



**Уральский  
федеральный  
университет**

имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина

**Институт Строительства  
и Архитектуры**

**ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
«ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ ИНЖЕНЕРИИ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ  
СТРОИТЕЛЬСТВА» РОМТПЭСИ-2026**

*30 мая 2026 г., Екатеринбург*



# **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РИСК- ОРИЕНТИРОВАННОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ, ДИАГНОСТИКЕ, ЭКСПЛУАТАЦИИ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР И БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА**

**С.А. Тимашев**

[timashevs@gmail.com](mailto:timashevs@gmail.com)

НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, Екатеринбург, Россия  
УрФУ, Екатеринбург, Россия

Если думаешь, что риск—фальшивка,  
Липа, ложь или обман—  
Он придет к тебе внезапно  
И ограбит твой карман...

Иль посадит вас в зиндан...

Иль оденет вас в саван.

С.Тимашев

(Вольный перевод с английского:

«If you think that risk is phoney, it will come and take your money.»)

- **Современное общество риска**
- **Основы инфранетики – зонтичной науки о второй, искусственной природе.**
- **Современные аспекты рискологии.**
- **Жизненный цикл инфраструктур и их систем.**
- **Социальные ущербы жизненного цикла инфраструктур.**
- **Критерии управления региональным риском социотехнических инфраструктур (СОПЖ, ИКЖ, *углеродный след*).**
- **Живучесть социотехнических инфраструктур.**
- **Объяснимый искусственный интеллект как инструмент оптимизации жизненного цикла инфраструктур.**
- **Коллективное управление (говернанс) региональными инфраструктурами.**
- **Что дальше?**

## СОВРЕМЕННОЕ ОБЩЕСТВО РИСКА

Инфранетика\_\_Безопасность.тр4

## **Основные задачи страны, поставленные Президентом России:**

- **Сохранение народа России, рост СОПЖ до уровня стран с наибольшим долголетием;**
- **Устойчивый роста благосостояния ее граждан, ускоренный рост среднего класса, ликвидация бедности как таковой;**
- **Превращение РФ в богатую, по мировым стандартам, страну ;**
- **Долг академической и прикладной науки-- создавать эффективные инструменты и искать неиспользованные резервы для достижения этих целей.**

**Стратегия национальной безопасности Российской Федерации (указ Президента РФ от 02.07.2021 г. № 400) – основополагающий документ, который отражает систему взглядов на обеспечение в Российской Федерации безопасности личности, общества и государства от внешних и внутренних угроз во всех сферах жизнедеятельности:**

- **военной, международной, пограничной;**
- ***экономической, энергетической, экологической;***
- ***демографической, этнической, религиозной;***
- **идеологической/информационной, психологической, интеллектуальной;**
- ***социальной, продовольственной, внутривнутриполитической.***

## Стоимость среднестатистической жизни (ССЖ) одного гражданина России (оценка ЦЭМИ РАН, 2021 год)

Использовано четыре метода:

- на основе среднегодового денежного дохода за период ожидаемой продолжительности жизни --16,5 млн руб,
- на основе подушевого ВВП по отношению к годовой процентной ставке Центробанка --22,3 млн рублей,
- на основе подушевого ВВП с учётом разницы между ожидаемой продолжительностью жизни (СОПЖ) и средним возрастом в стране [произведение подушевого ВВП на разницу между СОПЖ (73 года) и средним возрастом в стране (40,4 года)] ---30,2 млн руб.,
- *с учётом государственных затрат на поддержание жизнедеятельности человека на протяжении всей жизни (от расходов на обучение до средней пенсии) по максимальной планке ---37,5 млн рублей.*
- Преждевременная смертность россиян (2019 г.) от основных заболеваний (субживучесть) и внешних причин обходится национальной экономике в 15 - 24 трлн руб./год.
- А в ценах 2026 года?

[https://www.tbank.ru/invest/social/profile/Victoria\\_Business/27ff36d3-6b01-476a-a4e0-d18c6d72fbe8/?author=profile](https://www.tbank.ru/invest/social/profile/Victoria_Business/27ff36d3-6b01-476a-a4e0-d18c6d72fbe8/?author=profile)

## **ВЕЛИЧИНА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА РОССИИ, СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ и г. ЕКАТЕРИНБУРГА**

- **В обиходе и в научной литературе часто звучит термин «человеческий капитал», который нужно сохранять и увеличивать.**
- **Важнейшей компонентой человеческого капитала является человеческая жизнь.**
- **Человеческая жизнь бесценна.**
- **Для макроэкономики нужен некоторый полезный эквивалент стоимости одной среднестатистической жизни (ССЖ).**
- **Существует множество противоречивых подходов к получению оценки ССЖ.**



## ВЕЛИЧИНА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА РОССИИ, СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ и г. ЕКАТЕРИНБУРГА (продолжение)

**Стоимость человеческого капитала (в ценах 2010 года, млрд. руб.) с учетом возраста [0-19]; [19-29]; [30-60]; [60+]:**

|                |                                                                | Россия        | Свердл. обл. | Екатеринбург |
|----------------|----------------------------------------------------------------|---------------|--------------|--------------|
|                | Всего, чел.                                                    | 146 150 789   | 4 222 695    | 1 592 493    |
| Q <sub>1</sub> | 0-19                                                           | 32 965 913    | 1 005 562    | 315 700      |
| Q <sub>2</sub> | 20-29                                                          | 14 822 131    | 413 742      | 232 500      |
| Q <sub>3</sub> | 30-59                                                          | 63 216 377    | 1 796 051    | 697 400      |
| Q <sub>4</sub> | 60+                                                            | 35 146 368    | 1 007 340    | 346 893      |
|                | Стоимость человеческого капитала (в ценах 2010 г., млрд. руб.) | 16 537 883,46 | 477 475,24   | 182 440,97   |

**Стратегическим распоряжением Правительства РФ от 20 мая 2023 г. № 1315-р «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года»), определено, что технологическое развитие Российской Федерации в среднесрочной перспективе будет находиться под воздействием, с одной стороны, ряда внешних и внутренних угроз технологического отставания и деградации российской экономики, с другой – открывающихся новых возможностей ускорения ее инновационно ориентированного роста.**

Согласно этого распоряжения, к числу основных угроз относятся:

- *недостаточная способность национальной экономики адаптироваться к глобальным трендам, имеющим системный характер, что приводит к структурным деформациям экономики и повышает социальную напряженность;*
- *отставание от наиболее развитых стран в темпах инновационно ориентированного экономического роста, что обусловлено (1) низкой мотивацией разработчиков технологических решений к созданию соответствующих производств в силу слабой защищенности технологических предпринимателей, (2) недостатком финансовых ресурсов и (3) относительно небольшой емкостью внутреннего рынка высокотехнологичной продукции;*
- *отток талантливых и высококвалифицированных кадров за рубеж, уменьшающий конкурентоспособность российской экономики и возможности научного и технологического развития страны;*
- *нарушение функционирования производственных систем (разрыв производственных цепочек) под воздействием санкционных ограничений в области технологий.*

- В распоряжении Правительства РФ № 1315-р от 20 мая 2023 г. приоритетом технологической политики обозначено достижение технологического суверенитета – наличие (под национальным контролем) полного комплекта отечественных критических технологий, обеспечивающих ускоренное устойчивое развитие страны.
- В этом распоряжении ничего не сказано об опасности отставания в области создания отечественного ГИИ не в силу какого-то недогляда, а в силу скорости разработки ГИИ за рубежом. Только за последние 12 месяцев большая олигархическая пятерка США (Open AI, Anthropic, xAI, Google, Meta) затратила на разработку этой проблемы 350 млрд. ам. долларов, что на 100 млрд. ам. долларов больше ВВП Бельгии. Ускоренно разрабатывает свою ГИИ Китай (DeerSeek).
- В РФ на переднем крае находятся ГИИ Сбер (недавно продемонстрировал свой человекоподобный робот с ГИИ) и Яндекс. Президент России В. В. Путин отмечал:
- *«Страна, которая добьется наивысших успехов в создании искусственного интеллекта, станет «властелином мира».*

# **ОСНОВЫ ИНФРАНЕТИКИ-ЗОНТИЧНОЙ НАУКИ О ВТОРОЙ ИСКУССТВЕННОЙ ПРИРОДЕ**

**Основана на МИБИКС-конвергентной технологии**

**М-технология—корневая дисциплина**

**Теория предельных состояний- универсальная парадигма  
дизайна объектов искусственной природы/строительства**

**Объяснимый искусственный интеллект-конвергирующий  
компонент**

## ИНФРАНЕТИКА И КОНВЕРГЕНТНЫЕ МИБИКС-ТЕХНОЛОГИИ — ОТВЕТ НА ВЫЗОВ

**Анализ возможных путей обеспечения устойчивого развития в условиях роста хаотизации современного мира и возникновения экзистенциальных угроз как всему человечеству (всей ноосфере), так и отдельным его когортам, показывает, что существует только один, но универсальный, *практический* подход к решению этой проблемы.**

**Действительно, существование и развитие любой муниципальной или региональной, территориальной социотехнической системы (широко понимаемая система инфраструктур жизнеобеспечения + социум, который пользуется ее услугами, обслуживает и живет в ее среде) непосредственно/однозначно зависит от цепочки решений, которые принимаются группой ЛПР на любом заданном отрезке времени, для предотвращения, отражения всех типов угроз и минимизации последствий, в случае их реализации.**

**Эта цепочка гармонизированных решений, принимаемая группой назначенных или избранных ЛПР, иначе называется *говернансом*.**

При этом, *каждая* акция в цепочке ничто иное как сознательный или бессознательный, объективный или субъективный результат решения некоторой оптимизационной / компромиссной / гармонизирующей задачи управления, обычно приемлемый для какого-то отрезка времени.

В настоящее время сформировался консенсус о том, что принятие такого рода решений ответственными лицами разного ранга должно быть риск-ориентированным.

Иначе говоря, оптимизация / рационализация функционирования системообразующих инфраструктур должна осуществляться по критерию минимизации / оптимизации / рационализации риска на всем жизненном цикле актива.

Таким образом, можно утверждать, что в современном мире любое управление, как киберфизической, так и социотехнической инфраструктурой, реализуется как управление природно-техногенным или антропогенным риском.

Несмотря на то, что риски пронизывают все мировое сообщество, глобальность этой концепции до сих пор не получила необходимого признания. Россия в этом смысле не является исключением.

*Мы, как сообщество, все еще не до конца осознали, что устойчивое технологическое развитие Российской Федерации полностью зависит от качества управления рисками на всех уровнях иерархии отечественной искусственной природы (ИП) в контексте социума, который владеет этой ИП, обслуживает ее и живет в ее среде.*

Риски международного и странового калибра успешно контролируются высшими органами власти страны. Для этого существует сеть государственных и общественных организаций, которая держит под контролем, отслеживает, анализирует эти угрозы, разрабатывает и исполняет мероприятия по их подавлению. Проводятся научные исследования, социальные и информационные мероприятия, которые в реальном масштабе времени снижают или ликвидируют эти риски.



*Для решения этих проблем необходим междисциплинарный подход, объединяющий усилия специалистов в области искусственного интеллекта, кибербезопасности, инженерии, математики, психологии и права.*

*Анализ структуры учреждений Минобрнауки, которые находятся под научно-методическим руководством РАН показывает, что вопросами безопасности критически и стратегически важных инфраструктур предметно занимается ряд институтов, имеющих отраслевую направленность или ориентированных на отдельные проблемы, что явно недостаточно для достижения целей и задач, обозначенных Концепцией технологического развития РФ в области обеспечения национальной безопасности и технологического суверенитета.*

# Теория предельных состояний «нагрузка-сопротивление»

- ❖ Возникла в теории сооружений и прочностном расчете стержней, пластин, оболочек и трехмерных тел (1940–1960 гг. XX века).
- ❖ Стала ключевым элементом теории конструкционной надежности и безопасности при расчёте сложных больших механических систем.
- ❖ Является объединяющим принципом/компонентом М-технологии зонтичной науки инфранетики

**Со временем эта концепция распространилась практически на все случаи человеческой активности, которые отражают ситуацию «спрос–предложение», как-то:**

- ✓ рыночные транзакции,**
- ✓ маркетинг,**
- ✓ управление запасами при случайном спросе,**
- ✓ и др.**

# **В задачах надежности, живучести и безопасности социо-технических инфраструктур**

- ✓ ***Спрос*** определяется множеством потребителей, которое изменяется случайным образом во времени по их числу, потребностями и географическом положению;
- ✓ ***Предложение (инфраструктуры производства и жизнеобеспечения)*** образует своё множество, которое также меняется во времени;
- ✓ Третья компонента – связи между генераторами услуги и потребителями – также меняется во времени из-за возможных разрывов цепочек снабжения, а также отказов физической сети, вызванных процессами деградации, природными явлениями и преднамеренными действиями.

**При анализе и оценке надёжности и живучести ЧФ как элемента социотехнических систем, (физиологическую, когнитивную и социальную) необходимо различать три типа реакции человека (и общества в целом) на стрессоры:**

- 1) нормальный отклик, когда человек после снятия стрессора возвращается в свое обычное состояние ( $L < R$ );**
- 2) субживучесть, когда после перегрузки, человек становится слабее физически ( в том числе из-за возникшей болезни) и проявляет пониженные когнитивные и социальные способности ( $L > R$ );**
- 3) супраживучесть, из-за того, что стрессор вызвал прилив внутренних резервов и человек стал сильнее как физически, так и в плане когнитивных и социальных способностей (например, улучшилась память, проявились свойства лидера). Это свойство отлично от спортивной подготовки, где планомерно развиваются природные способности человека ( $R_{sr} > L_{sr}$ ).**

**В задаче пропускной способности сети спрос — это потребность в услуге (например, электричестве или тепле), а предложение — это пропускная способность ЛЭП или теплонесущая способность теплосети.**

**В экономике эта концепция реализуется каждый раз при решении задачи возврата инвестиций ROI: «затраты–выгода». Здесь предельное состояние возникает, когда выгода равна затратам. Отказ финансовой системы (банкротство) возникает, когда выгода меньше затрат.**

**В экономике эта концепция реализуется каждый раз при решении задачи возврата инвестиций ROI: «затраты–выгода».**

- ✓ Здесь предельное состояние возникает, когда выгода равна затратам.**
- ✓ Отказ финансовой системы (банкротство) возникает, когда выгода меньше затрат.**

**В случае вирусной болезни, вирус — это нагрузка (спрос), реакция организма — сопротивление (предложение).**

**Отношения между членами одной семьи, между родителями, и между родителем и ребёнком можно представить в виде непрерывной цепочки событий/ситуаций типа «спрос-предложение».**

**Особенность этой задачи: спрос и предложение меняются местами.**

**Разрешение каждой отдельной ситуации может быть нейтральной, позитивной и негативной.**

**Накапливаясь во времени, они меняют в ту или иную сторону отношения в семье.**



**В растениеводстве концепция «нагрузка–сопротивление», «спрос–предложение» четко просматривается при прогнозе урожаев.**

- ✓ **Спрос здесь — это потребность растения в тепле, влаге и удобрениях.**
- ✓ **Предложение – это то, что может дать климат (солнечное сияние, облака, дожди), ирригация и удобрения, или теплица (электрические лампы, полив, подкормка).**

**В животноводстве и рыбоводстве концепция «нагрузка–сопротивление», «спрос–предложение»**

- ✓ **Спрос — это потребность животного, птицы или рыбы в пище и защите от природных катаклизмов (в том числе, глобального потепления) и болезней.**
  
- ✓ **Предложение – это то, что может дать:**
  - **Природа (собственный иммунитет, пастбища, водопой),**
  - +**
  - **Человек (корм, вода, лечение и др.).**

**В логистике** задача «спрос–предложение» трактуется как время

**Спрос — это требуемое время доставки груза, а предложение — это фактическое время исполнения заказа**

**В конфликтологии** задача сводится к оценке ситуации, когда

- ✓ одна сторона осуществляет «спрос» на все ресурсы второй стороны,
- ✓ а та пытается сохранить своё «предложение», но без применения крайних форм насилия, а
- ✓ баланс интересов находится путем переговоров

**Война – также ничто иное как обоюдоострая задача «нагрузка–сопротивление», когда**

**каждая из сторон защищает и приумножает своё «предложение (военно-политическую мощь)» и в то же время всеми имеющимися средствами уменьшает «спрос (военно-политическую мощь)» противника.**

**Иными словами, война – это когда каждая сторона максимизирует свое «предложение» и одновременно, делает всё, чтобы минимизировать «спрос» противника – максиминная/минимаксная задача.**

## ***СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ РИСКОЛОГИИ***

- Развитие современной теории риска отстает от скорости возникновения новых типов угроз. Лица, принимающие ответственные решения (ЛПОР), на корпоративном, муниципальном или региональном уровне, зачастую не имеют инструментов, позволяющих принимать всесторонне взвешенные решения.
- Ошибки в принятии решений становятся все дороже, особенно, для будущих поколений.
- Существует необходимость ускоренного развития фундаментальных, фундаментальных ориентированных и прикладных задач анализа и синтеза риска искусственной природы.
- Существующая структура РАН, построенная, в основном, на давно устоявшейся классификации естественных и гуманитарных наук, плохо приспособлена для исследования таких, изначально транс- и междисциплинарных, задач.

- *Рискология* (как наука, исследующая природу, структуру и последствия риска, создает методы и средства идентификации, классификации, анализа и оценки его источников и факторов; формирует принципы классификации и оценки социальной приемлемости различных видов рисков, а также подходы к прогнозированию динамики и управлению рисками) в целом *играет ключевую роль в современном обществе, поскольку помогает системно анализировать, прогнозировать и минимизировать угрозы в условиях неопределенности.*
- В мире, где технологии, климат и геополитика стремительно меняются, *способность правильно (и быстро) оценивать риски становится основой устойчивого развития.*
- Рискология предоставляет инструменты для принятия обоснованных решений. Без нее общество рискует действовать вслепую, увеличивая уязвимость перед кризисами.
- Рискология не просто констатирует опасности, но и исследует их взаимосвязи, например, *как социальное неравенство усиливает политические риски или как искусственный интеллект создает новые этические дилеммы.*
- *Рискология становится неотъемлемой частью стратегического мышления, позволяя обществу адаптироваться к непредсказуемым переменам.*

Ни одна из действительно больших задач, стоящих перед страной, не может быть решена в рамках какой-либо одной науки, но, поскольку в каждой из наук сложился свой понятийный аппарат, не понятный другим специалистам, даже собравшись вместе, учёные не смогут сложить единую картину мира.

.

*Надежность, безопасность и управление рисками больших систем требуют междисциплинарного подхода, сочетающего математическое моделирование, инженерные методы и современные технологии (ИИ, Big Data, Интернет вещей (IoT)). Решение этих задач критически важно для устойчивого функционирования сложных инфраструктурных объектов.*



Все ускоряющаяся динамика мирового технологического прогресса увеличивает энтропию хаоса. Необходимо построить научно обоснованную систему говернанса глобальной искусственной природой, начиная с региональной и страновой.

*Такой системой является зонтичная наука инфранетика, основанная на междисциплинарных МИБИКС-технологиях и использующая риск-ориентированный подход в комбинации с объяснимым искусственным интеллектом.*

*Автоматизация и роботизация, хотя и повышают эффективность многих процессов, одновременно увеличивают сложность систем, что делает их более уязвимыми к сбоям. Каскадные эффекты, при которых ошибка в одной части системы приводит к цепочке сбоев, становятся все более распространенными.*

*Особенно опасны такие сбои в критически важных инфраструктурах, таких как энергетические, коммуникационные сети или транспортные системы.*

*Кроме того, даже в полностью автоматизированных системах остается место для человеческого фактора, связанного с проектированием, внедрением или обслуживанием социотехнических инфраструктур.*

Киберугрозы в отношении автоматизированных систем представляют серьезную опасность, поскольку их реализация может вызвать масштабные последствия.

## **Живучесть взаимозависимых инфраструктур – ключ к созданию безопасного умного региона**



**Искусственный интеллект как  
конвергирующий компонент  
МИБИКС технологий**



Уровень внимания к природно-техногенным, антропо-техногенным, и злонамеренным угрозам – рискам, характерных для региональных, муниципальных, а также отраслевых/корпоративных систем взаимозависимых критичных и стратегически важных инфраструктур, зачастую ниже уровня их важности. Практика эксплуатации таких систем показывает, что существуют белые пятна в знаниях о рисках их жизненного цикла: способах их описания, изучения, и минимизации. Кроме того:

✓ Неконтролируемое, квантовое развитие и применение ГИИ, вызвало появление совершенно нового типа рисков, связанных с так называемыми галлюцинациями ИИ, когда ИИ неправильно или ошибочно выполняет задаваемые ему промпты, придумывает несуществующие факты, публикации и др. Разработка методов выявления таких галлюцинаций, и ликвидации их последствий является первоочередной задачей, без решения которой невозможно использовать ГИИ в инженерии, везде, где требуется точная оценка количественных параметров эксплуатируемой системы.

✓ *В настоящее время эта проблема вообще не стоит на повестке дня.*

- ✓ Практика подрыва работы фильтров генеративный искусственного интеллекта с помощью вредоносных команд–подсказок, известна как *джейлбрейкинг (jailbreaking)* для злонамеренного, нелегального использования мощного ГИИ с целью нанесения громадного комплексного ущерба. Перед выпуском модели ИИ, её разработчики обычно нанимают независимых экспертов по джейлбрейку, чтобы проверить ограничения фильтров и найти способы обойти их. Те же вредоносные подсказки, которые используются для джейлбрейка чат-ботов, вскоре могут быть использованы для джейлбрейка агентов ИИ, что приведет к непреднамеренному поведению в реальном мире.
- ✓ Поведение *умных систем* в нестандартных ситуациях часто остается непредсказуемым, что создает угрозы для их безопасного функционирования и развития. Кроме того, качество данных, на которых обучаются такие системы, играет ключевую роль в их функционировании. Ошибки или преднамеренное искажение данных могут привести к серьезным последствиям.
- ✓ Этические и правовые аспекты использования ГИИ также требуют глубокого изучения и разработки новых стандартов, которые обеспечат безопасность и минимизируют риски.

# **СМЕНА ПАРАДИГМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРАКТИКИ В ГРАЖДАНСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

## **Объяснимый искусственный интеллект как инструмент оптимизации жизненного цикла инфраструктур.**

**Традиционное гражданское строительство переживает глубокую трансформацию парадигмы, движимую конвергентными технологиями, ядром которых является искусственный интеллект (ИИ).**

**Гражданское строительство — основная дисциплина, поддерживающая развитие инфраструктуры, всегда тесно связано с технологическими итерациями.**

**Традиционная парадигма гражданского строительства основана на физическом моделировании, эмпирических формулах и использовании единичных инструментов.**

**Её ограничения: длительные вычисления, сложности решения нелинейных задач и слабые возможности анализа многофакторных связей при проектировании, анализе и эксплуатации на протяжении всего жизненного цикла больших инфраструктурных систем.**

**В последние годы технологии искусственного интеллекта (ИИ) с их мощными возможностями интеллектуального анализа данных и нелинейной аппроксимации стали ключевым драйвером для преодоления традиционных узких мест, а конвергенция технологий стала основным путем инновационного развития в гражданском строительстве:**

**интеграция ИИ с физическими моделями решает проблему недостаточной интерпретируемости «черного ящика» моделей,**

**интеграция ИИ с профессиональными инструментами преодолевает барьеры данных в сквозных инженерных процессах, а**

**междисциплинарная технологическая интеграция переопределяет границы исследований и применения в гражданском строительстве.**

**Глубокая интеграция ИИ и физических моделей: синергия механизмов для преодоления ограничений традиционного моделирования**

**Основой интеграции ИИ и физических моделей является синергетическая модель**

**«управляемые данные + физические ограничения»,**

**которая использует способность ИИ аппроксимировать сложные нелинейные зависимости, опираясь при этом на физические модели для обеспечения научной обоснованности и интерпретируемости результатов, формируя гибридную парадигму моделирования «белый ящик + серый ящик», сосредоточенную в основном на трех областях применения.**

***Физически информированные нейронные сети (PINN) расширяют возможности механического моделирования, решая проблемы нехватки данных и обобщаемости.***

**Чисто управляемые данными модели ИИ зависят от больших объемов высококачественных данных и склонны к нарушению физических законов.**

**PINN, внедряя физические ограничения, такие как уравнения механики, законы термодинамики, в функцию потерь нейронной сети, реализуют двойной драйвер «данные + механизмы», становясь ключевой технологией для механического моделирования в гражданском строительстве.**

**В области строительных конструкций модель PINN предоставляет эффективный инструмент для проектирования большепролетных конструкций.**



***Гибридное решение методом конечных элементов (МКЭ) и ИИ: повышение эффективности и точности расчетов сложных конструкций.***

**Метод конечных элементов (МКЭ) является основным инструментом анализа конструкций в гражданском строительстве, однако при работе со сложными граничными условиями и связанными многополевыми задачами он сталкивается с ограничениями, такими как сложность построения сетки и длительное время вычислений. Интеграция ИИ и МКЭ формирует гибридную парадигму**

**«обучение на МКЭ + прогноз ИИ»,**

**значительно повышающую вычислительную эффективность.  $10^5$  раз по сравнению с традиционным МКЭ, одновременно достигнув снижения веса бетонной конструкции на 46%.**

### ***Ценность интеграционных инноваций.***

**Интеграция ИИ и физических моделей предлагает новый путь для прогнозирования на протяжении всего жизненного цикла**

**Конструкции Интеграция ИИ и физических моделей преодолевает двойные ограничения традиционных физических моделей**

**(«сложность решения нелинейных задач, низкая вычислительная эффективность»)**

**и чистых моделей ИИ**

**(«плохая интерпретируемость, слабая обобщающая способность»),**

**формируя парадигму «серого ящика» с «физическими ограничениями + управлением данными»,**

**предоставляя эффективные и точные решения сложных проблем в таких областях, как геотехника, конструкции и защита от стихийных бедствий (снижение риска бедствий).**

**Синергетическая интеграция ИИ и профессиональных инструментов гражданского строительства: сквозное повышение эффективности проектов**

**Профессиональные инструменты гражданского строительства  
(BIM, ПО для МКЭ, инструменты мониторинга и др.)**

**являются основными носителями для проектирования, строительства и эксплуатации.**

**Интеграция ИИ с профессиональными инструментами фокусируется на «преодолении разрозненности данных, оптимизации процессов, интеллектуальном принятии решений»,**

**продвигая переход инструментов от**

**«вспомогательных операций» к**

**«интеллектуальному расширению возможностей»,**

**охватывая в основном инновации интеграции трех категорий инструментов.**

## ***Расширение возможностей инструментов BIM с помощью ИИ: сквозная оптимизация и повышение эффективности взаимодействия***

Технология BIM является ключевой основой цифровизации гражданского строительства, однако традиционный BIM сталкивается с проблемами, такими как высокая частота ложных срабатываний при проверке коллизий, низкая эффективность моделирования и недостаточное использование данных.

Внедрение технологий ИИ реализует интеллектуальную модернизацию всего процесса BIM. В области оптимизации проверки коллизий модель фильтрации корреляции коллизий BIM на основе машинного обучения, обучая классификационную модель на извлеченных метаданных модели (тип элемента, пространственное положение, свойства материала), автоматически отфильтровывает реальные коллизии и ложные срабатывания, решая проблему частоты ложных срабатываний до 60% в традиционных инструментах, таких как Navisworks.

Точность классификации корреляции коллизий этой моделью имеет высокую степень согласованности с экспертными оценками, значительно сокращая объем работ по согласованию. В области интеллектуального моделирования и расширения возможностей за счет знаний большая языковая модель CivilGPT, разработанная Университетом Тунцзи, интегрирует более 600 учебников по гражданскому строительству и более 2600 отраслевых стандартов, тесно взаимодействуя с инструментами BIM, реализуя интеллектуальное параметрическое моделирование конструкций, автоматический расчет объемов работ, проверку соответствия проектных решений нормам, продвигая переход BIM от «инструмента трехмерного моделирования» к «платформе интеллектуального принятия решений».

## ***Интеграция ИИ с инструментами МКЭ: эффективная оптимизация и точный анализ***

Инструменты МКЭ, такие как ANSYS, ABAQUS, являются основой структурного механического анализа, однако традиционный анализ МКЭ сталкивается с ограничениями, такими как длительное время оптимизации параметров, зависимость построения сетки от опыта, низкая эффективность интерпретации результатов.

Интеграция ИИ с инструментами МКЭ реализует эффективность всего процесса «анализ-оптимизация-интерпретация».

В области топологической оптимизации система оптимизации, управляемая плотностью, разработанная на платформе ANSYS, в сочетании с суррогатной моделью глубокого обучения U-Net, устанавливает связь между анализом МКЭ и прогнозированием топологии.

Путем составной функции потерь (погрешность плотности + соответствие напряжений + гладкость) оптимизируется распределение материала, вычислительная эффективность повышается в  $10^5$  раз по сравнению с традиционным МКЭ, коэффициент концентрации напряжений в оптимизированной бетонной конструкции снижается с 1.8 до 1.2, использование материала повышается на 46%, что успешно применяется в проектировании муниципальных сооружений и мостовых конструкций.

## ***Управляемые ИИ инструменты мониторинга: интеллектуальное восприятие и предупреждение***

Традиционные инструменты инженерного мониторинга (датчики, тахеометры и др.) зависят от ручного сбора и анализа, имеют проблемы с недостаточной оперативностью, запаздыванием в идентификации повреждений, неточностью прогнозирования срока службы. Интеграция ИИ с инструментами мониторинга продвигает переход систем мониторинга к парадигме «оперативное восприятие, интеллектуальная диагностика, упреждающее предупреждение».

В случае стареющей стальной балочной конструкции точность идентификации повреждений и эффективность технического обслуживания значительно повысились, реализуя переход от «пассивного ремонта» к «активной профилактике».

В области интеллектуального предупреждения о состоянии мостов китайское исследование (2025) создало систему предупреждения «датчики+5G+ИИ», интегрирующую данные мониторинга смещений GNSS и деформаций на основе волоконно-оптических брэгговских решеток (Fiber Bragg Grating). Через модель LSTM прогнозируются тенденции структурных деформаций, устанавливается трехступенчатый механизм предупреждения. Применение в таких проектах, как мост Нанкина через Янцзы, позволяет реализовать оперативное предупреждение о превышении прогибов и напряжений в мостах, сокращая время реакции до секунд.

## ***Ценность интеграционных инноваций***

**Интеграция ИИ с профессиональными инструментами преодолевает барьеры данных между этапами проектирования, строительства и эксплуатации, продвигая переход профессиональных инструментов от «единичных функций» к «сквозному интеллектуальному расширению возможностей», значительно повышая эффективность проектов, снижая затраты и предоставляя ключевую поддержку для цифровой и интеллектуальной трансформации гражданского строительства.**

**Междисциплинарная технологическая интеграция: переопределение инновационной парадигмы гражданского строительства**

**Сложность и системность гражданского строительства определяют, что отдельные дисциплины не могут решить ключевые задачи, такие как экологизация, интеллектуализация, устойчивость.**

**Междисциплинарная технологическая интеграция  
(гражданское строительство + ИИ + IoT + геоинформатика +  
материаловедение + энергетика и др.)**

**становится ключом к переопределению инновационной парадигмы, продвигая переход гражданского строительства от «применения единичных технологий» к «системным синергетическим инновациям».**



## ***Гражданское строительство + ИИ + IoT + Цифровой двойник: создание системы интеллектуальной эксплуатации и управления жизненным циклом***

Цифровые двойники и технологии IoT предоставляют оперативные данные для гражданского строительства, а ИИ реализует интеллектуальный анализ данных и принятие решений.

Интеграция этих трех технологий (МИИ) формирует замкнутую систему «восприятие-анализ-решение-обратная связь», становясь основной парадигмой управления инфраструктурой на протяжении всего ЖЦ.

framework управления ЖЦ инфраструктуры, объединяет физически информированное машинное обучение (PIML) и цифровые двойники, внедряя механические уравнения моста и данные мониторинга в модель цифрового двойника.

Через ИИ реализуется идентификация повреждений, обратная задача нагрузок, прогнозирование характеристик, предоставляя динамическую поддержку для оптимизации проектирования, управления строительством и решений по эксплуатации интеллектуальных сооружений.

- Система сетевого управления значимой урбанистической инфраструктурой интегрирует технологии ИИ, IoT, цифровых двойников, и реализует многомодальное генеративное моделирование на этапе проектирования, динамическое имитационное моделирование с множеством интеллектуальных агентов на этапе строительства, автономные инспекции с помощью роботов на этапе эксплуатации, продвигая переход управления инфраструктурой от «точечного контроля» к «системной синергии».

***Гражданское строительство + ИИ + ГИС + ДЗ + Науки об окружающей среде: расширение возможностей для устойчивой инфраструктуры и достижения целей углеродной нейтральности***

- Междисциплинарная интеграция гражданского строительства с геоинформационными системами (ГИС), дистанционным зондированием (ДЗ) и науками об окружающей среде фокусируется на решении сложных проблем, таких как экстремальные погодные условия, геологические опасности, выбросы углерода, способствуя созданию устойчивой инфраструктуры и достижению целей углеродной нейтральности.
- В области зеленой инфраструктуры междисциплинарные интеграционные технологии способствуют развитию «инфраструктуры, адаптивной к климату».
- Например, модель «губчатого города», интегрирующая большие данные гидрологии и прогнозы ИИ, сокращает экономические потери от наводнений на 18%;
- низкощелочной долговечный цемент в сочетании с технологией микроорганизмов для улавливания углерода снижает углеродный след бетона на протяжении всего жизненного цикла на 42%, способствуя достижению целей углеродной нейтральности в гражданском строительстве.

## ***Гражданское строительство + ИИ + Материаловедение + Энергетика: прорыв в строительстве в экстремальных условиях и применении новых материалов***

**Междисциплинарная интеграция гражданского строительства с материаловедением и энергетикой фокусируется на решении проблем строительства в экстремальных условиях, оптимизации характеристик новых материалов, расширяя границы применения гражданского строительства.**

**В области строительства в экстремальных условиях Институт строительства в экстремальных условиях Университета Тунцзи в Китае объединяет силы гражданского строительства, материаловедения, машиностроения и других дисциплин, разрабатывая технологии упрочнения имитационного лунного грунта, трансформируемые космические модули для строительства на месте, всережимных роботов для строительства на лунной поверхности, преодолевая узкие места строительства в экстремальных условиях, таких как полярные регионы, глубокие недра, внеземные объекты, поддерживая национальные значимые проекты, такие как железная дорога Сычуань-Тибет, антарктические научные станции, лунные базы.**

**В области применения новых материалов исследование китайских ученых (2025) предложило технологию интеграции наномодифицированного бетона и ИИ, использующую ИИ для оптимизации состава наноматериалов, повышая трещиностойкость и долговечность бетона, одновременно снижая расход цемента, способствуя развитию низкоуглеродных строительных материалов.**

## ***Переопределение инновационной парадигмы через междисциплинарную интеграцию***

**Междисциплинарная технологическая интеграция продвигает переход гражданского строительства от парадигмы, ориентированной на отдельные технологии, к парадигме, ориентированной на системные потребности.**

**Границы между дисциплинами постепенно стираются, формируя супер-инженерную систему**

***«гражданское строительство + информационные технологии + материаловедение + энергетика + окружающая среда (МИ)»,***

**решая сложные системные проблемы, с которыми не может справиться традиционное гражданское строительство, открывая новые пути для качественного развития гражданского строительства.**

# Проблемы и перспективы

## *Ключевые проблемы*

**Недостаточная интерпретируемость моделей ИИ:**

В гражданском строительстве большое значение придается физическим механизмам и инженерной безопасности.

В настоящее время большинство моделей ИИ по-прежнему являются «черными ящиками», например, модели глубокого обучения с трудом объясняют физическую логику прогнозов, что ограничивает их применение в ответственных проектах.

**Гетерогенность и сложность интеграции разнородных данных:**

Весь процесс гражданского строительства связан с данными различных типов, таких как данные BIM, данные мониторинга, данные физических моделей, которые различаются по форматам и не имеют стандартов, что создает трудности для интеграции данных.

**Стоимость внедрения технологий и адаптируемость к отрасли:**

Внедрение технологий ИИ, цифровых двойников требует значительных инвестиций в программное и аппаратное обеспечение, при этом цифровая база традиционной строительной отрасли слаба, что затрудняет адаптацию и распространение технологий.

**Несовершенство механизмов междисциплинарного взаимодействия:**

Отсутствуют единые платформы и механизмы для взаимодействия гражданского строительства с информационными технологиями, материаловедением, науками об окружающей среде и другими дисциплинами, что затрудняет формирование синергии в подготовке кадров и научных исследованиях.

### ***Будущие перспективы***

- Развитие интерпретируемого ИИ и гибридных физических моделей: Акцент на таких технологиях, как PINN, анализ SHAP, для повышения физической интерпретируемости моделей ИИ, содействия применению гибридных моделей «данные + механизмы» в ответственных проектах.
- Создание единых стандартов данных и платформ интеграции: Разработка стандартов цифровых данных для гражданского строительства, создание платформ интеграции данных, охватывающих различные этапы, инструменты и дисциплины, для преодоления барьеров данных.
- Содействие междисциплинарным синергетическим инновациям и подготовке кадров: Создание междисциплинарных исследовательских групп, подготовка междисциплинарных специалистов в области «гражданское строительство + ИИ + другие дисциплины» для решения сложных инженерных проблем.
- Расширение возможностей для зеленой, устойчивой инфраструктуры и интеллектуального строительства: Использование технологической конвергенции как ядра для продвижения внедрения таких технологий, как зеленые строительные материалы, интеллектуальный мониторинг, цифровые двойники, содействие реализации стратегий углеродной нейтральности и интеллектуального строительства.
- В конечном счете, цель технологической конвергенции не в замене инженеров, а в расширении их возможностей, позволяя им проектировать и обслуживать инфраструктуру, от которой зависит наше существование, более эффективно, безопасно и устойчиво.

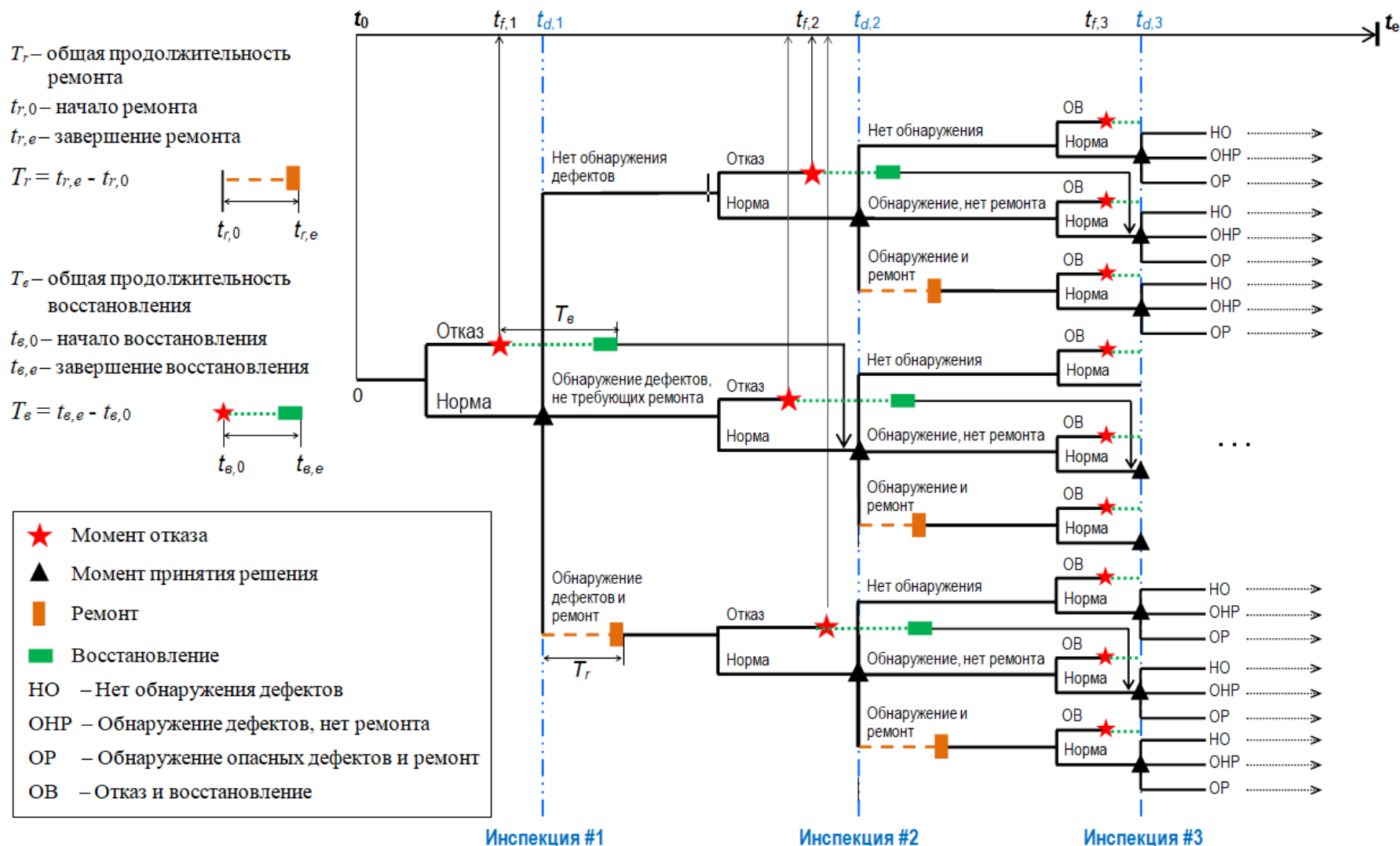
## Заключение

- Конвергенция технологий является основным путем преодоления традиционных ограничений и реализации инновационного развития в гражданском строительстве.
- Глубокая интеграция ИИ с физическими моделями решает проблемы эффективного и точного решения сложных механических задач. Синергетическая интеграция ИИ с профессиональными инструментами повышает эффективность всего инженерного процесса.
- Междисциплинарная технологическая интеграция переопределяет инновационную парадигму гражданского строительства.
- В настоящее время технологическая конвергенция перешла от «наложения отдельных технологий» к «системным синергетическим инновациям», продвигая переход гражданского строительства от управления, основанного на опыте, к управлению, основанному на синергии данных, физических законов и междисциплинарных знаний.
- В будущем необходимо сосредоточиться на ключевых проблемах, таких как интерпретируемость, интеграция данных, междисциплинарное взаимодействие, непрерывно углублять технологические интеграционные инновации, предоставляя мощную техническую поддержку для качественного развития инфраструктуры, перехода к зеленой низкоуглеродной экономике и строительства в экстремальных условиях.

**ПРИМЕР:** оценка надежности трубопровода с дефектами на основе физически информированных нейронных сетей (PINN).

# **Жизненный цикл инфраструктур и их систем**

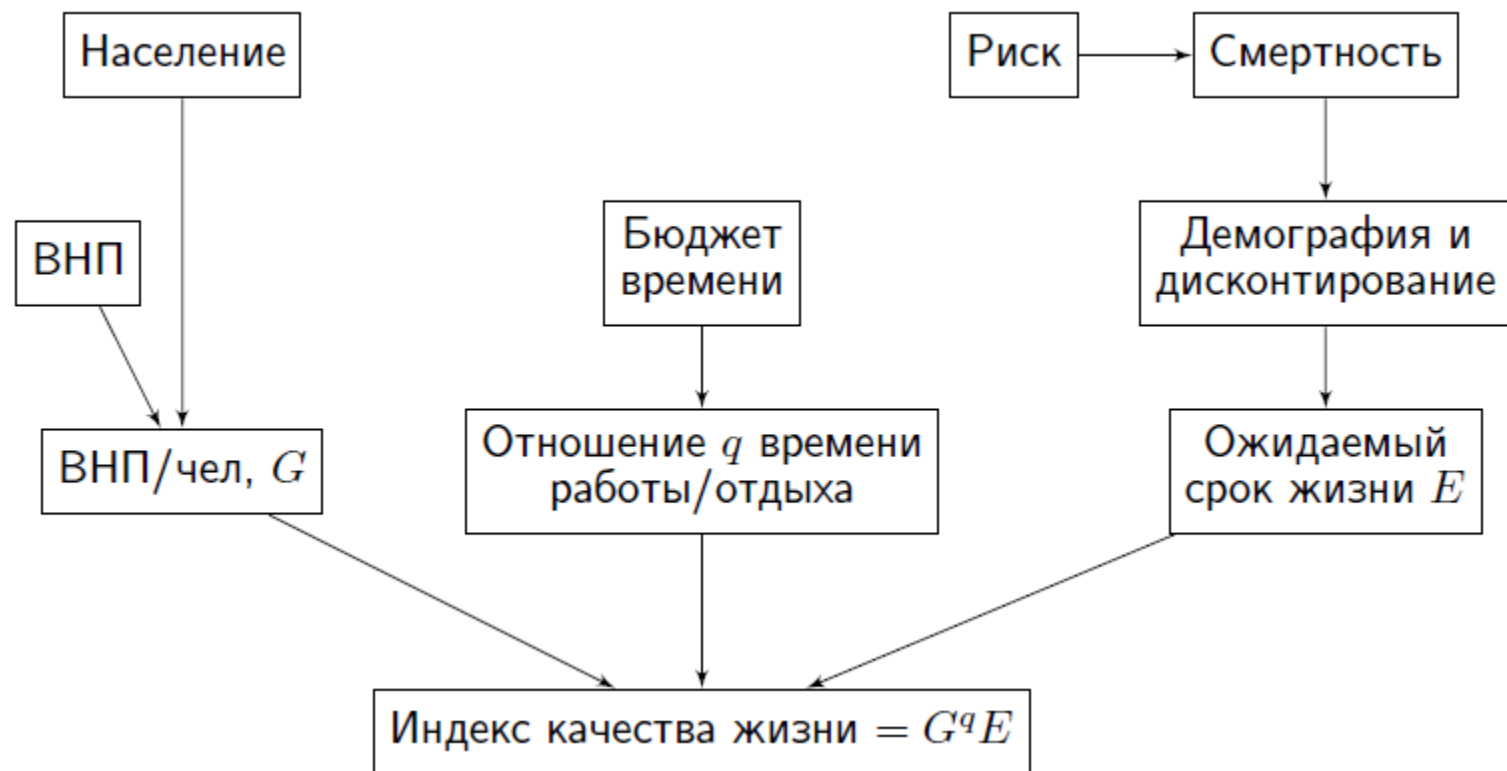




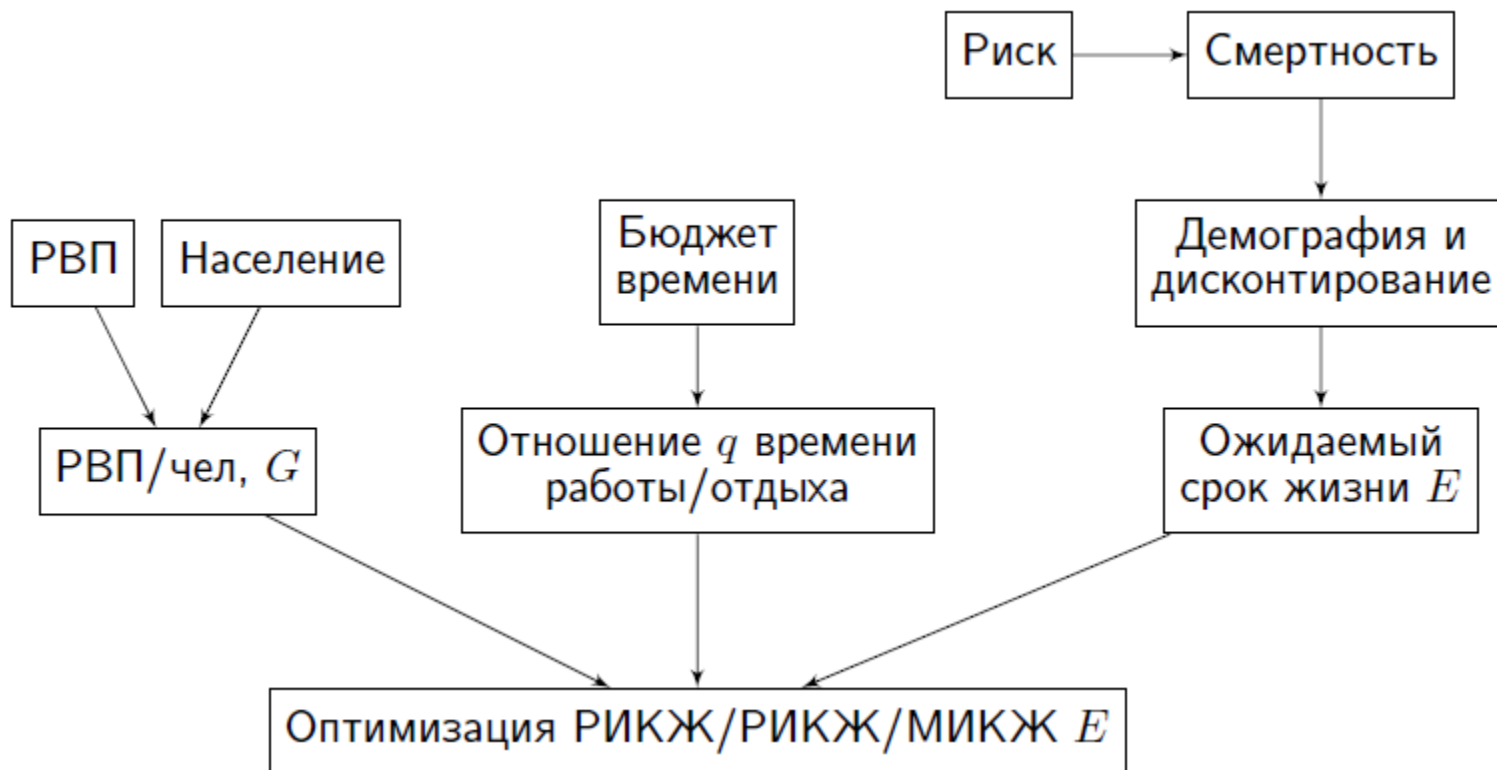
**Стохастическое дерево событий и решений «событие – решение – событие – решение – ...», построенное на жизненном цикле МПТ**

**УПРАВЛЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫМ  
РИСКОМ ПО КРИТЕРИЮ  
СРЕДНЕЙ ОЖИДАЕМОЙ  
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ  
(СОПЖ)**

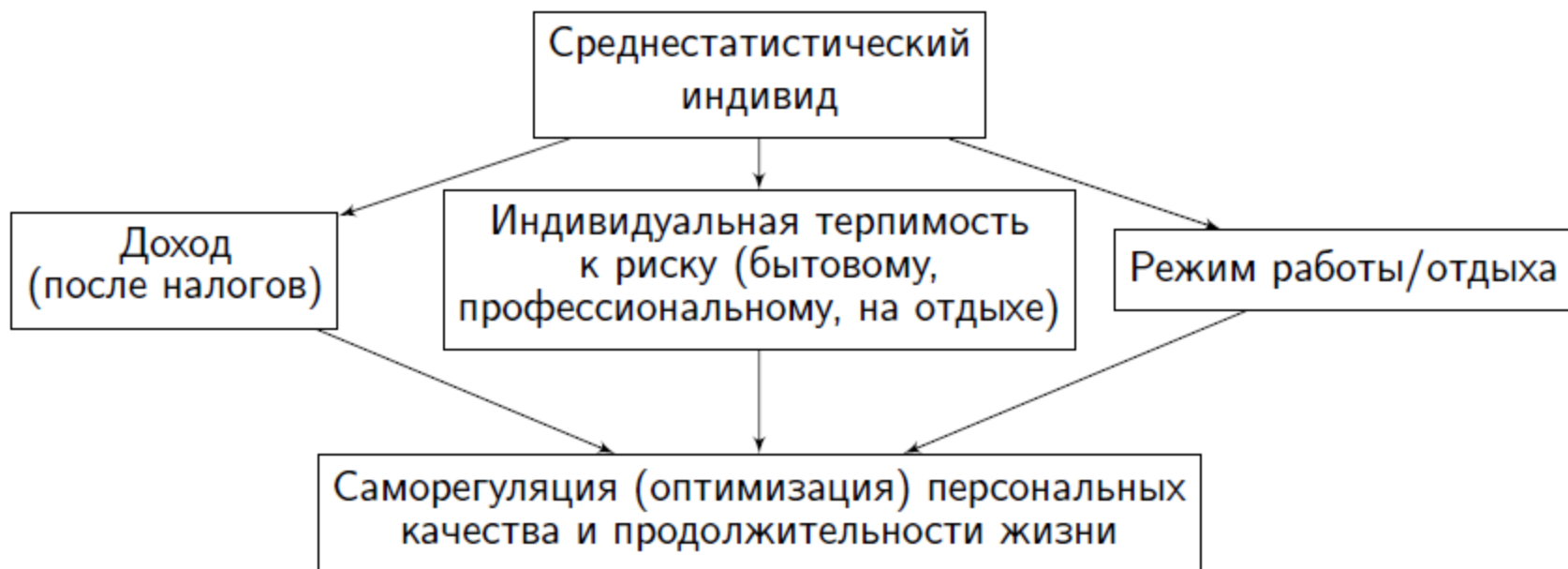
**УПРАВЛЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫМ РИСКОМ ПО  
КРИТЕРИЮ ИНДЕКСА КАЧЕСТВА ЖИЗНИ  
(ИКЖ)**



**Концептуальная модель ИКЖ страны**



**Концептуальная модель ИКЖ региона/территории**



**Концептуальная модель ИКЖ индивида**

Известно несколько математических моделей ИКЖ. Одной из наиболее обоснованных является

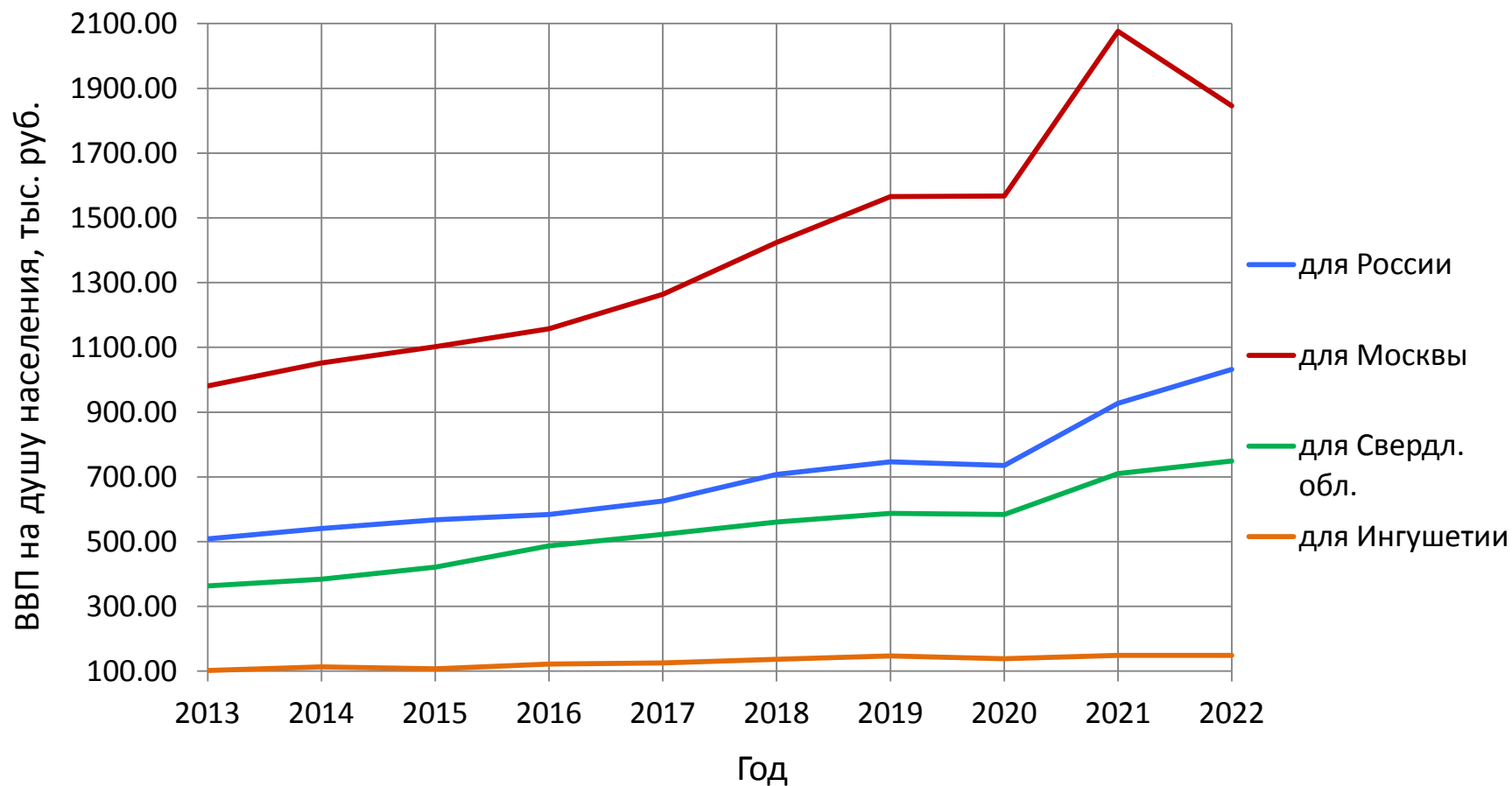
$$LQI = G^q E,$$

где  $G$  – удельный ВВП (руб/чел · год)

$q = \frac{w}{1 - w}$  – отношение среднего числа рабочих часов к времени отдыха в данной стране,

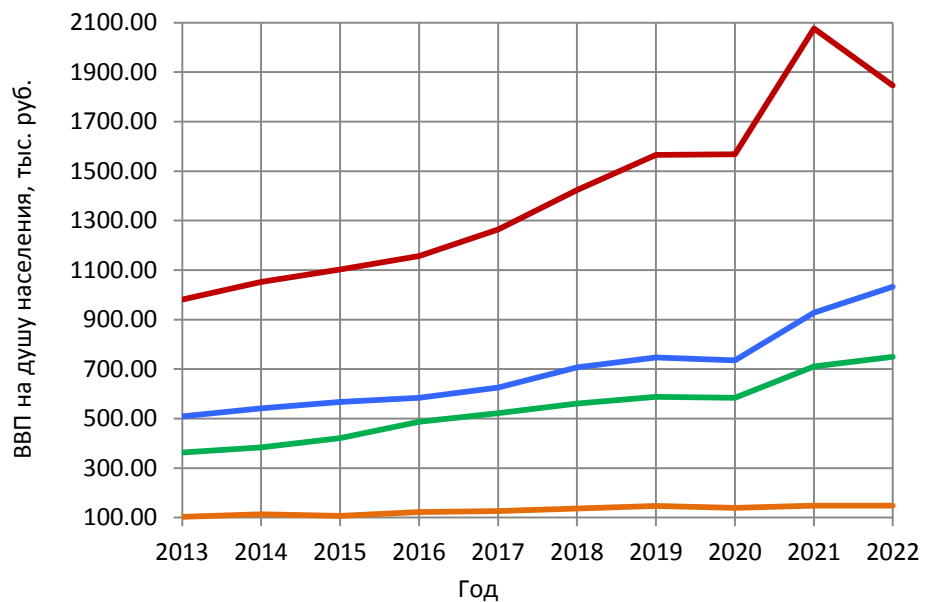
$E$  – СОПЖ для данной территории (региона), в зависимости от возраста.

## ВВП/ВРП на душу населения





### ВВП/ВРП на душу населения



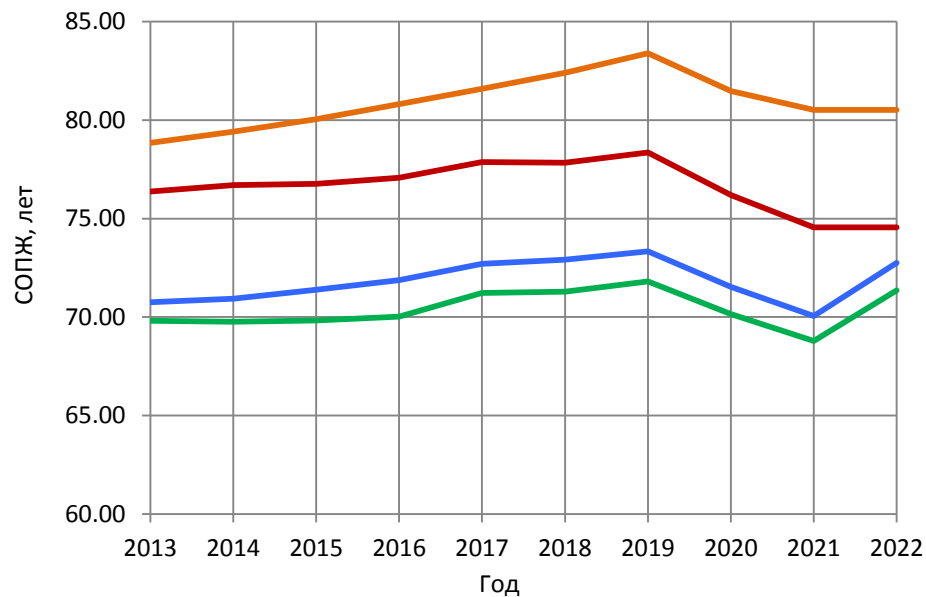
— Для России

— Для Москвы

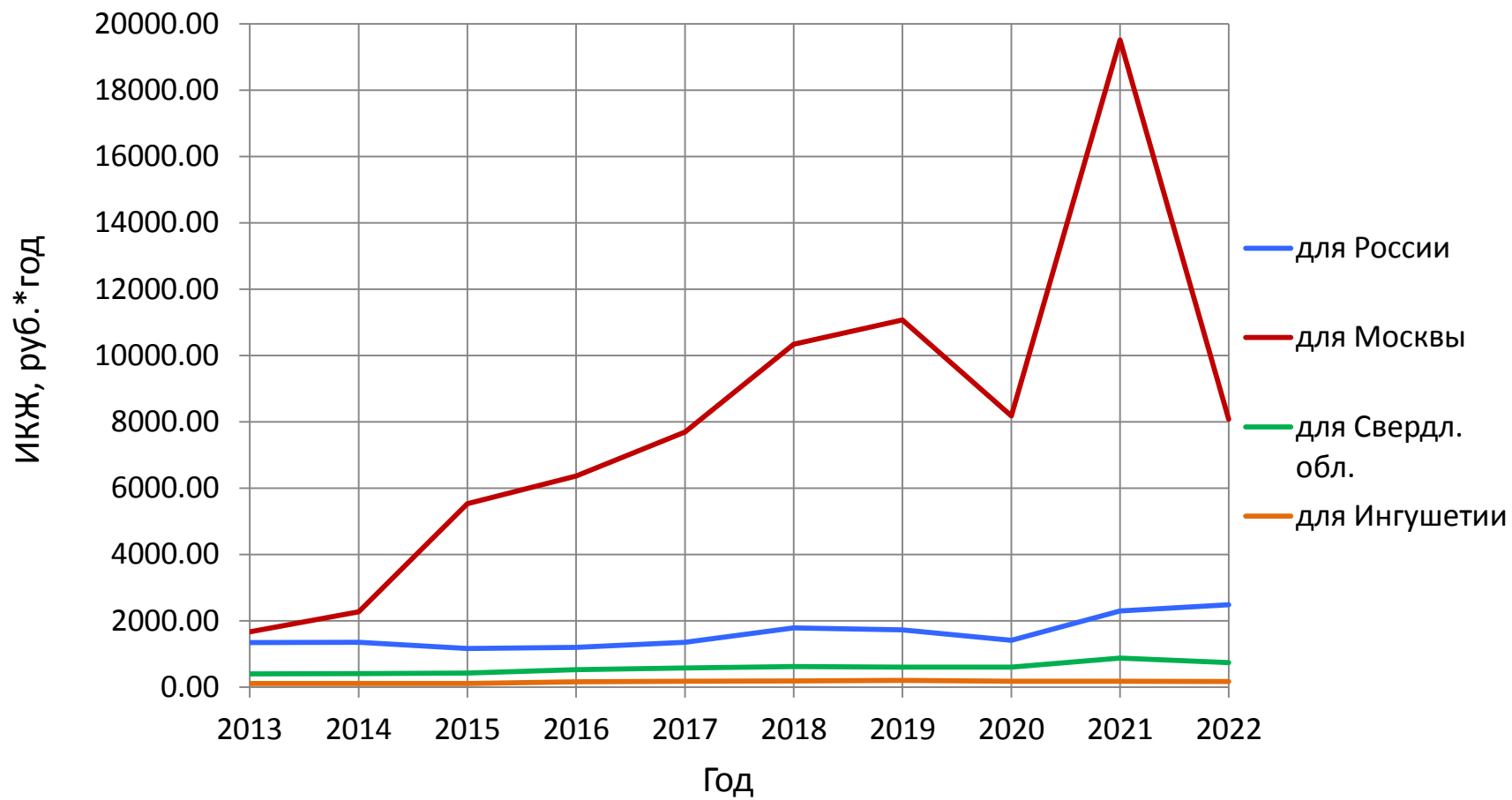
— Для Свердловской области

— Для Ингушетии

### СОПЖ



# ИКЖ



# **ЖИВУЧЕСТЬ СИСТЕМ УМНЫХ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР**

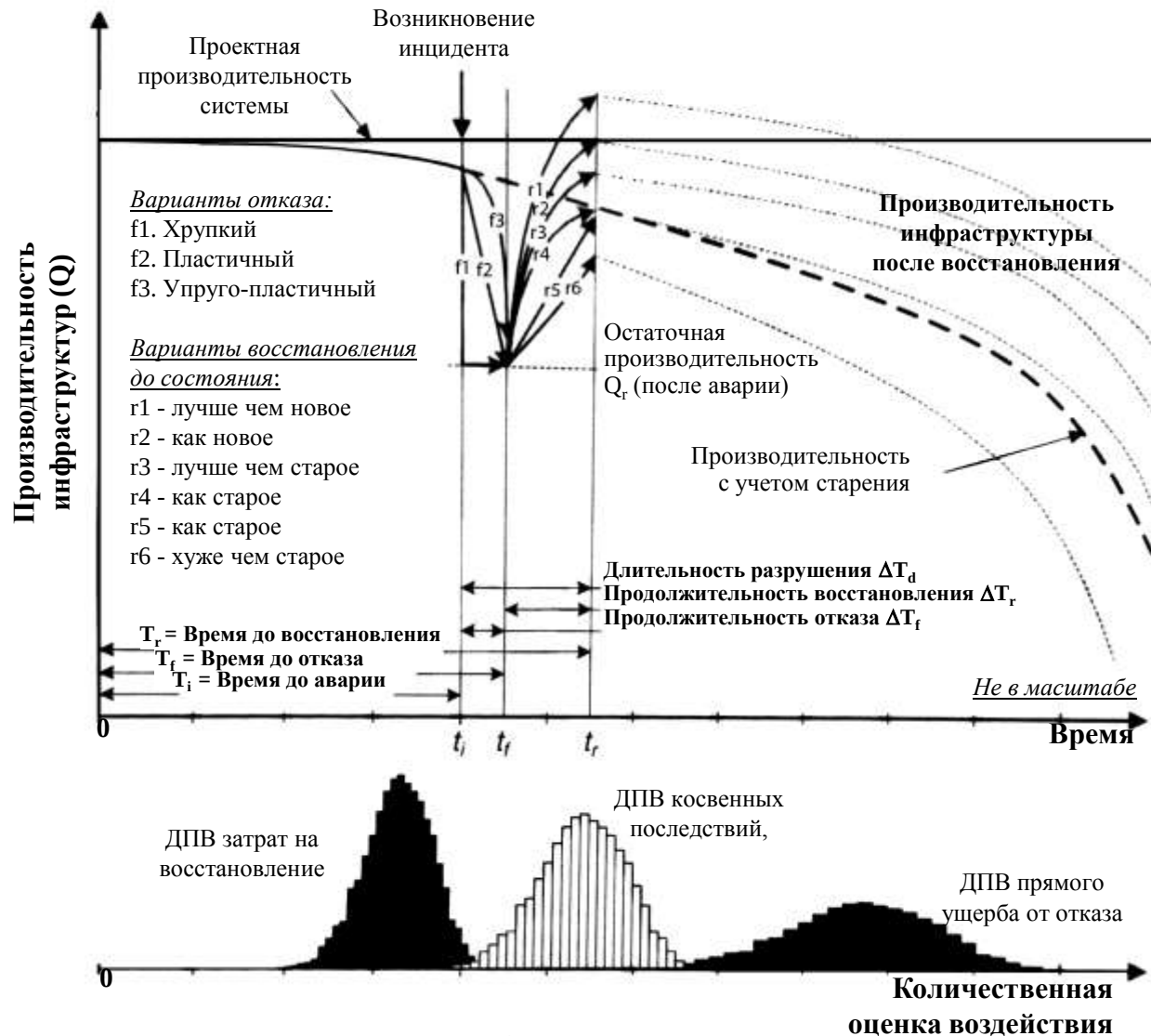
Для проверки живучести проекта «Умный регион» необходимо опережающими темпами *создать ее цифровую виртуальную модель*, на которой можно отрабатывать методом компьютерного моделирования все свойства, относящиеся к ее живучести и безопасности.

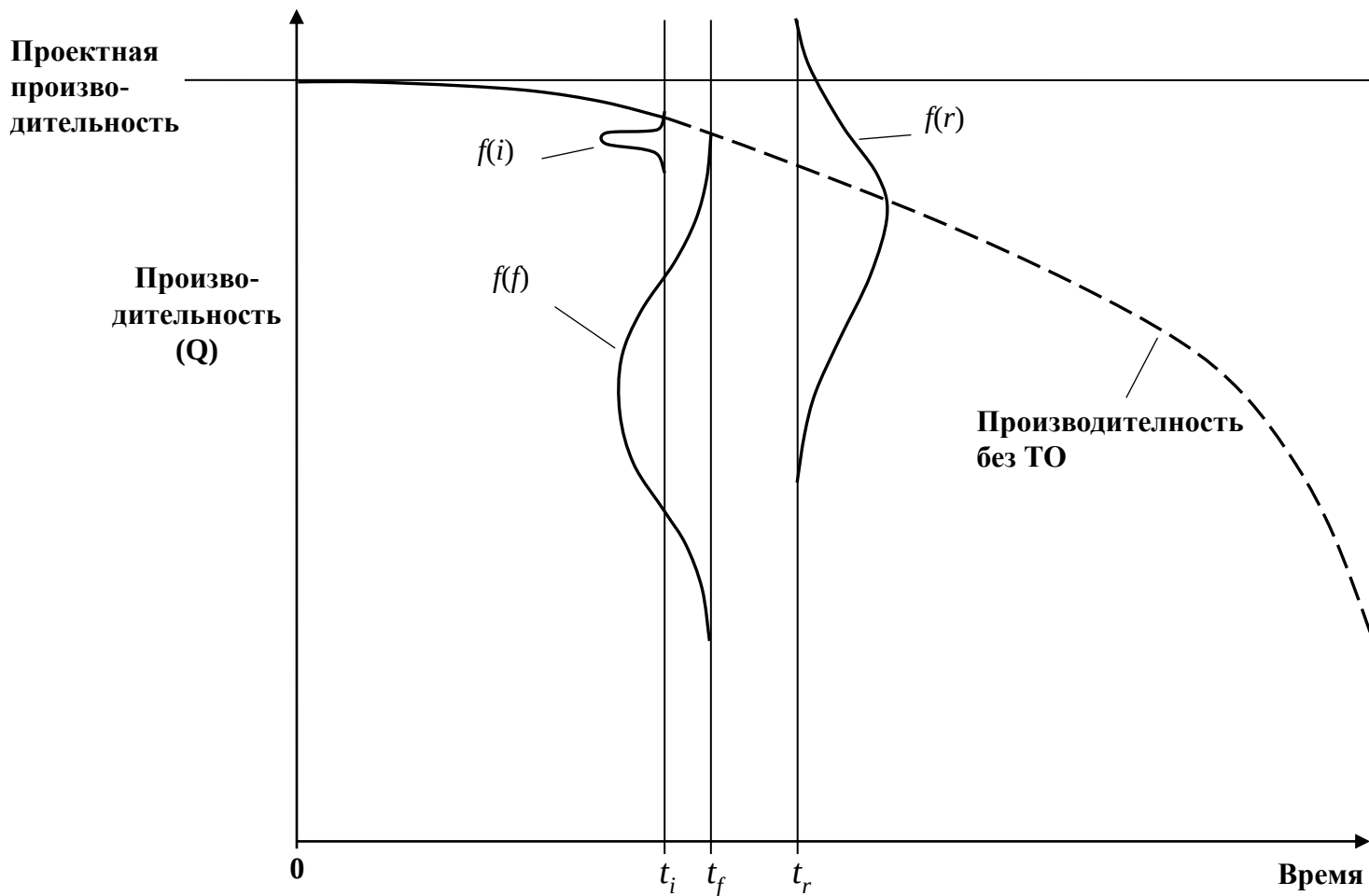
Неотъемлемой частью этой виртуальной модели будет человеческий фактор в виде *живой лаборатории* в составе:

1. Стратегического Совета стейкхолдеров Региона/города, включая Администрацию (Главу) Региона/города и Главного специалиста Региона по живучести (Region Chief Resilient Officer-RCRO);
2. Совета руководителей всех служб и бизнесов Региона/города;
3. Группы исполнения задумок Стратегического Совета;
4. Активных жителей города.

Это позволит впервые установить эмпирическую связь между осязаемым и неосязаемым: качеством функционирования городских систем и благополучием людей живущих в данной среде.

# Живучесть взаимозависимых инфраструктур – ключ к созданию безопасного умного региона





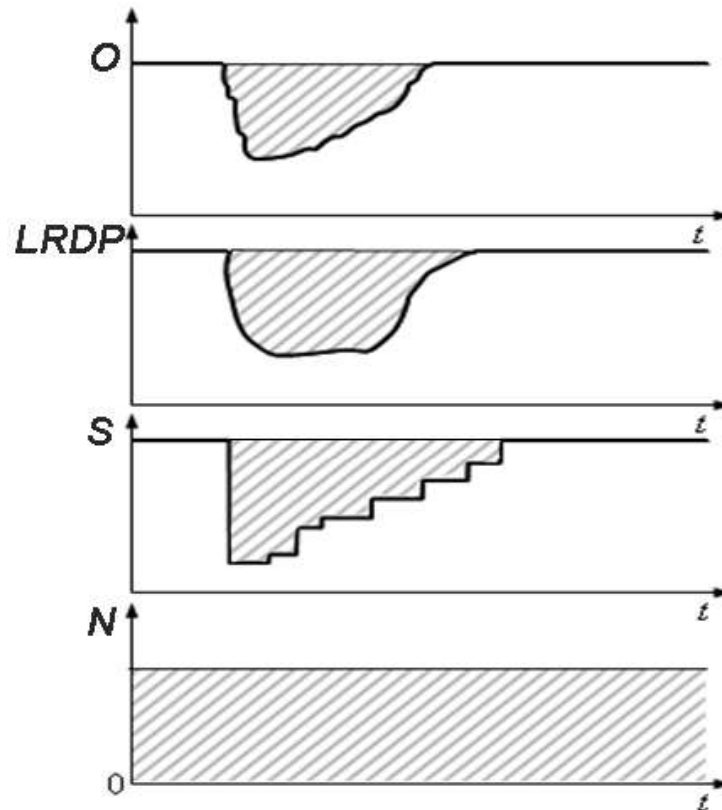
Одномерная модель отказа и восстановления инфраструктуры как системы:  $t_i$  – время до инцидента;  $t_r$  – время восстановления;  $t_f$  – время до отказа;  $f(i)$  – PDF времени триггерного события;  $f(r)$  – PDF качества восстановления;  $f(r)$  – PDF размера повреждения из-за отказа системы

## **Создание основ теории конструкционной и системной живучести**

### **Определение системной живучести**

- заложены основы теории системной живучести, и показаны пути ее применения при оценке этого свойства у разнообразных инфраструктур и систем;
- дано представление функции (многомерного скаляра) живучести сложной системы как набора вероятностей, оценивающих:
  - 1) способность системы продолжать (в том числе, в ограниченном объеме) бесперебойное выполнение своих функций при наличии повреждения, вызванного определенным воздействием;
  - 2) размер экономического ущерба, санитарных и безвозвратных потерь в результате аварии и при ее восстановлении;
  - 3) время восстановления своих проектных функций после аварии или катастрофы;
  - 4) неперевышения при этом характерных (выделенных) объемов сил и средств при восстановлении поврежденной системы (С.А. Тимашев).

## Полные и парциальные факторы живучести



**$n$ -мерный коллапс качества функционирования СКИ из-за аварии или катастрофы:**

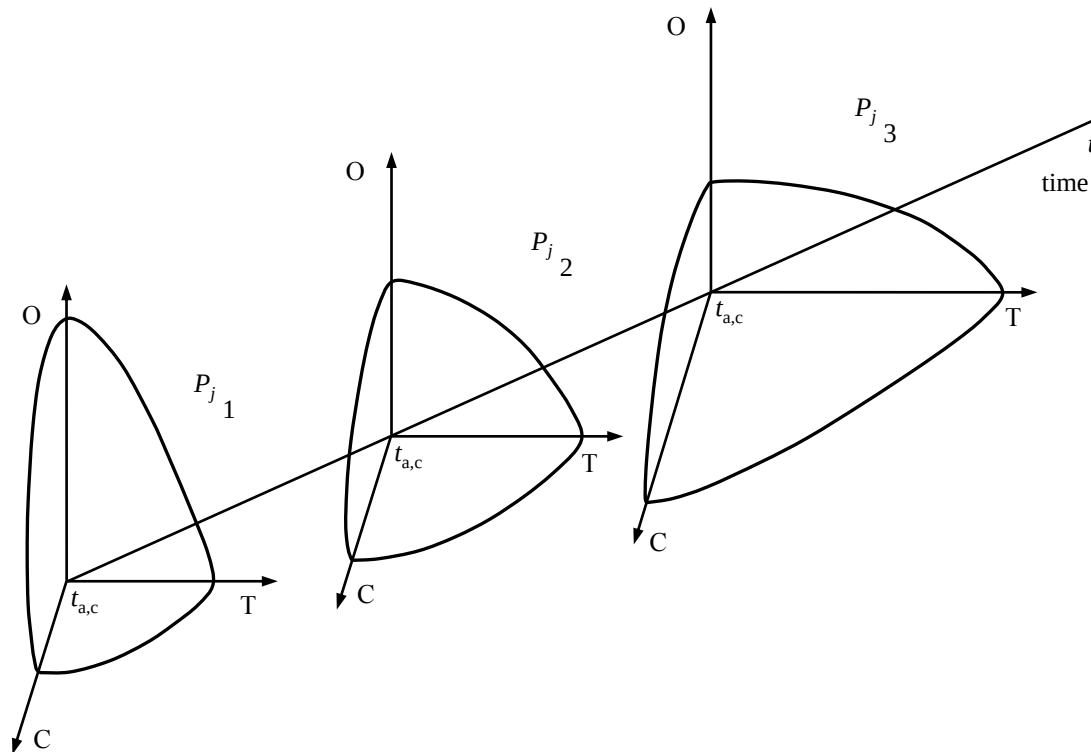
**$O$ -объем товаров и услуг производимых СКИ, ПРВП – потери реального ВВП,**

**$N$ – невозвратные потери,  $S$  – санитарные (возвратные) потери.**

Заштрихованные участки относятся к  $n$ -мерному объему/площади коллапса качества



## Живучесть взаимозависимых инфраструктур – ключ к созданию безопасного умного региона

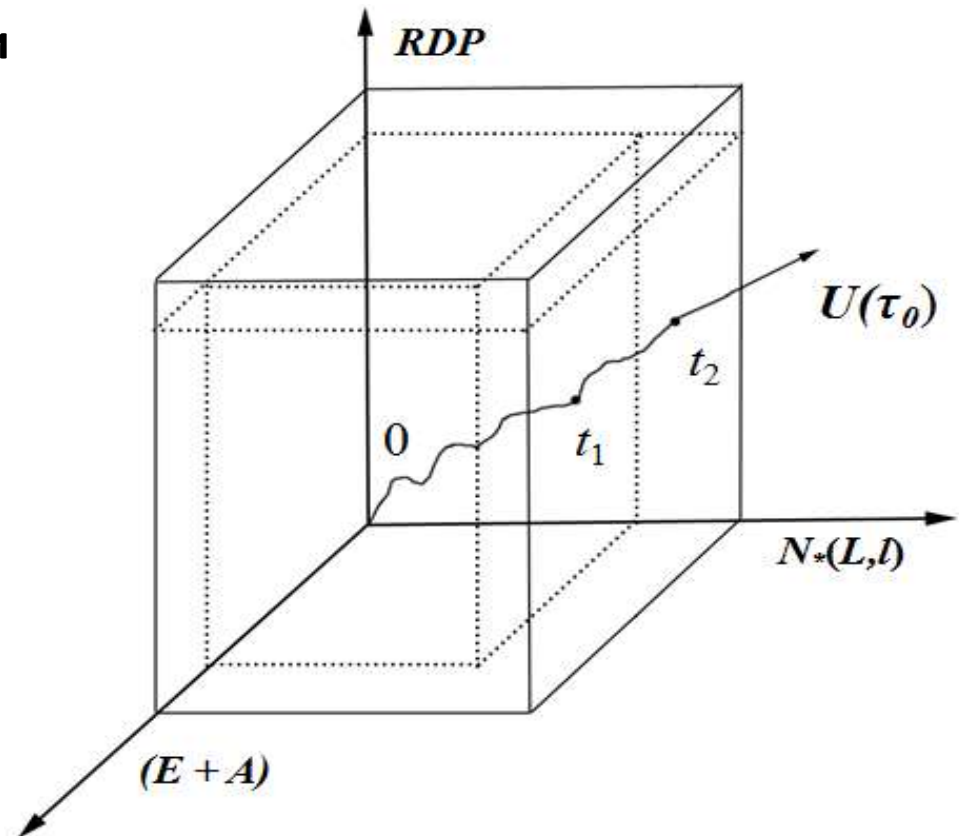


**Изменения парциальных живучестей инфраструктуры  $Res_j(t)$  во времени** для различных вероятностей инцидента/аварии/катастрофы и размера ущерба.  $t_{a,c}$  – время наступления инцидента,  $C$  – стоимость восстановления,  $T$  – продолжительность восстановления,  $O$  – объем потерь продукции /услуг.

## Живучесть взаимозависимых инфраструктур – ключ к созданию безопасного умного региона

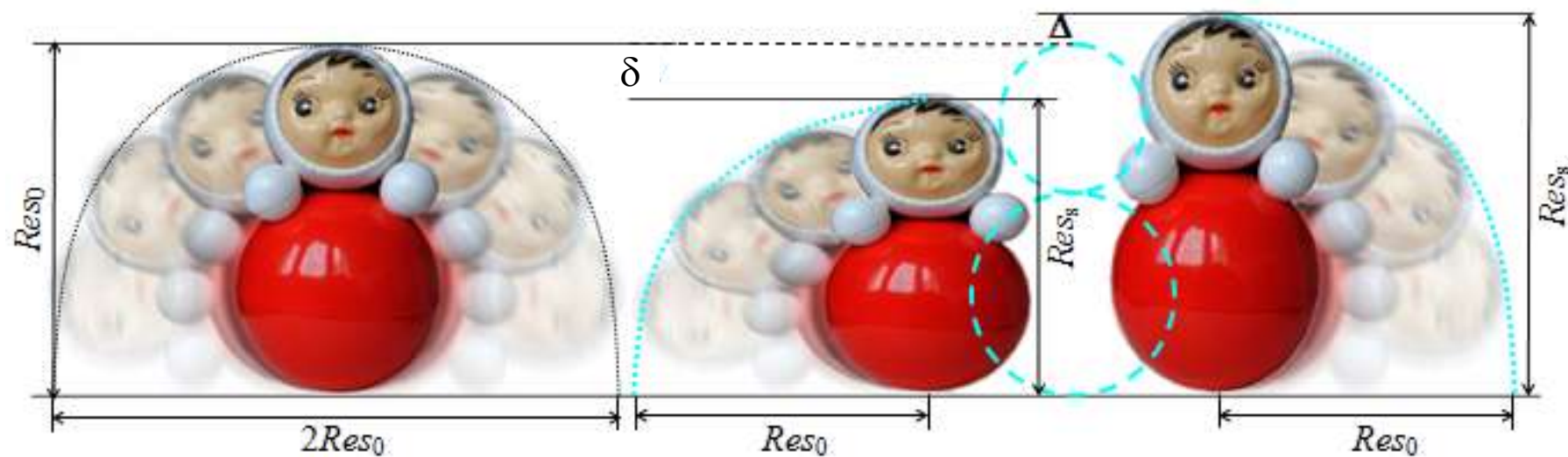
### Визуализация фактора живучести

- RDP – региональный валовой продукт;
- $N(L, I)$  – число безвозвратных потерь, объем санитарных потерь ( $I$ );
- $(E+A)$  – ущерб собственности и окружающей среде;
- $U(\tau_0)$  – вектор полных потерь.



Факторы полной и частичной живучести

## Визуализация супра- и субживучести



$\Delta$  – супраживучесть,  $\delta$  – субживучесть

Сравнивая эти два определения, легко увидеть, что антихрупкость и супраживучесть действительно абсолютно тождественные понятия.

Следовательно, с математической точки зрения супраживучесть / антихрупкость, обусловленная стрессором  $Q$ , представляет собой сумму живучести в обычной ситуации (отсутствие стрессора) и избытка живучести.

$$\text{Супраживучесть}(Q) = \text{Живучесть} + \text{Прирост живучести}(Q), \quad (1)$$

или

$$\text{Антихрупкость}(Q) = \text{Живучесть} + \text{Сверхкомпенсация}(Q), \quad (2)$$

Также можно определить антихрупкость и супраживучесть только как сверхкомпенсацию/прирост живучести.

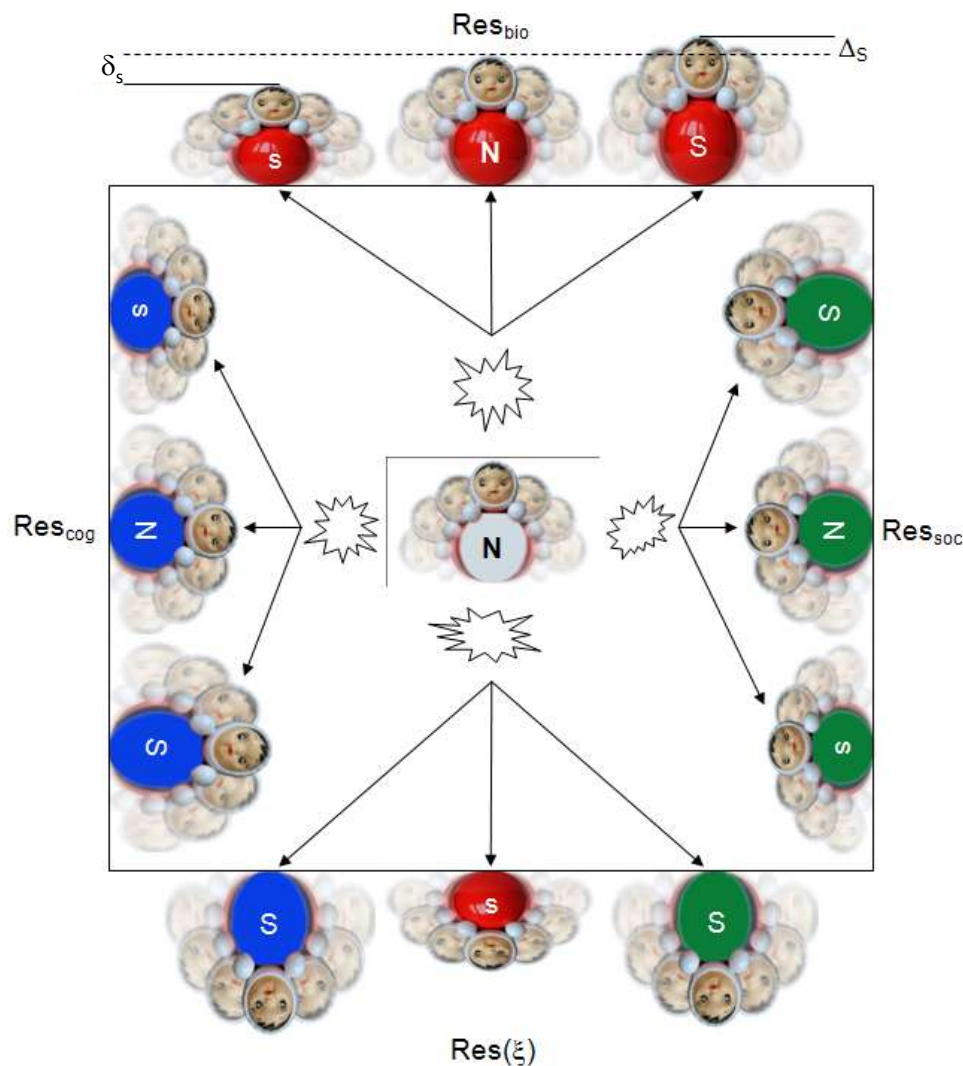
Если согласиться с (1), (2), то определение супраживучести/антихрупкости городов формулируется как

**Городская супраживучесть (антихрупкость)** — это «способность городской/региональной системы систем критических инфраструктур противостоять, адаптироваться, быстро восстанавливаться после стрессов и потрясений, таких как засуха, насилие, конфликты, природные, техногенные или техногенные катастрофы, и одновременно улучшить/увеличить его начальные параметры живучести».

**В реальной жизни можно наблюдать три типа супра-живучести: *физическую, когнитивную и социальную.***

**Для целостной оценки устойчивости биосоциотехнической системы необходимо одновременно учитывать все три компонента региональной живучести.**

**Предполагается, что в качестве комплексной модели умного региона или муниципального образования может быть использована система систем (СС) взаимозависимых инфраструктур, объединенная с населением, эксплуатирующим и использующим эту СС.**



★ – Стрессор

$Res_{bio}$  – Физическая живучесть

$Res_{cog}$  – Когнитивная живучесть

$Res_{soc}$  – Социальная живучесть

N – Внутренняя (связанная с генами и жизненным опытом) системная живучесть (HF)

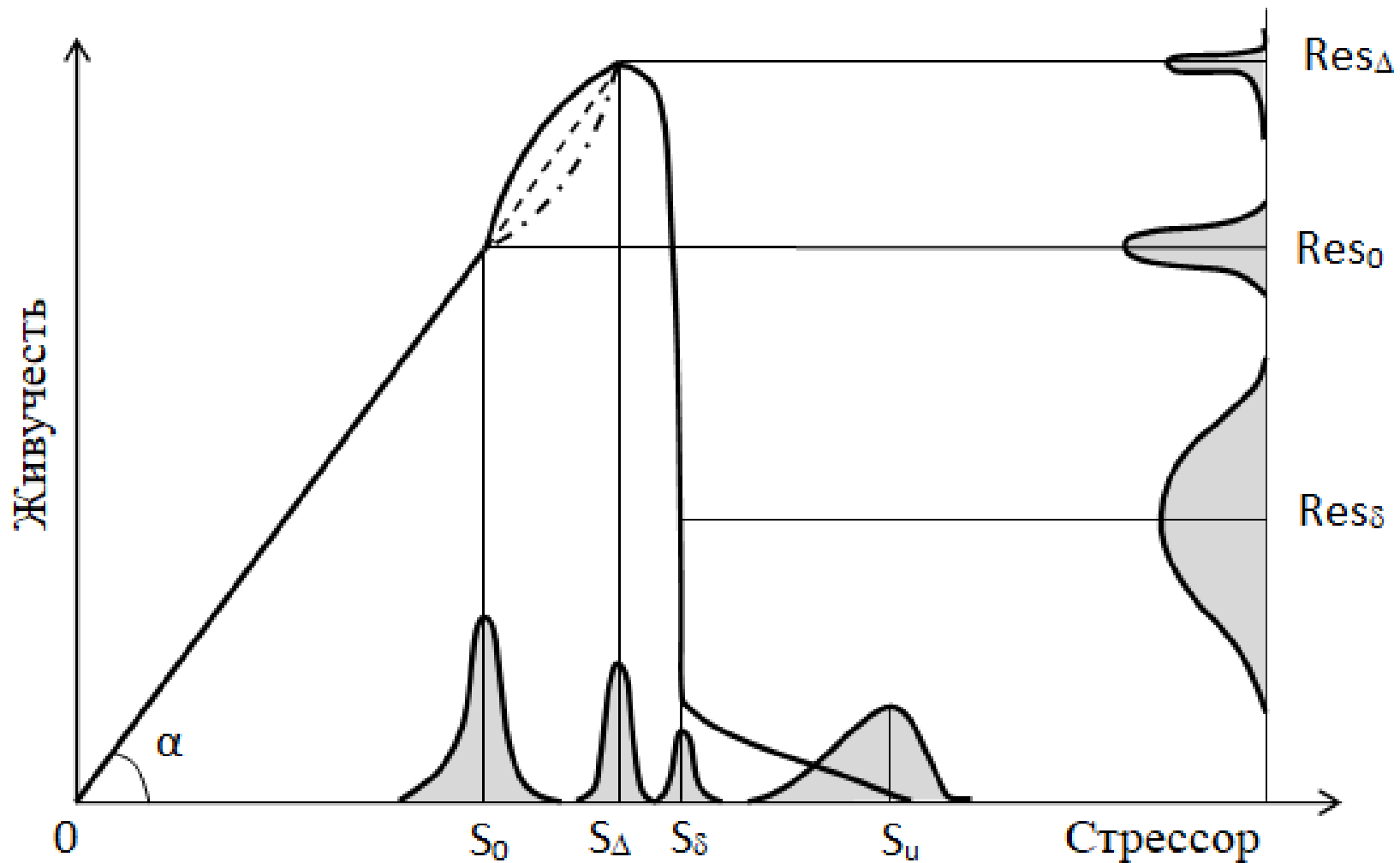
S – Супраживучесть системы

s – Субживучесть системы

$\Delta_s$  – Повышение живучести к стрессору

$\delta_s$  – Снижение живучести из-за стрессора

**Возможные последствия катастрофы/аварии в зависимости от живучести системы**



**Визуализация понятий физической (биологической) супраживучести  $Res_{\Delta}$ , живучести  $Res_0$ , субживучести  $Res_{\delta}$**



## **Примеры супраживучести:**

- **Экономика СССР во время и после Великой Отечественной войны.**
- **Экономика России в условиях более 50 000 незаконных санкций и СВО.**

## **Примеры субживучести:**

- **PTSD (Post Traumatic Syndrome Disease) – пост-травматический синдром.**

# ЧТО ДАЛЬШЕ?

Объектом фундаментального, фундаментального ориентированного и прикладного исследования являются:

- ✓ *сложные нелинейные взаимозависимые системы ключевых и стратегических инфраструктур (системы жизнеобеспечения, агропромышленные, промышленные, урбанистические и региональные инфраструктуры и др.), их комплексные и эмерджентные свойства, и*
- ✓ *разработка новых способов анализа и управления рисками их эксплуатации, в том числе, при возникновении трудно-прогнозируемых катастрофических событий.*

По сути речь идёт о системной формализации методов анализа и управления рисками различной природы, позволяющей объективно определить границы применимости используемых методов, чтобы исключить обращения к интуиции и апелляции к здравому смыслу в риск-анализе.

Внешние флуктуации, ускоряя рост систем, повышают вероятность их вырождения (уменьшают математическое ожидание времени их вырождения).

Ввиду многофакторности процесса экспансии и отсутствия предыстории поведения, необходим не анализ риска, основанный на статистике прошлых периодов наблюдений, а *синтез риска функционирования стратегических инфраструктур*.

Хотя в отношении риска понятие «синтез» в настоящее время почти не используется, необходимо понимать, что анализ риска характерен для систем, события реализации риска в которых происходят достаточно часто для того, чтобы применить хорошо разработанный аппарат теории вероятностей и математической статистики. Этот подход работает в страховании, в теории конструкционной надёжности, когда мы имеем дело с потоками отказов, аварийных ситуаций или страховых случаев.

Но когда речь заходит об обеспечении безопасности в эпоху, главной характеристикой которой является принципиальная неопределённость, постоянная изменчивость и вариативность, сделать это возможно только через синтез рисков, разрабатывая усложняющиеся по мере развития автоматизированные советующие системы – подсказчики для профессионалов – лиц, формирующих решение (ЛФР) или замещая профессионалов высокоинтеллектуальными робототехническими системами.

*Риск из понятия «аналитического» в данном случае становится понятием «синтетическим».*

*Конечная цель – превращение анализа и синтеза риска в исчисление (формальные методы).*

*Синтез рисков — целенаправленный процесс, зависящий от времени и направленный на минимизацию или максимизацию некоторого критерия качества, непосредственно связанного с функциями, выполняемыми рассматриваемой системой, вида, свойств или параметров этой системы на всем ее жизненном цикле при заданных ограничениях.*

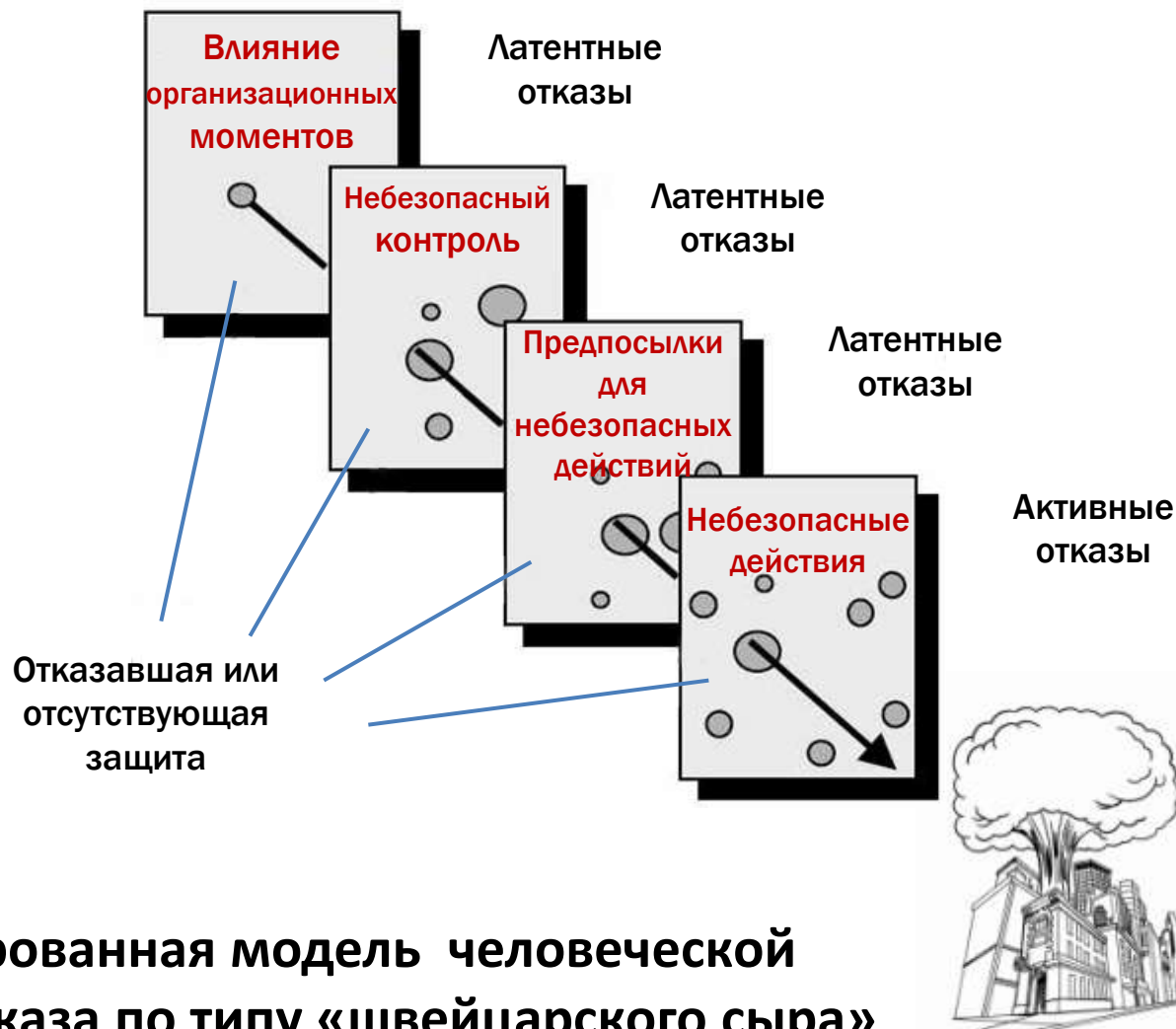
*То есть, риск в зависимости от совокупности факторов и особенностей самого объекта риска (и рискующего субъекта), проявляется двояко (как событие и как волна), и его анализ и оценку, соответственно необходимо выполнять с учетом этого дуализма, не подменяя один аппарат оценки другим.*

*Слепой перенос вероятностного анализа на область синтеза риска может привести к катастрофическим последствиям (хотя, на близком горизонте планирования, он может давать приемлемые для рискующего субъекта оценки).*

**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!**

**B&O**

## Живучесть взаимозависимых инфраструктур – ключ к созданию безопасного умного региона



**Адаптированная модель человеческой  
ошибки/отказа по типу «швейцарского сыра»**