

# СПЕЦКУРС **Евгения Николаевича Дудника** «ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ КРИЗИСНЫХ СИТУАЦИЙ».

## Вопросы к зачету по курсу ИМРКС

1. Типы моделей.
2. Что такое оценка
3. Вероятность как оценка.
4. Связь частоты и вероятности.
5. Полная группа несовместных событий.
6. Функции распределения.
7. Закон больших чисел
8. Матожидание и связь его со средним.
9. Риск и меры риска
10. Альтернатива, дерево альтернатив и управление.
11. Принцип обратной связи.
12. Эффективность управления и прогноз
13. Математическая постановка задачи управления.
14. Определение графа.
15. Управление как поиск пути на графе.
16. Синтез надежного устройства из ненадежных элементов.
17. Имитационное моделирование как метод оценки вероятностей.
18. Имитационное моделирование поведения людей.
19. Критерии разработки управленческих решений для рискованных ситуаций
20. Понятие об агентном моделировании
21. Противоречивость задачи управления
22. Роль сечения канала информации в управлении.
23. Равномерное распределение
24. Синтез любого распределения из равномерного
25. Случайный автомат
26. Как запрограммировать случайный автомат.
27. Дерево отказов
28. Моделирование поведения людей на пожаре агентами.
29. Характеристики положения и разброса.
30. Центральная предельная теорема.

## Введение.

### Элементы моделирования.

#### Модели бывают:

- натурные;
- образные;
- символично-образные;
- математические;

Натурные модели – это то, что похоже на реальный объект, но в уменьшенном виде (детские игрушки).

Образные модели – притчи, анекдоты, романы, драмы, статуи, картины).

Символично-образные – географические карты всех сортов, чертежи, дизайнерские проекты.

Математические – это высказывания на удобном символическом языке, которые отражают все существенные свойства объекта и позволяют прогнозировать его отклики на внешние воздействия.

#### Математические модели:

1. Аналитические.
2. Алгоритмические.
3. Имитационные.

Образные модели – самые первые. Они наглядные, простые, субъективные. Объективизировать образную модель – значит освободить ее от пристрастий. Объективизация достигается введением меры и установлением количественных соотношений. Все направление движения познания – это переход от образных субъективных моделей к моделям математическим, объективным.

Модели отличаются по уровню абстракции. На самом детальном уровне находится так называемое физическое моделирование где рассматриваются конкретные материальные объекты с их точными размерами, скоростями, ускорениями и временами. Таким образом внизу нашей шкалы рассмотрены модели систем уравнения, мехатронные системы, уличное и пешеходное движение.

Мехатроника – сочетание механики и электроники. Мехатронные системы программируются на языке Java.

Модели производств с конвейерами расположены выше, поскольку здесь есть возможность абстрагироваться от физических траекторий и времен и использовать их усредненное значение или стохастические модели. Это же относится к моделям складской логистики с автопогрузчиками, стеллажами и т.д.

Уровень систем обслуживания, они оперируют обычно лишь с временами и расписаниями, хотя физическое перемещение иногда принимается в расчет. Например в здравоохранении при моделировании больницы в основном важны количество и график работы персонала, оборудования, поток пациентов и логика работы с ними, в то время как в отделах скорой помощи могут быть учтены конфигурации зданий, длины коридоров и т.д.

Чем выше уровень абстракции моделей, тем проще ее моделировать с помощью имитационного моделирования.

## **Элементы теории вероятностей, статистики и теории управления.**

### **1. Определение оценки и вероятности.**

Оценка – количественное отражение какой-либо стороны реализованной или же теоретически возможной ситуации или процесса.

#### **Определение вероятности.**

Вероятность – мера случайности. Понятие «вероятность» относится к неопределенным событиям, всегда описывает нечто неопределенное.

Чаще всего – нереализованное. То, что может произойти, но не произошло, или что могло бы произойти, но не произошло. Вероятность – один из способов количественного выражения прогноза.

Любые случайные события можно смоделировать рулеткой, лотереей, урновыми экспериментами (лото), стрельбой по мишеням. Эти модели равноценны.

В последнем случае вероятность – отношение площадей мишеней. Это очень наглядно, и позволяет геометризовать многие задачи и легче их решать.

Можно считать, что вероятность – отношение числа благоприятствующих исходов ко всем возможным. Вероятность можно интерпретировать и как оценку возможности.

Иногда вероятность описывает то, что произошло, но мы до конца не знаем, что именно. Например, в 1-й урне красные и синие шары, во 2-й – зеленые и желтые. Мы знаем, что шар вынули из второй урны. Он уже имеет определенный цвет, событие реализовалось. Но мы не знаем, какой. И мы говорим: это желтый шар с «такой-то вероятностью».

### **2. Определение частоты.**

Частость – относительная доля зарегистрированных, уже происшедших событий. Частость – уже реализованная возможность. И она уже зарегистрирована. Частость отражает наши знания, вероятность – попытка экстраполировать эти знания, например, перенести знания из недавнего прошлого в близкое будущее.

### **3. Полная группа несовместных событий.**

События образуют полную группу несовместных событий, если в будущем обязательно произойдет только одно из них, но не два и тем более не три.

### **4. Функция распределения.**

Функция, описывающая вероятность попадания случайной величины в интервалы, называется функцией распределения. Функция распределения оценивается по накопленным наблюдениям частостей.

### **5. Соотношение частоты и вероятности.**

Наблюдённые частоты – источник информации для оценок вероятностей.

Вероятность относится к неопределенным событиям, частость – к достоверно известным.

Если принимаем гипотезу, что условия, при которых были зарегистрированы известные частоты, сохраняются и на будущее, то считаем, что вероятности равны этим частостям.

### **6. Закон больших чисел.**

ЗБЧ: наблюдённые частоты стремятся к теоретическим вероятностям с возрастанием числа испытаний(наблюдений).

### **7. Определение матожидания.**

Матожидание – взвешенное с помощью вероятностей среднее от всех возможных значений случайной

величины. 
$$M = \sum_{i=1}^N X_i p_i.$$

### **8. Соотношение среднего и матожидания.**

Матожидание – предполагаемое, прогнозируемое значение среднего, это оценка среднего. Среднее оценивается с помощью вероятностей. Оценка справедлива, когда случайные величины генерируются при соблюдении одних и тех же правил и функция распределения не меняется со временем.

### **9. Определение риска.**

Риск – угроза будущих потерь.

### **10. Вероятность как мера риска.**

Когда размер будущих потерь не поддается учету, например, когда речь идет о стоимости человеческой жизни, мерой риска может быть вероятность. Риск больше, если вероятность гибели человека больше. Риск больше, если вероятность гибели города больше.

### **11. Матожидание как мера риска.**

Когда размер будущих потерь поддается учету, например, когда речь идет о стоимости материальных объектов, мерой риска может быть матожидание потерь.

## **12. Стоимость информации как мера риска.**

Когда ситуация такова, что и вероятности и стоимости оценить затруднительно, мерой риска может служить стоимость информации, необходимой для того, чтобы выйти из ситуации. То есть, сколько человек готов заплатить, чтобы выкрутиться из ситуации. Это самая субъективная и неточная мера. Пользуясь ею, следует опрашивать несколько экспертов и усреднять их оценки.

## **13. Альтернатива.**

Это одна из нескольких взаимоисключающих возможностей, из которых человек может делать выбор.

## **14. Дерево альтернатив.**

Когда человек сделал один выбор, у него появляются совершенно новые альтернативы, но обусловленные предыдущим выбором. Когда он снова сделал выбор, у него снова появляются альтернативы, но обусловленные уже новым выбором. Так образуется дерево.

Пример: выбор места отдыха. Россия или Зарубежье? Выбрал Зарубежье.

Дальнее или ближе? Выбрал дальнее. Горы или море, или иное? Выбрал море.

Дешевле или дороже? Выбрал дешевле?

Турция или Египет? Выбрал Турцию.

## **15. Определение управления.**

Управление – распоряжение имеющимися ресурсами для достижения поставленной цели.

## **16. Принцип обратной связи.**

Необходимым элементом управления является передача информации субъекту управления о реакциях объекта управления на управляющие воздействия.

## **17. Управление по положению (результату).**

В этом случае субъект реагирует на уже состоявшиеся отклонения объекта от намеченной траектории.

## **18. Управление по скорости (тенденции).**

В этом случае субъект реагирует на тенденцию намечающегося отклонения объекта от намеченной траектории, на скорость нарастания этого отклонения.

## **19. Эффективность управления и прогноз**

Управление эффективно, когда цели достигаются малыми затратами. Для этого необходим прогноз, чтобы не тратить ресурсы попусту.

## **20. Математическая постановка задачи управления.**

Рисуется множество траекторий в пространстве возможных состояний управляемой системы и выбирается та из них, на которой соотношении суммарных затрат и выгод наилучшее.

## **21. Определение графа.**

Это множество узлов, соединенных дугами. Узлы можно интерпретировать как перекрестки на карте города, а дуги – как дороги. С помощью графов описываются возможные состояния системы и разрешенные пути перехода между ними.

## **22. Управление как поиск пути на графе.**

Пространство возможных состояний системы описывается совокупностью узлов графа. Управление можно интерпретировать как поиск наилучших переходов между ними. Это дискретный вариант постановки задачи п.21.

## **23. Синтез надежного устройства из ненадежных элементов.**

Если хотим обеспечить надежное выключение с помощью ненадежных выключателей, надо их соединять последовательно и выключать одним движением. Тогда вероятность выключения повышается. Если хотим надежно включать, надо их соединять параллельно и включать тоже одновременно.

Если хотим надежно и включать и выключать, используя ненадежные элементы, следует использовать комбинации параллельного и последовательного соединений. Эту модель можно применять для анализа различных схем, не только электрических. Но суть проще понять именно на выключателях.

## **24. Имитационное моделирование как метод оценки вероятностей.**

Вероятности сбоев в очень сложных и дорогих системах невозможно оценивать по частотам, так как приняты все меры, чтобы эти события были редкими. Поэтому их следует моделировать на компьютере с помощью имитационных моделей. Все компьютерные игры-симуляторы и есть имитационные модели. В русском языке – другой термин, т.к. слово симуляция получило негативный оттенок. Глобальная постановка задачи в ИМ: по известным функциям распределения с помощью моделирования получить интересующие нас неизвестные функции распределения и оценить их параметры.

## **25. Имитационное моделирование поведения людей.**

Поведение людей можно моделировать на компьютере с помощью агентного моделирования, когда человек или организация интерпретируются как агенты.

## **26. Разработка управленческих решений для рискованных ситуаций.**

Для того чтобы решение разработать быстро, и качественно, нужно определить прежде всего, к какому классу оно относится. Для классификации существуют следующие критерии

1. **Критерий срочности.** Какое время отпущено на принятие решения? Как быстро надо дать ответ?
2. **Критерий рискованности.** Является ли ситуация угрожающей(сильный риск), рискованной (средний риск) или обычной (малый риск);
3. **Критерий необратимости.** Как трудно будет вернуться к исходному состоянию, если потребуется? Каковы будут потери при возврате?
4. **Критерий скрытости.** Каковы возможности сбора дополнительной информации; требуются ли дополнительные ресурсы для получения нужной информации.
5. **Критерий напряженности.** Против какого противника идет игра – равнодушного или активного; если противник активен, какие ресурсы он способен задействовать для борьбы и при каких условиях;

Надо стараться перевести ситуацию в состояние определенное, ненапряженное, нерискованное.

Когда ситуация достаточно рискованная, никогда не надо принимать решение за 15 сек., если на него отпущено 15 мин. Надо помнить, что наша природа приучила нас спешить с принятием решений. Это было целесообразно в первобытном мире. В цивилизованном обществе чаще бывает полезнее бороться с торопливостью.

Равнодушный противник – как правило, природа или равнодушный функционер. Активный противник – конкурент или враг. Конкурент пытается оттеснить вас от источника общей выгоды и отступает, когда возможность получить за ваш счет выгоду исчезает. Враг готов понести убытки, чтобы вас уничтожить. Конкуренты при низкой культуре (в том числе культуре коммуникаций) часто становятся врагами, хотя это не имеет смысла делать.

#### **27. Понятие об агентном моделировании.**

Агентом называется компьютерная модель, обладающая свойствами: способность делать выбор, инициативность, реактивность, способность ориентироваться в пространстве, способность обучаться.

#### **28. Стратегия оптимиста.**

Человек с такой стратегией всегда будет выбирать тот пучок альтернатив, в котором спрятан наибольший выигрыш, в надежде, что именно он и выпадет.

#### **29. Стратегия пессимиста.**

Человек с такой стратегией всегда будет выбирать тот пучок альтернатив, в котором спрятан наименьший проигрыш, считая, что именно проигрыш ему и выпадет, потому что ему всегда не везет.

#### **30. Стратегия реалиста.**

Человек с такой стратегией всегда будет выбирать тот пучок альтернатив, на котором получается наибольшее матожидание выигрыша, в надежде, что, чтобы ни выпало, это все-таки наилучший вариант.

#### **31. Смешанные стратегии.**

Возможно применение любой пары приведенных стратегий в комбинации между собой. Для этого вводится уровень доверия к одной из стратегий  $0 < s < 1$ . Тогда уровень доверия к другой будет  $1-s$ . Выбирается тот пучок альтернатив, на котором смешанная стратегия дает наилучший результат.

#### **32. Противоречивость задачи управления.**

Управление происходит всегда в условиях риска, недостатка ресурсов, и интересы управляемых подразделений всегда противоречат друг другу.

#### **33. Динамическая ошибка.**

Когда управляемый объект следует верным курсом, он имеет нулевой корректирующий управляющий сигнал, начинает двигаться по инерции и сходит с истинной траектории. Поэтому при движении по криволинейной траектории всегда вырабатывается динамическая ошибка, или «ошибка заноса». Это похоже на автомобиль, который заносит, когда водитель пытается выдержать криволинейную траекторию на льду.

#### **34. Роль сечения канала информации в управлении.**

Если информация к управляющему поступает по узкому и зашумленному каналу, то это приводит к ошибкам в управлении.

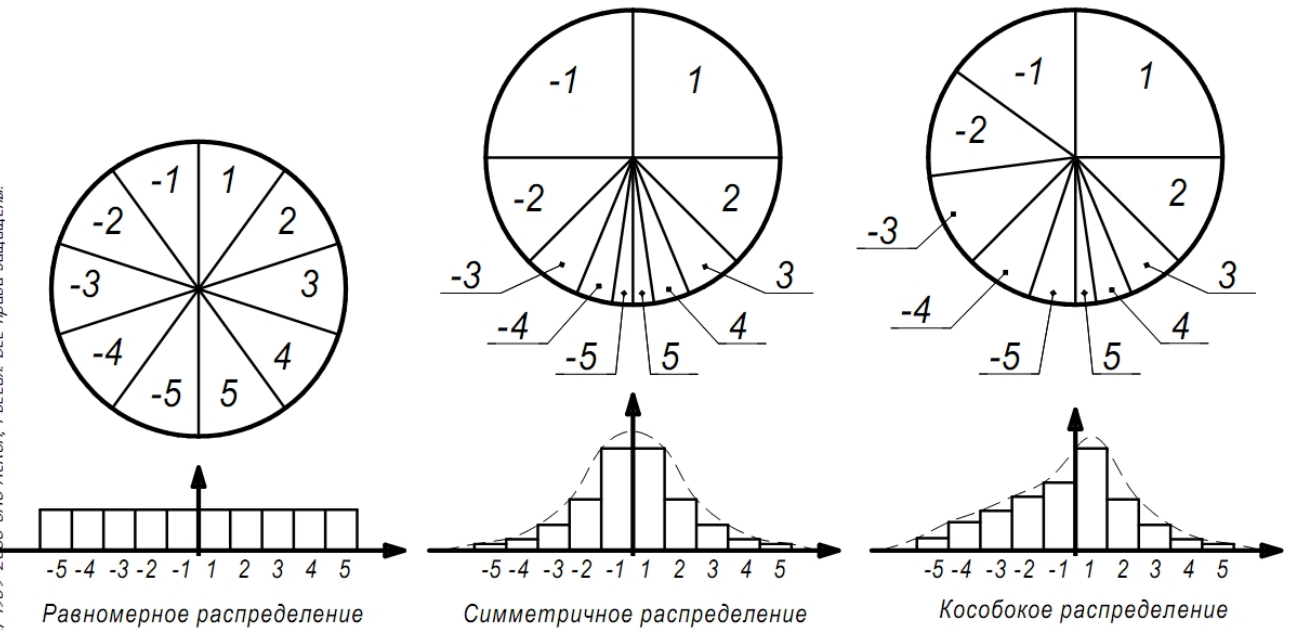
**Равномерное распределение.**

**Симметричное распределение.**

**Кособоковое распределение.**

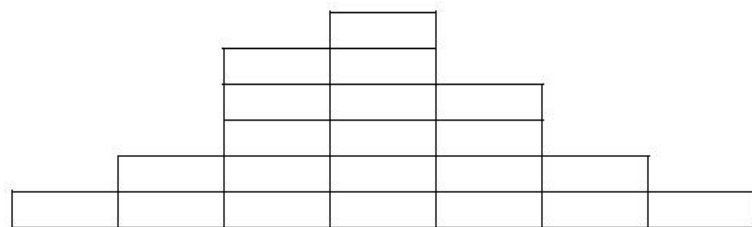
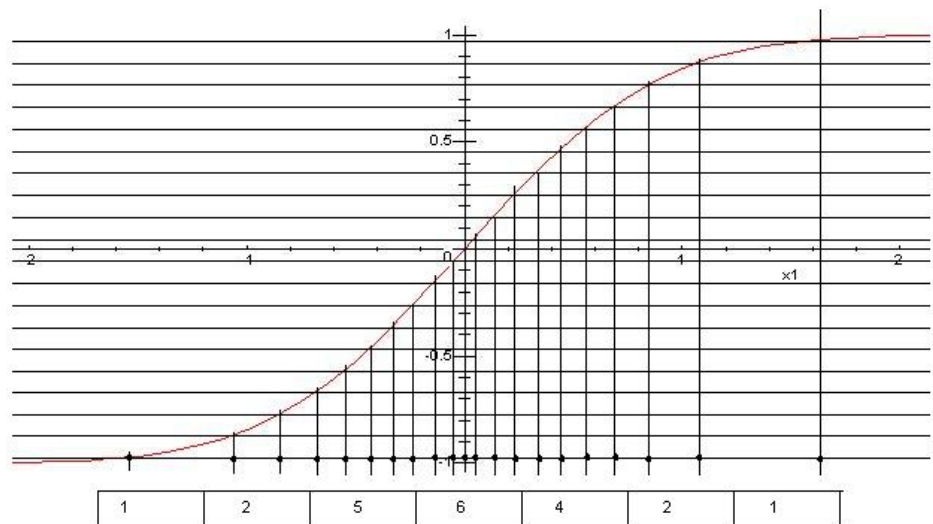
Все дано на рисунке

ЛТ (с) 1989-2008 ЗАО АСКОН, Россия. Все права защищены.



5				
5				
5				
5				

а



б

**Центральная предельная теорема.**

**Как бы ни были распределены случайные величины, их сумма стремится к нормальному распределению с увеличением числа слагаемых.**

Важно только, чтобы дисперсия каждой из случайных величин была конечна.

Последнее требование выполняется для подавляющего большинства практически важных случаев.

## «РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКА»

Нам понадобятся следующие выводы из прежних спецкурсов:

1. Теорема Рассела Аюкоффа о частных целях системы. Организация – это система и к ней в полной мере относится эта теорема.
2. Эффект синергизма.
3. Управление организацией – всегда маневр ограниченным ресурсом для достижения целей. Этот маневр **всегда** происходит в условиях риска. Он **всегда** основан на прогнозе. Прогноз **всегда** есть суждение о вероятностях.

**Основные правила**, которые необходимо соблюдать при разработке упр решений в условиях неопределенности и риска

*Внешняя среда всегда несет в себе неопределенность.*

Наиболее употребительная **мера риска: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОЖИДАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ПОТЕРЬ.**

Это определение меры риска настолько популярно, что многие авторы даже риск определяют как математическое ожидание потерь. [3].

7. Но в последнее время появились и другие меры риска. Их много. Даже возникла новая дисциплина «Управление рисками»..

- Мерой риска может выступать стандартное отклонение оценок показателя эффективности, когда оценки получены от независимых экспертов.

**Пример.** Наиболее актуальной в последнее время является проблема оценивания рисков инвестиционных проектов. Показателем эффективности здесь является норма прибыли.

Мерой риска может выступать стоимость информации, необходимой для снятия неопределенности. Здесь тоже имеет смысл опросить независимых экспертов.

- Мерой риска выступает также волатильность – стандартное отклонение курса акций от скользящего среднего.

Две предпоследние меры не являются основными, их используют в ситуациях, когда статистика, необходимая для разработки управленческого решения, отсутствует. Такой ситуации следует избегать, следует накапливать статистику, чтобы более обоснованно разрабатывать решения.

**Для анализа ЧС вводятся свои меры риска, которые рассмотрим позже.**

8 .Когда в распоряжении ЛПР есть исчерпывающая статистика, решение следует принимать, руководствуясь правилом:

**Правило X.**

**СРВНИТЬ СУММАРНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОЖИДАНИЯ ПОТЕРЬ И ВЫИГРЫШЕЙ, И СДЕЛАТЬ ВЫБОР В ПОЛЬЗУ ТОЙ АЛЬТЕРНАТИВЫ, ДЛЯ КОТОРОЙ ЭТА СУММА БОЛЬШЕ.**

Но всегда ли можно использовать это правило? А если эта сумма велика?

Примеры с гибелью спасателей и спецтехники, когда ущерб спасателей является фатальным.

**Ограничения на использование этого правила:**

- Вероятности должны быть хорошо известны ( д. б. достаточная статистика, пригодная для использования)
- Решения этого типа должны приниматься в массовом порядке (часто повторяться)
- Ни одно из принимаемых решений не должно быть фатальным для ЛПР.

Классическим примером того, когда это правило применимо, может служить ситуация, когда МЧС разрабатывает инструкцию.

9. Каков же **наиболее общий алгоритм** разработки управляющих решений в условиях риска?

Его можно сформулировать так:

**Правило XX.**

**НУЖНО ВЫБРАТЬ ПОДХОДЯЩУЮ МЕРУ РИСКА, ОЦЕНИТЬ РИСКИ И РАЗРАБОТКУ РЕШЕНИЙ ОРГАНИЗОВАТЬ КАК ПРОЦЕДУРУ ПОЭТАПНОГО СНЯТИЯ РИСКОВ.**

При этом возникает уместный вопрос:

А каковы наиболее типичные источники ошибок при неправильной оценке рисков?

Этих источников четыре:

- Неправильная оценка внешней среды (пример с устаревшим планом АЗС)
- Неправильная оценка внутр среды организации( пример с изменением кадрового состава подразделения)
- Использование неточных статистич моделей поведения людей (пример с руководителем авторитарного типа)
- Неадекватный стиль управления. Шкала «Неорганизованность – заорганизованность».(пример из романа «Война и мир» о подготовке объединенными армиями сражения с Наполеоном под Аустерлицем)

Однако бывают ситуации, когда первые два источника ошибок несут такую неопределенность и угрозу, что с этим ничего невозможно сделать.

Допустим, внешняя среда несет в себе максимальную угрозу, и направление удара этой угрозы невозможно определить. (пример с волками на поляне).

В этом случае надо использовать стратегию круговой обороны.

**Правило XXX.**

**В УСЛОВИЯХ МАКСИМАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И УГРОЗ СО СТОРОНЫ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ РЕСУРС ОБОРОНЫ НЕОБХОДИМО РАСПРЕДЕЛЯТЬ РАВНОМЕРНО ПО ВСЕМ НАПРАВЛЕНИЯМ.**

Но чаще всего все-таки существует кое-какая информация, снимающая неопределенность направления главного удара внешней среды. В таких случаях стратегия круговой обороны неэффективна. Поэтому указанную стратегию я называю «стратегией посредственности». Когда руководитель посредственен, то он не знает, откуда ждать главного удара внешней среды, и в любой ситуации распределяет ресурс равномерно по всем направлениям.

Надо сказать, что он поступает верно, ибо если он неправильно спрогнозирует направление главного удара, то будет еще хуже.

**Главный источник рисков в ЧС - человеческий фактор.** ( Пример с астероидом: казалось бы, отлюдей ничего не зависит...)).

Далее рассмотрим случай, когда в условиях риска руководитель почти ничего не знает и о своей команде. (Пример с бойцами из разных частей, выходящими из окружения). Здесь в полной мере работают второй и третий источники неправильных оценок. Как поведут себя неизвестные люди в экстремальной ситуации?

В подобных случаях руководитель должен исходить из предположений, что:

- Члены команды самоотверженны
- Им можно доверять
- Они будут рассчитывать на соблюдения принципа справедливого вознаграждения.

Эти качества выработались у большинства людей в процессе эволюции, за многовековую историю выживания в экстремальных ситуациях. Конечно, принимая эти предположения, руководитель сильно рискует. Но когда он не принимает этих предположений, он рискует еще больше.

**Лидер: тот, кто умеет прогнозировать и берет на себя риски!!!**

**Важно: РЕШЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ЧС НЕ РАЗРАБАТЫВАЮТСЯ! Должны быть заранее разработанные сценарии. Надо только собрать информацию, чтобы оценить обстановку и определить, по какому сценарию работать.**

## «РИСКИ И ИСТОЧНИКИ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О НИХ ДЛЯ АНАЛИЗА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ»

Итак, понятие риска разные источники трактуют по-разному.

Существуют различные меры риска.

Но все согласны, что понятие риска должно включать в себя:

- а) вполне реальную опасность, угрозу потерь при некоторых исходах;
- б) неопределенность, случайность, наличие многих исходов.

**Значит, мерой риска может выступать матожидание потерь.**

### А КАКИЕ МЕРЫ РИСКА СУЩЕСТВУЮТ ИМЕННО ДЛЯ ЧС?

Их много. Но два основных определения следующие.

**Индивидуальный риск (ИР)  $ИР = \frac{\text{Число\_пострадавших}}{\text{Число\_рисковавших}}$**

Это частота поражения отдельных индивидуумов.

### Социальный риск (СР) определяется через F/N диаграмму, или кривую Фармера.

По оси абсцисс – число людей, по оси ординат – вероятность этому числу пострадать от данной опасности. **F/N диаграмма** – монотонно и быстро убывающая функция.

Для составления нормативных документов, планов профилактических мероприятий, и т.д. необходимо иметь информацию об этих рисках. Для этого прежде всего нужно оценить условные вероятности. Откуда эту информацию взять?

Источников такой информации всего три.

1. Накопленная статистика ЧС.
2. Опрос экспертов
3. Моделирование процессов.

Недостатки 1-го источника: статистики мало. Данные неполны и искажены. Об условных вероятностях говорить вообще трудно.

Недостатки 2-го источника: субъективизм. Большая дисперсия оценок.

Поэтому в современных условиях основным становится 3-й источник.

### **ИМЕННО НА НЁМ ОСТАНОВИМСЯ ПОДРОБНЕЕ.**

Моделировать процесс развития ЧС можно **только как процесс в системе.**

Иначе мы не сможем получить верный прогноз, так как не учтем каких то важных взаимодействий между частями системы.

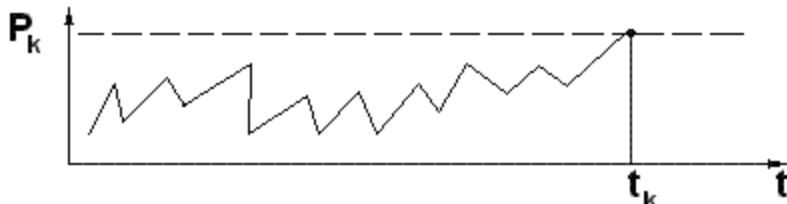


РИС 2.1. Наиболее общее представление кризиса в системе.

**Антисинергизм:** негативные процессы усиливают друг друга. Кризисные явления могут лавинообразно нарастать. ( В медицине это называется потенцированием. Пример с «ершом»: водка+пиво )

**Динамическая система** – модель объекта, относительно изолированного, то есть, изолированного настолько, что всеми внешними воздействиями, кроме избранных, можно

пренебречь. При этом задано описание состояний системы и законы, по которым система переходит в новые состояния и реагирует на внешние воздействия.

Наиболее часто встречающаяся разновидность динамической системы – конечный автомат.

Он удобен для моделирования на ЭВМ. (Кстати, и любая ЭВМ является конечным автоматом.)

**Конечный автомат** - это система, которая реагирует на некий конечный набор символов, после чего переходит в некие новые состояния(их число тоже конечно) и в качестве выходного сигнала спускает некие определённые выходные символы(конечное число).

Автомат может быть **детерминированным** или **вероятностным**.

**Детерминированный** автомат в ответ на конкретный входной сигнал принимает вполне определённое состояние и испускает вполне определённый выходной сигнал (например, автомат для продажи кофе).

Если автомат на определённый сигнал может прореагировать разными способами, но с какой-то вероятностью, то такой автомат называется **вероятностным**.

Можно задавать вероятности перехода в определённые состояния, а ответы соответствующего состояния считать детерминированным, такая упрощённая модель вероятностного автомата чаще всего оказывается вполне достаточной.

Очень важный вопрос: **КАК МОДЕЛИРОВАТЬ КОНЕЧНЫЙ АВТОМАТ НА ЭВМ?**

Оказывается, давным-давно это было сделано, еще в языке Фортран. Это средство программирования, называемое **процедура**. В разных языках она называется по-разному, но смысл один. Оно есть во всех языках программирования.

$SUBROUTINE(X_1, X_2, \dots, X_n, Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$ .

**Как с помощью ЭВМ моделировать случайные процессы?**

Это тоже было сделано еще в Фортране. Генератор случайных чисел генерирует равномерно распределенную случайную величину, которую можно преобразовать в случайную величину, распределенную по любому наперед заданному закону.

**Как с помощью ЭВМ программировать очень сложное поведение?**

Это делается с помощью ООП. Модулями в ООП являются **объекты** и **методы**. Новые классы наследуют уже имеющиеся методы. **Процесс обращения к процедурам спрятан внутри языка**.

Впервые ОПП появилось в SMALL-TALK, потом перекочевало в Паскаль и С++, потом в язык Java. Объекты в ООП могут описывать:

станок с ЧПУ, беспилотный самолет, система обеспечения управления технологическими процессами, конвейер на производстве, рисунок в анимации, таблица, документ, видеоролик, робот, человек, животное, растение и т.д.

Каждый объект обладает определенными характеристиками: рост, вес, максимальная скорость, фамилия, возраст и т.д.

Объект может производить какие-то действия: перемещаться в пространстве, копать, есть, пить, рождаться и умирать и т.д., изменять свои первоначальные характеристики. Объект удобно представить в виде программного модуля: его характеристики будут постоянными или переменными, а действия будут описываться процедурами. Оказалось, удобно разбить программу на модули так, чтобы она превратилась в совокупность взаимодействующих объектов. Вот так и возникло объектно-ориентированное программирование.

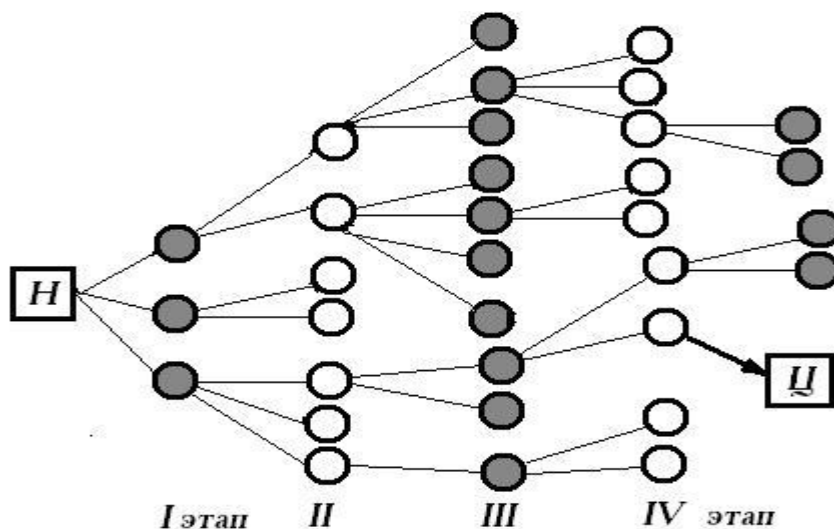


Рис 2.2. Дерево решений как схема сложного поведения. Прохождение дерева решений моделируется вероятностным автоматом.



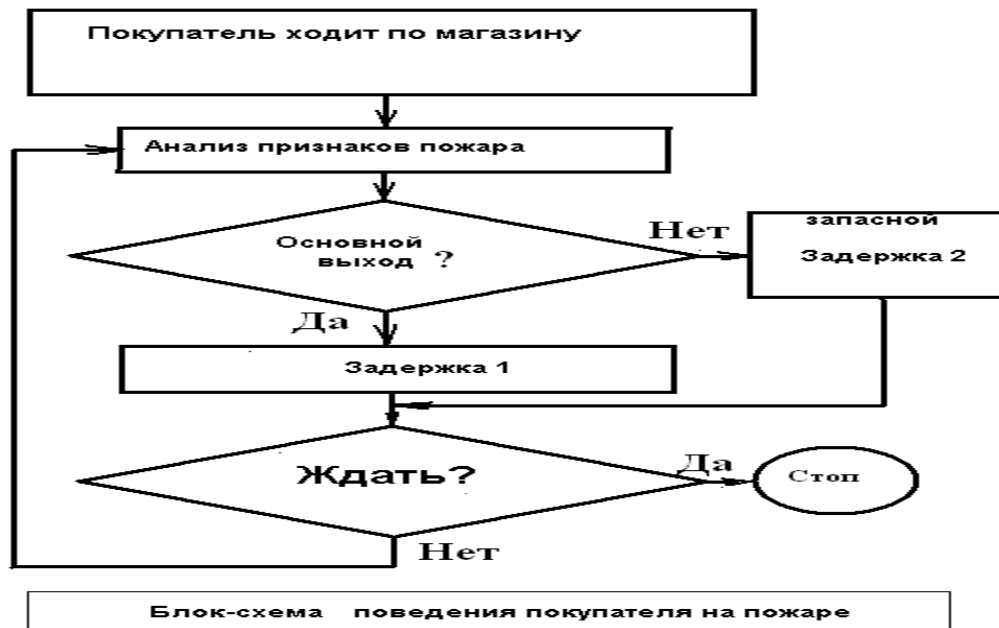


РИС 2.3. Моделирование сложного поведения агента-покупателя блок-схемой алгоритма. Обратите внимание, что агент может «заикнуться».

### «РАЗЛИЧНЫЕ ПОДХОДЫ В ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЧС»

рассмотрим, как введенные ранее понятия помогают реализовать имитационное моделирование ЧС.

Но сначала рассмотрим, какие основные подходы существуют в имитационном моделировании вообще.

#### Этапы развития имитационного моделирования и обзор методов.

**1-й этап. Системная динамика (СД)** – это 50-е гг. XX в.;

До 1956 года цифровые вычислительные машины были недостаточно развиты, исследователи наряду с ними использовали и аналоговые устройства. Брели какие то физические процессы, которые подчиняются определенным дифференциальным уравнениям (ДУ), и с их помощью моделировали другие процессы, которые подчиняются таким же ДУ. Потом измеряли зависимость напряжения или силу тока в определенных частях модели, и получали информацию о поведении моделируемой системы в интересующей ситуации. Это называлось аналоговым моделированием. Затем этот подход усовершенствовали: стали решать ДУ численно, с помощью цифровых ЭВМ. Затем стали задавать динамические системы алгоритмически, с использованием операторов условного перехода.

Всё это были модели в виде детерминированных конечных автоматов.

Случайное поведение моделировалось только для очень больших систем, когда благодаря закону больших чисел оно выступало как регулярное, и дискретностью можно было пренебречь.

#### Основная концепция СД:

Процессы реального мира представляются накопителями (stocks) и потоками между этими накопителями (flows). Процессами накопления управляют правила, называемые «политиками».

**2-й этап. Дискретно-событийное моделирование (ДСМ)** – 60-е гг. XX в

Дальнейшее развитие ДСМ связано с введением представления о заявках. Модель представляет собой заявки (транзакты, entities), которые бродят по сети и подвергается различным способам обработки. Как проситель с заявлением бродит по кабинетам. (схема – план эвакуации). Заявки – пассивные объекты, как детали на конвейере. В сети есть ресурсы и управляется движение по сети с помощью потоковых диаграмм (flowcharts). Этот этап связан с интенсификацией использования генератора случайных чисел в вычислительных машинах. С помощью генератора случайных чисел стало возможно моделировать

наступление случайных событий, таких как возникновение неисправности, кораблекрушения, приход числа вызовов на телефонную станцию, наступление определенного числа ДТП.

### **Основная концепция ДСМ:**

**Транзакты путешествуют через flowchart, стоя в очередях, обрабатываясь, захватывая и освобождая ресурсы, разделяясь, соединяясь и т.д.**

### **3-й этап. Агентное моделирование (АМ) – 90-е гг. XXв. !!!**

Агентное моделирование вводит понятие агента. **Агент** – это такой цельный объект, который обладает **изменчивостью, инициативой и обучаемостью (в отличие от транзакта он – активен!)**. Поэтому агент похож на животное, человека, стадо животных или организацию людей. Агент наделяется правилами взаимодействия с другими объектами и внешней средой.

Агентное моделирование ЧС существенно опирается на понятие **конечного вероятностного автомата**. У детерминированного автомата не может быть инициативы.

**Инициатива** моделируется с помощью генератора случайных чисел.

**Обучаемость** агента означает, что агент меняет вероятности реагирования под давлением опыта, накопленного во взаимодействии с другими агентами или внешней средой.

Стандартом **UML (Unified Modelling Language)** определяется, что состояния агента должны задаваться картой состояний (**statechart**). Карта состояний представляет собой оргграф. Она указывает последовательность условных переходов агента из одного состояния в другое.

Агентное моделирование весьма трудно было реализовывать когда не было **объектно-ориентированного моделирования (ООМ)**. ООМ появилось и стало доступным более и менее широкому кругу пользователей только в середине 80-х годов.

Объект-робот, человек, животное, растение, станок с ЧПУ, беспилотный самолет, система обеспечения управления технологическими процессами, конвейер на производстве и т.д.

Каждый объект может обладает определенными характеристиками: рост, вес, максимальная скорость, фамилия, возраст и т.д.

Объект может производить какие-то действия: перемещаться в пространстве, копать, есть, пить, рождаться и умирать и т.д. Изменять свои первоначальные характеристики. Объект удобно представить в виде модуля его характеристики будут постоянными или переменными, а действия будут описываться процедурами. Оказалось удобно разбить программу на модули так чтобы она превратилась в совокупность взаимодействующих объектов. Вот так и возникло объектно-ориентирование программирование.

Например, агентное моделирование позволяет естественным способом моделировать естественный отбор. Для этого задается первоначальное множество агентов, которое обладает дисперсией (разбросом параметров в котором выживают только те автоматы, у которых набор параметров оказался наиболее удачным для выживания и они получают возможность передавать свои свойства следующим поколениям автоматов.

С точки зрения ООП – агент – частный случай объекта.

Поскольку сложные агентные модели стало возможным создавать только во второй половине 90-х годов XX века, поэтому с помощью агентного моделирования пока еще решено очень мало практических задач, и те исследователи, которые его используют, почти автоматически получают результаты, обладающие мировой научной новизной.

### **Основная концепция АМ:**

**Разнообразные агенты взаимодействуют между собой и со внешней средой, проявляя инициативу, обучаемость, изменчивость.**

### **Уровни абстракции в моделях**

Модели реальных систем отличаются по уровню абстракции. На самом детальном уровне находится так называемое физическое моделирование где рассматриваются конкретные материальные объекты с их точными размерами, скоростями, ускорениями и временами.

Таким образом внизу нашей шкалы рассмотрены модели систем управления, мехатронные системы, уличное и пешеходное движение. Мехатроника – сочетание механики и электроники, материальная основа робототехники. Робототехника широко применяется для ликвидации последствий ЧС.

Модели производств с конвейерами расположены выше, поскольку здесь есть возможность абстрагироваться от физических траекторий и времен и использовать их усредненное значение или стохастические модели. Это же относится к моделям складской логистики с автопогрузчиками, стеллажами и т.д.

Уровень систем обслуживания еще выше, они оперируют обычно лишь с временами и расписаниями, хотя физическое перемещение иногда принимается в расчет.

Например, в здравоохранении при моделировании больницы в основном важны количество и график работы персонала, оборудования, поток пациентов и логика работы с ними, в то время как в отделах скорой помощи могут быть учтены конфигурации зданий, длины коридоров и т.д.

**Чем выше уровень абстракции моделей, тем проще моделировать систему с помощью имитационного моделирования.**

**Динамические системы** работают на высоком уровне абстракции. Предполагается, что людей или заявок в потоках настолько много, что они описываются непрерывными функциями.

Схематично любую динамику можно представить как накопители неких количеств (емкостей, агрегаты) и потоки между этими накопителями, и правила управления потоками, обратные связи.

**Дискретно – событийное моделирование** работает на среднем уровне абстракции, потому что оно может описывать отдельные события.

Дискретно-событийное моделирование задается потоковыми диаграммами, также заявками и каналами ресурсов, упрощенно говоря, что ДС моделирование моделирует все, что можно представить как работу сложного конвейера, когда несколько линейных конвейеров обслуживает большой конвейер, поставляя на него ресурсы в виде деталей и моделируя процессы изменения заявок как изменения обрабатываемых узлов.

**Агентное моделирование** может применяться на любом уровне абстракции в любых масштабах.

Агенты могут представлять собой пешеходов, автомобилей, роботов, клиентов или продавцов, конкурирующие компании, отдельных животных или стада животных и т.д.

### Основные подходы и алгоритмы для моделирования ЧС

#### 1. Использование системной динамики(СД) для моделирования ЧС.

В этом случае мы моделируем исследуемый объект как динамическую систему.

Это можно сделать различными способами: системой ОДУ, УЧП, интегральными уравнениями, с помощью дерева отказов, непосредственно в виде алгоритма конечного автомата.

- А. А.1.Задаем модель объекта в виде динамической системы, а именно конечного автомата.
- А.2.Вводим случайные воздействия.
- А.3. Смотрим, **когда и как часто** параметры системы выходят на критические значения.
- А.4.Как сильно это зависит от уровня случайных воздействий?
- А.5.Как это зависит от процессов старения?
- А.6.Когда и какие негативные процессы усиливают друг друга?

(Вспомним про **антисинергизм**.)

- Б. Б1.Задаем модель в виде дерева отказов.
- Б2.Генерируем случайные события, приводящие к отказам.
- Б3.Находим вероятности отказов.
- Б4.Внешние воздействия в свою очередь тоже могут быть результатом моделирования каких-то динамических систем.

**Наибольший интерес представляет восстановление вероятностей случайных событий, приводящих к известным вероятностям конечных отказов.** Это возможно, когда события составляют полные группы событий.

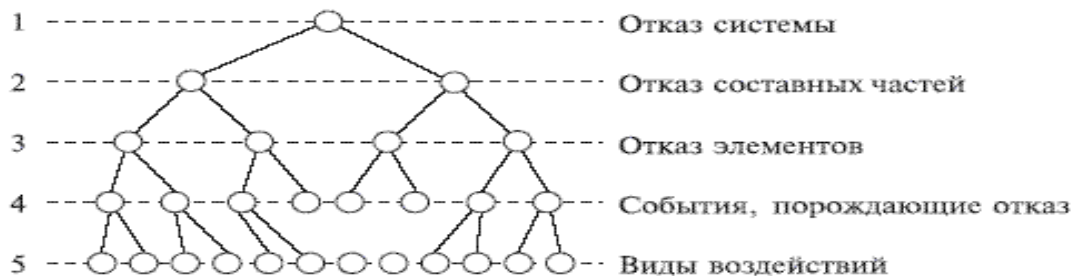


РИС 3.1 Дерево отказов в общем виде.

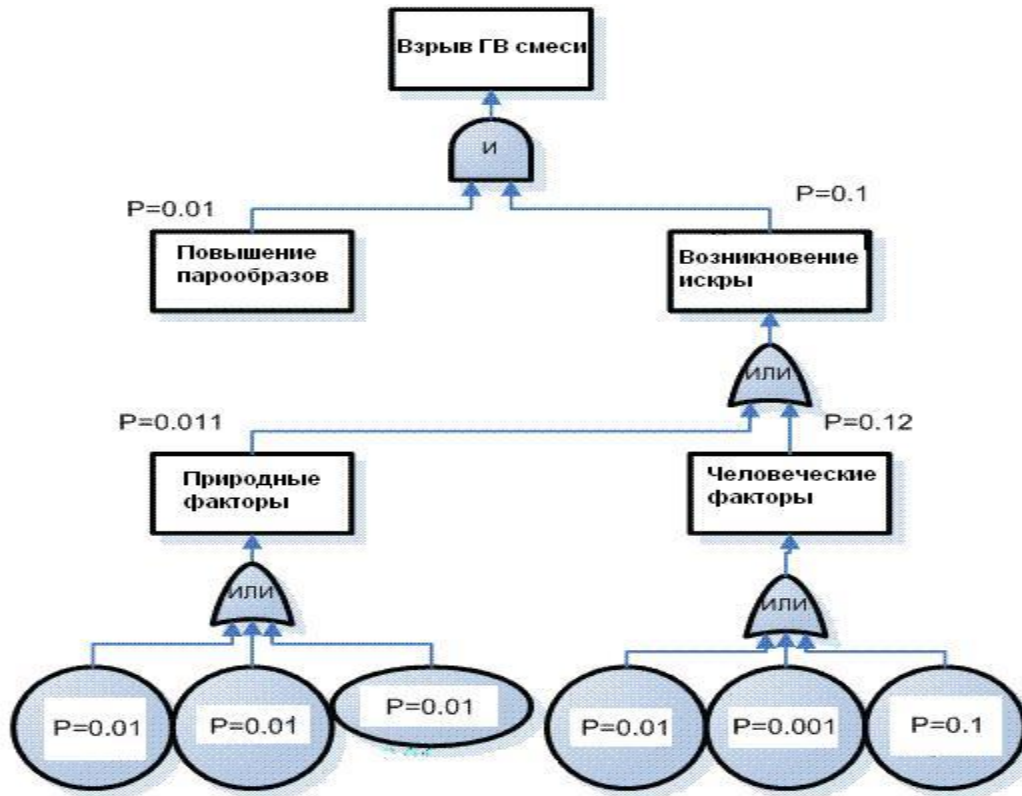


РИС3.2 Дерево отказов для взрыва паровоздушной смеси

## 2. Использование дискретно-событийного моделирования (ДСМ) для ЧС.

Считаем, что чрезвычайная ситуация представляется как некий конвейер с меняющимися параметрами обработки.

Люди представляются как заявки, которые этому конвейеру предлагается обработать. Каждая обработка сопровождается определенной задержкой Пострадавшие и не пострадавшие – это типы различно обработанных заявок.

Согласовано:  
Начальник государственного учреждения №10 города  
противопожарной службы РО Иванова А.Ю.

Утверждено:  
Главный врач МУЗ ДП № 2  
Иванова Т.Е.

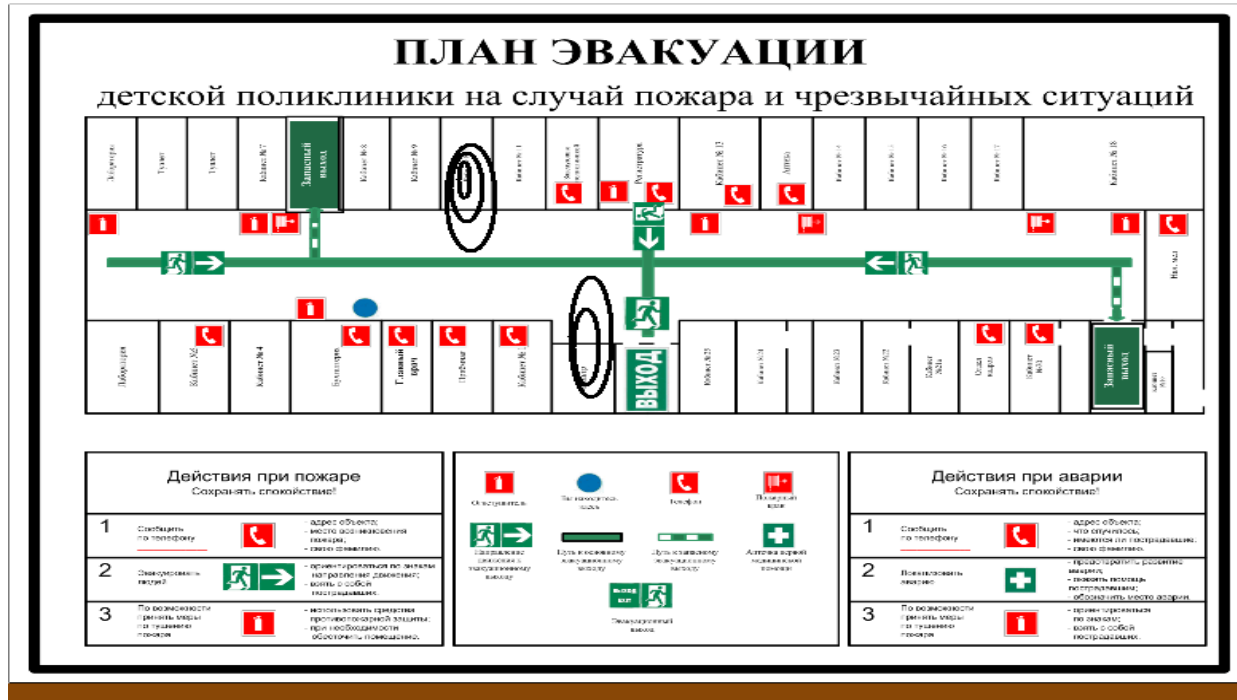


РИС 3.3. План эвакуации можно представить и как конвейер, и как среду для взаимодействия агентов. Черные эллипсы – линии уровня интенсивности поражающих факторов при пожаре.

Классический заводской конвейер в штатном режиме представляется детерминированным автоматом. В отличие от этого, «конвейер ЧС» следует представлять вероятностным автоматом.

### **3. Применение агентного моделирования ЧС.**

#### **А. Моделирование поведения людей на пожаре.**

А1. Люди на пожаре – агенты. Задаются классами.

А2. Вводятся отличия в подвижности, прыгучести, размерах, устойчивости к поражающим факторам, обученности и т.д.

А3. Пожар задается линиями уровня поражающих факторов: температурой и загазованностью, которые меняются со временем. Люди стремятся уйти в сторону противоположную градиенту поражающего фактора.

А4. «Прогоняем» модель несколько раз, находим среднее число пострадавших для данного набора параметров.

#### **Б. Моделирование социальных конфликтов или беспорядков, спровоцированных терактами.**

Как можно использовать агентов для моделирования конфликтов:

Б1. Берем какую-либо модель личности, весьма упрощенную, но допускающую моделирование конфликта, на её основе строим класса агентов.

Б2. Вводим параметры, влияющие на вероятности конфликтов.

Б3. Запускаем «жизнь» сообщества агентов. Смотрим, до чего они «дожили».

Б4. Снимаем статистику с модели.

Б5. Сравниваем с реальностью, уточняем модель.

Б6. Проверяем другие модели личностей и конфликтов.