

Инженерная методика риск-информированного анализа уязвимости уникальных и высотных зданий к множественным опасностям и угрозам



Кириллов И.А., НИЦ Курчатовский институт
Клименко С.В., ИФТИ
Мещерин С.А., МФТИ
Муляр В.Л., КБ Спецпроект
Пантелеев В.И., ИБРАЭ РАН
Сумской С.И., МИФИ

10 февраля, 2016 г.



ABC Project. Risk Analysis Framework

Анализ опасностей и рисков при столкновении самолета с
высотным зданием. Количественная оценка риска
(NOW 047.014.022)



Стадии АВС

(с точки зрения анализа риска)



- 1-я стадия «Удар» – воздействия планера, волна топлива, взрыв ТВС.
Возможно мгновенное разрушение здания

Продолжительность – несколько секунд



- 2-я стадия «Эвакуация» - от начала пожара до:
 - тушения пожара
 - конца эвакуации
 - вторичного разрушения

Возможно отсроченное разрушение здания

Продолжительность от нескольких минут до нескольких часов



Почему не обычная модель КОР?

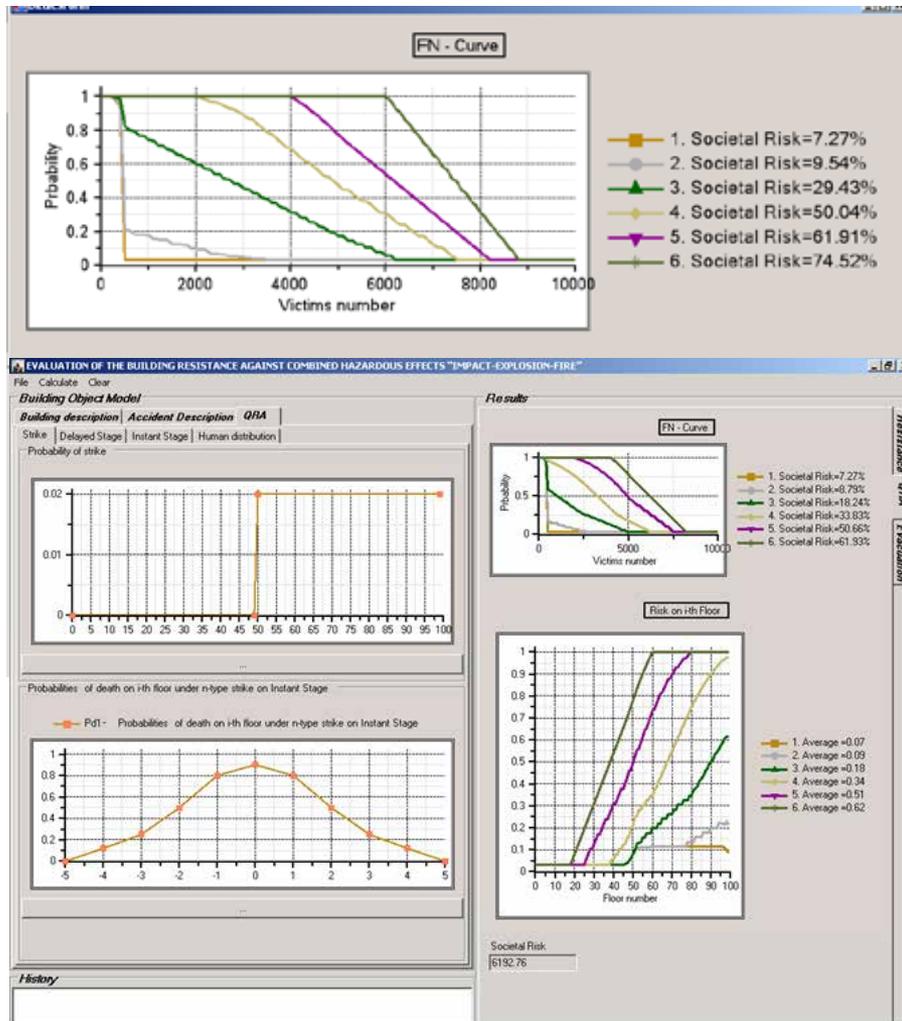
Особенности задачи

- *Многостадийность процесса при большой стойкости зданий обеспечивающей возможное выживание здания в момент удара*
- *Важность вопросов эвакуации при высокой концентрации людей и их вертикальном распределении затрудняющим эвакуацию.*
- *Комплексность воздействия на стойкость здания и эвакуацию на 2-й стадии аварии.*

Необходимо создать специальную модель КОР-АВС

Уровень значимости факторов аварии

710 000 сценариев было проанализировано для оценки значимости и чувствительности



1. Вероятность мгновенного разрушения здания при ударе на 1-й стадии
2. Соотношение времен эвакуации и разрушения на 2-й стадии
3. Возможность эвакуации и времени блокировки путей эвакуации
4. Распределение людей по этажам
5. "Эффект тени" от окружающих зданий.
6. Возможность гибель во время удара в месте удара.



Необходимость анализ уязвимости высотных и уникальных зданий в [МГСН 4.19-2005](#)

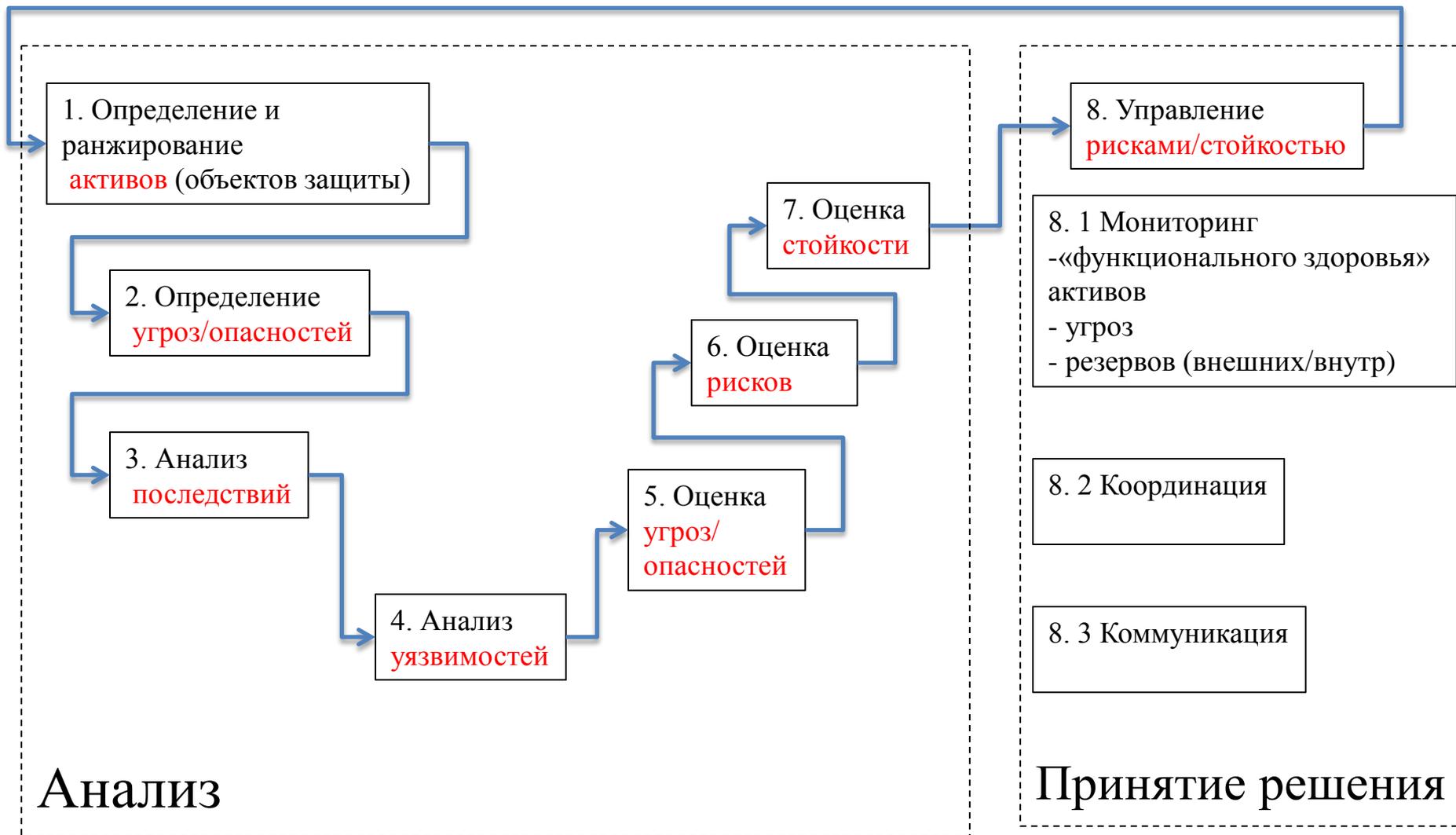
[МГСН 4.19-2005 «Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве»](#)

«... Проектная угроза - совокупность условий и факторов, определяемых в процессе проведения **анализа уязвимости высотного здания**, способных нарушить его нормальную эксплуатацию и привести к чрезвычайной ситуации.

Физический барьер - преграды и технические средства, препятствующие проникновению нарушителя в охраняемые зоны или к **уязвимым местам высотного здания**. ...»

Методология, методы, инструменты анализа уязвимости отсутствовали в научно-технической и нормативной литературе

Жизненный цикл риск-информированного управления стойкостью



Модели анализа рисков

Двухфакторная модель (действующий нормативный документ РД - РД 03-418-01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов»)

Риск - произведение частоты реализации критической ситуации P_j на величину C_j , характеризующую тяжесть неблагоприятных последствий.

$$R_j = P_j \cdot C_j$$

Трехфакторная модель –

ранг риска (R_{ij}) - произведение ранга вероятности i -ой угрозы (T_i),

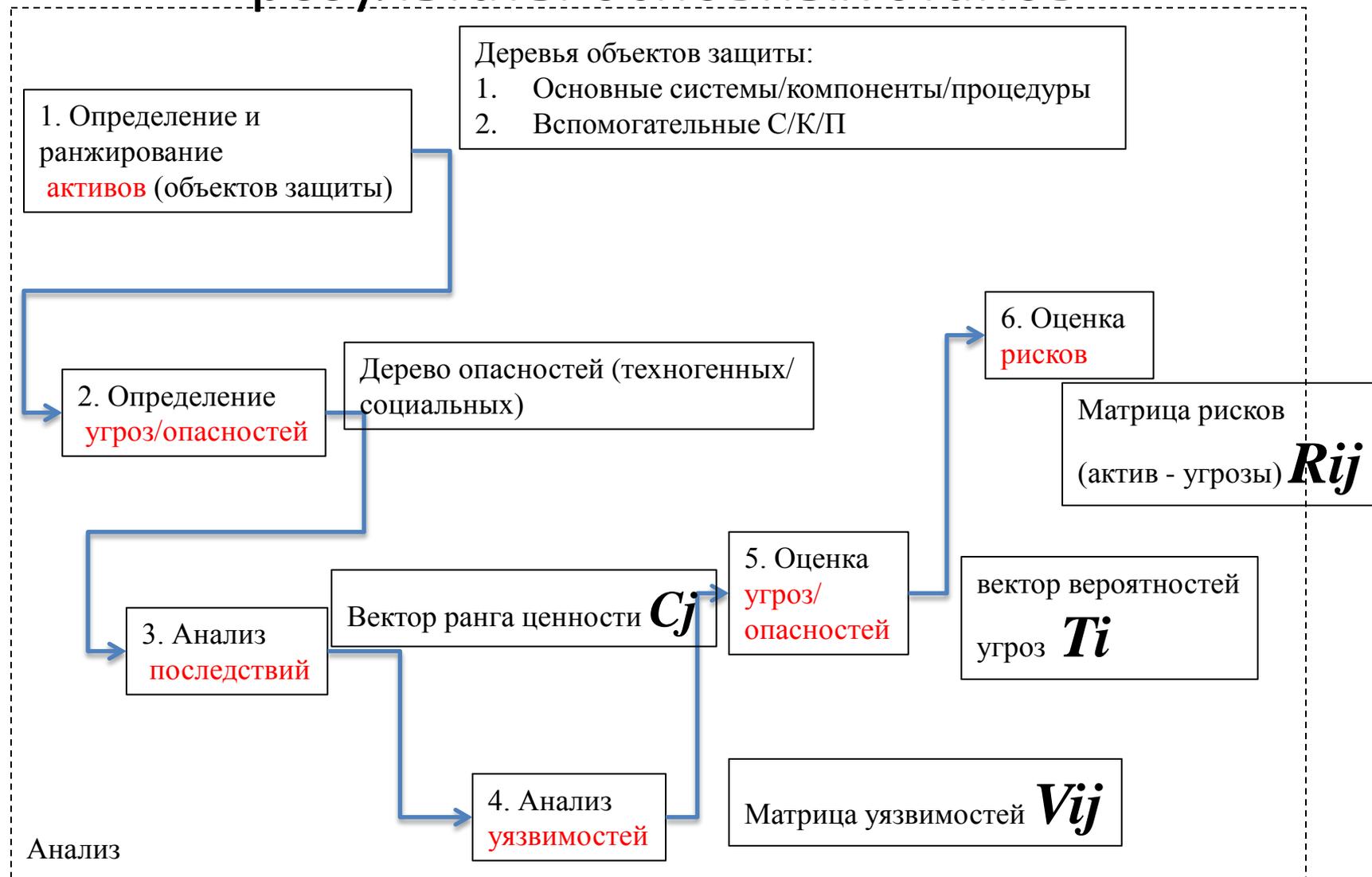
ранга уязвимости (V_{ij}) объекта защиты j к угрозе i и

ранга ценности (важности) j -ого объекта защиты (C_j):

$$R_{ij} = T_i \cdot V_{ij} \cdot C_j$$

Процедура

риск-информированного анализа уязвимости: результаты основных этапов



Шкалы:

Критичность активов (объектов защиты) 1 | 2

Системная модель объекта

Основные функции

- жилье
- офисы
- образовательная (наличие детских дошкольных учреждений, школьных групп и т.д.)
- автостоянка (надземная и подземная)
- выставочная
- культурно-массовые мероприятия (концертные залы, кинозалы, конференц-залы и т.д.)
- библиотечная
- торговая
- развлекательная
- питание (рестораны, кафе и т.д.)
- здравоохранение

Обеспечивающие функции

- управление/администрирование, включая менеджмент рисков и менеджмент качества
- инженерное обеспечение
- хозяйственное обеспечение
- склад/транспорт
- безопасность (природные катастрофы, техногенные аварии, терроризм, социальные (человеческий "фактор") чрезвычайные ситуации, криминал)

Шкалы:

Критичность активов (объектов защиты) 1 | 2 Дерево активов

площадка (придомовая территория)

архитектура

- Холлы ;
- пути эвакуации ;
- ...
- укрытия/убежища (зоны временного размещения людей) ;
- площадки загрузки/выгрузки.

конструкция

- фундамент;
- основание;
-
- наземные стеновые конструкции

ограждающие системы и точки доступа

- внешний периметр ;
- ...
- зоны загрузки/выгрузки ;
- места входа инженерных сетей ;

системы инженерного жизнеобеспечения

- электроснабжение ;
- ...
- канализация и водоотведение

системы безопасности

- система охранно-тревожной сигнализации;
- ...
- системы оперативной связи;

Шкалы:

Критичность активов (объектов защиты) 2 | 2

Cj

Ранг важности (ценности) (в сравнительном описании)	Ранг важности (ценности) (в баллах)	Критерии критичности (ценности или важности)
очень высокая	10	Потеря функции или разрушение объекта имеет чрезвычайно тяжелые последствия (безвозвратное полное прекращение функционирования), летальный исход у нескольких (не более 3-х) потерпевших
высокая	8-9	...
умеренно высокая	7	Частичная остановка функционирования объекта, травмы средней тяжести у нескольких потерпевших
средняя	5-6	...
умеренно низкая	4	...
низкая	2-3	Инциденты в системе жизнеобеспечения и безопасности объекта, незначительные травмы у одного потерпевшего
очень низкая	1	...

Дерево угроз (техногенных)

Тип угрозы/опасности	Класс	Вид/подвид
1. Техногенные угрозы	1.1 Авария/ инцидент в инженерных систем объекта	1.1.1 Авария / инцидент на канализационной системе объекта 1.1.1.1 Переполнение дренажных приемков (колодцев) системы канализации объекта 1.1.2. Авария / инцидент на системе водоснабжения 1.1.3 Авария / инцидент в системе электроснабжения объекта 1.1.4 Авария / инцидент в системе электроосвещения 1.1.5 Авария/инцидент в системе теплоснабжения объекта 1.1.5.1. Неисправность оборудования в системе теплоснабжения объекта 1.1.5.2. Неисправность системы обогрева пешеходного пандуса объекта 1.1.6 Авария в инженерных системах с точки зрения дежурного диспетчера 1.1.6.1. Авария в системе электроснабжения 1.1.6.2. Авария в системе электроосвещения 1.1.6.3. Авария в системе теплоснабжения 1.1.6.4. Авария в системе холодоснабжения 1.1.6.5. Авария в системе приточно-вытяжной вентиляции 1.1.6.6. Авария в системе водоснабжения 1.1.6.7. Авария в системе канализации 1.1.6.8. Авария в системе вертикального транспорта

Дерево угроз (социальные)

Тип угрозы/опасности	Класс	Вид	Подвид
2. Социальные угрозы	2.1. Террористические угрозы	2.1.1 Взрыв	2.1.1.1 «Почтовая бомба» 2.1.1.2 Самодельное устройство до 2,5 кг 2.1.1.3 «Багажная», нательная бомба 2.1.1.4 Бомба в легковом автомобиле 2.1.1.5 Бомба в легком грузовике 2.1.1.6 Бомба в тяжелом грузовике
		2.1.2. Нападение с целью захвата заложников	2.1.2. 1 1 -2 человека 2.1.2.2 до 10 человек 2.1.2.3 более 10 человек

Шкала для предварительного отбора (скрининга) релевантных угроз

Ранг релевантности и угрозы (в баллах)	Критерии ранжирования релевантности угроз						
	Качество проектирования и исполнения инженерной системы, износ	Квалификация персонала, опыт работы, лояльность организации	Ретроспектива реализаций угрозы	Значимость и известность объекта	Возможность негативного воздействия других систем на рассматриваемую	Количество людей на объекте [чел.]	Возможность осложнения работы других систем
9-10	• • •	• • •	• • •	• • •	• • •	• • •	• • •
6-8	Система спроектирована и исполнена на нормальном уровне, срок эксплуатации не истек.	Квалифицированный персонал, привлеченный, мотивированный	Аналогичные угрозы имели место (реализовывались) либо в регионе, либо на протяжении последних 10 лет, либо привели к значительным частичным разрушениям; в качестве одних из основных целей выступали функции объекта и люди в нем	Объект известен, является архитектурным/ историческим памятником	Отказы и аварии в 2-3 других систем могут вызвать отказ и аварию в данной системе.	1001-5000	Отказ и авария в данной системе может вызвать отказы и аварии в 2-3-х других системах
3-5	• • • • •	• • •	• • •	• • •	• • •	• • •	• • •
1-2	Система спроектирована и исполнена на очень высоком уровне (высококачественно), новая, прошедшая специальные испытания система.	Высококвалифицированный персонал, с большим опытом работы на данных объектах, заинтересованный	Аналогичные угрозы реализовывались в других странах, либо происходили много лет назад, либо сопровождалась небольшими разрушениями и незначительными последствиями; функции объекта и люди в нем не выступали в качестве основных целей.	Объект малоизвестен, не обладает символической и культурно-исторической ценностью.	Никакие аварии и отказы в другой системе не могут вызвать отказ и аварию в данной системе.	1-250	Отказ и авария в данной системе не вызывают отказов и аварий ни в одной из других системах.

Шкала для ранжирования вероятности угроз, T_i

Ранг вероятности реализации угрозы (в сравнит описании)	Ранг вероятности реализации угрозы (в баллах)	Описание вероятности наступления событий
Очень высокая	10	Вероятность появления данной угрозы неизбежна. Внутренние и внешние службы дают данные о неизбежности этой угрозы.
Высокая	8-9	...
Невысокая	7	...
Умеренная	5-6	Вероятность появления данной угрозы в данном месте существует. Внутренние и внешние службы имеют неподтвержденные данные о наличии данной угрозы.
Умеренно низкая	4	...
Низкая	2-3	...
Очень низкая	1	...

Шкала для ранжирования уязвимости выбранного актива к фиксированной угрозе, V_{ij}

Ранг уязвимости (в сравнительном описании)	Ранг уязвимости (в баллах)	
Очень высокая	10	Имеются одно или более идентифицированных чрезвычайно «слабых мест», которые делают объект защиты крайне чувствительным к данному виду угроз. Объект испытывает недостаток систем дублирования / физической защиты. Все здание может быть возвращено в функционирующий режим лишь спустя большой период времени
Высокая	8-9	...
Невысокая	7
Умеренная	5-6
Умеренно низкая	4
Низкая	2-3	Имеются незначительные «слабые места», которые делают объект слабо чувствительным к данному виду угроз. Объект имеет хорошие системы дублирования / физической защиты. Здания может быть возвращена в функционирующий режим спустя небольшой период времени
Очень низкая	1

Ранжирование уровней риска

$$\text{Матрица рисков } R_{ij} = T_i \cdot V_{ij} \cdot C_j$$

цветовой код	численное значение ранга риска (в относительных единицах)	уровень риска	описание
	> 300	высокий риск	Компенсирующие меры и мероприятия обязательны и должны быть проведены как можно скорее
	201 – 300	средний риск	Компенсирующие меры и мероприятия желательны и должны быть проведены в ближайшее время.
	< 201	малый риск	Компенсирующие меры и мероприятия могут повысить безопасность, однако не являются обязательными

Ранги рисков для основных функций объекта при угрозе взрыва

Функции	Взрывное устройство					
	10 т	2,5 т	250 кг	25 кг	2,5	0,5 кг
Офисный блок (аренда)	10	5	2	1	1	1
Автостоянка (подземная на 160)	120	120	160	225	175	75
Автостоянка (надземная на 12)	63	63	84	120	90	36
Управленческая (административная)	108	90	168	270	90	36
Инженерная	96	72	128	200	120	48
Хозяйственная	18	18	24	30	20	6
Склад/транспорт	72	72	96	135	105	45
Питание	126	126	168	245	210	42
Безопасность	180	150	200	500	400	120
Организация массовых мероприятий (конференц-зал на 100 мест)	168	168	224	280	240	96
Организация экспозиций (выставочный комплекс)	108	108	144	180	150	54

Риск-информированные критерии выбора проектной угрозы и критически важного актива

Активы	Угрозы					
	T1	T2	T3	...	Tj			
A1	168	168	224	240	200	96		
A2	120	120	160	225	175	75		
A3	63	63	84	120	90	36		
...	108	90	168	270	90	36		
A3	96	72	128	200	120	48		
...	18	18	24	30	20	6		
...	72	72	96	135	105	45		
Ai	126	126	168	245	210	42		
AN	180	150	200	500	400	120		
	168	168	224	280	240	96		
	108	108	144	180	150	54		

Проектная угроза

Критически важный актив

Работоспособность модели апробирована
при разработке СТУ (стадия П) для 5 высотных и/или
уникальных зданий,
построенных в г. Москва в 2007-2010 гг.
СТУ прошли Государственную экспертизу в Мосархнадзоре



1. Анализ уязвимостей – важный элемент управления высотным или уникальным зданием на всем протяжении его жизненного цикла
2. Трехфакторная модель оценки риска позволяет регулярным, воспроизводимым и научно-обоснованным образом определять и ранжировать критически важные точки сложных объектов и проектные угрозы различного типа.
3. Разработана и апробирована инженерная модель качественного рангового риск-информированного анализа уязвимостей (РИАУ) высотных или уникальных зданий к множественным угрозам/опасностям.

4. Разработана и апробирована пошаговая процедура РИАУ и методы шкалирования для инженерной оценки активов, угроз/опасностей, уязвимости систем/компонентов и процессов высотных и уникальных зданий, которые определяют его безопасность и стойкость.
5. Использование РИАУ позволяет минимизировать возможные потери, оптимизировать затраты на разработку и эксплуатацию ключевых систем здания и систем защиты.
6. Результаты качественного РИАУ могут быть использованы при проведении количественных оценок рисков, а так же при анализе стойкости сложных систем.
7. Предложенные методы и шкалы и могут быть **адаптированы** для оценки уязвимости, рисков и стойкости других сложных социотехнических систем (уникальных объектов в Арктике, ТЭК, городов и опасных промышленных объектов).