

Применение компьютерного моделирования развития пожара и эвакуации при проектировании зданий и сооружений (в контексте BIM-технологий)



Кирик Екатерина Сергеевна

*кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник ИВМ СО РАН,*

ООО «3к-эксперт»

kirik@icm.krasn.ru

<http://3ksigma.ru>

зона значимой опасности, не совместимых с
жизнью

	Время нахождения в зоне, сек	Количество людей, находящихся в зоне, чел
ОАП		
НДЛ	1,75-0	12

Основные темы доклада

- Компьютерное моделирование в контексте действующих нормативных актов и документов по пожарной безопасности
- Возможности компьютерного моделирования распространения ОФП и эвакуации с учетом систем пожарной безопасности
- BIM-технология проектирования (building information model) – хранение данных о проекте в структурированном цифровом виде

Зона значе-ния	
ЖОП	
Время нахождения в зоне, сек	Количество людей, попавших в зону, чел
ОФП	
НДЛ	1,75-9
	12



**Компьютерное моделирование
развития пожара и эвакуации
является
современным инструментом
решения задач
обеспечения пожарной безопасности**

Современное развитие
математических, численных
методов моделирования,
компьютерной графики и
вычислительной техники

Нормативная база в
области пожарной безопасности

Цена + Качество проектного решения

ЗОНА ЗНАЧЕНИЙ 0.07, НЕ СОВМЕСТИМЫХ С
ЖИЗНЬЮ

Время
Количество
kirik@icm.krasn.ru
http://3ksigma.ru

НЧЛ 1,75-0 12



Нормативная база. Моделирование (эвакуация, пожар)

123-ФЗ

«ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ О ТРЕБОВАНИЯХ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ»

(в редакции от 13.07.2015)

Раздел I. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Глава 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- **Статья 6.** Условие соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности.

Ч.1 п.1: в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом "О техническом регулировании", и **пожарный риск не превышает** допустимых значений, установленных настоящим Федеральным законом;

Ч.1 п.2: в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом "О техническом регулировании", и нормативными документами по пожарной безопасности.

(часть 1 в ред. Федерального закона от 10.07.2012 N 117ФЗ)

Нормативная база. Моделирование (эвакуация, пожар)

Глава 14. СИСТЕМЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ

- **Статья 53.** Пути эвакуации людей при пожаре.
Ч.1, 2 (безопасная эвакуация людей - $t_{эв} < t_{необ}$)
- **Статья 54.** Системы обнаружения пожара, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре.
Ч.1 ($t_{эв} < t_{необ}$ с учетом допустимого пожарного риска)
- **Статья 55.** Системы коллективной защиты и средства индивидуальной защиты людей от опасных факторов пожара ($t_{эв} < t_{необ}$)
- **Статья 56.** Система противодымной защиты ($t_{эв} < t_{необ}$)
- **Статья 60.** Первичные средства пожаротушения в зданиях и сооружениях.
Ч.2 (Номенклатура, количество и места размещения)
- **Статья 61.** Автоматические и автономные установки пожаротушения
($t_{ок.туш} < t_{бл}$ и др. критерии)
- **Статья 64.** Требования к декларации пожарной безопасности.
Ч.1 (расчет пожарного риска)

ЗОНА ЗНАЧЕНИЙ ОБП, НЕ СООТВЕТСТВУЮЩИХ С

Время нахождения в зоне, сек	Время нахождения в зоне, чел
1,75-9	12

Нормативная база. Моделирование (эвакуация, пожар)

Раздел III. ТРЕБОВАНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Глава 18. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

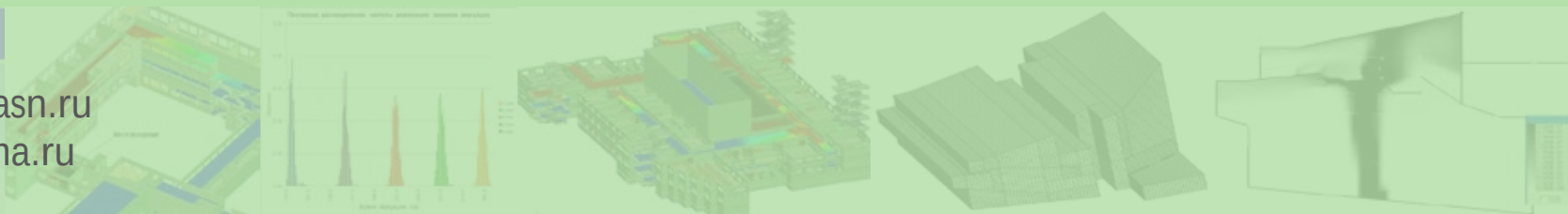
- **Статья 78.** Требования к проектной документации на объекты строительства.
Ч. 2 (отсутствие нормативных требований ПБ -> СТУ -> **расчет пожарного риска**)

ЗОНА ЗНАЧЕНИЙ 0,07, НЕ СОВМЕСТИМЫХ С
ЖИЗНЬЮ

Количество

kirik@icm.krasn.ru
http://3ksigma.ru

НЧЛ 1,75-0 12



Глава 19. ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВУ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

- **Статья 81.** Требования к функциональным характеристикам систем обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений.
Ч. 2 (инд. пожарный риск для отдельных видов объектов) , Ч. 3 ($t_{эв} < t_{необ}$)
- **Статья 83.** Требования к системам автоматического пожаротушения и системам пожарной сигнализации. Ч.1 ($t_{эв} < t_{нач.туш.}$)
- **Статья 84.** Требования пожарной безопасности к системам оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей в зданиях и сооружениях. Ч.2, 5, 6 (разработка планов (поэтапной) эвакуации, $t_{эв} < t_{необ}$)
- **Статья 85.** Требования к системам противоподымной защиты зданий и сооружений. Ч. 1, 3, 6, 11 ($t_{эв} < t_{необ}$)
- **Статья 89.** Требования пожарной безопасности к эвакуационным путям, эвакуационным и аварийным выходам. Ч.1, 8, 10 ($t_{эв} < t_{необ}$ без учета пожаротушения, количество и ширина эвакуационных выходов – число людей, предельно допустим расстояние)
- **Статья 91.** Оснащение помещений, зданий и сооружений, оборудованных системами оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, автоматическими установками пожарной сигнализации и (или) пожаротушения. Ч.1 (обоснование – **расчет риска**)

Нормативная база. Моделирование (эвакуация, пожар)

Обобщение области применения:

- подтверждение *соответствия требованиям* пожарной безопасности, установленные *техническими регламентами*, принятыми в соответствии с Федеральным законом "О техническом регулировании»
(создание систем противопожарной защиты (пути эвакуации, обнаружения пожара, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, противодымная защита) с целью защиты людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара и (или) ограничении его последствий);
- подтверждение соответствия требованиям пожарной безопасности при выполнении не в полном объеме требований нормативных документов пожарной безопасности *(расчет пожарного риска);*
- составление декларации пожарной безопасности в рамках реализации мер пожарной безопасности;
- обоснование требований пожарной безопасности при разработке СТУ на проектирование систем пожарной безопасности для зданий, сооружений, строений, для которых отсутствуют нормативные требования пожарной безопасности

Нормативная база. Моделирование (эвакуация, пожар)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ $t_{\text{эв}}$, $t_{\text{необ}}$

123 ФЗ Статья 53. Пути эвакуации людей при пожаре.

Ч.4 Методы определения необходимого и расчетного времени (эвакуации), а также условий беспрепятственной и своевременной эвакуации людей, определяются **нормативными документами** по пожарной безопасности

Приказ МЧС РФ от 30.06.2009 N 382 (ред. от 02.12.2015 Приказ 632)

«Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» (далее - Методика) :

$t_{\text{эв}}$ – определяется на основе моделирования движения людей из здания

$t_{\text{необ}} = 0,8 * t_{\text{бл}}$ – определяется на основе моделирования распространения ОФП по путям эвакуации

$t_{\text{ск}}$ – время скопления людей при критической плотности

kirik@icm.krasn.ru
<http://3ksigma.ru>

Нормативная база. Моделирование (эвакуация, пожар)

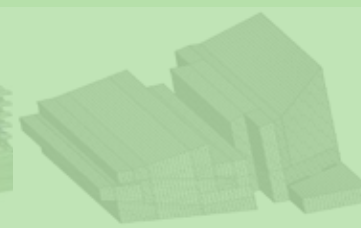
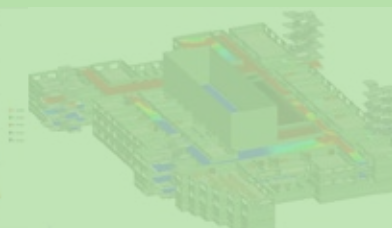
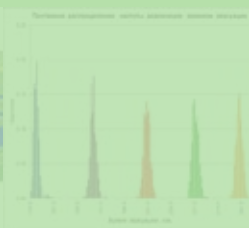
ОПРЕДЕЛЕНИЕ $t_{\text{эв}}$, $t_{\text{бл}}$

Из п.10 (Методика). «Расчетное время эвакуации людей $t_{\text{эв}}$ из помещений и зданий определяется на основе моделирования движения людей до выхода наружу... »

Из п.12 (Методика): «Время блокирования путей эвакуации $t_{\text{бл}}$ вычисляется путем расчета времени достижения ОФП предельно допустимых значений на эвакуационных путях в различные моменты времени.»

Зона значений ОФП, не совместимых с жизнью

ЖИЗНЬ		
ОФП	Время нахождения в зоне, сек	Количество людей, попавших в зону, чел
НДЛ	1,75-0	12



kirik@icm.krasn.ru
<http://3ksigma.ru>

Нормативная база. Моделирование (эвакуация, пожар)

РАСЧЕТ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЖАРНОГО РИСКА

$$Q_B \leq 10^{-6} \text{ в год}$$

$$Q_B = \max\{Q_{B,1}, \dots, Q_{B,i}, \dots, Q_{B,N}\}$$

$$Q_{B,i} = Q_{n,i}(1 - K_{an,i}) \times P_{np,i} \times (1 - P_{э,i}) \times (1 - K_{n.з,i})$$

$P_{э,i}$ - вероятность эвакуации в i -м сценарии

$$P_{э,i} = \begin{cases} 0,999 \cdot \frac{0,8 \cdot t_{\text{бл}} - t_p}{t_{\text{нэ}}}, & \text{если } t_p < 0,8 \cdot t_{\text{бл}} < t_p + t_{\text{нэ}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин;} \\ 0,999, & \text{если } t_p + t_{\text{нэ}} \leq 0,8 \cdot t_{\text{бл}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин;} \\ 0,000, & \text{если } t_p \geq 0,8 \cdot t_{\text{бл}} \text{ или } t_{\text{ск}} > 6 \text{ мин.} \end{cases} \quad (3)$$

Нормативная база. Моделирование (эвакуация, пожар)

Математические модели

Эвакуация

упрощенно-аналитическая

имитационно-стохастическая

индивидуально-поточная

Развитие пожара

интегральная

зональные

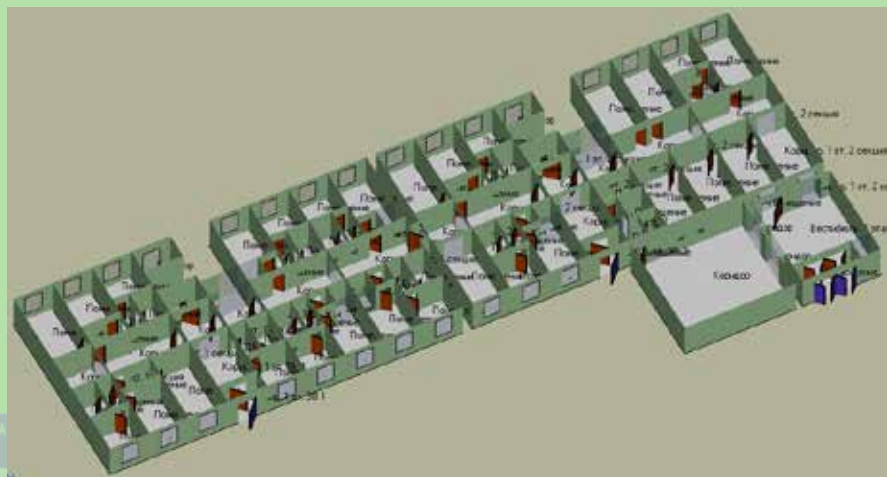
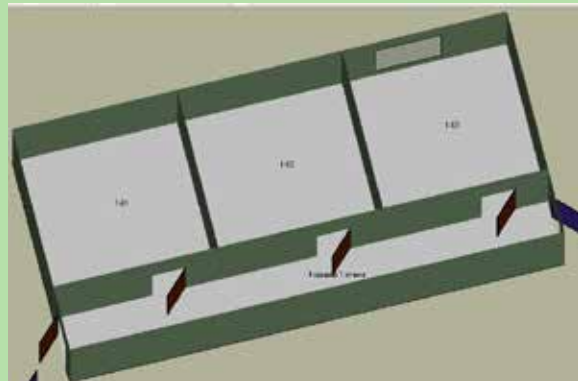
Полевая (CFD)

Полевая модель позволяет проводить расчеты пожара на объекте практически любой геометрической формы с учетом основных физико-химических процессов, достаточно точно учитывая условия протекания пожара.

Индивидуально-поточная модель позволяет описывать движение каждого отдельного человека с учетом взаимодействия с окружением, задавать индивидуально параметры людям.

Эволюция методов моделирования пожара

Интегральная модель



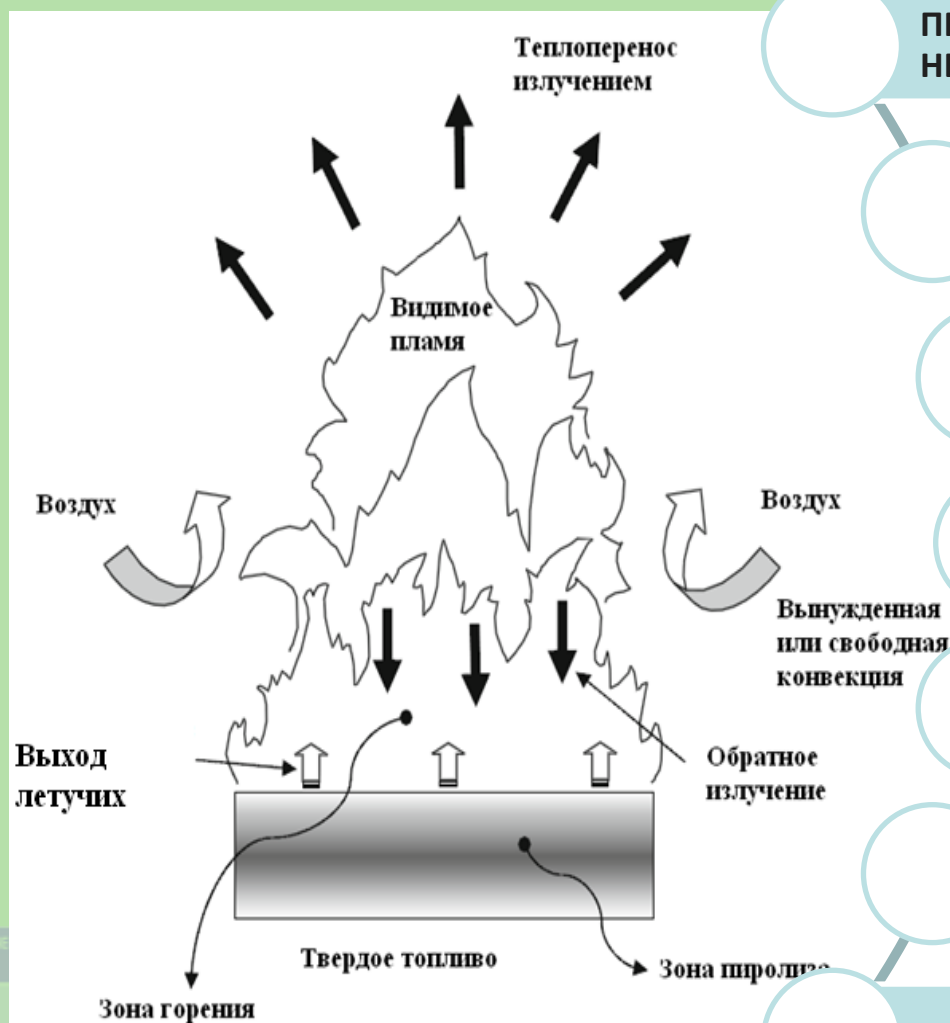
Зонная модель

Полевая модель



Полевая модель развития пожара

моделируемые физико-химические процессы



ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СТАЦИОНАРНЫЕ И НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ТУРБУЛЕНТНЫЕ ТЕЧЕНИЯ

ПРОЦЕССЫ СМЕШЕНИЯ И ДИФфуЗИИ НЕОДНОРОДНЫХ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

КОНВЕКТИВНЫЙ, РАДИАЦИОННЫЙ ТЕПЛООБМЕН, ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

ДВИЖЕНИЕ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ (ТВЕРДЫЕ ЧАСТИЦЫ, КАПЛИ) В ПОТОКЕ ГАЗА

ГОРЕНИЕ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

ИСПАРЕНИЕ И ГОРЕНИЯ ЖИДКОГО ГОРЮЧЕГО

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОЖАРА (МЕТОДИКА)

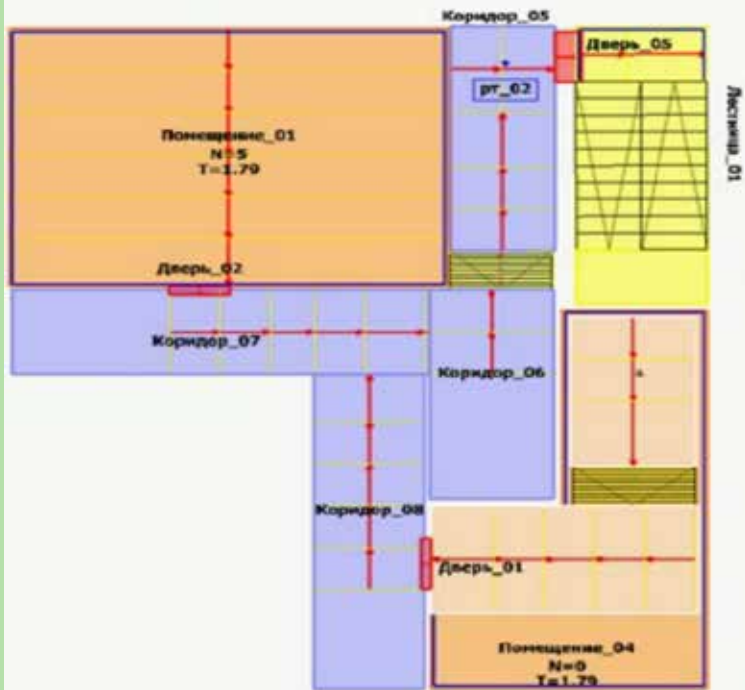
Эволюция методов моделирования эвакуации



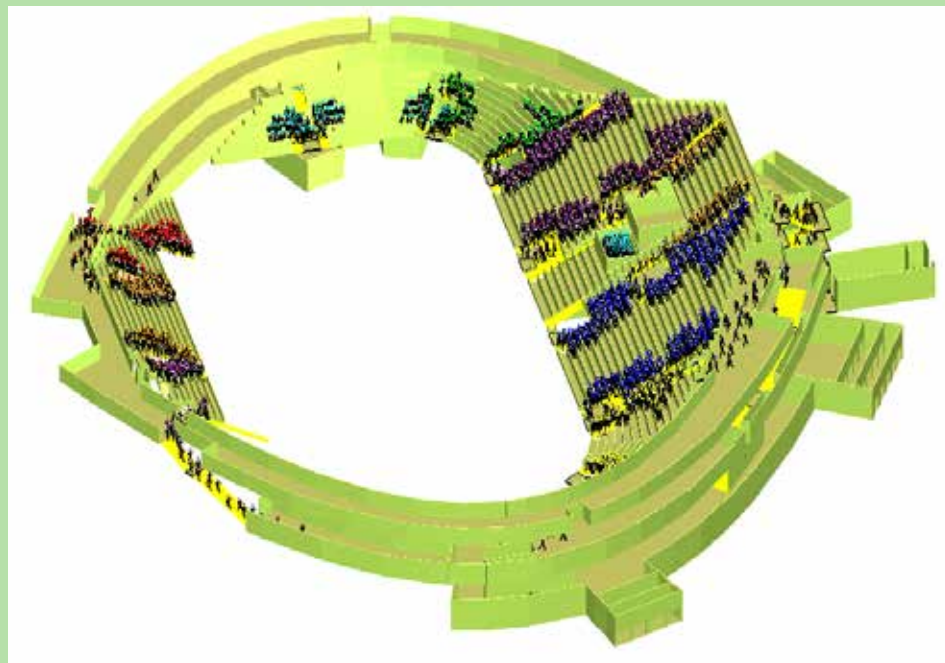
Упрощенно-аналитическая модель



Имитационно-стохастическая модель



Индивидуально-поточная модель



Индивидуально-поточная модель эвакуации

Класс **индивидуально-поточных моделей** - моделируется движение каждого отдельного человека с учетом препятствий и наличия других участников движения.

Индивидуально задаются характеристики:

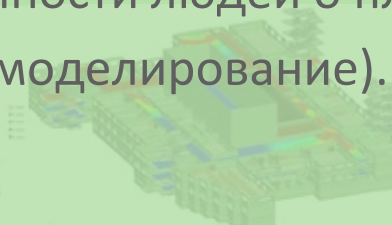
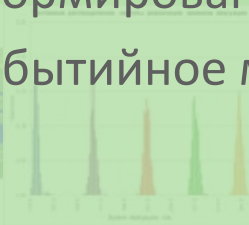
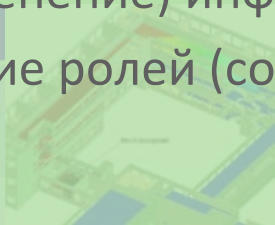
- площадь проекции человека,
- скорость движения человека,
- группа мобильности,
- время начала эвакуации,
- расположение в начальный момент времени,
- путь эвакуации

Учет изменения видимости (например, по причине задымления).

Учет (изменение) информированности людей о планировке здания.

Назначение ролей (событийное моделирование).

Зона значения ОФП, не совместимых с			
ОФП	нахождение в	людей, попавших	
ЗОНА, СК	в зону, чел		
НДЛ	1,75-0	12	



kirik@icm.krasn.ru
<http://3ksigma.ru>

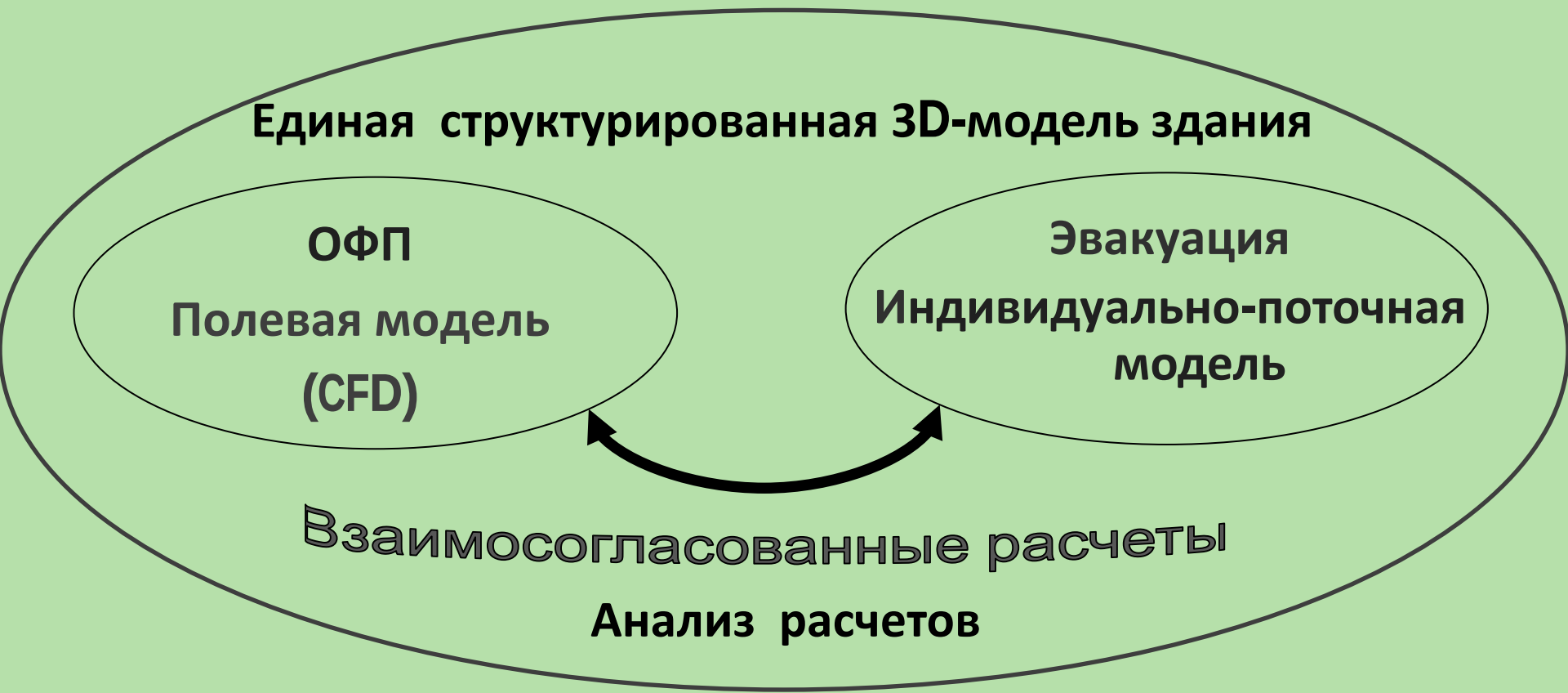
Эволюция методов моделирования эвакуации при пожаре (технология выполнения расчетов)

1. Расчет (в том числе ручной) развития пожара. Определение $t_{\text{бл}}$ на путях эвакуации.
2. Расчет (в том числе ручной) эвакуации. Определение $t_{\text{эв}}$ на путях эвакуации.
3. Ручное соотнесение пространственно-временных данных ($t_{\text{эв}}$, $t_{\text{бл}}$).
4. Отсутствие возможности (совместной) визуализации (причина: модели).



Единая программная среда с
единым полем информационных ресурсов и форматом данных
для решения
задач моделирования движения людей и
распространения ОФП

Эволюция методов моделирования эвакуации при пожаре



Здание (свойства) = Лестницы (свойства) + Этажи (свойства)
Этаж (свойства) = Помещения (свойства) + Проемы (свойства)

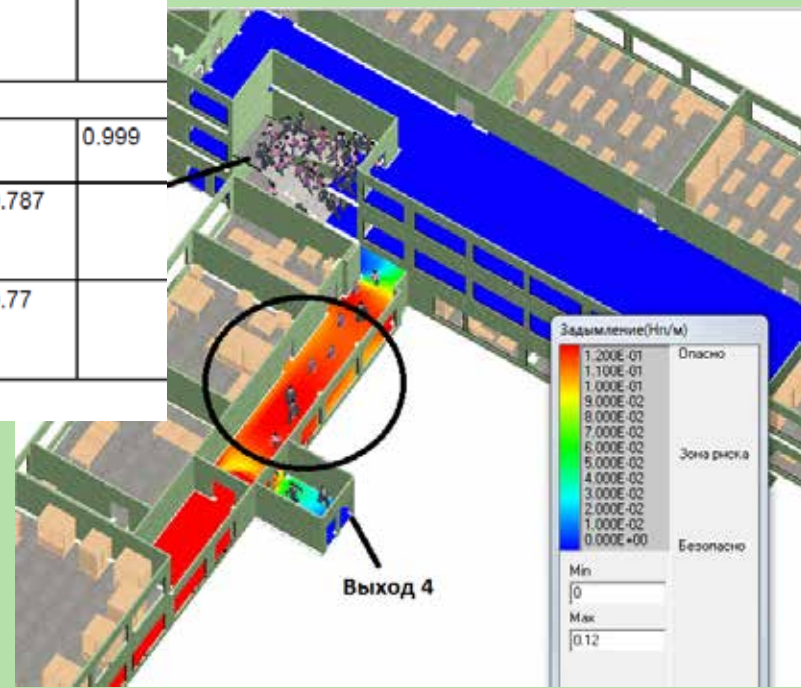
Эволюция методов моделирования эвакуации при пожаре

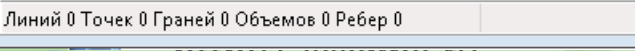
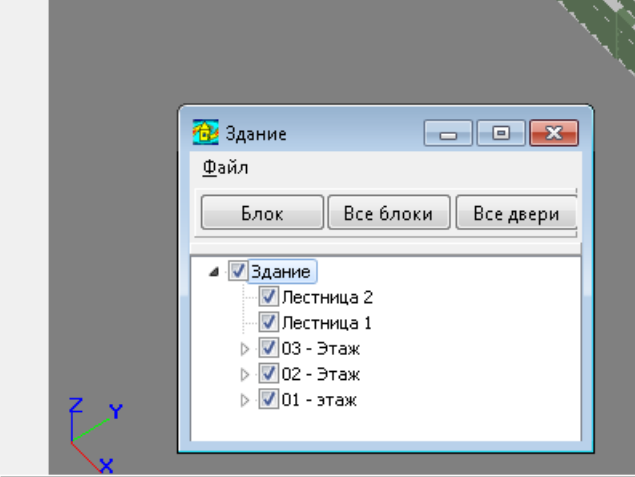
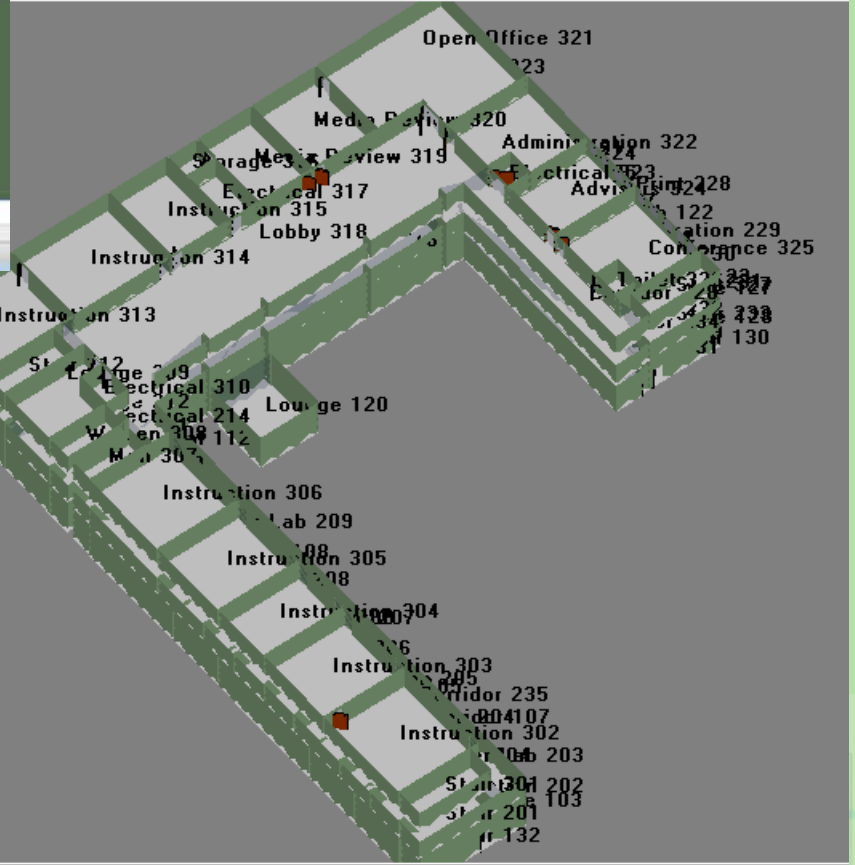
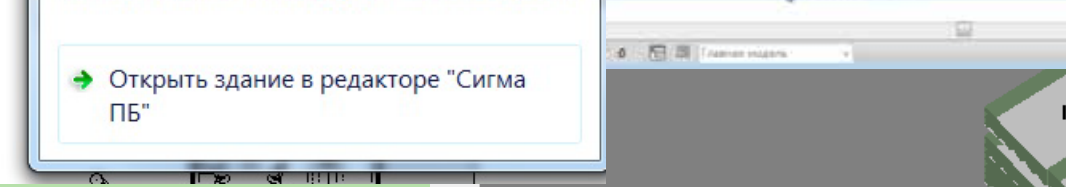
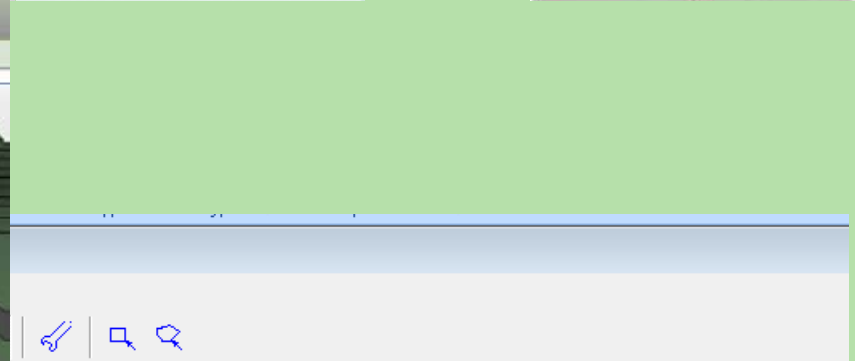
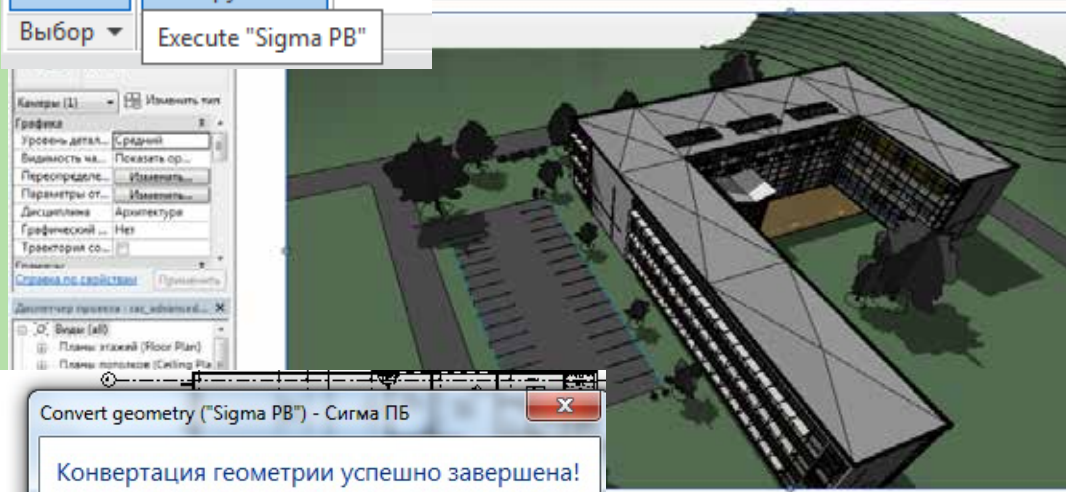
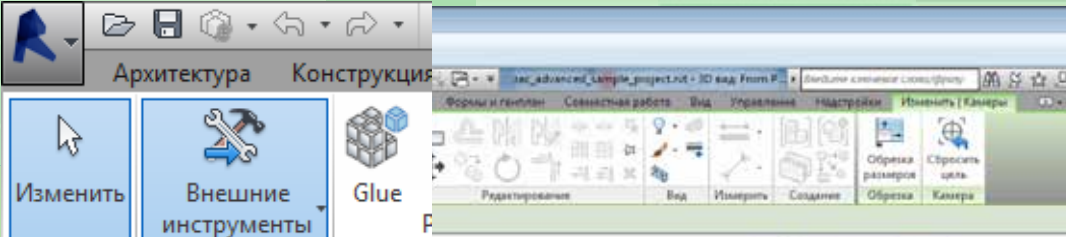
1. Расчет (компьютерное моделирование) развития пожара.
2. Расчет (компьютерное моделирование) эвакуации.
3. Автоматизированный анализ результатов расчетов.
4. Совместная 3D-визуализация.

Отчет о результатах расчета

Номер элемента здания	Имя элемента здания	Количество человек в начальный момент времени	Время начала эвакуации ($t_{инз}$), сек	Длительность эвакуации ($t_{прэв}$), сек	Время окончания эвакуации ($t_{прэвк}$ + $t_{инз}$), сек	Время блокирования ($t_{бл}$), сек	Блокирующий ОФП	Время скопления, тиск., сек	$P_{из}$, если $t_{прэв} \geq 0.8 \cdot t_{бл}$	$P_{из}$, если $t_{прэв} + t_{инз} \geq 0.8 \cdot t_{бл}$ и $t_{прэв} \geq t_{прэвк}$	$P_{из}$, если $t_{прэв} + t_{инз} \leq 0.8 \cdot t_{бл}$
564	Помещение	3	360.25	2.75	363	760					0.999
292	Проем		362	3	365	360	Задымление ($H_{пл}/м$)		0.787		
722	Проем		363.5		363.5	350	Задымление ($H_{пл}/м$)		0.77		

Вероятность эвакуации из здания $P_{э}$ 0.452





Анализ и оптимизация **СТОИМОСТИ**
проектного решения в части
обеспечения (пожарной) безопасности

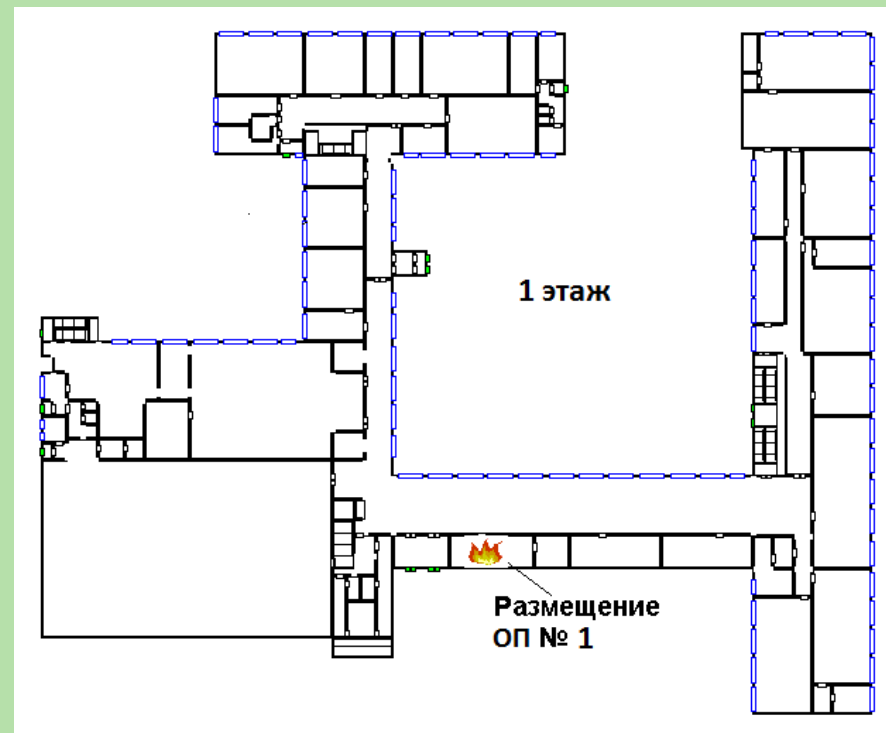
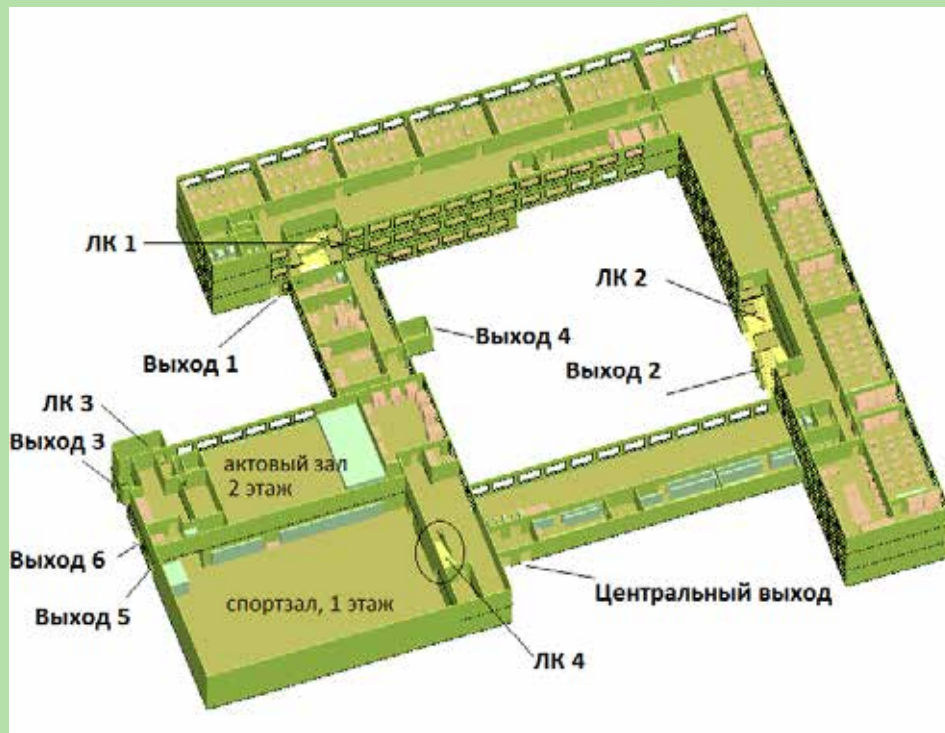
Создание 3D модели,
расчет систем ПБ,
логистика потоков людей



Создание мер обеспечения безопасности с
использованием моделирования процессов в 3D-
модели здания

ПР1: Объемно-планировочное решение. Особенности распространения продуктов горения

Влияние объема расчетной области

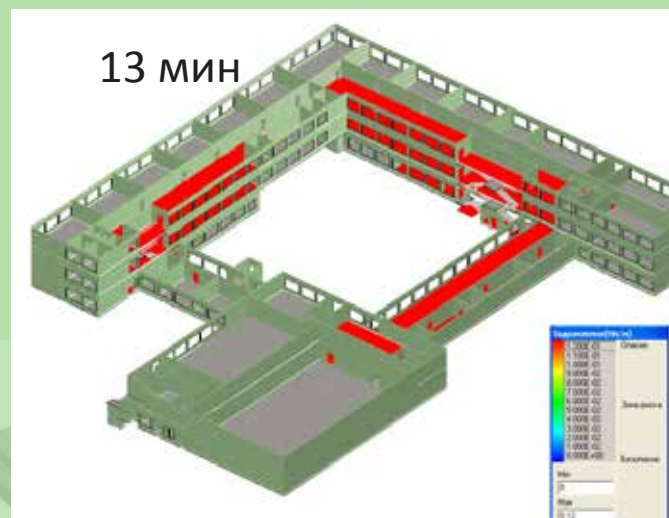
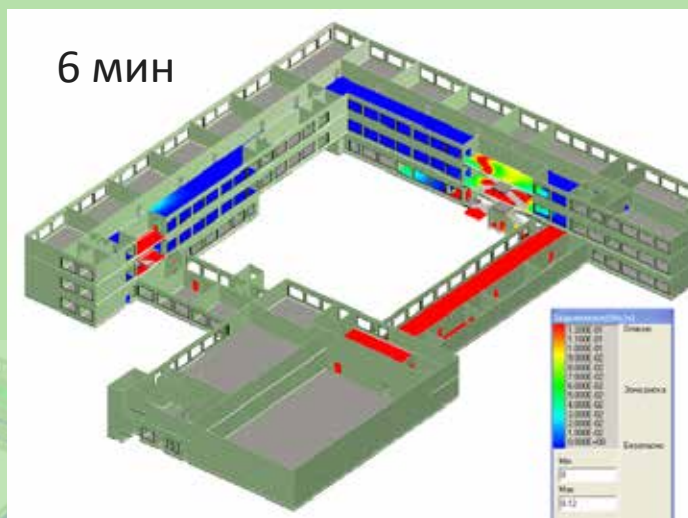
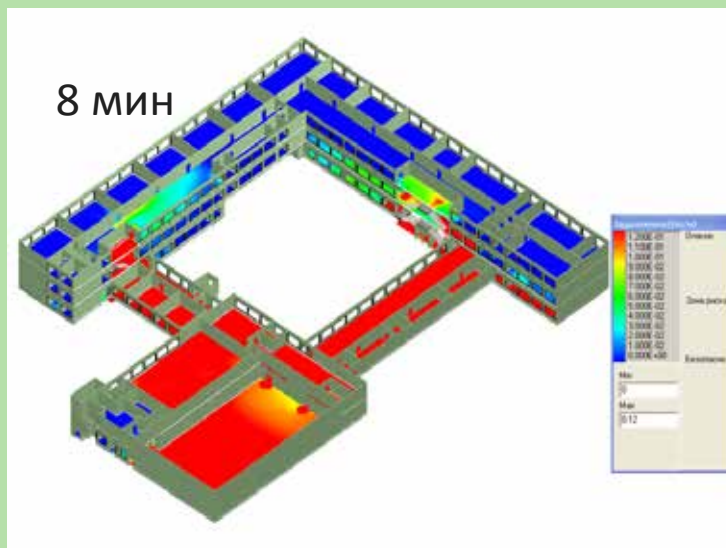


ПР1: Объемно-планировочное решение.

Особенности распространения продуктов горения

Влияние объема расчетной области

Срезы на
высоте 1,7 м
оптической
плотности
дыма, N_p/m



Зона значений ОПД, не совместимых с
жизнью

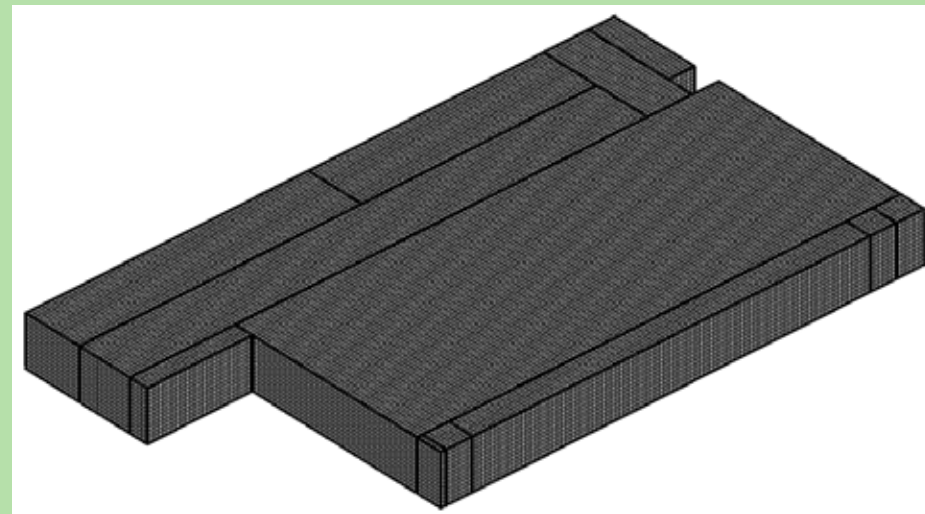
Время нахождения в зоне, сек	Количество людей, находящихся в зоне, чел
ОПД	1,75-9
НДЛ	12

ПР 2: Объемно-планировочное решение. Особенности распространения продуктов горения

Влияние геометрии расчетной области



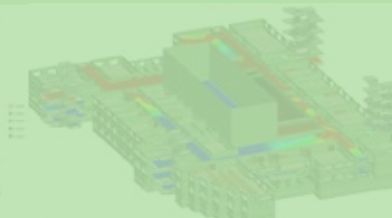
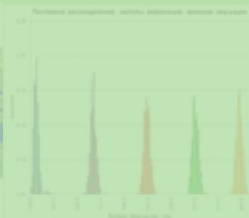
Расчетная сетка объекта



План первого этажа объекта
(характерные размеры **80 м x 40 м**,
высота **4 м**), размещение и площадь
пожарной нагрузки, размещение очага
пожара

3D-модель объекта

Время нахождения в зоне, сек	Количество людей, попавших в зону, чел
ОФП	1,75-0
НДЛ	12



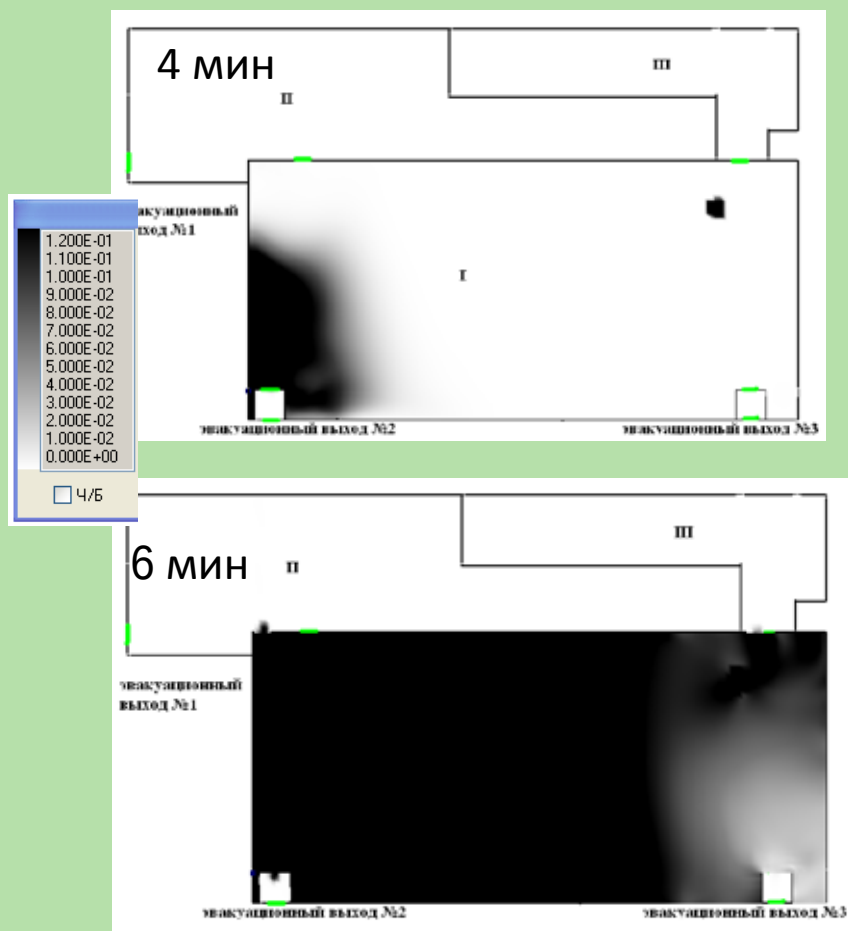
kirik@icm.krasn.ru
<http://3ksigma.ru>

ПР 2: Объемно-планировочное решение.

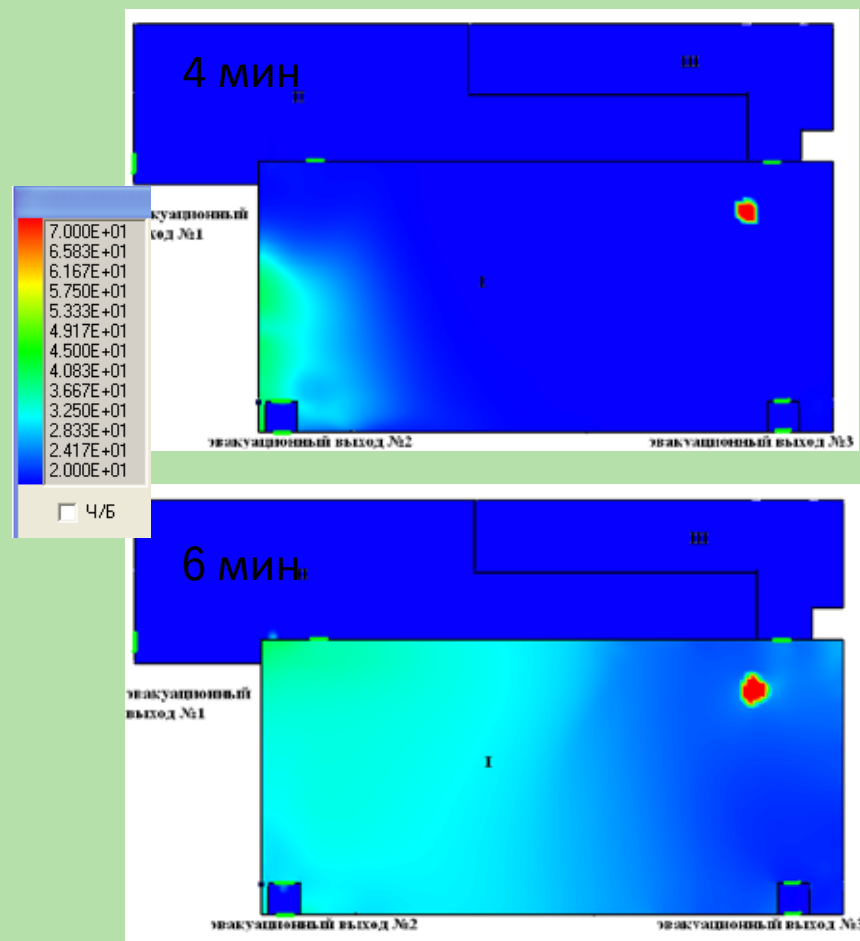
Особенности распространения продуктов горения

Влияние геометрии расчетной области

Поле оптической плотности, Нп/м,
срез на высоте 1,7 м



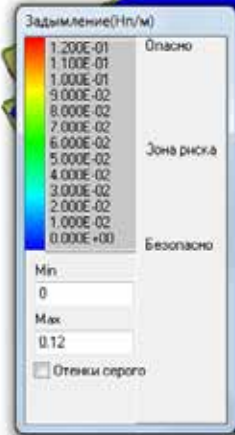
Поле температуры, градусы С,
срез на высоте 1,7 м



ПР 3: Объемно-планировочное решение. Особенности распространения продуктов горения

Влияние геометрии расчетной области

135 сек



Поле оптической плотности, Нп/м
срез на высоте 1,7 м

165 сек

Max
0.12
☐ Оттенки серого

210 сек

0
Max
0.12
☐ Оттенки серого

Подземная парковка.
Характерные размеры
100 м x 170 м,
высота **3,3 м**
Площадь возгорания –
6 м x 6 м.

ПР 3: Объемно-планировочное решение.

Особенности распространения продуктов горения

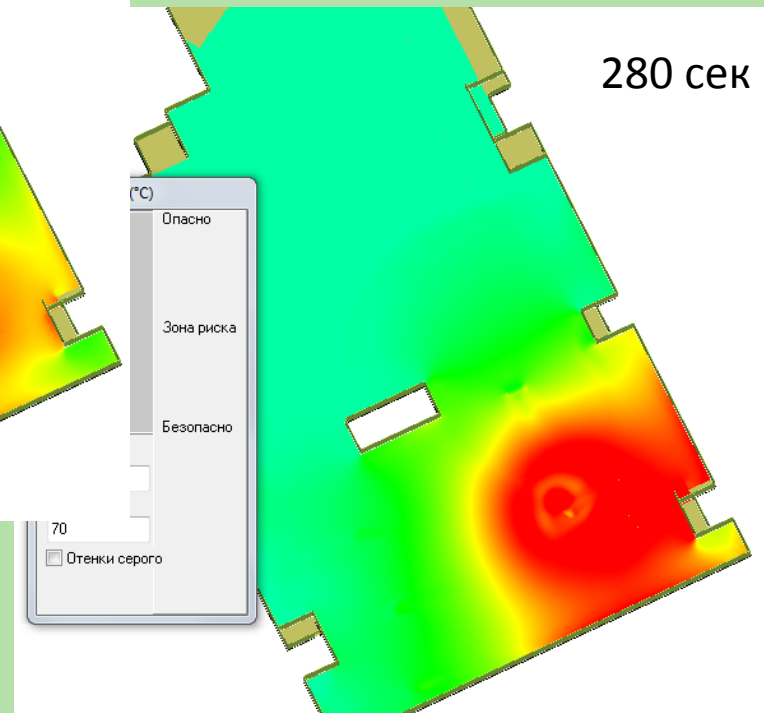
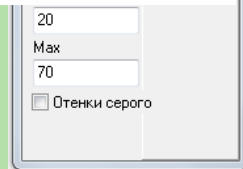
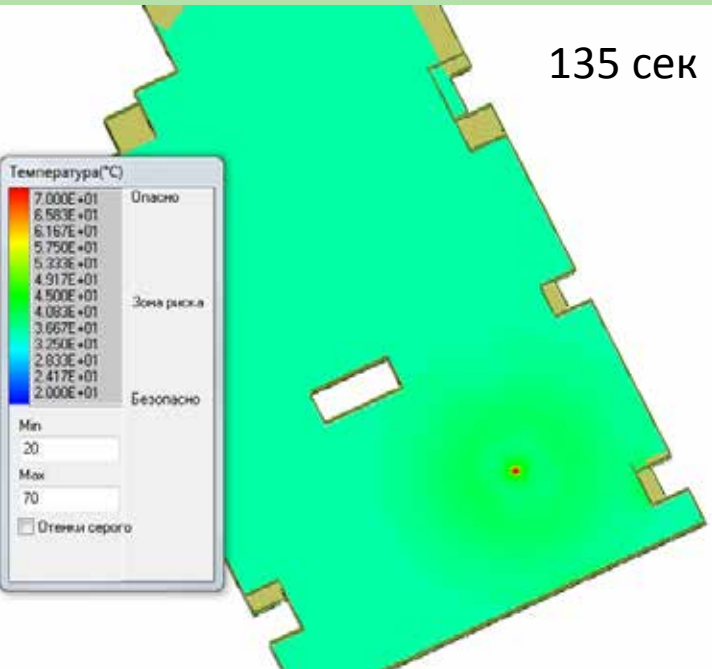
Влияние геометрии расчетной области

Поле температуры, градусы С,
срез на высоте 1,7 м

135 сек

250 сек

280 сек



ПР 4: Объемно-планировочное решение. Особенности распространения продуктов горения

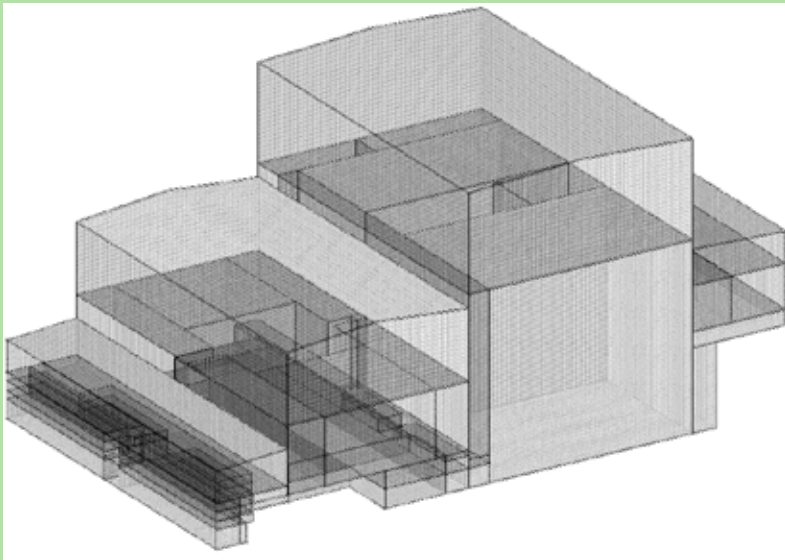
Влияние геометрии расчетной области

Здание ТЭЦ.

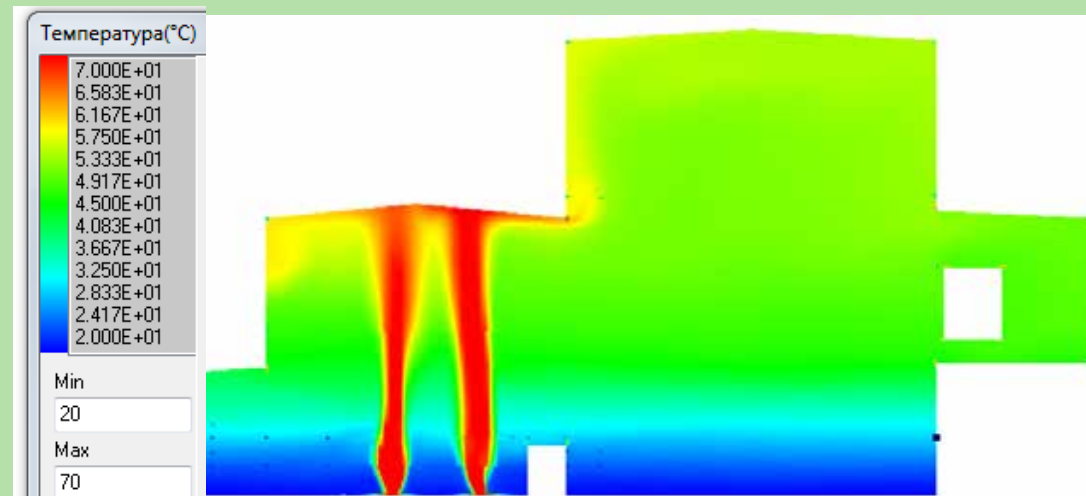
Характерная высота **60 м**.

Возгорание кабелей.

Линейное распространение пожара

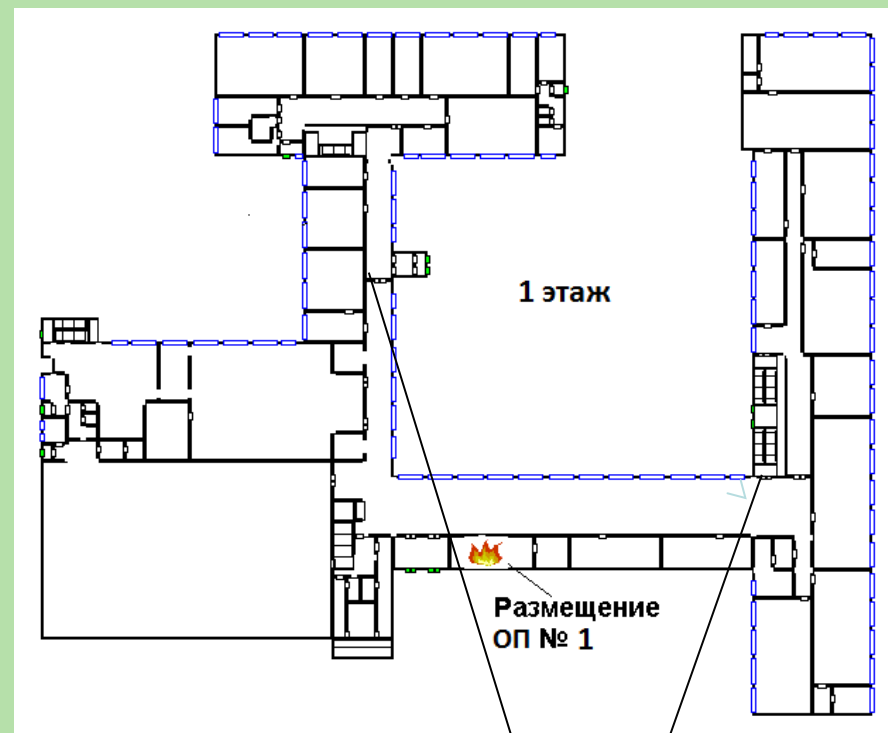
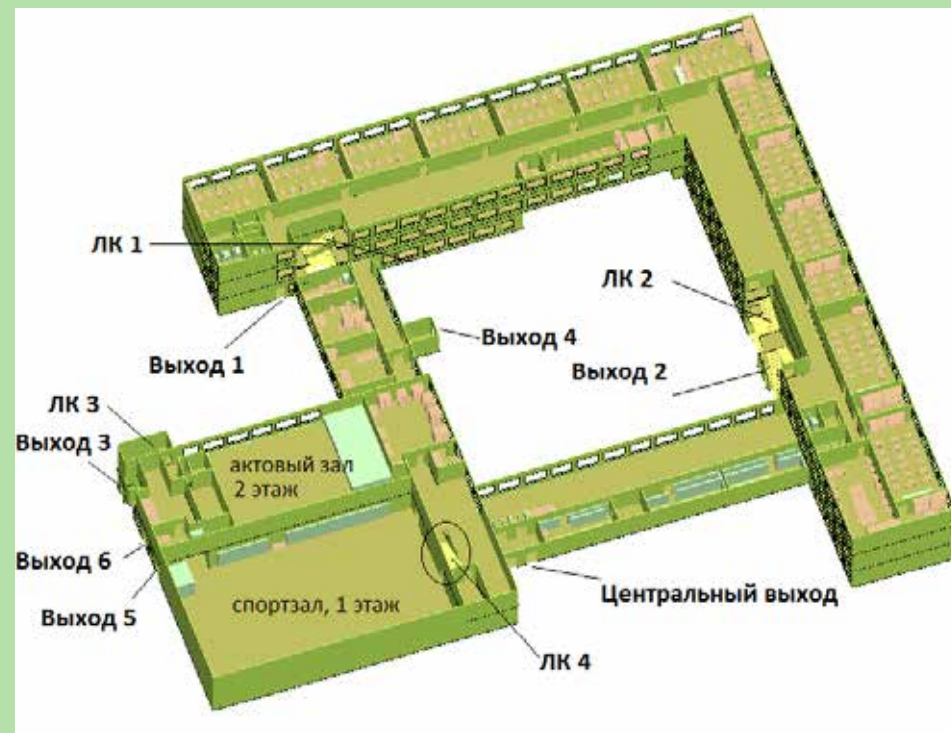


Поле температуры, градусы С,
вертикальный срез



ПР 5: Системы противодымной защиты

Влияние доводчиков



Двери с доводчиками

Люди равномерно расположены по зданию (785) человек.

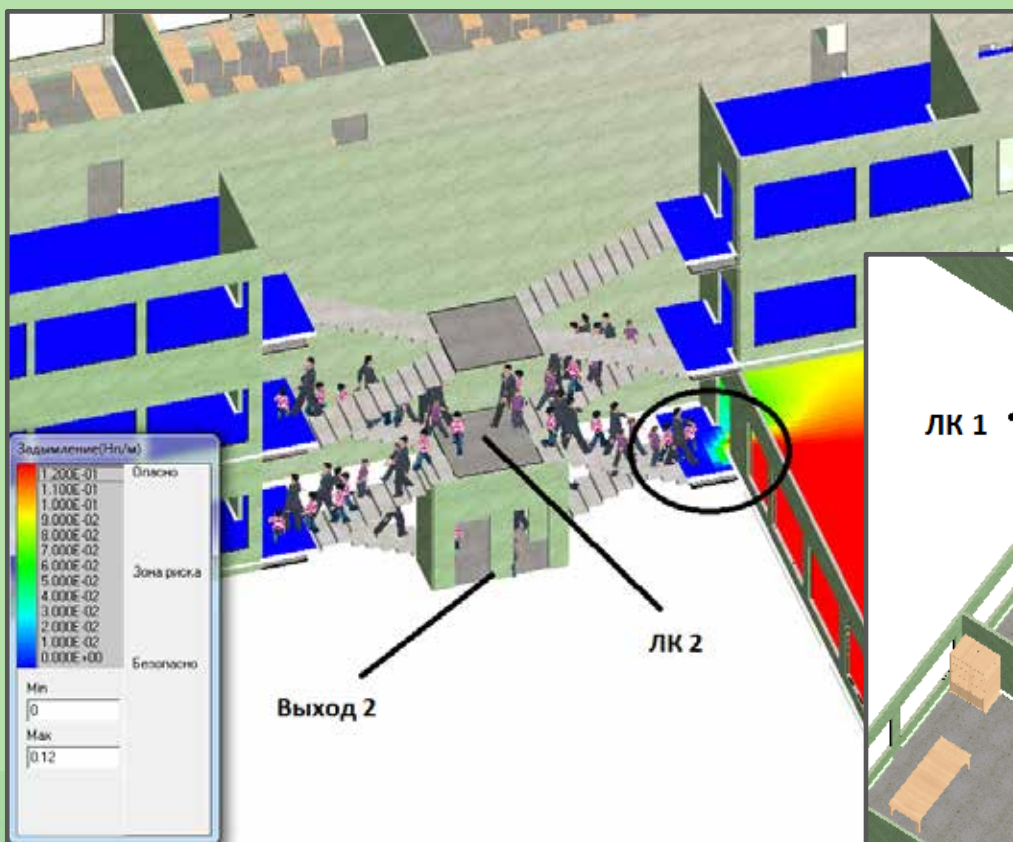
ПН - здание I-II степени огнестойкости, мебель + бытовые изделия.

ПР 5: Системы противодымной защиты

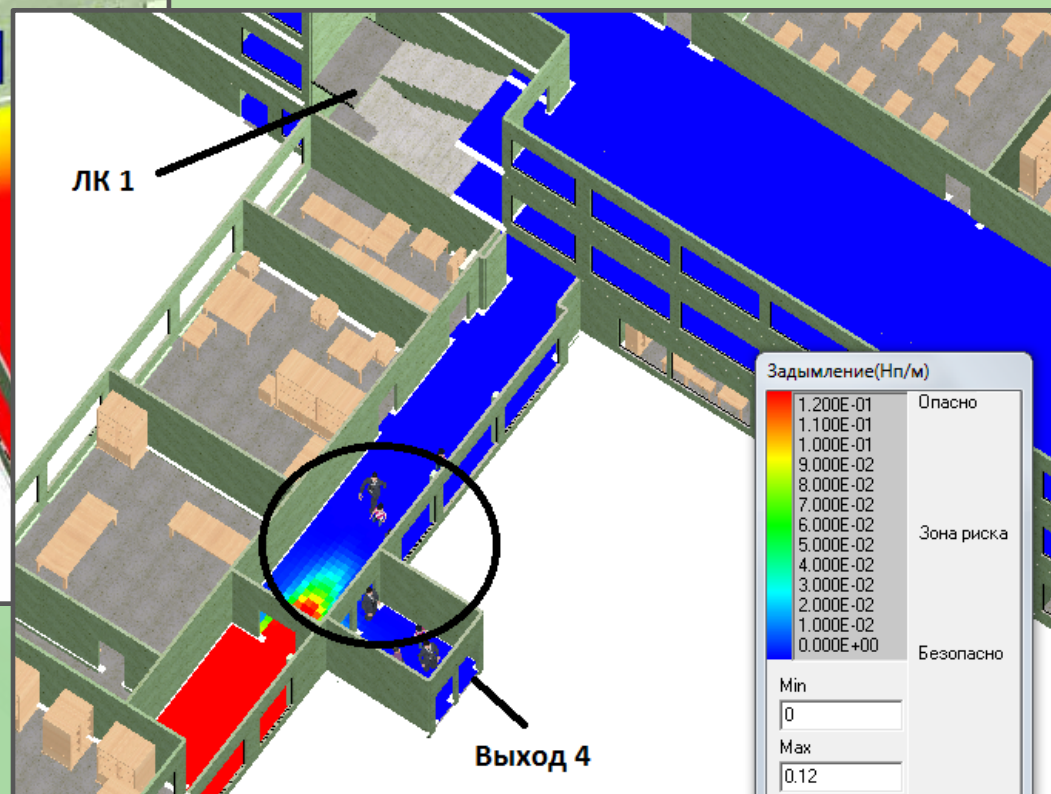
Влияние доводчиков: доводчики отсутствуют

$T_{нэ}=30$ секунд

165 секунда



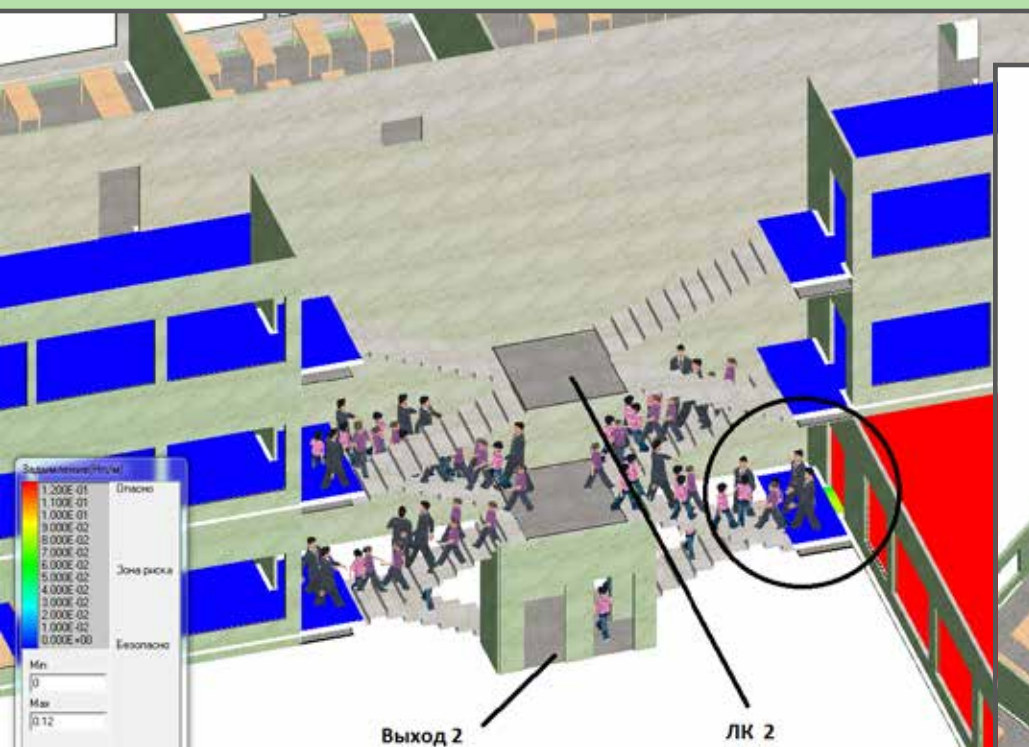
142 секунда



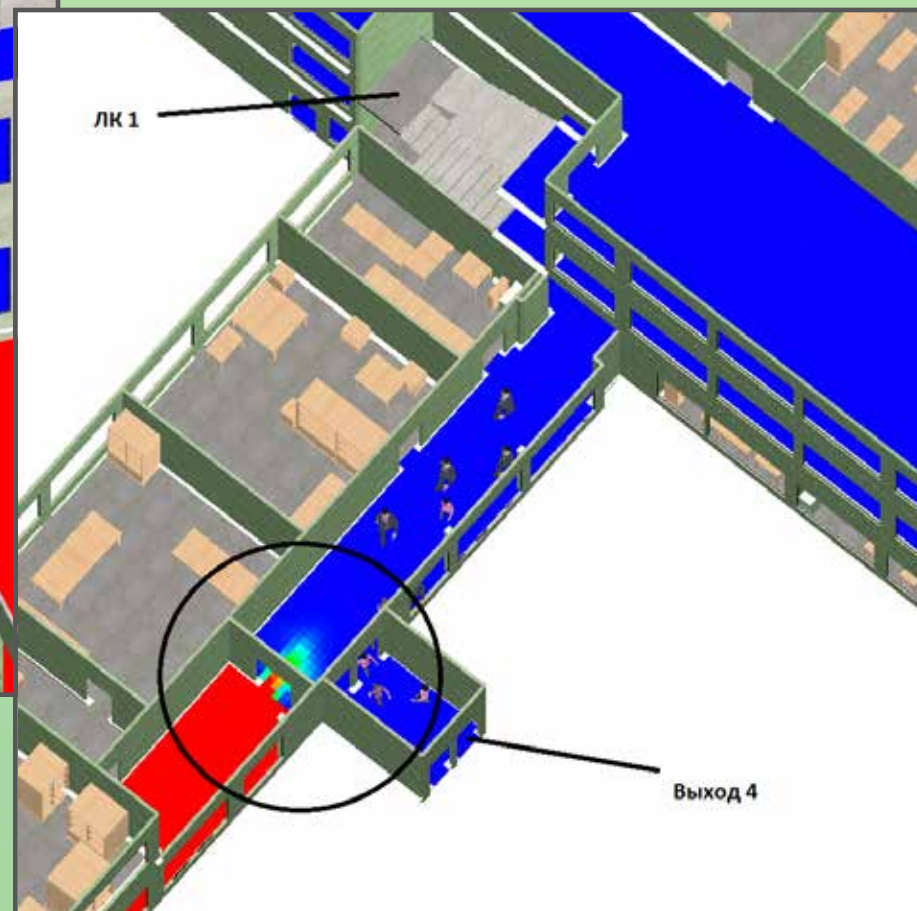
ПР 5: Системы противодымной защиты

Влияние доводчиков: доводчики в рабочем состоянии

$T_{нэ}=30$ секунд



165 секунда



ПР 5: Системы противодымной защиты

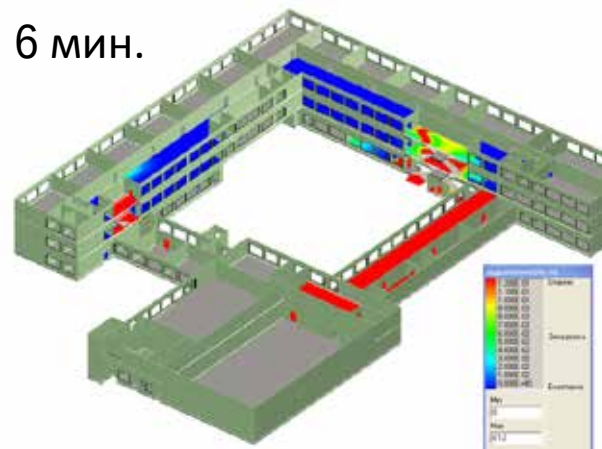
Использование дверей с доводчиками на путях эвакуации

Сценарий	ЛК 1 на 1-м этаже	Дверь в коридоре на 1-м этаже	ЛК 2 на 1-м этаже
	Время начала блокирования по задымлению, сек		
Используются доводчики	360 (+130)	240 (+80)	540 (+380)
Без доводчиков на дверях, двери на ЛК открыты	230	160	160
	Время окончания эвакуации с ЛК, сек		
Оба сценария	255	170	260

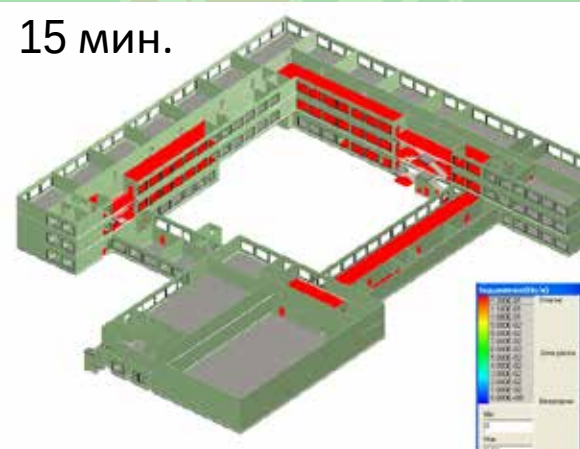
ПР 5:



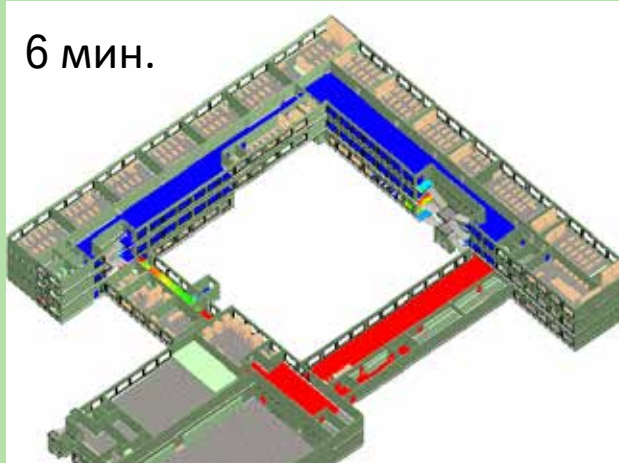
6 мин.



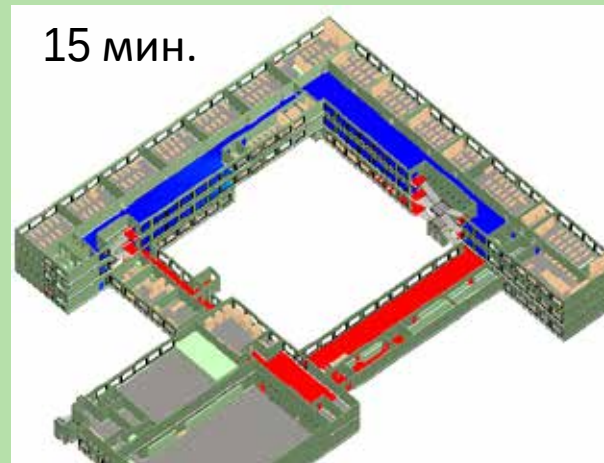
15 мин.



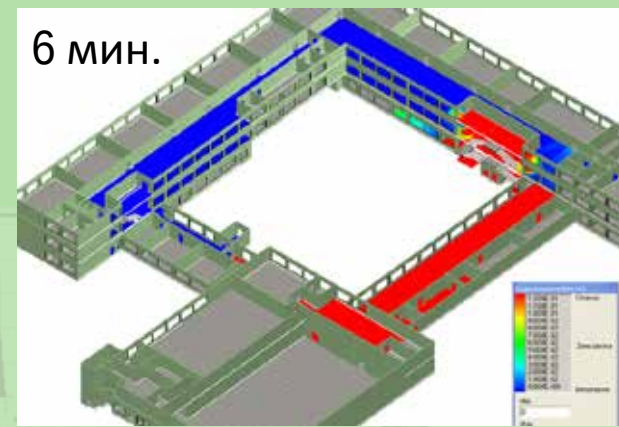
6 мин.



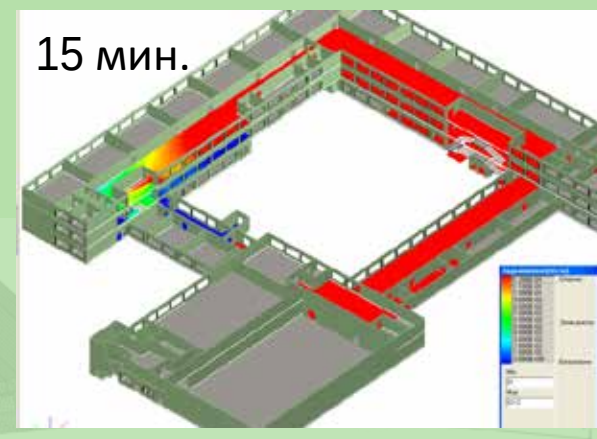
15 мин.



6 мин.



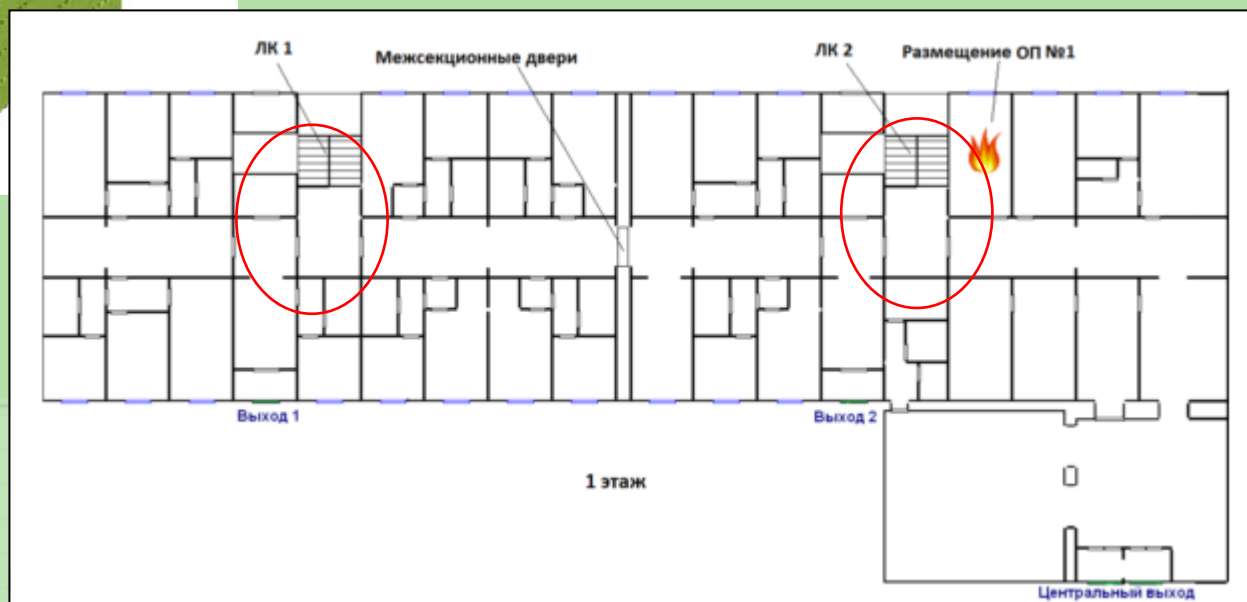
15 мин.



ПР 6: Системы противодымной защиты



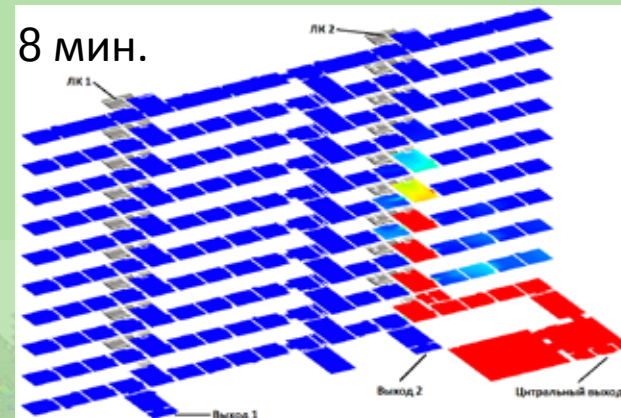
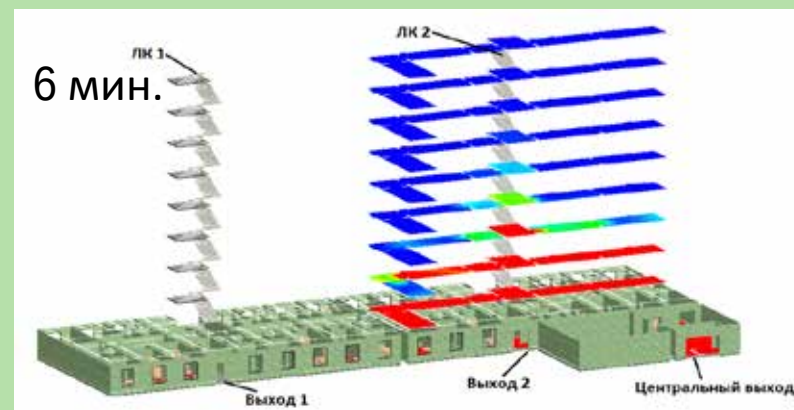
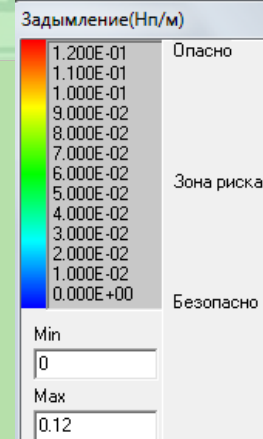
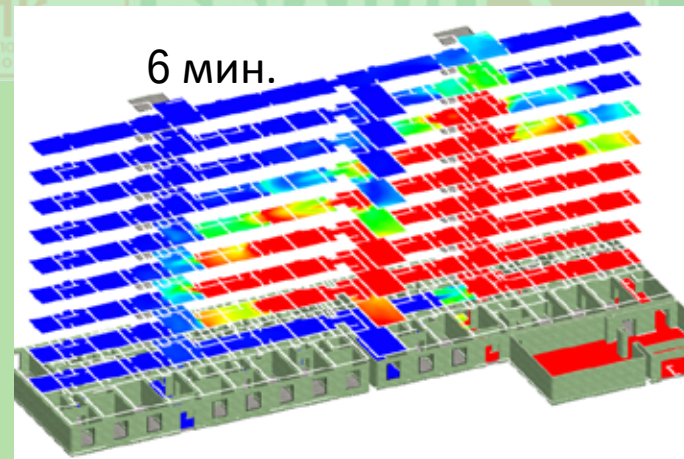
Здание общежития коридорного типа



ЗОНА ЗНАЧЕНИЙ ОФП, НЕ СОВМЕСТИМЫХ С
ЖИЗНЬЮ

Время нахождения в зоне, сек	Количество людей, находящихся в зоне, чел
ОФП	
НДЛ	1,75-9
	12

ПР 6:



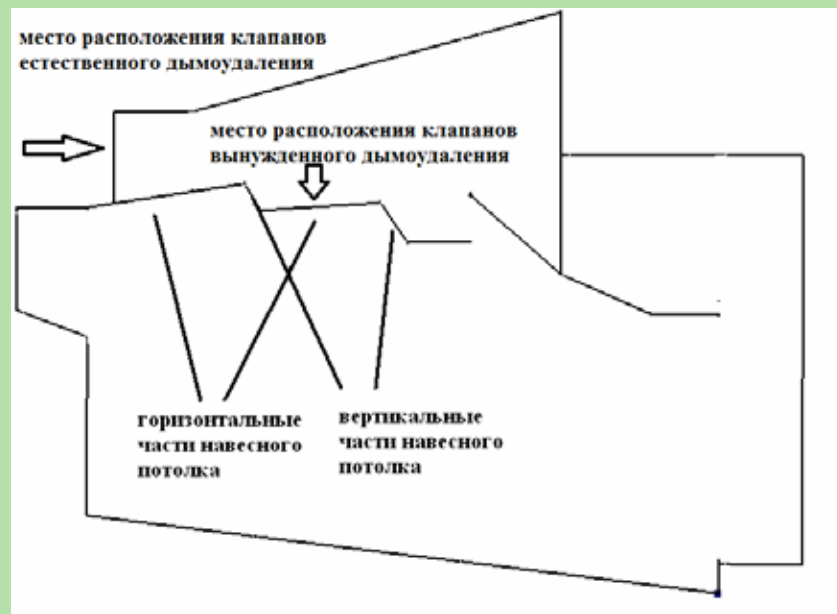
ПР 7: Системы противодымной защиты

Проектирование системы дымоудаления в зрительном зале

Схема расположения навесных потолков и системы дымоудаления

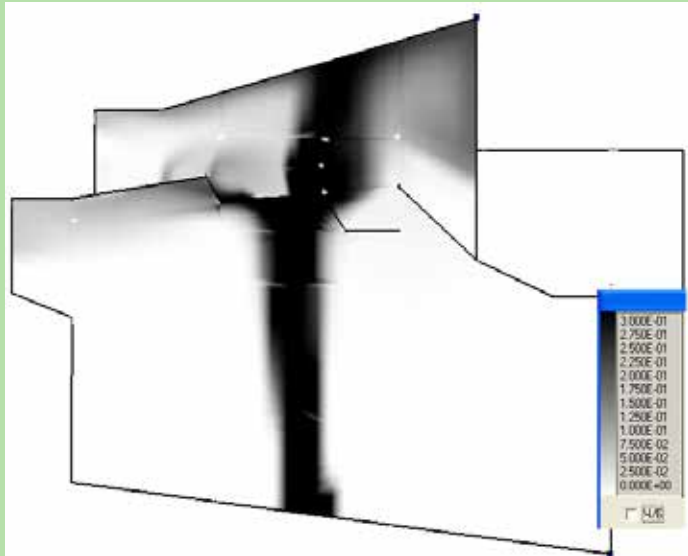


Расположение естественного дымоудаления

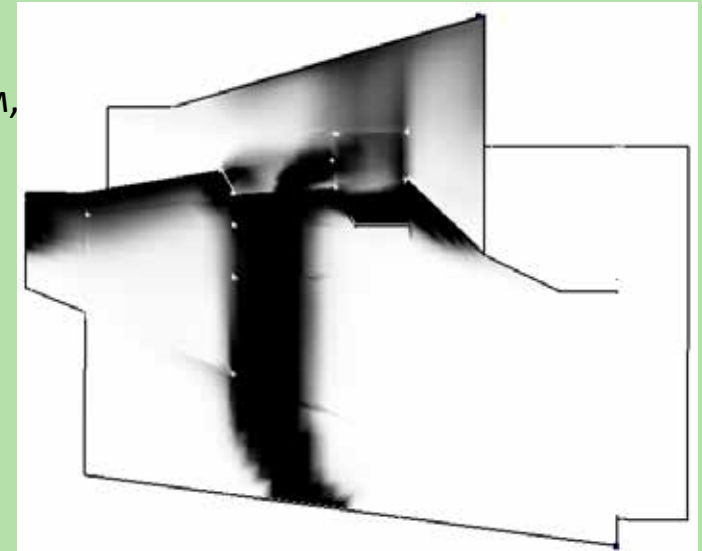


ПР 7: Системы противодымной защиты

Проектирование системы дымоудаления в зрительном зале



Поле оптической
плотности дыма, Нп/м,
3 мин.



Развитая система дымовых окон в навесном потолке с использованием системы ЕСТЕСТВЕННОГО дымоудаления

ДОСТОИНСТВА	НЕДОСТАТКИ
Наибольшее время блокировки путей эвакуации	Ухудшение акустики

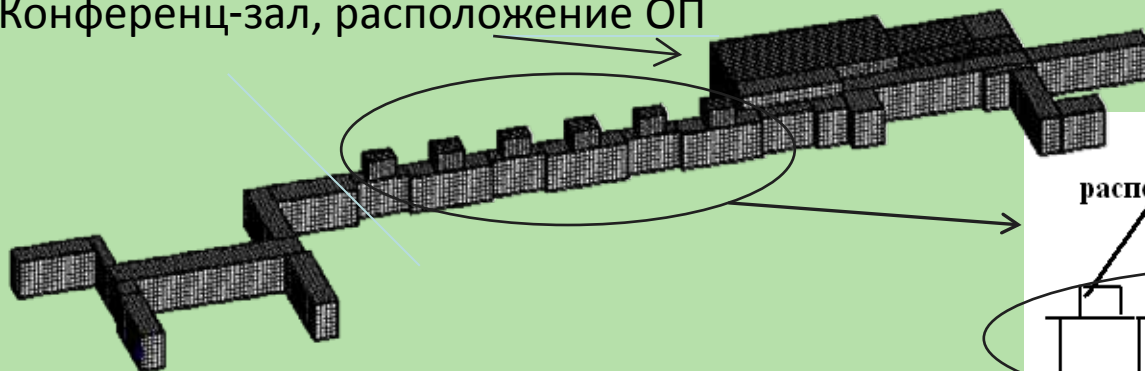
КОМБИНАЦИЯ: Принудительная и естественная системы дымоудаления в сочетании с дымовыми окнами в навесном потолке

ДОСТОИНСТВА	НЕДОСТАТКИ
Сохранение приемлемых акустических характеристик концертного зала	Меньшее время блокировки путей эвакуации

ПР 8: Системы противодымной защиты

Исследование системы естественного дымоудаления в офисном здании

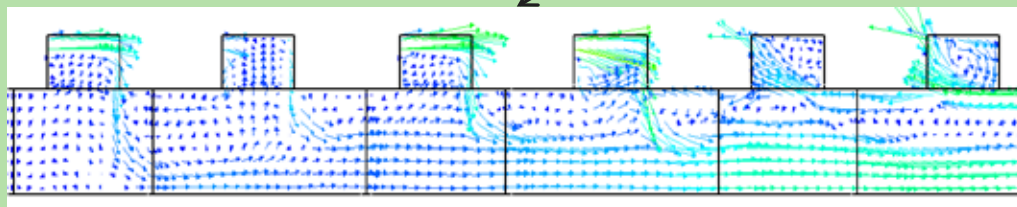
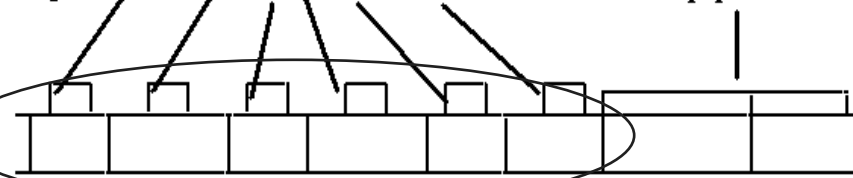
Конференц-зал, расположение ОП



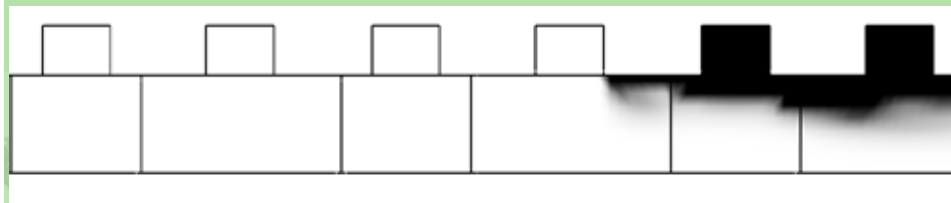
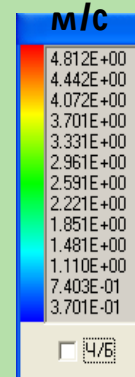
Расчетная сетка объекта

расположение дымовых клапанов

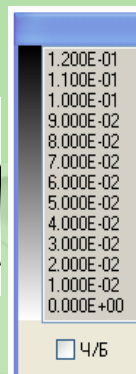
конференц-зал



Векторное поле скорости передвижения воздушных масс

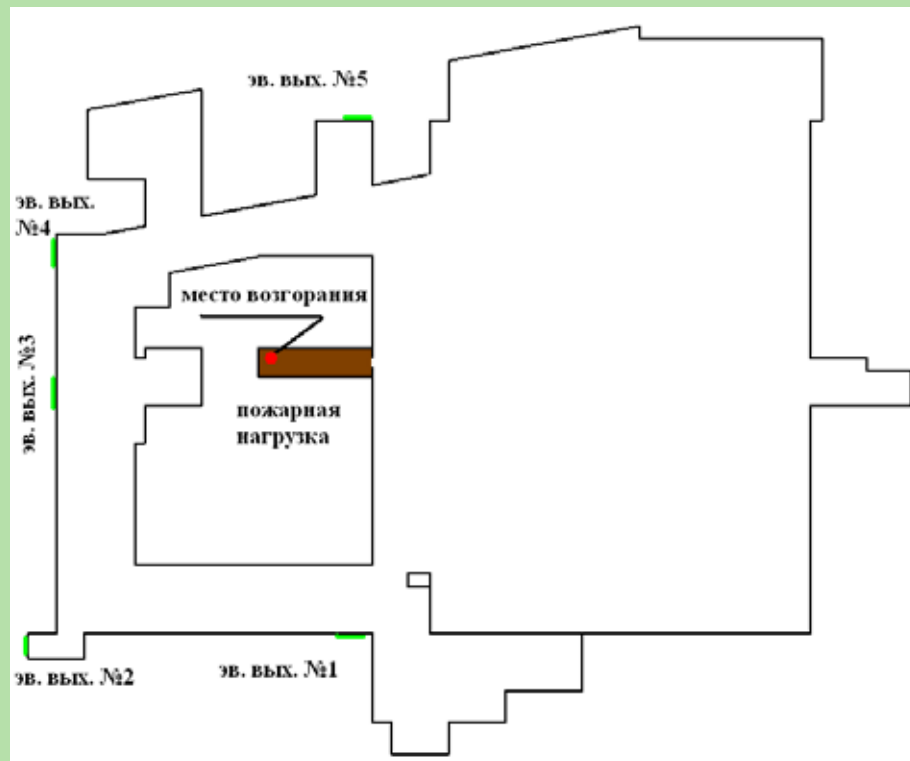


Поле оптической плотности, Нп/м

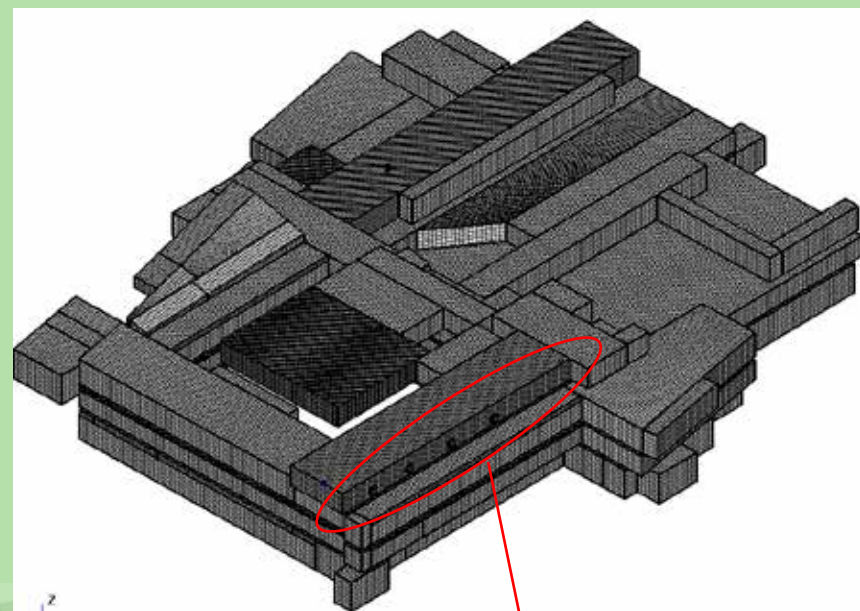


ПР 8: Системы противодымной защиты

Исследование работы системы естественного дымоудаления и в комбинации с устройством защитных вертикальных занавесов в ТРК



Расчетная сетка объекта



Окна естественного дымоудаления

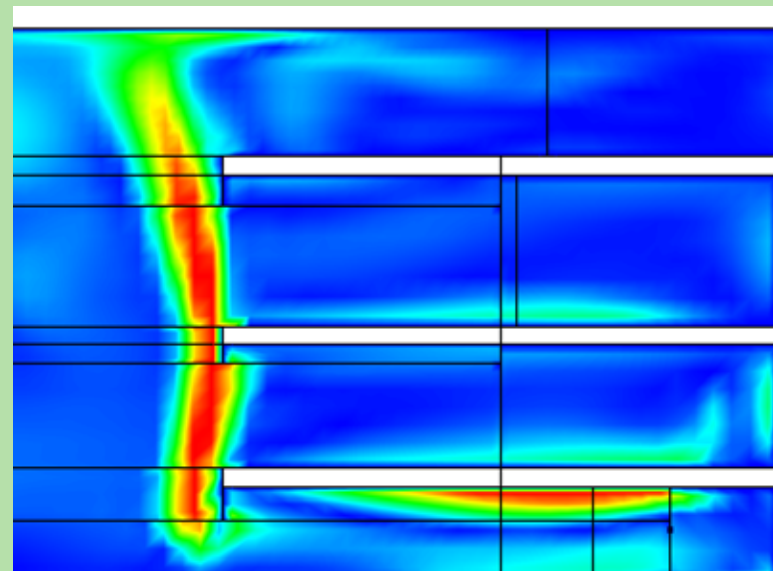
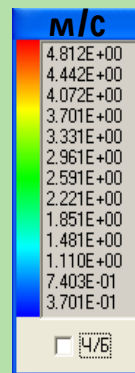
Зона значимой ОПЗ, не совместимых с

жизнью

Время нахождения в зоне, сек	Количество людей, находящихся в зоне, чел
ОПЗ	1,75-9
НД	12

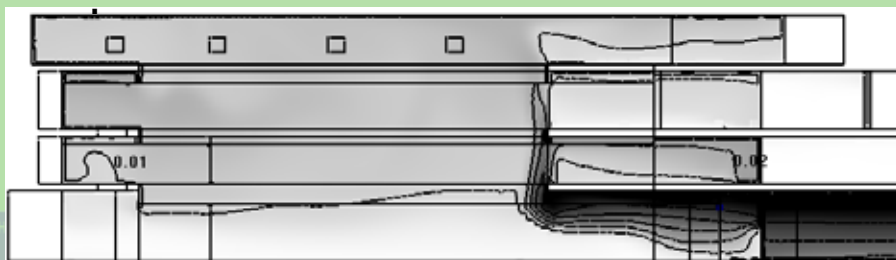
ПР 8: Системы противодымной защиты

Исследование работы системы
естественного дымоудаления и в
комбинации с устройством
защитных вертикальных
занавесов в ТРК

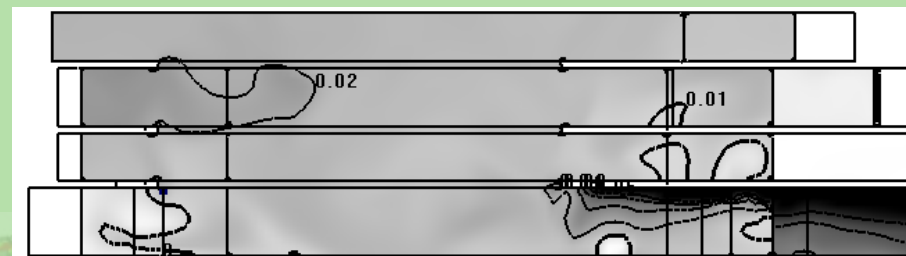


Магнитуа скорости в вертикальном
сечении вдоль колодца

Поле оптической плотности в вертикальном сечении вдоль колодца на 20 мин, Нп/м:



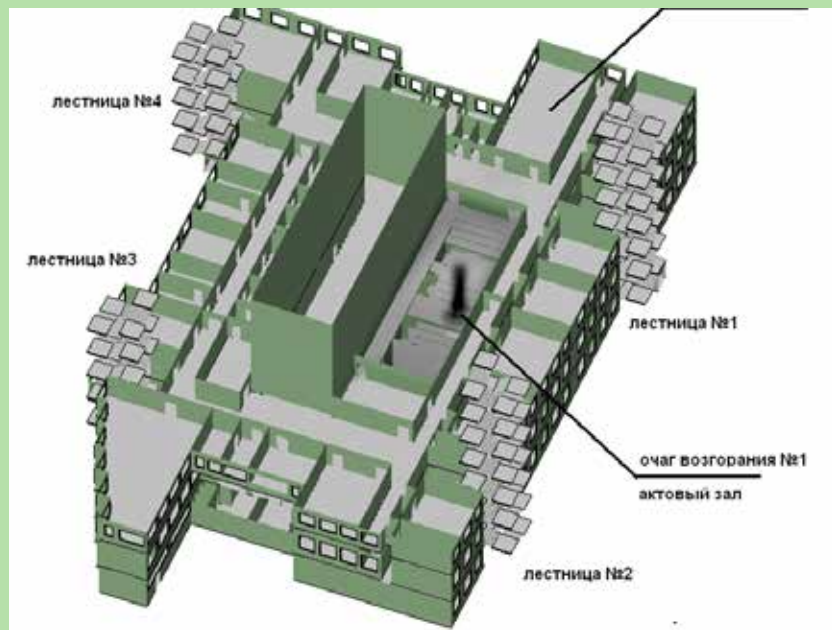
Естественное дымоудаление и
вертикальный занавес



Без системы естественного дымоудаления и
вертикального занавеса

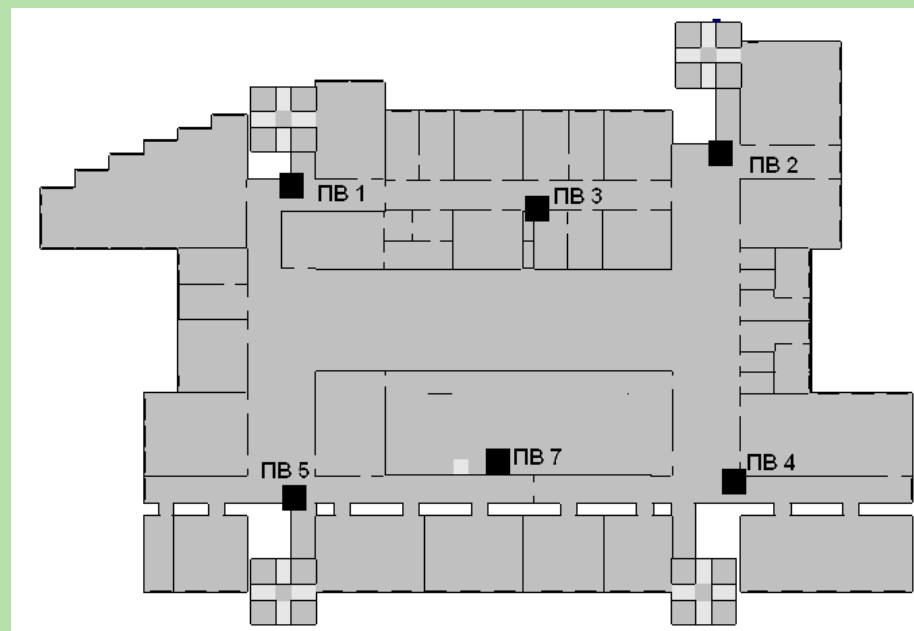
ПР 9: Системы противодымной защиты

Исследование работы системы вынужденного дымоудаления



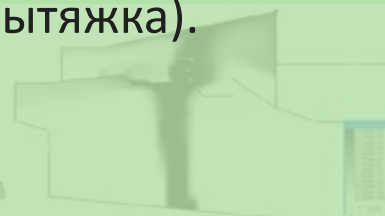
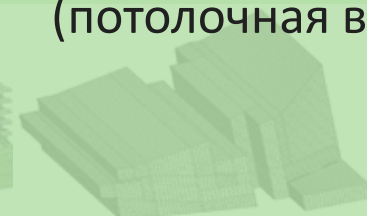
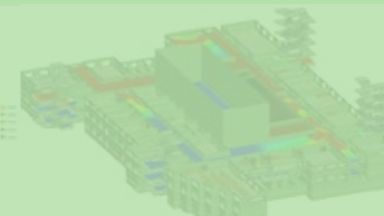
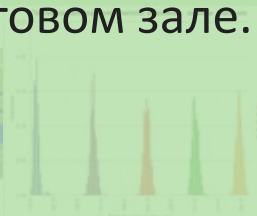
Многоэтажное разноуровневое здание ВУЗа.

Очаг пожара в актовом зале.



Расположение клапанов системы дымоудаления на **втором** этаже (потолочная вытяжка).

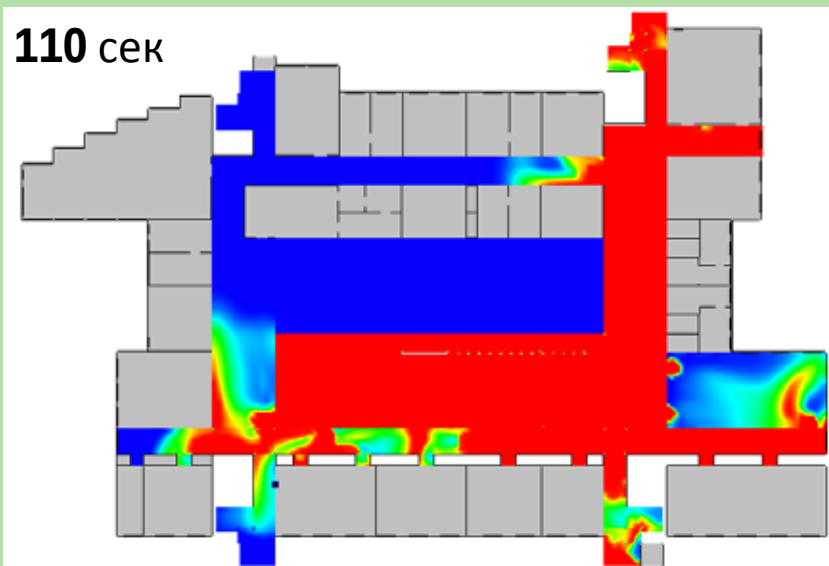
Зона значимой опасности	
ЖИЗНЬ	
Время нахождения в зоне, сек	Количество людей, находящихся в зоне, чел
ОАП	
НДЛ	1,75-9
	12



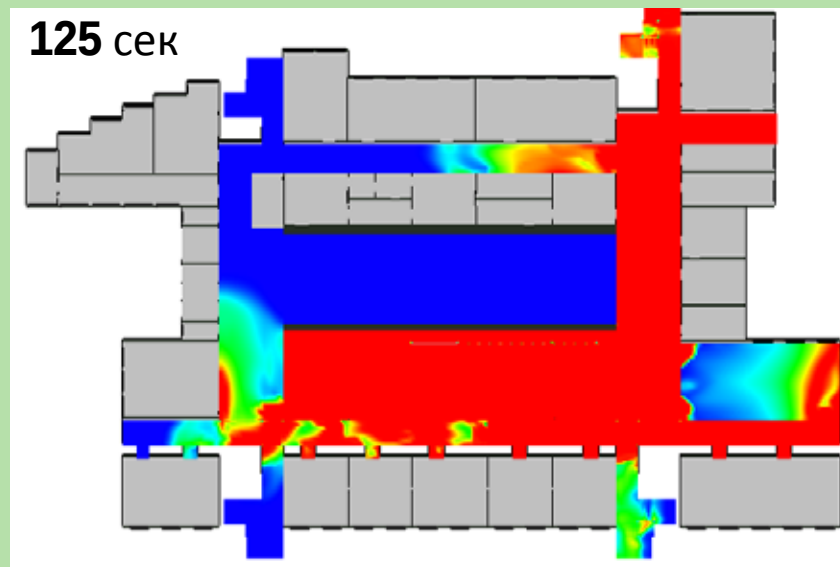
ПР 9:

Исследование работы системы вынужденного дымоудаления

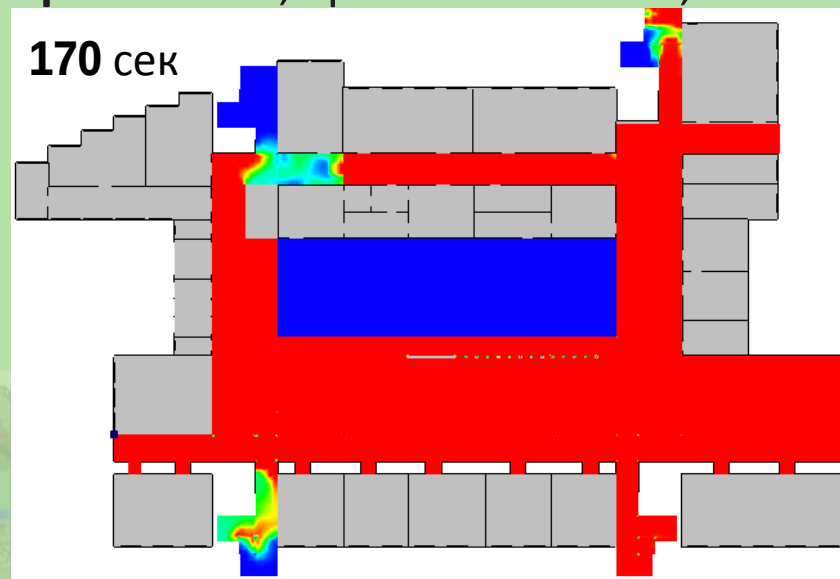
Без применения дымоудаления



С применением дымоудаления



Поле оптической плотности, Нп/м, на **втором** этаже, срез на высоте 1,7 м

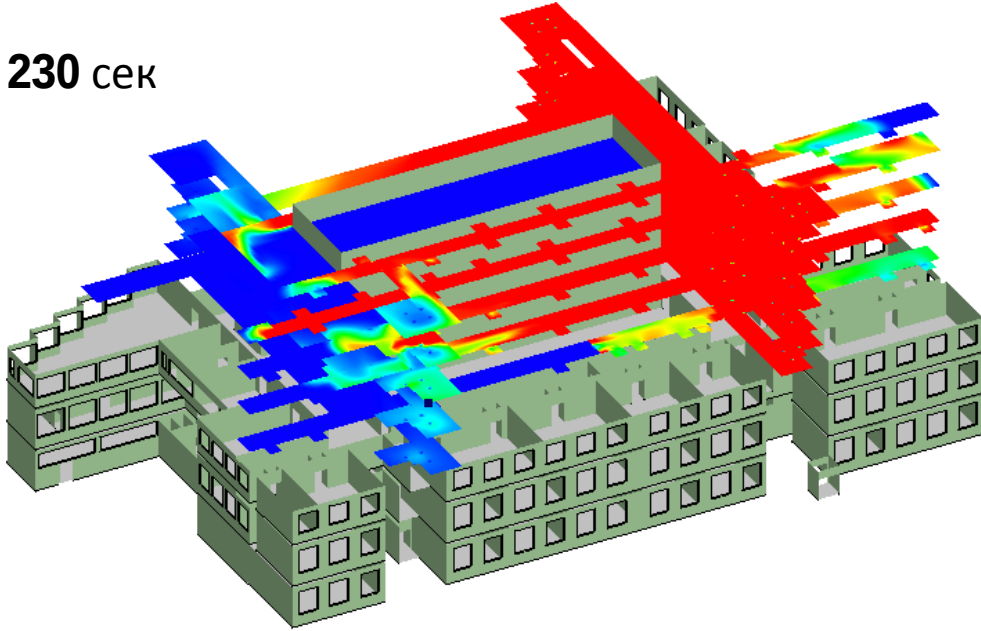


ПР 9:

Исследование работы системы вынужденного дымоудаления

Без применения дымоудаления

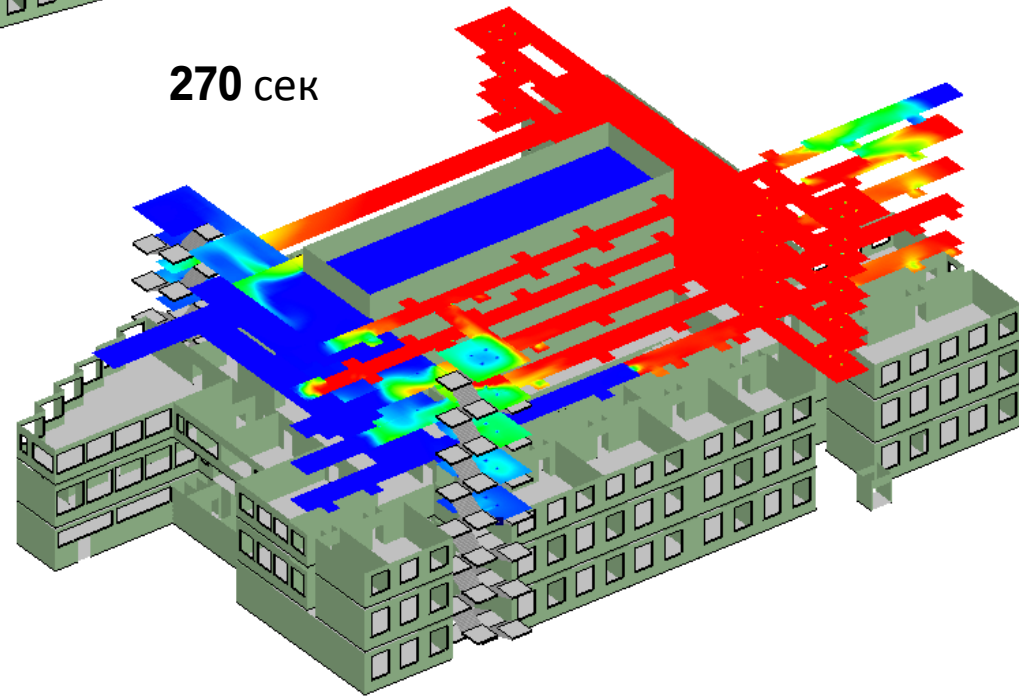
230 сек



Срезы поля задымления
на 3-7 этажах

С применением дымоудаления

270 сек



В среднем система
дымоудаления
на **20-30 сек** замедляет
блокирование
эвакуационных путей в
данном сценарии

ПР 9:

Исследование работы системы вынужденного дымоудаления

Система
дымоудаления,
доводчики на ЛК

100 сек

ЛК1

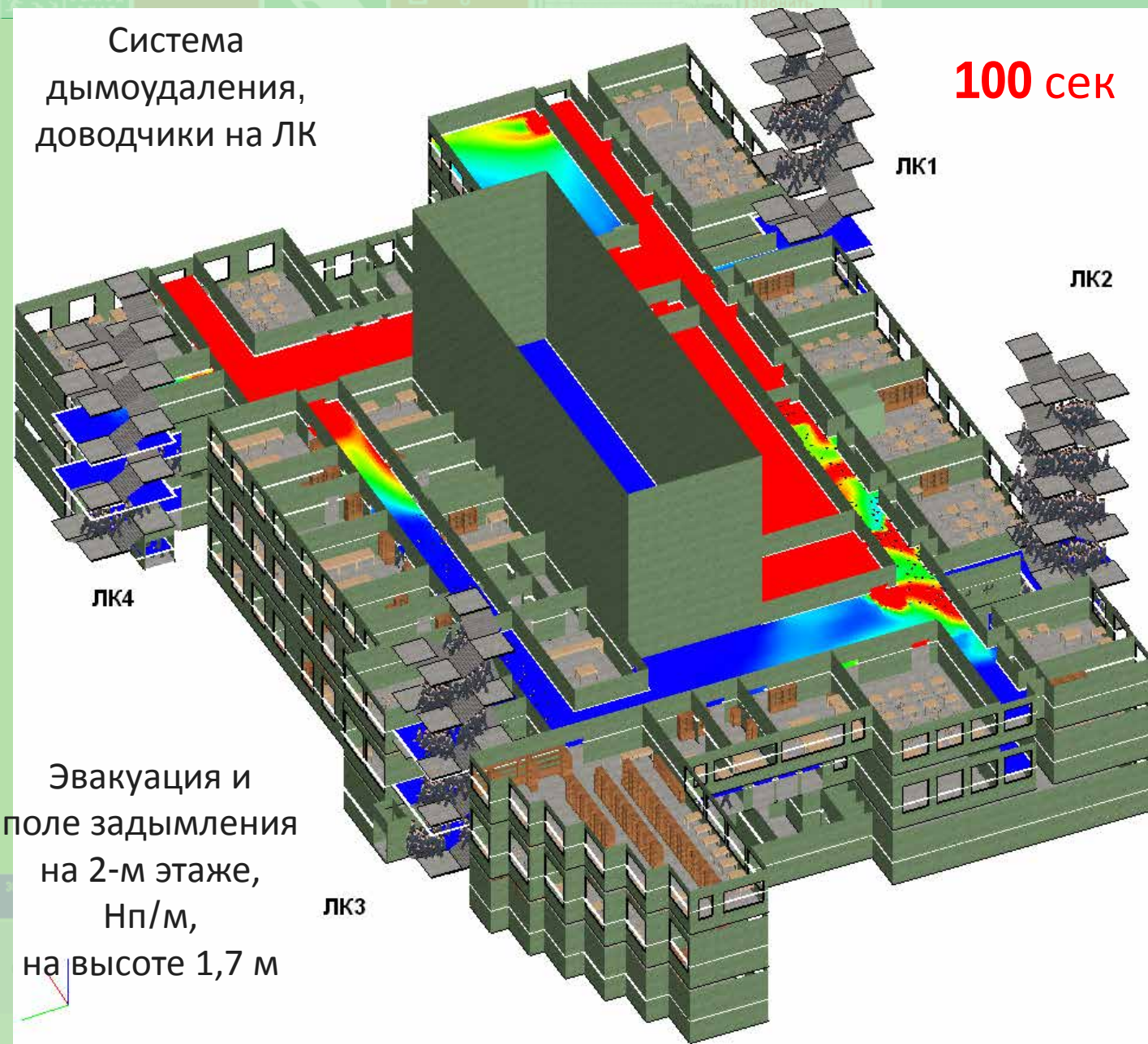
ЛК2

ЛК4

ЛК3

Эвакуация и
поле задымления
на 2-м этаже,
 $H_{п/м}$,
на высоте 1,7 м

Исход эвакуации
для данного
объемно-
планировочного
решения
чувствителен к
организации
системы
противодымной
защиты,
системам
обнаружения и
оповещения о
пожаре.



→

ВЫХОД

→

EXIT

→

ВЫХОД

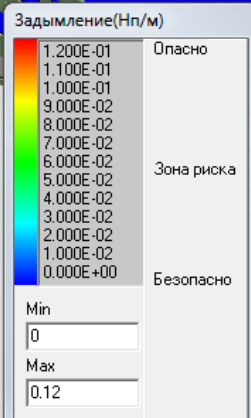
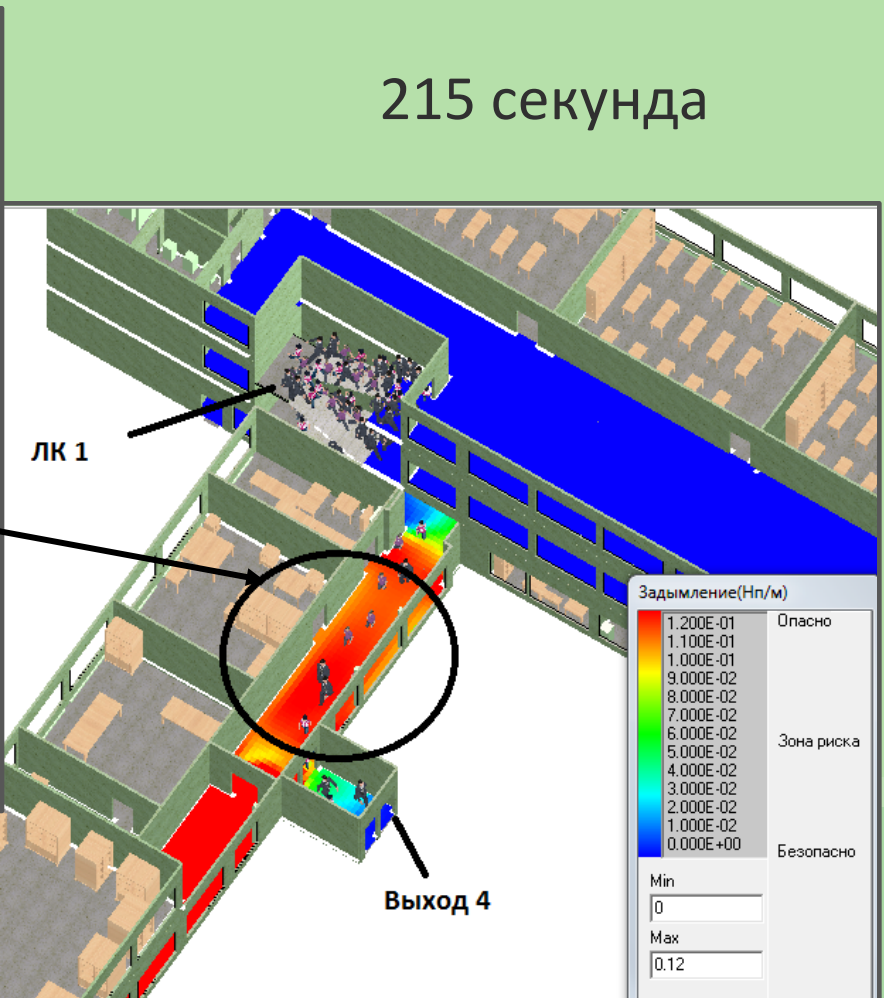
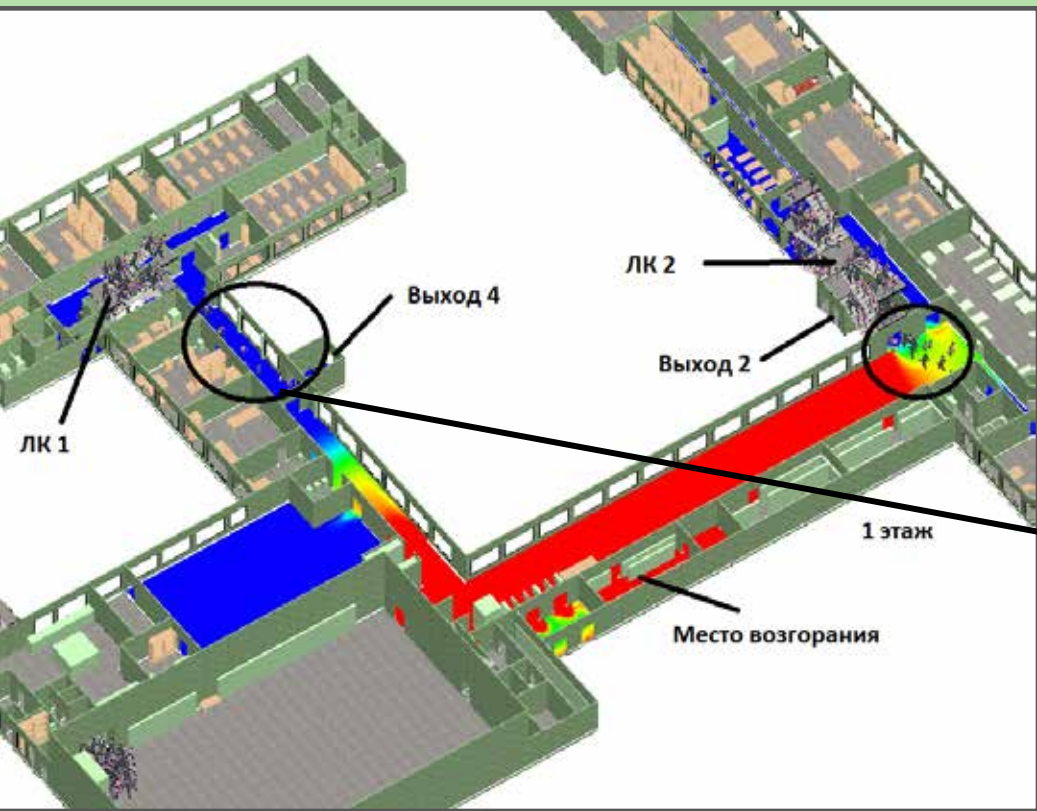
→

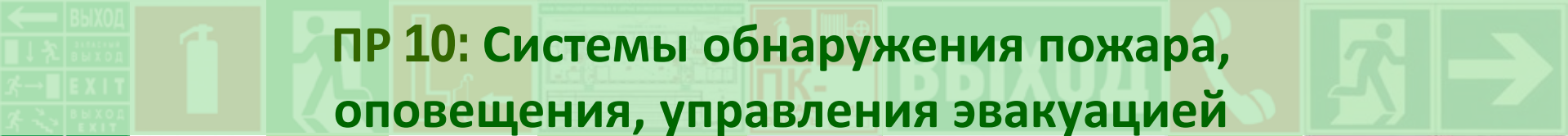
EXIT

ПР 10: Системы обнаружения пожара, оповещения, управления эвакуацией

Влияние задержки начала эвакуации

$T_{нэ}=120$ секунд

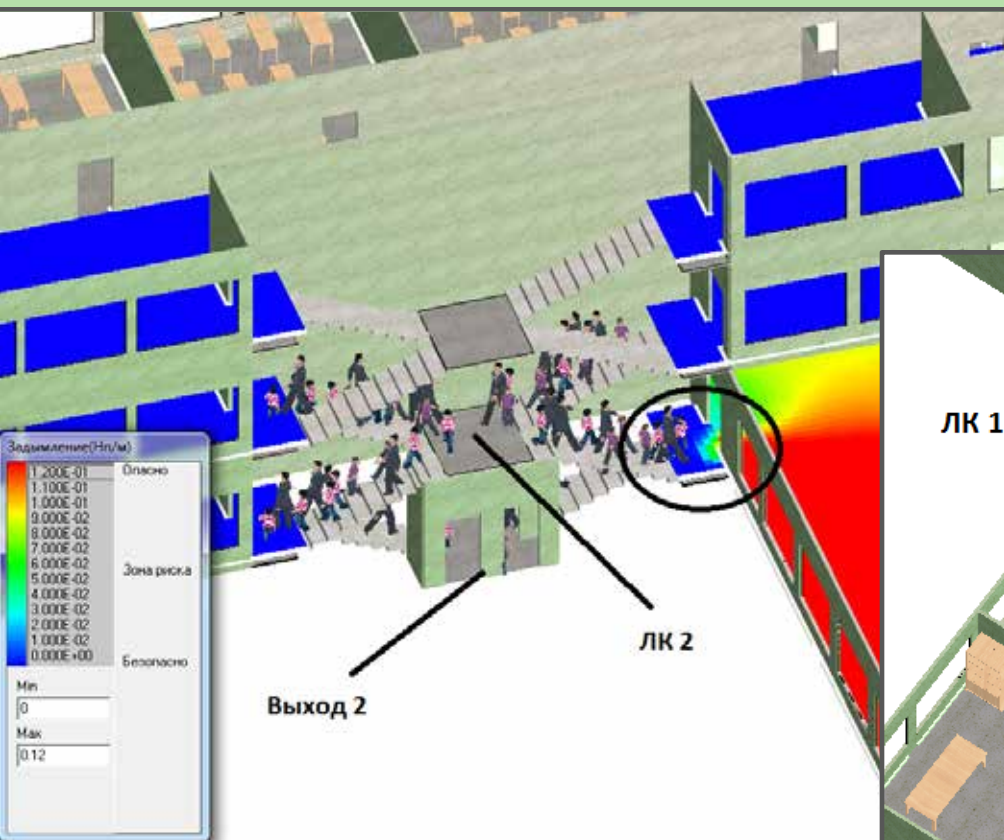




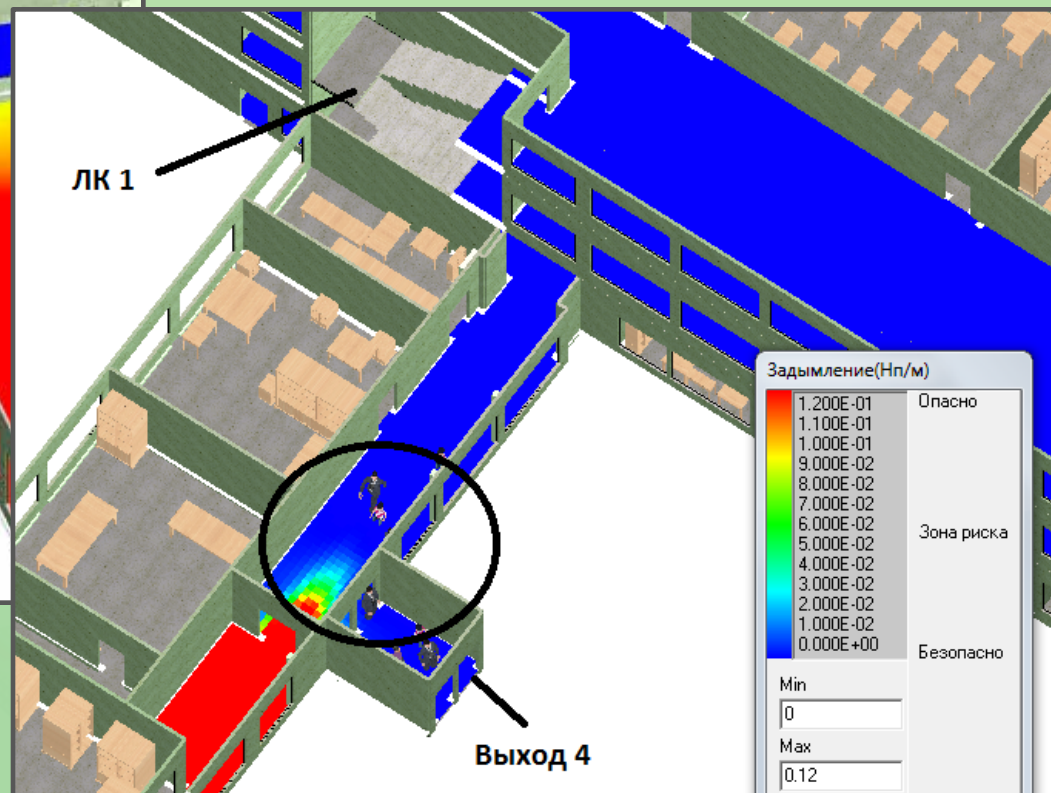
ПР 10: Системы обнаружения пожара, оповещения, управления эвакуацией

Влияние задержки начала эвакуации

$T_{нэ}=30$ секунд



142 секунда



165 секунда

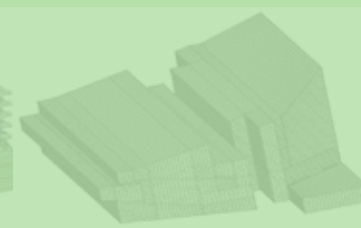
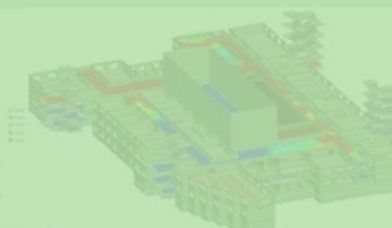
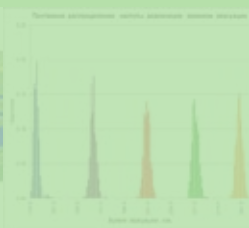
ПР 10: Системы обнаружения пожара, оповещения, управления эвакуацией

Влияние задержки начала эвакуации

Задержка начала эвакуации, сек	Количество человек в зоне риска, чел.	Длительность пребывания в зоне риска, сек
120	~ 100	до 60
30	~ 20	5-10

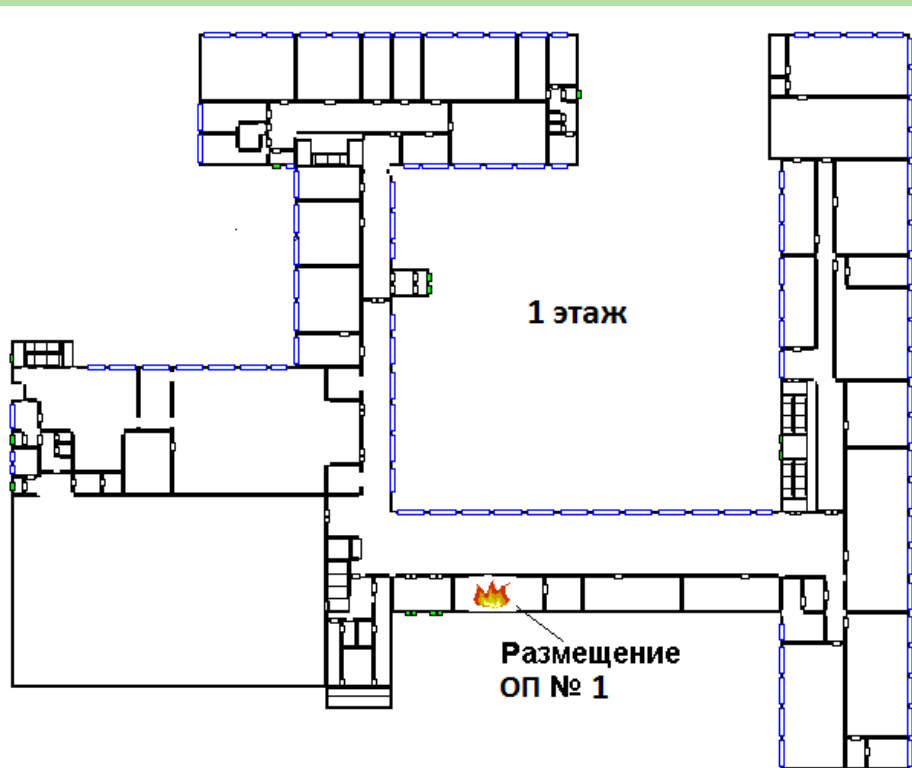
ЗОНА ЗНАЧЕНИЙ 0.07, НЕ СОВМЕСТИМЫХ С
ЖИЗНЬЮ

Время
Количество
людей, попавших
в зону
0.07
kirik@icm.krasn.ru
http://3ksigma.ru
HCL 1,75-0 12



ПР 11: Системы обнаружения пожара, оповещения, управления эвакуацией

Управление эвакуацией, пример 1



Люди равномерно расположены по зданию (785) человек.

ПН - здание I-II степени огнестойкости, мебель + бытовые изделия.

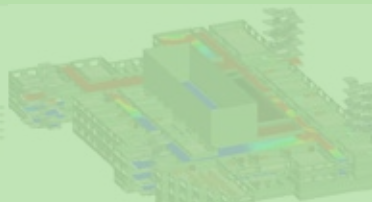
ПР 11: Системы обнаружения пожара, оповещения, управления эвакуацией

Управление эвакуацией, пример 1

Номер варианта	Времена эвакуации, сек			
	ЛК 1 (2 этаж)	ЛК 2 (2 этаж)	Выход 4	Выход 2
1	110 (+20)	80	190 (+20)	160
2	90	92	170	165

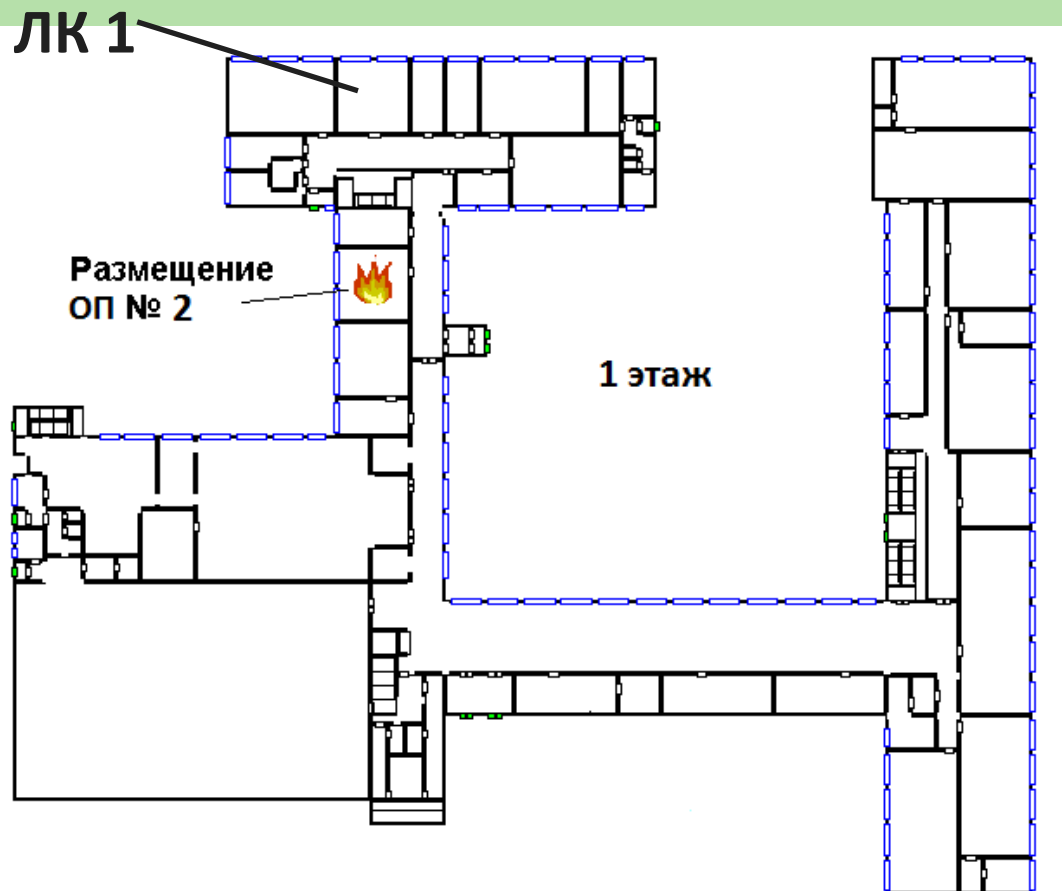
ЗОНА ЗНАЧЕНИЙ ОФП, НЕ СОВМЕСТИМЫХ С
ЖИЗНЬЮ

Время
Количество
людей, покидающих
зону
00
kirik@icm.krasn.ru
http:\\3ksigma.ru



ПР 12: Системы обнаружения пожара, оповещения, управления эвакуацией

Управление эвакуацией, пример 2

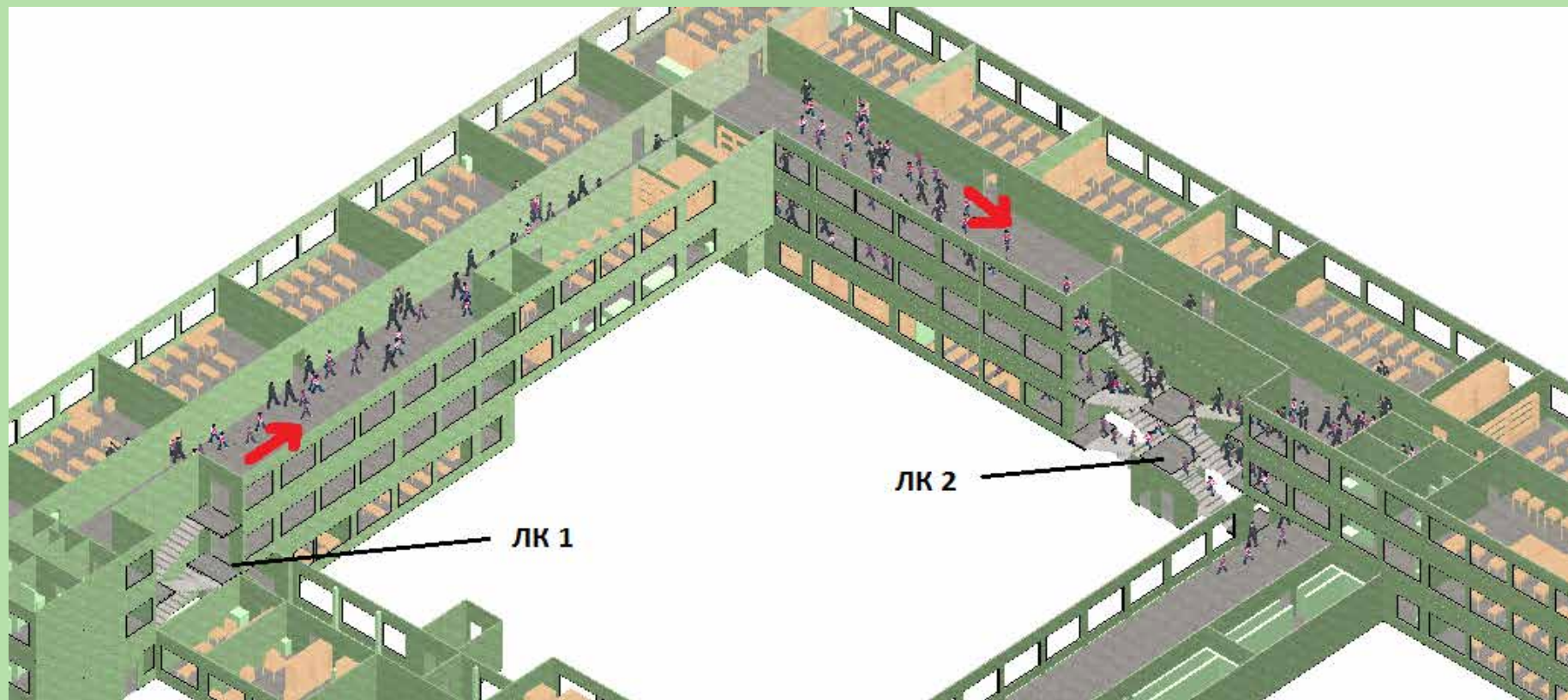


- 1) ЛК 1 закрытая лестничная клетка,
- 2) со вторым и третьи этажом она соединена через проемы (которые сами по себе, являются препятствием для распространения ОФП),
- 3) круговая геометрия здания

Люди равномерно расположены по зданию (785) человек.

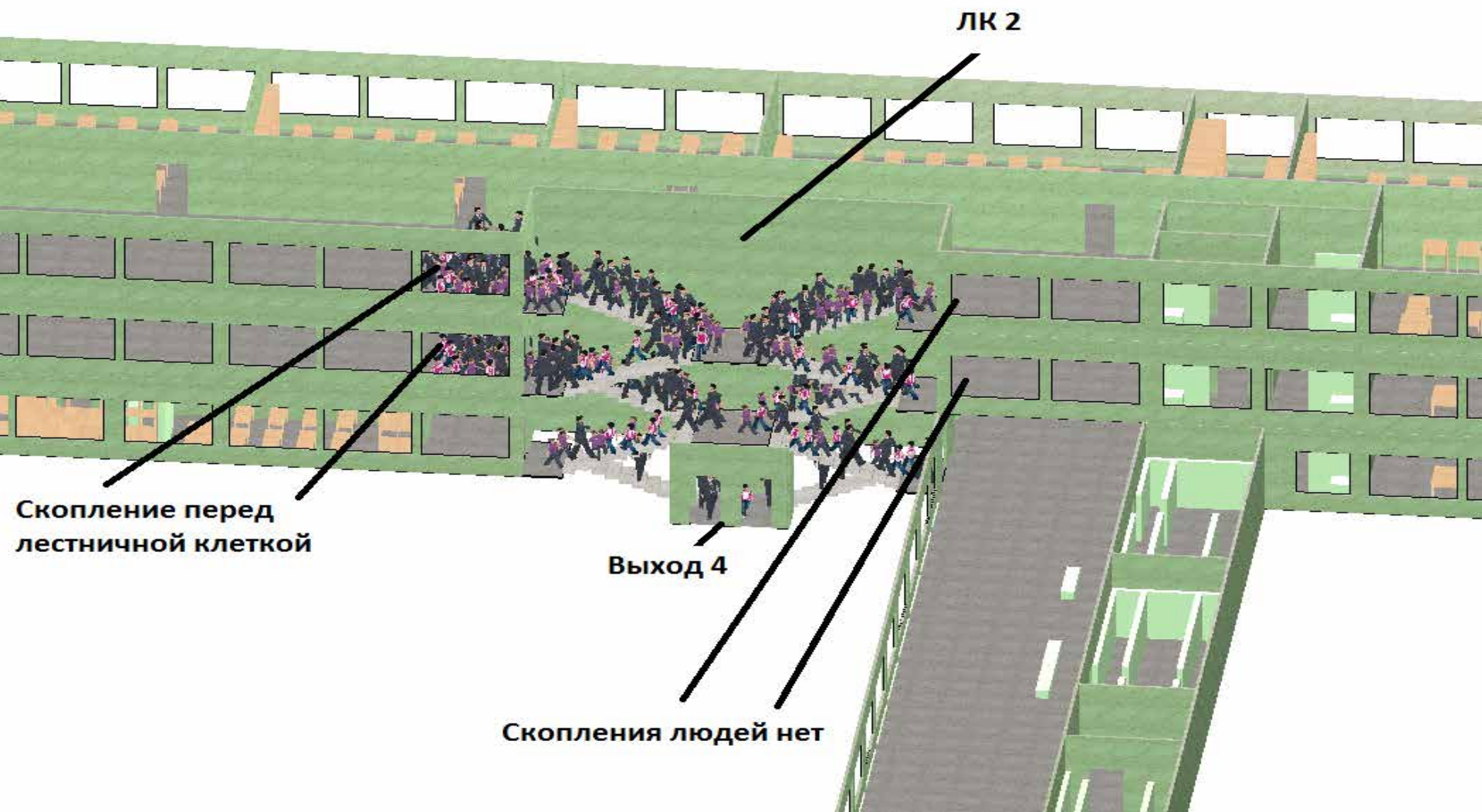
ПН - кабинет; мебель + бумага (0.75+0.25).

Управление эвакуацией, пример 2



ПР 12: Системы обнаружения пожара, оповещения, управления эвакуацией

Управление эвакуацией, пример 2



ПР 12: Системы обнаружения пожара, оповещения, управления эвакуацией

Управление эвакуацией, пример 2

Номер этажа	Времена эвакуации, сек	
	ЛК 2, левая сторона	ЛК 2, правая сторона
2	146	70
3	186	93

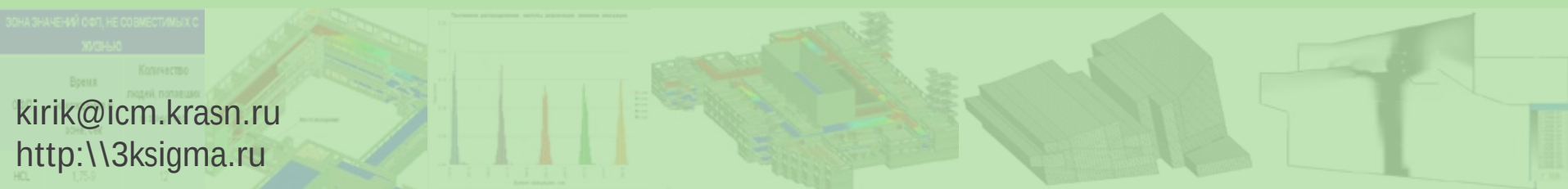
ЗОНА ЗНАЧЕНИЙ ОФП, НЕ СОВМЕСТИМЫХ С
ЖИЗНЬЮ

Время

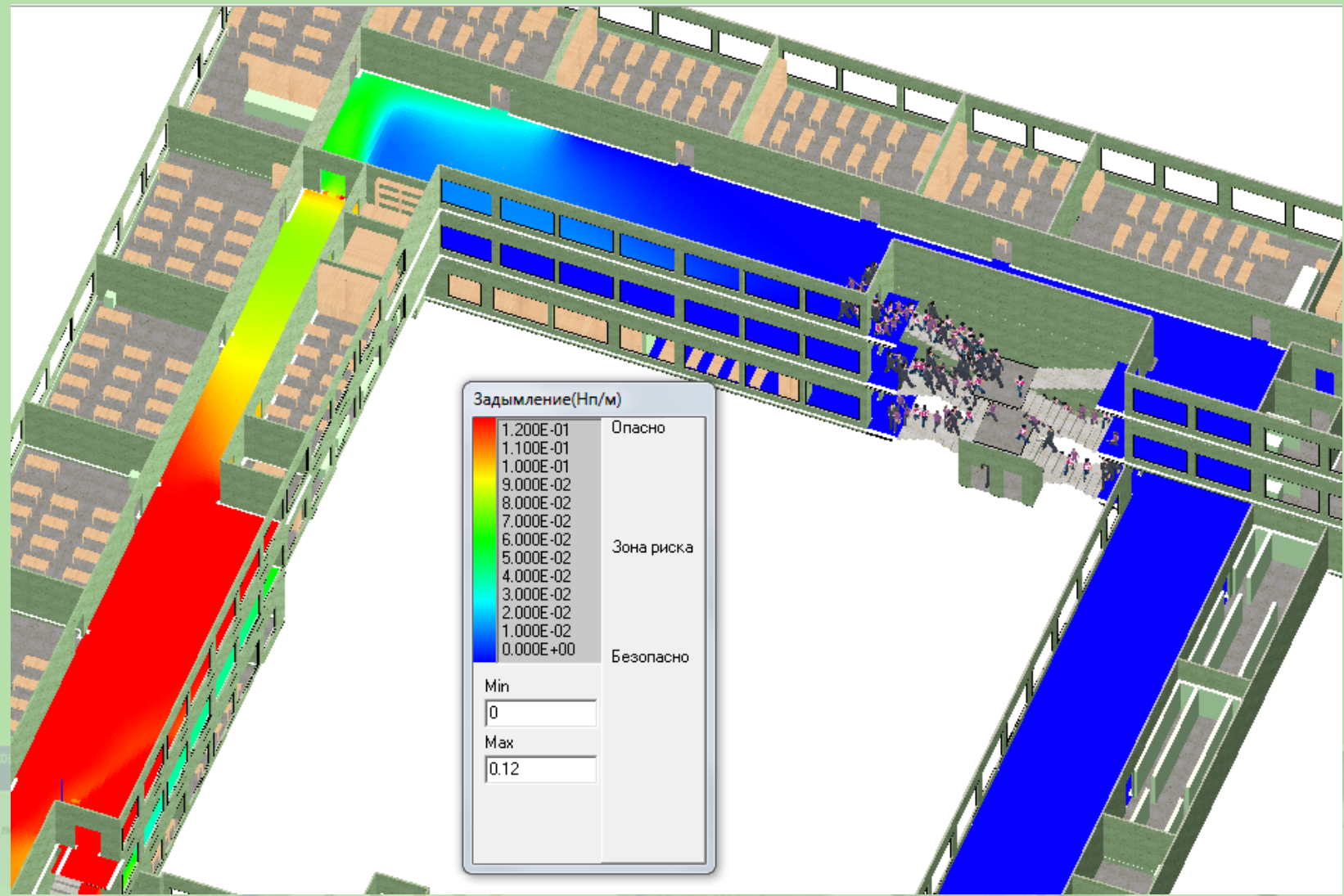
Количество

людей, покидающих

kirik@icm.krasn.ru
http://3ksigma.ru



Управление эвакуацией, пример 2

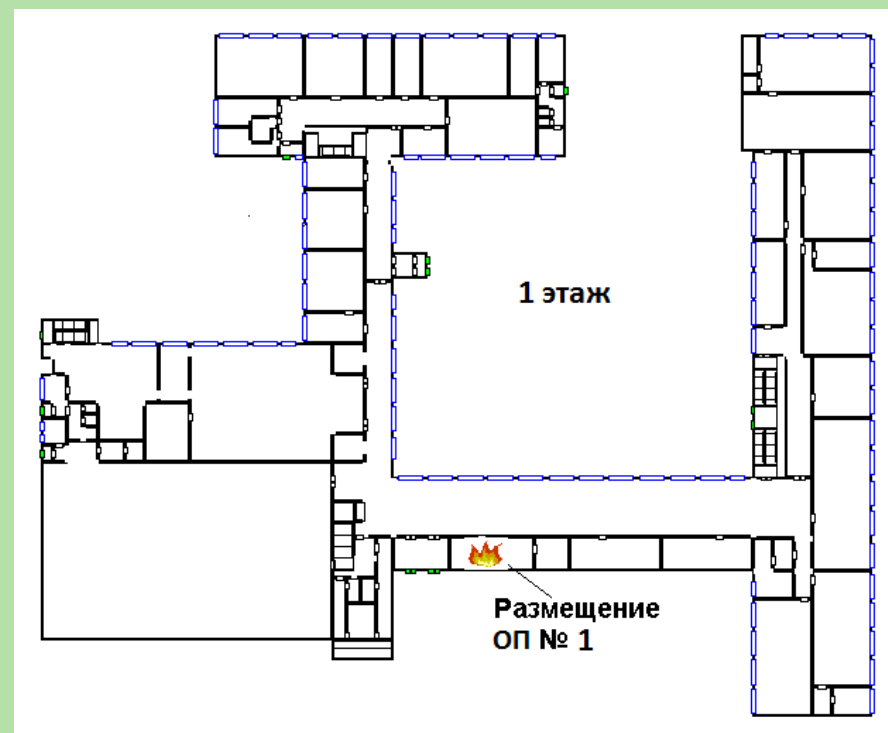


ПР 13: Первичные средства пожаротушения (ручной огнетушитель)

В сценарии № 1 тушение пожара не предусмотрено.

Сценарий № 2 предусматривает, что $t_{\text{нач.туш.}} = 60$ сек,
и очаг пожара ликвидирован.

В сценарии № 3 предполагается,
что система оповещения о
начале пожара не сработала,
 $t_{\text{нач.туш.}} = 120$ сек,
в результате чего не удастся затушить
пожар полностью.



Люди равномерно расположены по зданию (785) человек.

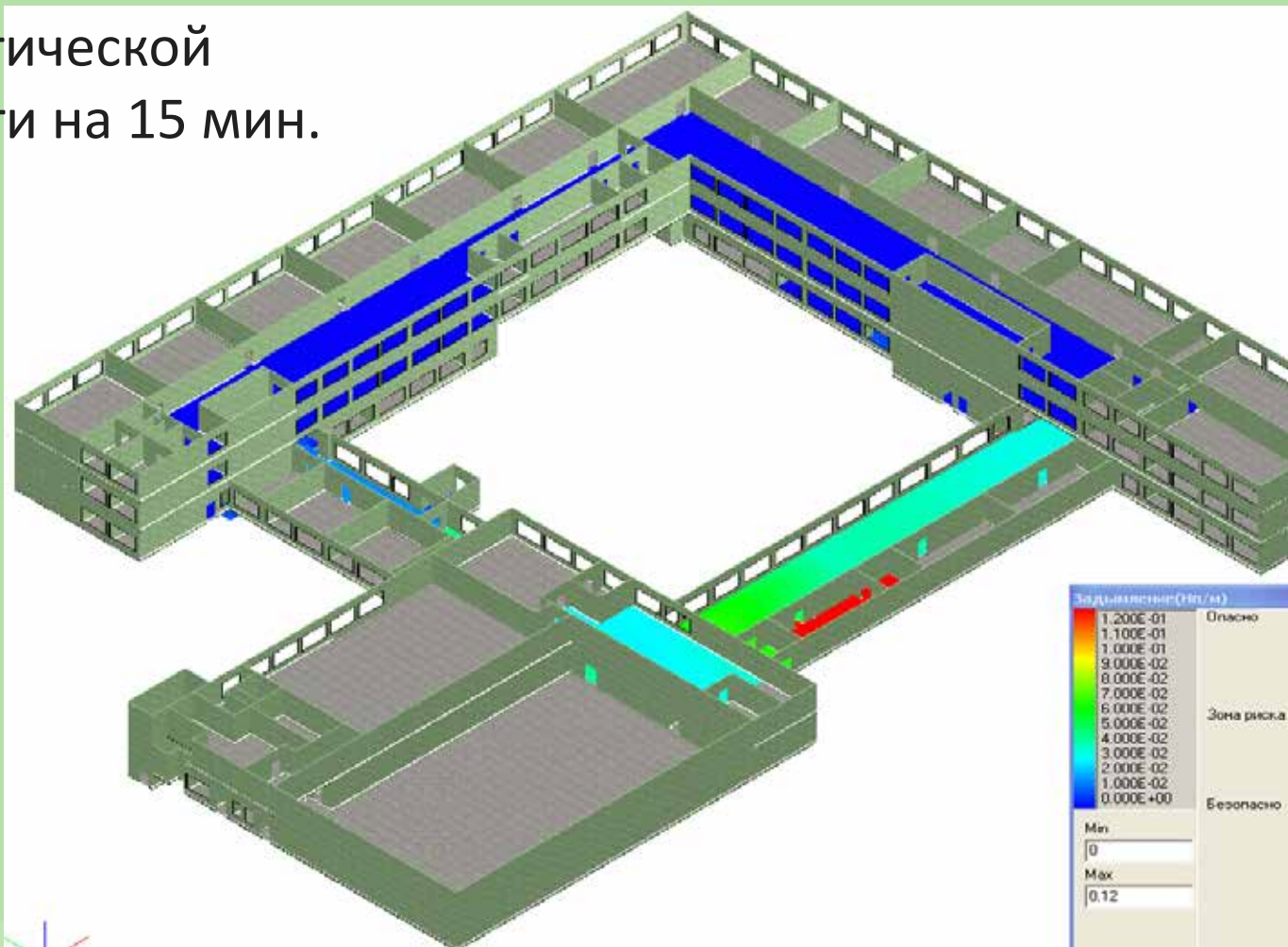
ПН - здание I-II степени огнестойкости, мебель + бытовые изделия.

ПР 13: Первичные средства пожаротушения (ручной огнетушитель)

Номер сценария	ЛК 1 на первом этаже	ЛК 2 на первом этаже
	Время начала блокирования по задымлению, сек	
Сценарий № 3 ($t_{\text{нач.туш.}} = 120$ сек)	255 (+25)	185 (+25)
Сценарий № 1 (тушение не проводилось)	230	160
	Время окончания эвакуации с ЛК, сек	
Сценарий № 3, Сценарий № 1 ($t_{\text{нэ}} = 120$ сек)	255	260
	Количество людей, подвергшихся воздействию ОФП, достигших критических значений, чел.	
Сценарий № 3	25-30	7-10
Сценарий № 1	65-70	35-40

ПР 13: Первичные средства пожаротушения (ручной огнетушитель)

Поле оптической
плотности на 15 мин.



Пожар потушен!

kirik@icm.krasn.ru

<http://3ksigma.ru>

Расчет режима загрузки зрителями лыжного стадиона

Лыжный стадион с трибунами на **3000 зрителей**.

Загрузка стадиона начинается за 2 часа до начала мероприятий.

30% - 1-ый час.

70% - 2-й час.

< 20 минут ожидания в очереди перед КПП.

Интенсивность через одну досмотровую дорожку КПП 24 сек/чел, 12 дорожек.

Нет доступности локального транспорта к стадиону.

Организаторам требуется организовать доставку зрителей от места сбора к стадиону .

Необходимо **расписание** подвоза зрителей на автобусах.

ЗОНА ЗНАЧЕНИЙ ОБП, НЕ СОВМЕСТИМЫХ С

ЖИЗНЬЮ

Время

Количество

находящихся

ЗОНА, ОБП

НЧЛ

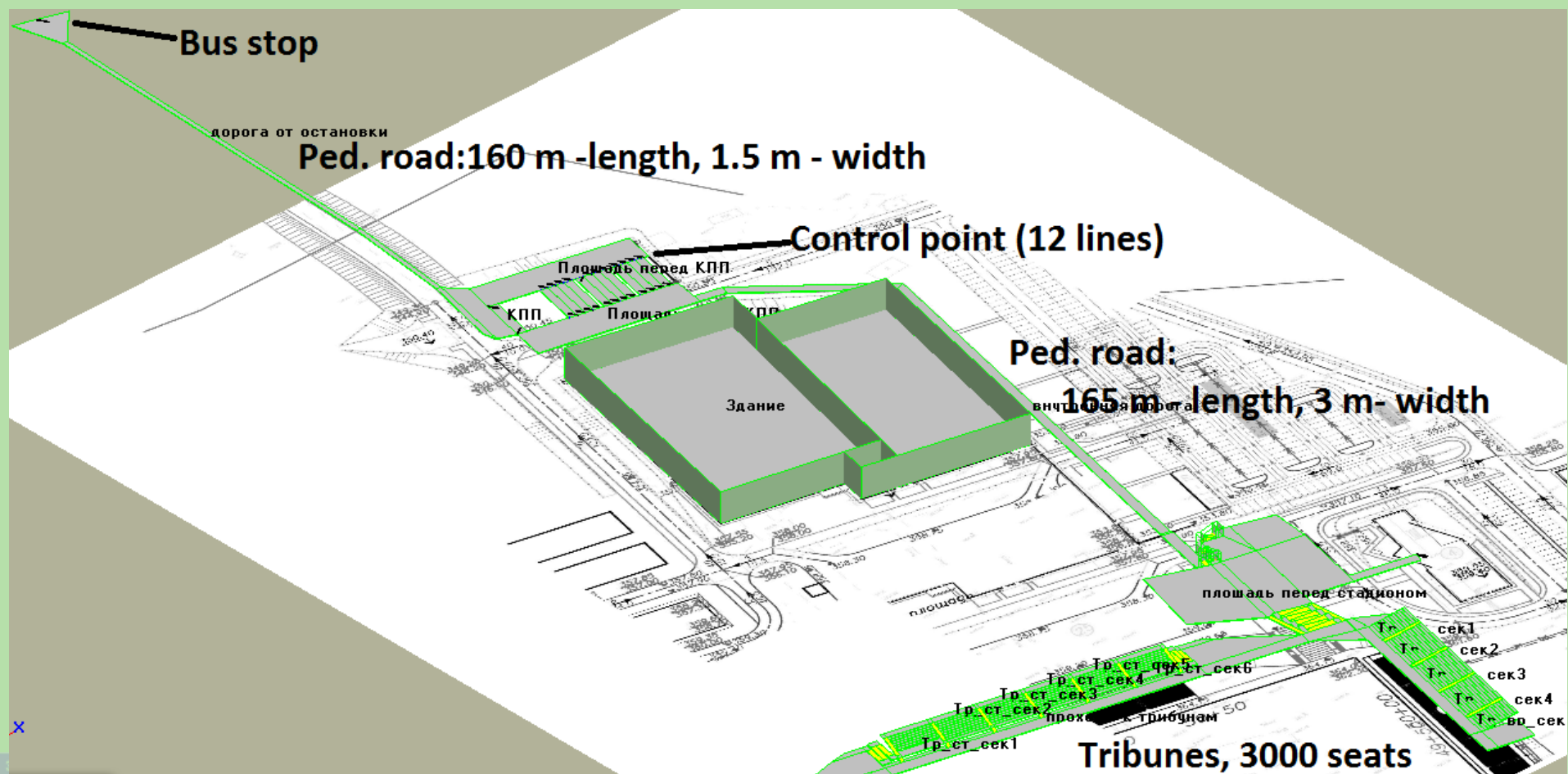
1,75-9

ICM SB RAS
kirik@icm.krasn.ru



ПР 14:

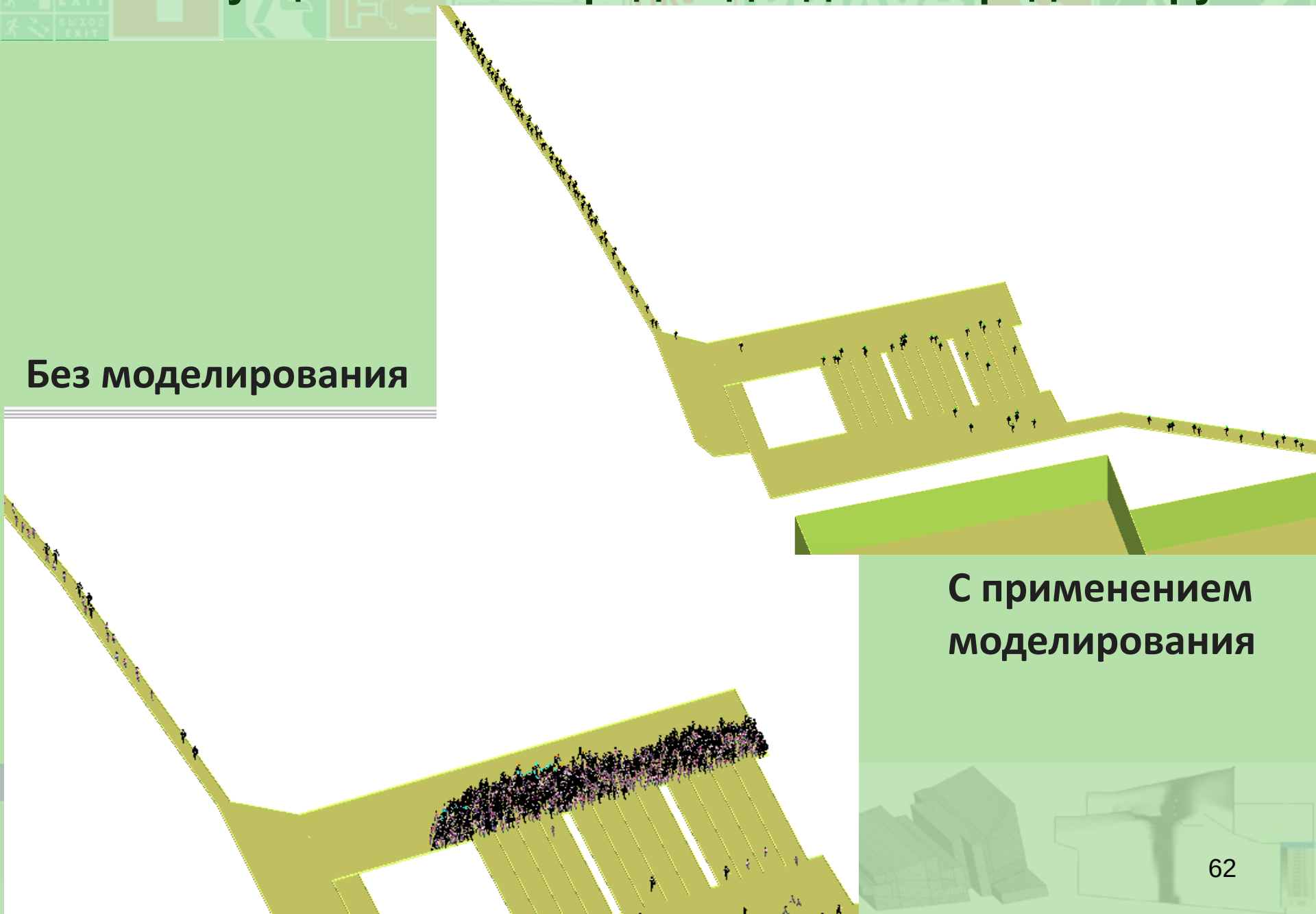
Расчет режима загрузки зрителями лыжного стадиона



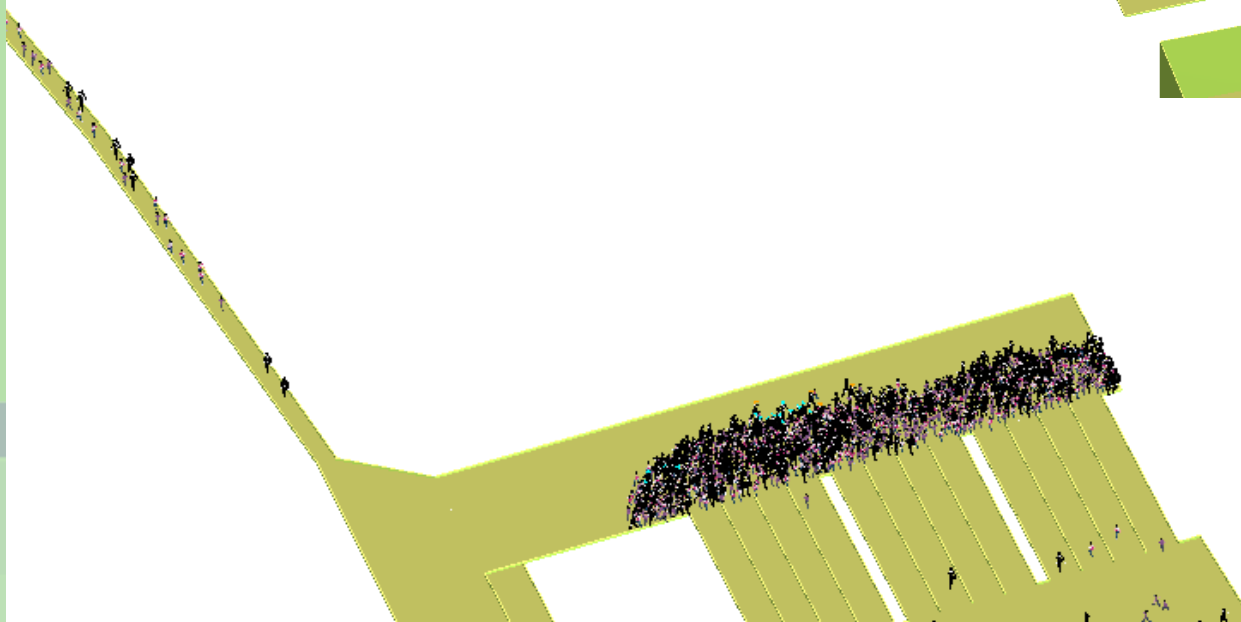
70%	1890 чел	
Интенсивность КП	12pers./24 sec	
Общее мин. время прохода через КП	3780 sec (63 min)/1890 pers.	
Численность одной группы	80 pers	
Скорость свободного движения	1,69 m/sec	
	Оценка	Моделирование
Расчетное время достижения КП (фронт), сек.	120	
Расчетное время подхода последнего человека в группе, сек	185	
Общее время прохода группы через КП, сек	160	200
Общее время для 1 группы (от авт.ост.), sec	210	300
Time gap between groups, sec	90	180

ПР 14: Ситуация на КПП перед подходом очередной группы

Без моделирования



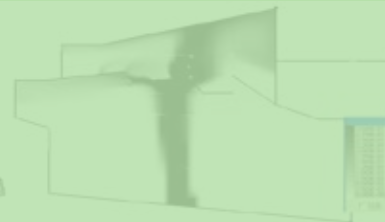
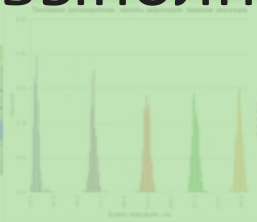
С применением
моделирования



ОСНОВНЫЕ ТЕЗИСЫ:

1. Компьютерное моделирование эвакуации при пожаре – эффективный инструмент решения задач пожарной безопасности, регламентированный нормативными актами и документами.
2. Компьютерное моделирование позволяет найти баланс между ценой и качеством проекта.
3. Применение BIM-технологии проектирования и современные расчетные программы ускоряют и упрощают выполнение расчетов.

ЗОНА ЗНАЧЕНИЙ ОБП, НЕ СООТВЕТСТВУЮЩАЯ		
ЖИЗНЬ		
Время нахождения в зоне, сек	Количество людей, попавших в зону, чел	
ОБП		
НДЛ	1,75-0	12





Спасибо за внимание!

Вопросы?

ЗОНА ЗНАЧЕНИЙ ОФП, НЕ СОВМЕСТИМЫХ С
ЖИЗНЬЮ

Время нахождения в зоне, сек	Количество людей, пребывающих в зоне, чел
ОФП	
НСЛ	1,75-0
	12

