим провести необходимый расчет, является программный комплекс ANSYS Explicit. Данный ПК позволяет оценить последствия удара для перекрытия, а также осуществить проверку его на пробиваемость грузом.

Постановка задачи. Упрощённый подход определения нагрузки от удара

Исходные данные для задачи: транспортно-упаковочный комплект (ТУК) массой $M = 40,5$ т падает с высоты $h = 9$ м на железобетонное перекрытие.

Для того, чтобы оценить приходящую нагрузку на перекрытие, существует следующий упрощённый подход [1]: скорость ударяющегося тела в момент удара, согласно соотношениям закона сохранения энергии (при свободном падении груза с высоты h , без учета сопротивления воздуха), определя-

ется из равенства кинетической и потенциальной энергий:

$$Mgh = \frac{Mv^2}{2}. \quad (1)$$

Для рассматриваемой модельной задачи скорость груза перед ударом будет $v = 13,3$ м/с.

Ударное воздействие осуществляется за малый период времени. В динамике механических систем для характеристики изменения количества движения, определяемого следующей зависимостью, за конечный промежуток времени принята физическая величина – импульс силы:

$$p = Mv. \quad (2)$$

Ударная сила Q с учетом передаваемого импульса определяется как:

$$Q = \frac{Mv}{t}. \quad (3)$$

Здесь t – время действия импульса. В технической теории удара напряжения в конструкции могут быть вычислены путем умножения величины напряжений в конструкции, нагруженной силами от падающего груза статически, на коэффициент динамичности, определяемый для момента времени, когда система («конструкция – падающий груз») получает наибольшее перемещение, а скорость груза и конструкции становится равной нулю. Данное время, за которое система приобретет наибольшее перемещение, может быть принято в качестве исходных данных для задания в SCAD.

Поскольку удар вызывает затухающие колебания конструкции, а движение соударяющегося тела с конструкцией, согласно предпосылкам, указанным выше, происходит совместно, целесообразно произвести модальный анализ системы и определить собственную частоту колебаний f конструкции. Максимальная амплитуда колебаний затухающих систем наблюдается на первом полуцикле колебаний. Поэтому в качестве времени t принимается величина, равная половине периода колебаний T :

$$t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f}. \quad (4)$$

Для рассматриваемого перекрытия собственная частота $f = 80$ Гц, по формуле (3) $t = 6,3 \cdot 10^{-3}$ с, $Q = 86$ МН. Данный подход является упрощенным, он не учитывает податливость падающего груза. В предположении того, что груз является недеформируемым, по формулам 3 и 4 получается очень малое значение времени соударения, что приводит к сильно консервативным оценкам силы удара.

Определение нагрузки от удара с учётом податливости падающего груза в ПК ANSYS

Для снижения консерватизма необходимо учесть податливость падающего груза. Для случая падения ТУК учет податливости груза тем более важен, поскольку конструктивно ТУК оснащен демпфером днища, обладающим значительной податливостью.

Модель ТУК, учитывающая его податливость, может быть создана с использованием КЭ моделирования в комплексе ANSYS (см. рисунок 1). Для решения быстропротекающих процессов, к которым относится удар падающего груза, оптимально использование модуля Explicit Dynamics (инструмент явного динамического анализа ANSYS Autodyn).

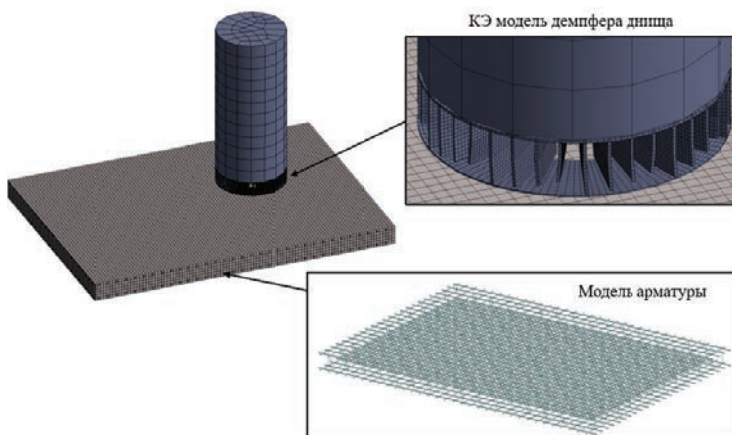


Рисунок 1. КЭ модель груза и перекрытия в ANSYS

Для моделирования взаимодействия ТУК с перекрытием нет смысла подробно моделировать сам ТУК, важно лишь достаточно точно смоделировать демпфер днища, так как податливость демпфера будет во много раз превышать податливость самого груза.

Необходимо создание достаточно подробной сетки и использование упругопластической модели материала демпфера днища.

Для оценки влияния податливости груза с целью выбора модели материала демпфера днища был проделан ряд численных экспериментов, в которых перекрытие считалось абсолютно жестким. В качестве материала демпфера днища использовались различные модели материала, учитывающие упругопластическое поведение материала и зависимость его свойств от скорости деформирования (Купера – Саймондса, Джонсона – Кука [2–4]), а также простая билинейная упругопластическая модель с изотропным упрочнением.

Кривые деформирования для трех рассмотренных моделей (для низкой скорости деформаций) приведены на рисунке 2.

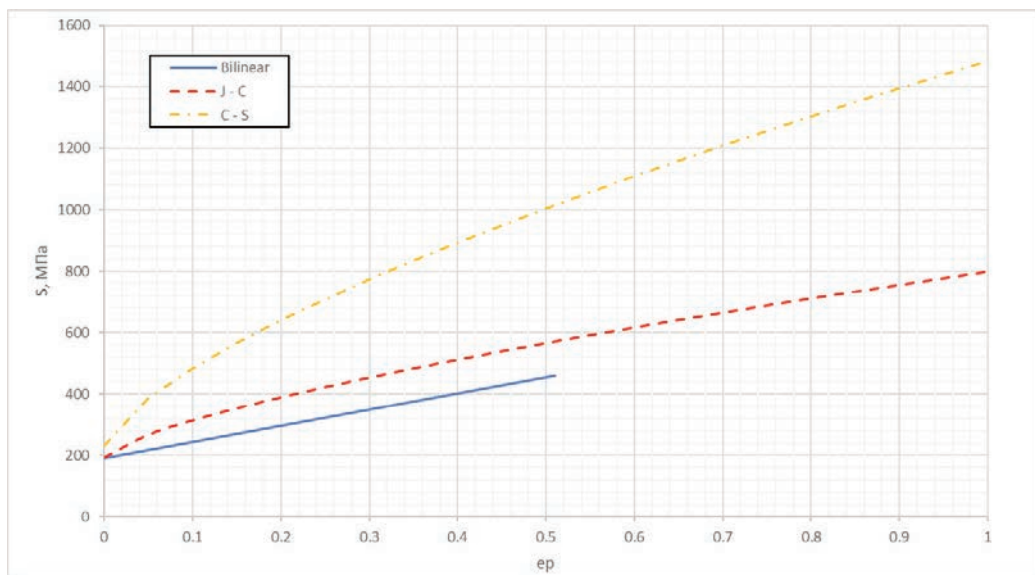


Рисунок 2. Кривые деформирования материала демпфера днища (синяя (Bilinear) – билинейная упруго-пластическая модель, красная (J-C) – модель Джонсона – Кука, желтая (C-S) – модель Купера – Саймондса)

Анализ показывает, что нагрузка на перекрытие сильно зависит от выбора модели материала демпфера днища. Значение пиковой нагрузки определяется упругопластическими свойствами материала и геометрической нелинейностью, заложенной в конструкцию демпфера днища. Такого рода расчеты могут быть использованы для оптимизации конструкции демпфера днища. Для настоящего исследования было важно выбрать модель материала демпфера днища для дальнейшего анализа. Для консервативной оценки была выбрана модель материала, дающая максимальное значение пиковой нагрузки. Заметим, что значение нагрузки (для абсолютно жесткого перекрытия) меньше, чем нагрузка, определяемая по формулам (3), (4). При этом полное время процесса намного выше, чем значение, определенное по формуле (4). На рисунке 3 представлены значения нагрузки во времени для трех рассмотренных моделей материала демпфера днища. На этом же рисунке для сравнения приведен прямоугольный импульс нагрузки, соответствующий аналитическому подходу в соответствии с формулами (3), (4).

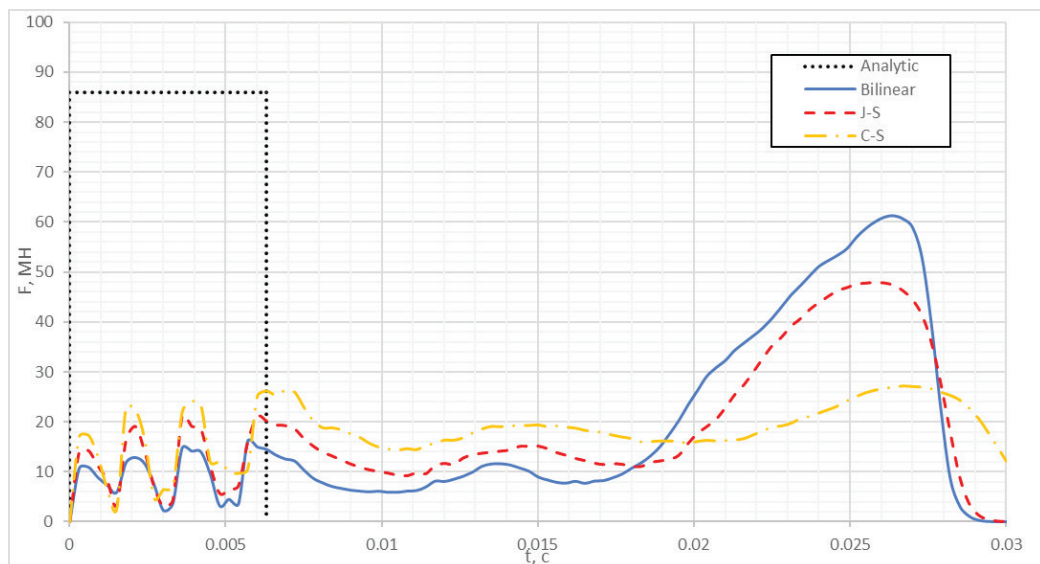


Рисунок 3. Нагрузка во времени для различных моделей материала демпфера дна

При последующих расчетах была выбрана модель материала демпфера дна, соответствующая максимальной пиковой нагрузке (билинейная модель) для случая абсолютно жесткого перекрытия.

Определение нагрузки от удара с учётом податливости плиты перекрытия в ПК ANSYS

Следующим этапом уточнения модели взаимодействия падающего груза с основанием является учет податливости самого перекрытия.

Для модели бетона была выбрана модель Друкера-Прагера, параметры которой определялись через задание пределов прочности при работе на сжатие и растяжение.

Свойства арматуры задавались при помощи простейшей модели упругопластического материала без упрочнения. Такие модели позволяют смоделировать основные эффекты, связанные с поведением бетона и арматуры под действием высокой кратковременной нагрузки. Бетон моделировался объемными элементами, арматура – стержневыми (см. рисунок 1).

В модель включалось как продольное, так и поперечное армирование. Контакт между стальной арматурой и бетоном задавался автоматически через соответствующий инструмент ANSYS Explicit. Независимое построение сеток на элементах бетона и арматуры позволило построить регулярную сетку с элементами, близкими к кубическим, что сокращает время счета и увеличивает точность решения средствами явного динамического анализа.

Учет податливости перекрытия позволяет дополнительно снизить консервативность оценки пикового значения нагрузки на перекрытие. В случае использования модели податливого перекрытия в качестве нагрузки на перекрытие рассматривается суммарная контактная нагрузка в зоне контакта груза и перекрытия.

Сравнение зависимостей во времени нагрузки на перекрытие для случаев абсолютно жесткого и податливого перекрытия приведено на рисунке 4.

Уважаемые читатели!

**Индекс подписки 18317 в электронном подписном каталоге
УРАЛ-ПРЕСС на сайте www.ural-press.ru.**

**В редакции можно купить любой номер журнала
или его электронную версию (stroymex@list.ru).**

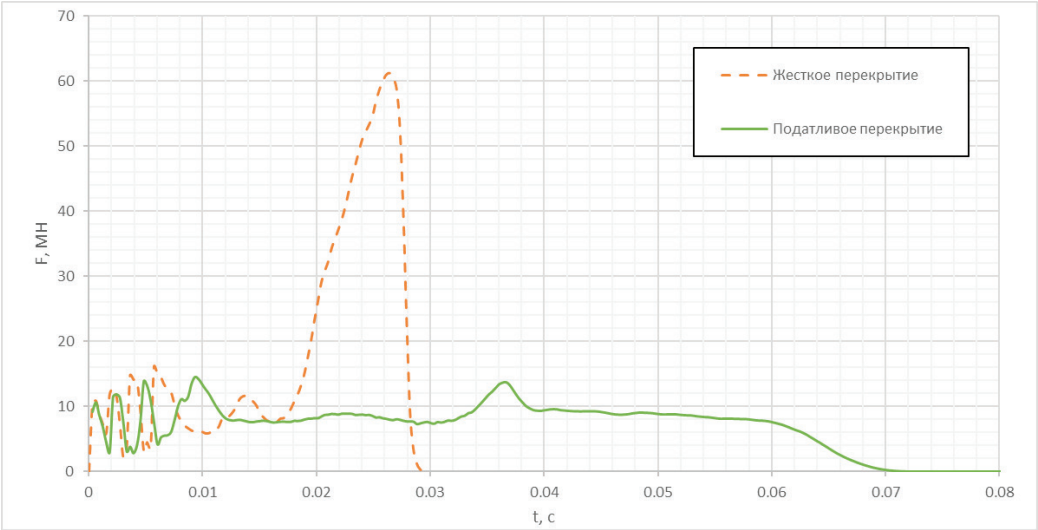


Рисунок 4. Нагрузка во времени для различных моделей перекрытия

При учете податливости перекрытия пиковая нагрузка существенно уменьшается, а длительность процесса дополнительно возрастает. В таблице 1 приведены сравнительные значения пиковой нагрузки и длительности процесса для рассмотренных выше моделей.

Таблица 1. Сравнительный анализ моделей по пиковым нагрузкам и времени процесса

Модель	Пиковая нагрузка, МН	Время процесса, м·с
Аналитическая оценка	86	6,3
КЭ расчет с податливым грузом и абсолютно жестким перекрытием	61,3	30
КЭ расчет с податливым грузом и податливым перекрытием	14,6	70

Нагрузка, определенная по модели, в которой учтена податливость как груза, так и перекрытия может быть задана для оценки прочности перекрытия. Поскольку в ПК ANSYS не заложены требования строительных норм РФ, целесообразно для оценки прочности несущих конструкций применять специализированные программы. В качестве такой специализированной программы предлагается использование системы прочностного анализа и проектирования строительных конструкций SCAD.

Методологически для верификации моделей и корректного совместного использования ANSYS Explicit и SCAD необходим сравнительный анализ моделей, созданных в двух данных ПК. Необходимо отметить, что моделирование железобетонного перекрытия в двух указанных программах имеет существенные отличия. В ANSYS Explicit сетка состоит из объемных элементов, арматура моделируется напрямую, в системе SCAD перекрытие моделируется элементами типа «пластина», арматура в плитных КЭ не моделируется (рисунок 5). При этом в ANSYS Explicit используется явная схема решения динамической задачи, а в SCAD – неявная. Затухание в плите перекрытия в SCAD не учитывалось. Задача решалась методом прямого интегрирования.

В процессе разработки методологии совместного использования ANSYS Explicit и SCAD модели железобетонного перекрытия, созданные в этих программах, сравнивались по следующим параметрам:

1. Максимальное перемещение в центре перекрытия от действия собственного веса (проверка эквивалентности жесткостей конструкции). Важно, что при использовании явного решателя ANSYS Autodyn задачу линейной статики следует решать как динамическую задачу с учетом опции решателя «Quasi Static».
2. Первая собственная частота перекрытия. При использовании явного решателя ANSYS Autodyn напрямую модальный анализ провести невозможно. Первую собственную частоту можно получить на основе анализа свободных колебаний перекрытия после какого-либо короткого импульсного воздействия. Форма нагрузки должна быть такой, при которой предполагается возбуждение

в основном первой формы колебаний. Возможно, например, приложение равномерно-распределенного по площади перекрытия давления в течение короткого промежутка времени.

3. Изменяющиеся во времени перемещения и ускорения для тестовой задачи прямой динамики в линейной постановке (нелинейности в моделях материалов исключаются). Рассматривался прямоугольный ударный импульс по площади контакта падающего груза с перекрытием. Для этой задачи удастся добиться хорошего соответствия между двумя рассматриваемыми пакетами при задании нулевого демпфирования в перекрытии. Это объясняется тем, что в ANSYS Explicit не предусмотрено задание рэлеевского демпфирования. В этом смысле расчет в ANSYS Explicit является консервативным.

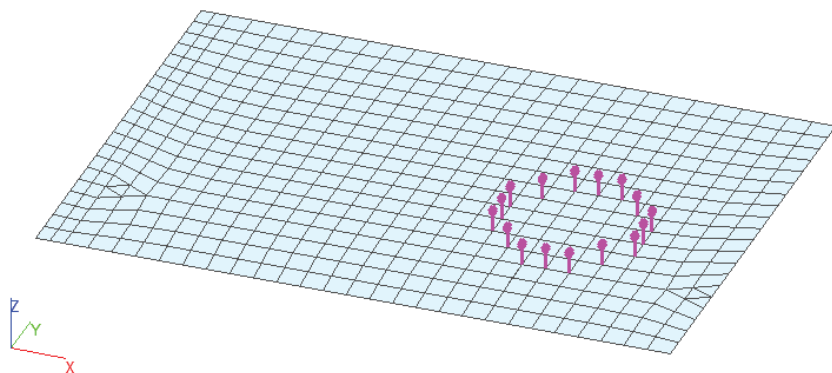


Рисунок 5. Общий вид расчётной схемы в SCAD. Стрелками показаны точки приложения импульсной нагрузки

Основные результаты сравнительного анализа двух рассматриваемых ПК представлены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительный анализ решения в двух ПК

Результат тестового расчета	ANSYS Explicit	SCAD	Ошибка, %
Прогиб при статическом нагружении, мм	0,060	0,060	0,0
Первая собственная частота f , Гц	80,4	82,0	2,0
Перемещение при динамическом нагружении u , мм	39,0	40,3	3,3
Ускорение при динамическом нагружении, a , м/с ²	14009	14537	3,8

На рисунках 6, 7 представлены зависимости перемещений и ускорений при динамическом нагружении при расчете обоими ПК.

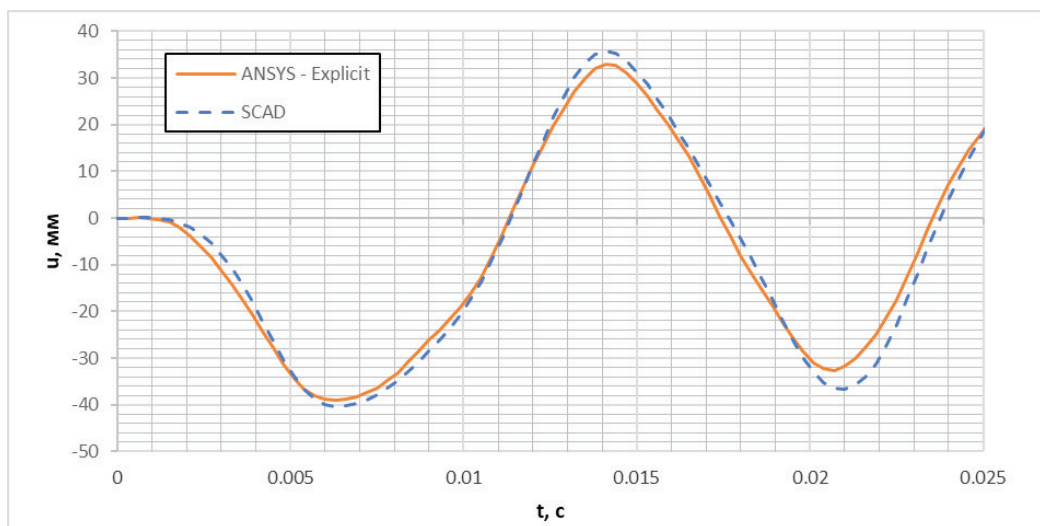


Рисунок 6. Вертикальные перемещения при динамическом нагружении

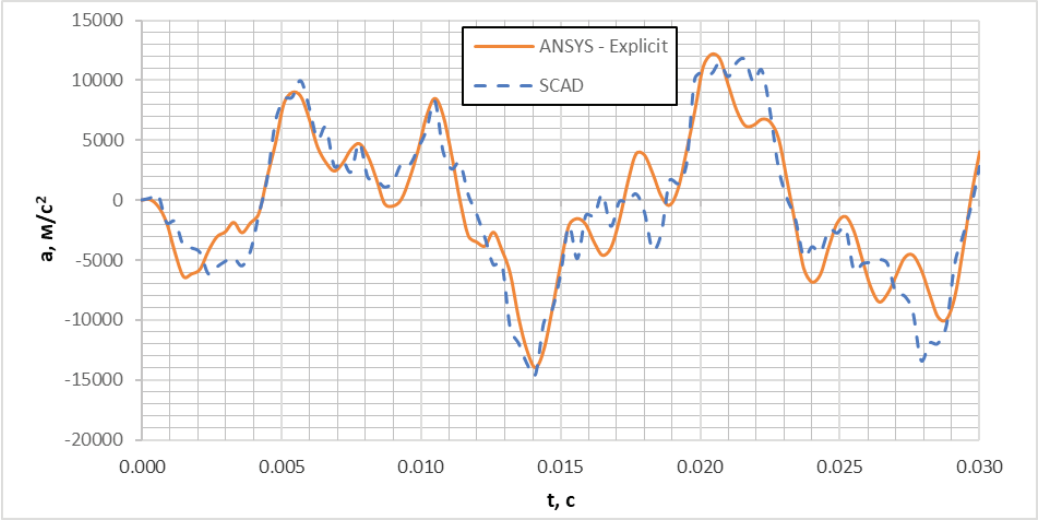


Рисунок 7. Вертикальные ускорения при динамическом нагружении

После калибровки моделей нагрузку, полученную в ANSYS, следует прикладывать в SCAD в линейной постановке с целью проверки прочности в соответствии с нормами РФ. По сравнению с приложением импульса нагрузки, полученного аналитически в соответствии с формулами (3), (4), перемещения, ускорения и усилия могут быть существенно снижены. Для рассматриваемого в настоящей статье случая результаты расчета в SCAD перемещений, ускорений в центре плиты, а также усилий в зоне удара приведены в таблице 3. В последнем столбце приведен коэффициент снижения консерватизма, равный отношению рассчитанных величин для двух видов нагрузки.

Таблица 3. Сравнительный анализ результатов расчета по SCAD для нагрузок, полученных аналитически и с использованием ANSYS

Результат тестового расчета	Нагрузка по формулам (3), (4)	Нагрузка по ANSYS	Коэффициент снижения
Максимальное перемещение в центре перекрытия u , мм	70	7,0	10,0
Максимальное ускорение в центре перекрытия a , м/с ²	36665	3730	9,8
Усилие в зоне удара M_x , т·м/м	928	124	7,5
Усилие в зоне удара M_y , т·м/м	1035	138	7,5

Важно отметить, что для быстротекущего динамического процесса, которым является контактное взаимодействие груза с перекрытием, суммарная реакция по периметру перекрытия может оказаться существенно ниже силы в зоне контакта. При использовании ANSYS Explicit возможно получение обеих величин. Анализ показывает, что пиковое значение суммарной реакции по периметру перекрытия может быть ниже на ~36% пикового значения нагрузки в зоне контакта за счет собственной динамики перекрытия. Таким образом, консерватизм в определении нагрузки может быть дополнительно снижен, если интересует нагрузка от падения груза, передаваемая перекрытием на остальную конструкцию здания. На рисунке 8 представлены зависимости во времени реакции в зоне контакта и по периметру перекрытия.

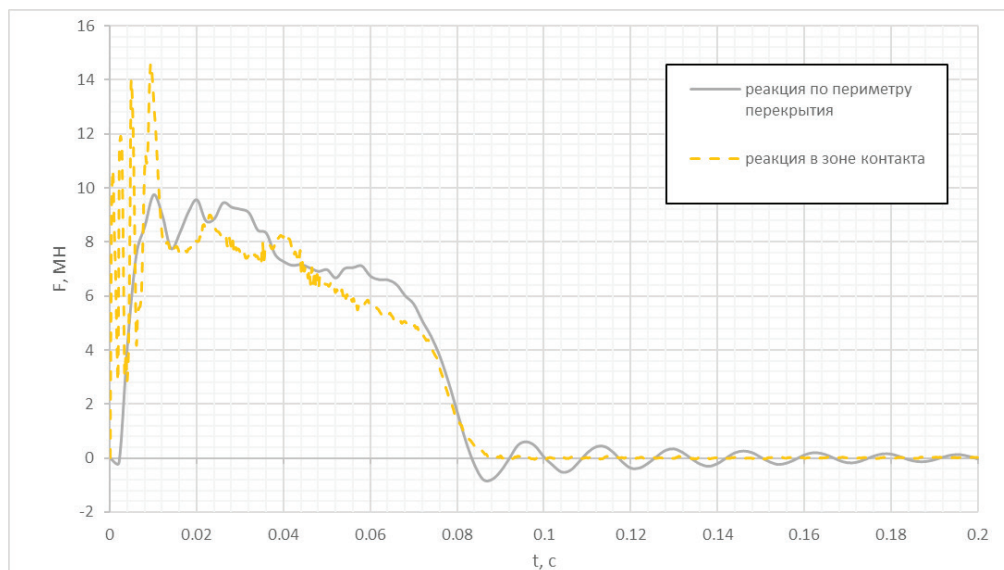


Рисунок 8. Нагрузки на перекрытие в зоне контакта и по периметру

Оценка пробиваемости перекрытия

Отдельной задачей данного исследования является оценка пробиваемости перекрытия. Известен ряд эмпирических формул, основанных на экспериментальных данных по пробиванию железобетонных плит различными снарядами [5].

Из опытных данных известно, что если скорость снаряда мала, то снаряд отскакивает от преграды, не повредив ее. При увеличении скорости снаряда происходит его проникание в преграду и разрушение бетона со стороны удара. При больших скоростях напротив места удара происходит растрескивание преграды изнутри, которое может сопровождаться разлетом кусков бетона. При еще большей скорости происходит сквозное пробивание преграды снарядом, который после этого может сохранить остаточную скорость (см. рисунок 9). Все эти виды повреждений возможно смоделировать с использованием ANSYS Explicit.

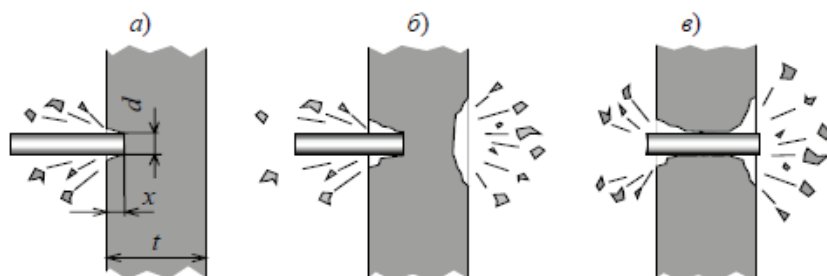


Рисунок 9. Виды повреждений бетонной преграды при ударе твердого тела: а) выкрашивание с лицевой поверхности; б) растрескивание изнутри; в) пробивание ([5], рис.7.2)

Для оценки последствий падения тяжелого груза на железобетонное перекрытие с высокой степенью армирования используется следующая эмпирическая формула [5]:

$$V_c = 1,3\rho^{1/6} f_{cy}^{1/2} \left(\frac{t_p^2 p}{\pi m} \right)^{2/3} (r + 0,3)^{1/2}, \quad (5)$$

где:

t_p – толщина пробивания, м;

m – масса снаряда, кг;

p – периметр снаряда, м;

V_c – критическая скорость снаряда, при которой происходит пробивание, $45 < V_c < 300$ м/с;

ρ – плотность бетона, кг/м³; f_{cy} – цилиндрическая прочность бетона, Па;

r – количество арматуры у лицевой и тыльной поверхностей мишени в каждом направлении в процентах: $0 < r < 0,75 \%$; $r = (\frac{a}{ct}) \cdot 100\%$, (см. рисунок 10), где a – площадь арматурного стержня; c – шаг между стержнями; t – толщина преграды.

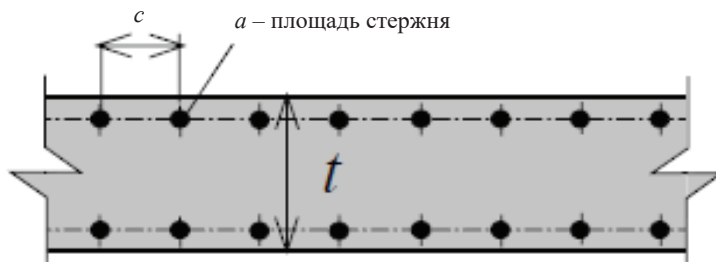


Рисунок 10. К определению коэффициентов, входящих в формулу (5)

Достоинством формулы (5) является учет в явном виде армирования преграды. В отсутствие экспериментальных данных формулу (5) можно использовать для калибровки материала бетона.

Для моделирования процесса разрушения бетона в ANSYS Explicit необходимо введение в модель того или иного критерия разрушения. Конкретные параметры можно подобрать так, чтобы результаты КЭ расчета соответствовали формуле (5) – при начальных скоростях v , меньших V_c , тестовая преграда не должна пробиваться, при скоростях v , больших V_c , должно произойти ее пробитие.

Для материала бетона в ANSYS Explicit предусмотрен критерий разрушения по максимально-му растягивающему давлению («Tensile Pressure Failure»). Этот критерий комбинируется с моделью «Crack Softening Failure» для описания поведения материала на закритической стадии деформирования.

Модель материала арматуры требуется дополнить критерием разрушения по максимальной пластической деформации.

Для проведения численных экспериментов с целью калибровки свойств материала бетона в ANSYS Explicit модель, представленная на рисунке (1), упрощалась с целью приближения к условиям экспериментов, на основании которых выводилась формула (5). Из модели был исключен демпфер днища, поскольку эксперименты проводились со снарядами, не имеющими значительных податливостей, конструктивно смягчающих удар. Кроме того, из модели исключена поперечная арматура, не участвующая в формуле (5), а свойства материала продольной арматуры скорректированы (предел текучести задан как $R_y = 400$ МПа) в соответствии с известными свойствами арматуры, использованной в экспериментах.

Для проверки диапазонов применимости модели масса и размеры грузов варьировались.

Отметим, что согласно [5] начальная скорость груза $v = 13,3$ м/с лежит вне диапазона скоростей V_c , на основании которого была получена формула (5), при рассмотрении меньших скоростей область применения формулы (5) была экстраполирована на более низкие скорости падения груза.

На рисунках 11–14 приведены результаты численных экспериментов с различными массами m и начальными скоростями грузов v . Показано деформированное состояние системы через время $t = 0,3$ с для малых скоростей груза v , время $t = 0,1$ с для больших скоростей груза, а также зависимости скорости груза от времени.

На рисунках 11 и 12 приведены результаты для груза массой $m = 40,5$ т; $V_c = 5,0$ м/с (по формуле (5)). Видно, что для начальной скорости $v = 5$ м/с перекрытие пробивается, скорость груза не изменяет знак. Для скорости $v = 4$ м/с перекрытие не пробивается, хотя происходит растрескивание железобетона изнутри. Скорость груза меняет свой знак на противоположный.

На рисунках 13 и 14 – результаты для груза массой $m = 0,45$ т; $V_c = 48$ м/с (по формуле (5)). Видно, что для начальной скорости $v = 60$ м/с перекрытие пробивается, скорость груза не изменяет знак. Для скорости $v = 35$ м/с перекрытие не пробивается, хотя происходит растрескивание железобетона изнутри. Скорость груза меняет свой знак на противоположный.

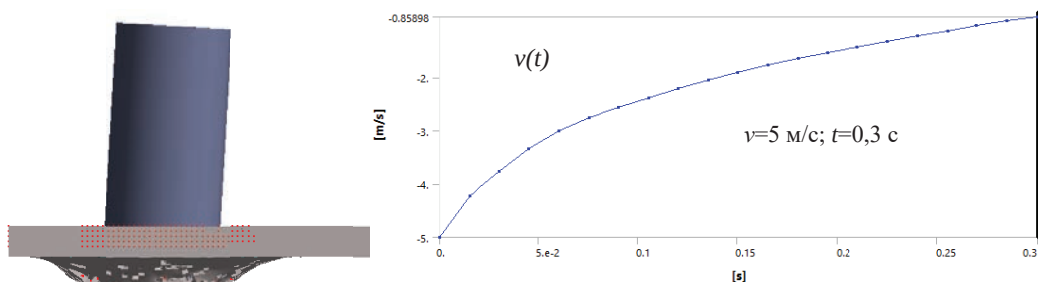


Рисунок 11. Результат взаимодействия груза массы 40,5 тонн с начальной скоростью $v=5$ м/с

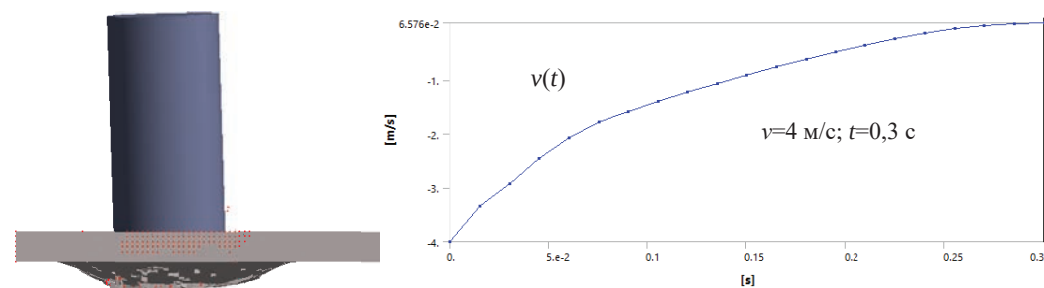


Рисунок 12. Результат взаимодействия груза массы 40,5 тонн с начальной скоростью $v=4$ м/с

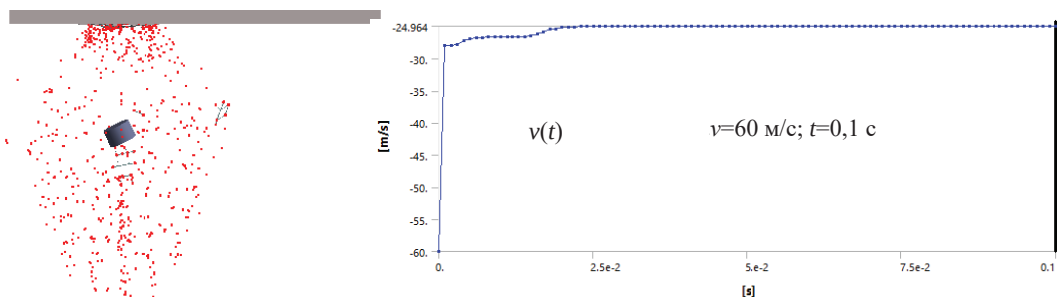


Рисунок 13. Результат взаимодействия груза массы 0,45 тонн с начальной скоростью $v=60$ м/с

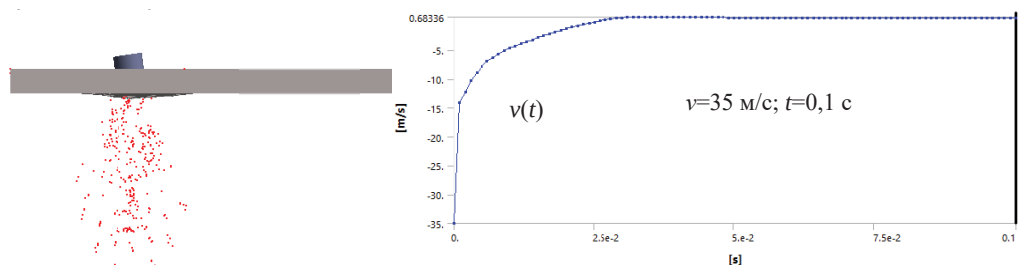


Рисунок 14. Результат взаимодействия груза массы 0,45 тонн с начальной скоростью $v=35$ м/с

По результатам калибровки модели разрушения материала бетона эта модель была включена в исходную модель, соответствующую падению ТУК с демпфером днища и исходным армированием. Численный анализ с использованием такой модели показал, что при умеренном армировании происходит пробитие перекрытия, однако повышением уровня армирования можно добиться того, что, несмотря на обширное растрескивание изнутри, перекрытие сохраняет свою целостность.

На рисунках 15 и 16 приведены деформированные состояния для времени $t = 0,2$ с для случаев умеренного и усиленного армирования перекрытия, соответственно.

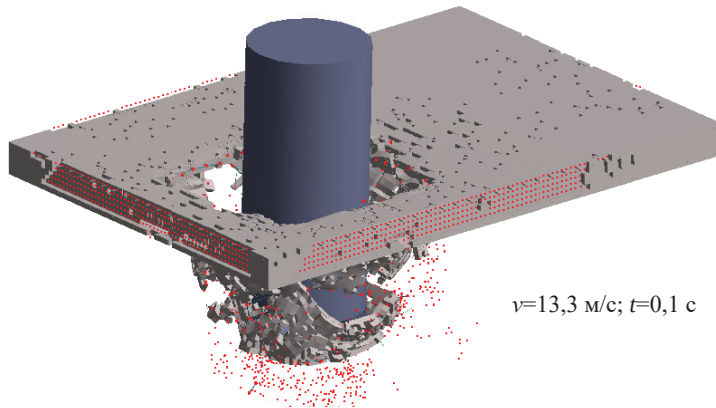


Рисунок 15. Результат взаимодействия ТУК с перекрытием для случая умеренного армирования

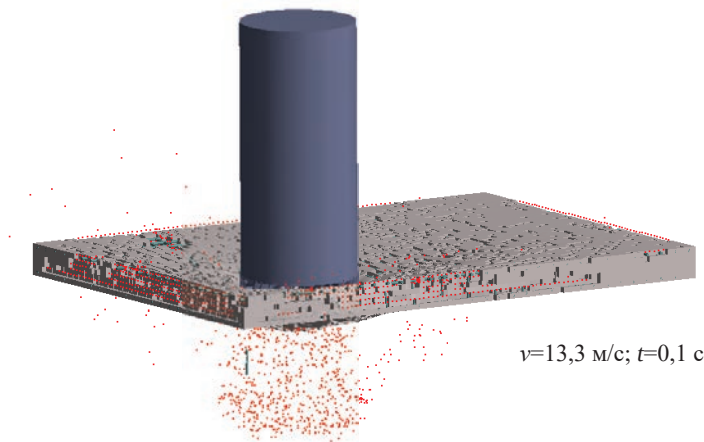


Рисунок 16. Результат взаимодействия ТУК с перекрытием для случая усиленного армирования

Дополнительно к критерию разрушения бетона по растягивающему давлению был рассмотрен критерий разрушения по максимальным деформациям. Численные эксперименты показали, что этот критерий также может быть откалиброван так, чтобы удовлетворительно соответствовать формуле (5). При этом характер разрушения бетона (при прочих одинаковых параметрах) меняется. Зона разрушения становится более концентрированной в пространстве (см. рисунок 17). Какой критерий разрушения бетона предпочтителен для рассматриваемого класса задач, может показать натурный эксперимент.

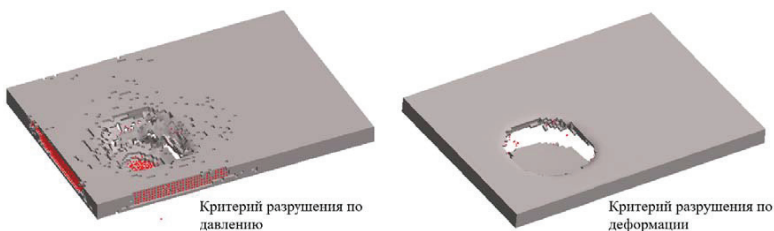


Рисунок 17. Зависимость формы разрушения бетона от критерия разрушения

Выводы

Использование программного комплекса ANSYS Explicit позволяет определить нагрузку на перекрытие при падении тяжелого груза, существенно снижая консервативность оценки пиковых значений нагрузки, сделанной по аналитическим формулам.

- Зависимость нагрузки на перекрытие от времени сильно зависит от податливости падающего груза, пластических свойств материала груза, а также от податливости перекрытия.

- Нагрузка на перекрытия, полученная средствами явного динамического анализа в ANSYS Explicit, может быть успешно использована в системе SCAD для оценки прочности перекрытия. На основании расчета в SCAD могут быть получены рекомендации по необходимому укреплению перекрытия.
- Использование ANSYS в связке со SCAD позволяет существенно снизить консерватизм расчета – до 10 раз, что может позволить исключить необоснованное увеличение толщины и армирования перекрытия.
- Модель железобетона в ANSYS может быть откалибрована в части критериев разрушения для соответствия существующим эмпирическим зависимостям. Откалиброванная модель железобетона может использоваться для оценки пробиваемости перекрытия при падении груза.
- Дальнейшее уточнение расчетной модели возможно по результатам натурных экспериментов.

Список литературы

1. Справочник по динамике сооружений. М.: Стройиздат, 1972. 511 с.
2. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-86) // Госатомнадзор СССР. М.: Энергоатомиздат, 1989. 525 с.
3. Sobolev A.V., Radchenko M.V. Use of Johnson–Cook plasticity model for numerical simulations of the SNF shipping cask drop tests. Nuclear Energy and Technology. 2016. No. 2 (4).
4. Брагов А.М. Экспериментальное исследование и математическое моделирование поведения сталей марок Ст. 3, 20Х13 и 08Х18Н10Т в широких диапазонах скоростей деформаций и температур / А.М. Брагов, Л.А. Изумнов, В.Б. Кайдалов, А.Ю. Константинов, Д.А. Лапшин, А.К. Ломунов, Ф.М. Митенков // Прикладная Механика и Техническая физика, 2015. Т. 56. № 6. С. 51–58.
5. Бирбраер А.Н., Роleder А.Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. СПб: Изд-во Политехнического университета, 2009. 594 с.

CALCULATION OF LOADS WHEN A LOAD FALLS AND ASSESSMENT OF THE STRENGTH OF THE OVERLAP BY RUSSIAN STANDARDS USING ANSYS EXPLICIT AND SCAD

P.B. Zabiropkhin, D.E. Bondarev, CKTI-VIBROSEISM LTD; e-mail: 89523684328@mail.ru

Abstract. The article proposes a methodology for calculating loads and estimating the strength of a ceiling when a load falls, based on the combined use of an explicit solver of the ANSYS software package with models describing the nonlinear characteristics of both metal and concrete, the possibility of their destruction, as well as the SCAD Office strength analysis and structural design system. Studies have shown that based on calculations in ANSYS, it can be concluded that the integrity of the building floor is preserved, which is susceptible to falling on it. In the ANSYS PC, overlap loads can be determined as a function of force versus time, which can subsequently be used in the SCAD PC. The methodology involves using the load obtained in the ANSYS PC in the SCAD PC in order to assess the strength of load-bearing structures in accordance with Russian standards. Research has shown that using ANSYS in conjunction with SCAD Office can significantly reduce the calculation conservatism – up to 10 times, which can eliminate an unjustified increase in the thickness and reinforcement of the floor during the design of load-bearing structures.

Keywords: overlap strength, load drop, load calculation, explicit solver, ANSYS, SCAD

References

1. Handbook on the dynamics of structures. Moscow: Sroyzdat, 1972. 511 p. (in Russian).
2. Calculation standards for the strength of equipment and pipelines of nuclear power plants (PNAE G-7-002-86 Gosatomnadzor of the USSR. Moscow: Energoatomizdat, 1989. 525 p. (in Russian).
3. Sobolev A.V., Radchenko M.V. Use of Johnson–Cook plasticity model for numerical simulations of the SNF shipping cask drop tests. Nuclear Energy and Technology. 2016. No. 2 (4).
4. Bragov A.M., Izumnov L.A., Kaidalov V.B., Konstantinov A.Yu., Lapshin D.A., Lomunov A.K., Mitenkov F.M. Experimental investigation and mathematical modeling of the behavior of steels of grades St. 3, 20X13 and 08X18H10T in wide ranges of deformation rates and temperature. Applied Mechanics Technical Physics, 2015. Vol. 56. No. 6. Pp. 51–58 (in Russian).
5. Birbraer A.N., Roleder A.Yu. Extreme impacts on structures. St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University, 2009. 594 p. (in Russian).

Для цитирования: Забиropхин П.Б., Бондарев Д.Е. Расчет нагрузок при падении груза и оценка прочности перекрытия по российским нормам с использованием ANSYS Explicit и SCAD Office // Строительная механика и расчет сооружений. 2025. № 3. С. 55–66. DOI: 10.37538/0039-2383.2025.3.55.66

For citation: Zabiropkhin P.B., Bondarev D.E. Calculation of loads when a load falls and assessment of the strength of the overlap by russian standards using ansys explicit and scad. Structural mechanics and analysis of constructions. 2025. No. 3. Pp. 55–66 (in Russian). DOI: 10.37538/0039-2383.2025.3.55.66