

Моделирование экономических рисков мегаполисов

Куркин Андрей Александрович — доктор физико-математических наук, профессор, проректор по научной работе, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева (603155, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24), eLIBRARY SPIN-код: 1390-3940, email: aakurkin@nntu.ru

На уровне мегаполиса, в отличие от регионального или национального уровня, экономические риски носят многомерный и взаимосвязанный характер, что требует применения математического моделирования для их идентификации и оценки. Устойчивое развитие мегаполисов невозможно без комплексного анализа угроз. В статье проводится систематизация основных групп рисков мегаполисов: финансово-экономических, социально-экономических, инфраструктурных и пространственных, экологических, ресурсных, технологических и цифровых. Риски не существуют изолированно, а образуют сеть взаимного влияния. Реализация одного риска повышает вероятность реализации других. Для формализации анализа используется вероятностная модель, основанная на аксиоматике Колмогорова, позволяющая оценить вероятность наступления события и величину ущерба. Строится сетевая динамическая модель, описывающая взаимное влияние рисков и их эволюцию во времени, чтобы учесть каскадные эффекты и обеспечить более точное прогнозирование последствий. Предложенные модели могут быть использованы органами власти и бизнес-структурами для стратегического планирования, повышения инвестиционной привлекательности и минимизации негативных последствий кризисных ситуаций.



Ключевые слова: экономические риски, мегаполис, математическое моделирование, взаимодействие рисков.

Для цитирования: Куркин А. А. Моделирование экономических рисков мегаполисов // Вестник Университета Правительства Москвы. 2025. № 3. С. 10–19.

Article

Modeling Economic Risks in Megacities

Andrey A. Kurkin — Advanced Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Vice-Rector for Research, Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R. E. Alekseev (24 Minina ulitsa, Nizhniy Novgorod, 603155, Russia), eLIBRARY SPIN-code: 1390-3940, email: aakurkin@nntu.ru

At the megacity level, in contrast to the regional or national level, economic risks are multidimensional and interconnected, necessitating the application of mathematical modeling for their identification and assessment. The sustainable development of megacities is impossible without a comprehensive analysis of threats. This article systematizes the main groups of megacity risks: financial-economic, socio-economic, infrastructural and spatial, environmental, resource-related, technological, and digital. Risks do not exist in isolation but form a network of mutual influence; the materialization of one risk increases the probability of others. To formalize the analysis, a probabilistic model based on the Kolmogorov axiomatics is employed to estimate the probability of an event occurrence and the magnitude of its impact. A network-based dynamic model is constructed to describe the mutual influence of risks and their evolution over time, thereby accounting for cascade effects and enabling more accurate forecasting of consequences. The proposed models can be utilized by government bodies and business entities for strategic planning, enhancing investment attractiveness, and minimizing the negative impacts of crisis situations.

Keywords: economic risks, megacity, mathematical modeling, risk interdependence.

For citation: Kurkin A. A. Modeling Economic Risks in Megacities. *MMGU Herald*, 2025, no. 3, pp. 10-19. (In Russ.).

Введение

Современные мегаполисы являются центрами концентрации населения, капитала, знаний и инноваций, формируя сложные социально-экономические системы, которые играют ключевую роль в национальном и глобальном развитии. На их долю приходится значительная часть мирового валового внутреннего продукта, они стали узловыми точками финансовых и торговых потоков, центрами науки, культуры и технологий. Однако именно эта высокая концентрация ресурсов и процессов превращает мегаполисы в зоны повышенной уязвимости перед множеством экономических рисков [2].

Экономические риски в крупных городах обладают спецификой, которая отличает их от аналогичных явлений на региональном или национальном уровне. Если для отдельных территорий характерны риски, связанные с природными условиями, структурой экономики или отраслевой специализацией, то мегаполисы сталкиваются с совокупным воздействием множества разнонаправленных факторов. Их уязвимость обусловлена масштабами: чем выше плотность населения, интенсивнее использование инфраструктуры и выше зависимость от глобальных рынков, тем сильнее негативные последствия могут проявляться даже при реализации относительно локальных событий.

В научной литературе экономический риск определяется как вероятность наступления неблагоприятного события, способного повлечь финансовые, социальные или иные потери [1]. В применении к мегаполисам речь идет не только о стандартных рисках — инфляции, колебаниях валют, дефиците ресурсов, — но и о специфических угрозах, возникающих вследствие сложной внутренней организации городских систем. Так, авария на коммунальной инфраструктуре может не просто вызвать временные неудобства, но и парализовать работу целых отраслей экономики. Аналогично локальные социальные конфликты способны в короткие сроки трансформироваться в кризисы, затрагивающие инвестиционную привлекательность города в целом.

Существенным отличием мегаполисов является взаимосвязанность рисков. Невозможно рассматривать финансово-экономические угрозы в отрыве от социальных, технологические — без учета пространственных, экологические — без связи с ресурсными. На практике это проявляется в эффекте «цепной реакции»: кибератака на платежную систему может вызвать недоверие к банкам, усилить социальную напряженность, спровоцировать отток капитала и затронуть сферу занятости. В результате отдельное событие, изначально

относящееся к одной группе рисков, оказывает влияние на весь спектр угроз, формируя сложную сеть взаимозависимостей [4].

Существующие подходы к управлению рисками в городах, как правило, опираются на статические классификации или локальные оценки ущерба. Однако опыт последних десятилетий показывает, что традиционных методов становится недостаточно. Происходившие в последние десятилетия мировые финансовые кризисы, эпидемии, природные катастрофы и технологические аварии дали ясно понять, что мегаполисы нуждаются в более сложных инструментах анализа и прогнозирования. В условиях высокой неопределенности и растущей турбулентности мировой экономики особенно востребованными становятся методы математического моделирования, позволяющие формализовать вероятностную природу рисков и выявить их взаимосвязи [3].

Математические модели экономических рисков дают возможность перейти от описательного уровня анализа к количественной оценке. Использование вероятностных подходов позволяет формализовать ключевые характеристики риска — вероятность наступления события и величину ущерба [5]. При этом для мегаполисов важна не только оценка отдельных рисков, но и построение моделей сетевого взаимодействия, которые позволяют понять, каким образом реализация одного риска изменяет вероятность и последствия других. Такая постановка задачи особенно актуальна для мегаполисов, где динамика городской среды предопределяет высокую степень взаимозависимости процессов.

Особую актуальность исследование экономических рисков мегаполисов приобретает в связи с глобальными тенденциями урбанизации. Согласно прогнозам ООН, к середине XXI в. более двух третей населения планеты будет проживать в городах, причем именно мегаполисы будут обеспечивать основной рост экономики [6, с. 3]. Это означает, что устойчивость таких систем становится не только локальной задачей отдельных государств, но и глобальным приоритетом. Нарушение стабильности мегаполисов способно вызвать каскадные последствия для национальных экономик и мировой системы в целом.

Управление экономическими рисками мегаполисов представляет собой междисциплинарную задачу, объединяющую экономику, социологию, математику, урбанистику и экологию. С одной стороны, необходимо учитывать макроэкономические тенденции и специфику финансовых рынков, с другой — социальные процессы, динамику инфраструктурного износа и экологические ограничения.

В результате формируется комплексная исследовательская проблема, требующая разработки новых методов анализа.

В данной статье предпринята попытка систематизировать основные группы экономических рисков мегаполисов, показать их взаимосвязанность и предложить формализованные методы моделирования. Особое внимание уделено построению вероятностных моделей, позволяющих количественно оценивать риски, и сетевых моделей, фиксирующих взаимное влияние угроз. Такой подход отражает специфику мегаполисов как сложных социально-экономических систем, а кроме того, создает основу для практических рекомендаций в области стратегического планирования и управления городским развитием.

Постановка задачи

В мегаполисах, являющихся крайне сложными многоуровневыми системами, вся совокупность потенциально возможных и реализующихся угроз характеризуется многомерностью. Для идентификации, исследования и оценки специфических для больших городов экономических рисков необходимо применять математическое моделирование.

Перед построением математической модели экономических рисков рассмотрим основные их группы:

- финансово-экономические риски;
- социально-экономические риски;
- инфраструктурные и пространственные риски;
- экологические и ресурсные риски;
- технологические и цифровые риски.

Все перечисленные виды рисков являются взаимосвязанными (рис. 1), что приводит к необходимости рассматривать не просто матрицы рисков, а граф взаимного влияния экономических рисков в мегаполисе, который показывает, как реализация

одной угрозы повышает вероятность наступления угрозы из другой группы. Например, реализация технологического риска приводит к тому, что увеличиваются социально-экономические риски [4].

Основной задачей, рассматриваемой в статье, является построение динамической модели взаимосвязанных экономических рисков, специфичных для крупных городов.

Финансово-экономические риски

Современные мегаполисы являются не только центрами концентрации населения и инфраструктуры, но и ключевыми узлами национальных и глобальных экономических процессов. Москва, Нью-Йорк, Лондон, Токио и другие крупнейшие города мира обеспечивают значительную долю национального ВВП, являются площадками финансовых рынков, центрами деловой активности, инноваций и логистики. Однако высокая концентрация экономической деятельности делает мегаполисы особенно уязвимыми перед различными видами финансово-экономических рисков.

Риск в данном контексте понимается как вероятность наступления неблагоприятных событий, способных повлиять на экономическую устойчивость города, его жителей и бизнеса. В условиях глобализации, цифровизации и изменения мировой геополитической ситуации риски становятся более разнообразными, взаимосвязанными и трудно прогнозируемыми. Их изучение необходимо как для органов власти, так и для бизнеса, поскольку управление рисками напрямую связано с инвестиционной привлекательностью, устойчивостью городской экономики и качеством жизни населения.

Ввиду разнообразия финансово-экономических рисков их можно условно разделить на три группы:

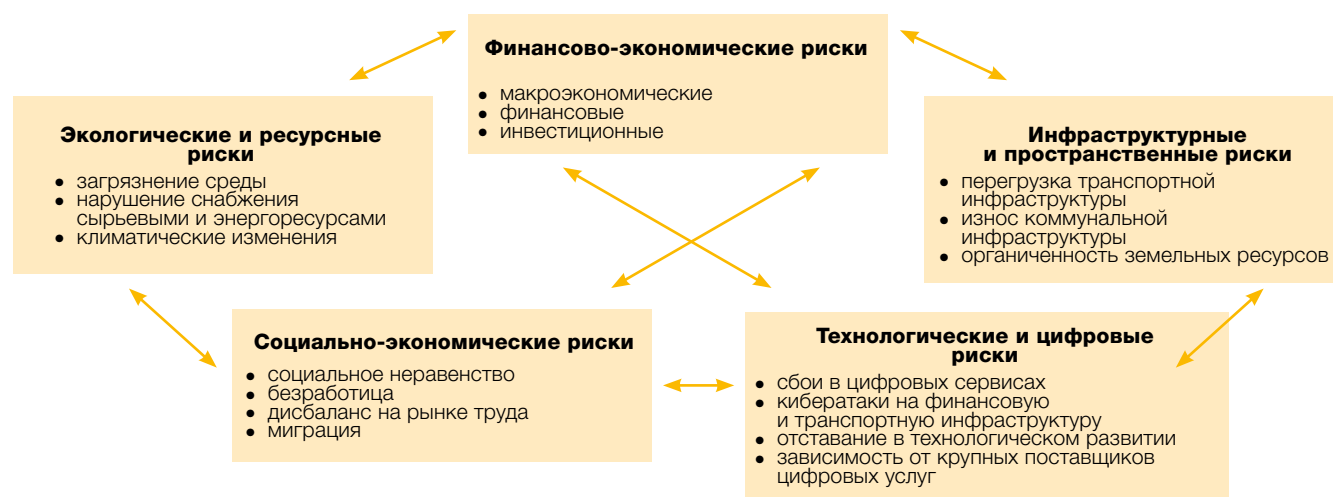


Рис. 1. Экономические риски мегаполисов

- макроэкономические риски. Это риски, причинами которых являются инфляция, дефляция, валютные колебания, снижение ВВП страны и падение деловой активности, зависимость от мировых рынков и глобальных кризисов;

- финансовые риски — это банковские кризисы и снижение ликвидности финансовых институтов, долговая нагрузка на бизнес и население, рост просроченной задолженности и снижение доступности кредитов;

- инвестиционные риски — это отток капитала и снижение притока прямых иностранных инвестиций, нестабильность фондовых рынков, неопределенность в сфере недвижимости («пузыри» на рынках жилья, коммерческой недвижимости).

Факторы возникновения рисков в мегаполисах отличаются разнообразием. Так, концентрация капитала и населения повышает вероятность возникновения «эффекта домино», когда риски, возникающие в одном секторе, могут вызывать реализацию рисков в других сферах жизни мегаполиса.

Социально-экономические риски

Социально-экономические риски занимают особое место в структуре угроз устойчивому развитию мегаполисов. Они связаны не только с состоянием экономики, но и с внутренними противоречиями, присутствующими в любом городском обществе, и проявляются в повседневной жизни миллионов людей. Чем крупнее город, тем более заметной становится социальная стратификация, тем выше нагрузка на систему занятости и тем острее ощущается воздействие миграционных потоков. Названные факторы взаимосвязаны: рост неравенства провоцирует социальное напряжение, структурный дисбаланс на рынке труда приводит к формированию в мегаполисе групп населения, различающихся по своим возможностям для экономической самореализации, а миграция одновременно выступает источником обновления человеческого капитала и фактором дестабилизации.

Одним из наиболее значимых социальных рисков крупных городов является неравенство. Пространственное и имущественное расслоение населения формирует ситуацию, когда внутри одного мегаполиса соседствуют районы, резко контрастирующие по уровню жизни, качеству инфраструктуры, обеспеченности социальными благами и возможностями трудоустройства. Богатые кварталы концентрируют ресурсы, высокооплачиваемые рабочие места и современные сервисы, тогда как окраины зачастую оказываются в положении периферии не только географической, но и социально-экономической.

Здесь уровень доходов ниже, инфраструктура изношена, а доступ к качественному образованию, медицинскому обслуживанию и культурным услугам ограничен. Такой дисбаланс ведет к нарастанию социальной напряженности, поскольку жители бедных районов чувствуют себя исключенными из городского сообщества, лишенными перспектив социальной мобильности. В долгосрочной перспективе это может трансформироваться в устойчивые конфликты, рост преступности и снижение общей безопасности городской среды.

Неравенство имеет и более скрытые, но не менее значимые последствия. Оно влияет на общий уровень доверия в обществе, подрывает способность к коллективным действиям и затрудняет реализацию масштабных проектов развития мегаполиса, требующих согласия различных социальных групп. Экономически развитые районы становятся своеобразными «островами благополучия», в то время как депрессивные территории превращаются в зоны хронической бедности. Усиление такого дуализма влечет за собой замедление темпов экономического роста всего мегаполиса, так как ограниченные возможности значительной части населения препятствуют полному использованию человеческого капитала города.

Другими важными социально-экономическими рисками мегаполисов являются безработица и структурный дисбаланс на рынке труда. Современные города обладают высокой степенью диверсификации экономики, но это не означает гармоничного развития всех отраслей. Напротив, под воздействием технологических сдвигов, глобализации и трансформации спроса одни сферы стремительно растут, в то время как другие сокращаются. Это порождает ситуации, когда на рынке труда возникает избыток специалистов в одних областях и одновременно отмечается явный дефицит кадров в других. Классическим примером современности является переизбыток на рынке труда людей с гуманитарным образованием при недостатке инженеров или IT-специалистов. В результате часть трудоспособного населения сталкивается со сложностями при трудоустройстве, несмотря на формальное наличие рабочих мест. Такая несбалансированность особенно остро ощущается в мегаполисах, где приток выпускников вузов велик, а структура экономики быстро меняется под влиянием глобальных трендов.

Особое место среди рисков занимает миграция. Мегаполисы традиционно выступают центрами притяжения населения, как внутреннего, так и внешнего. Приток мигрантов играет двойственную роль. С одной стороны, он обеспечивает экономику

города рабочей силой, причем мигранты часто готовы занимать позиции в низкооплачиваемых и трудоемких сегментах рынка труда, что поддерживает функционирование ряда таких сфер экономики, как строительство, транспорт, бытовые услуги. С другой стороны, быстрый рост численности населения за счет миграции создает значительную нагрузку на социальную инфраструктуру — образовательные и медицинские учреждения, систему жилищного обеспечения, транспортную сеть. В периоды резкого увеличения миграционных потоков названные системы могут оказаться под сильным давлением, что снижает качество услуг для всего населения.

Таким образом, социально-экономические риски мегаполисов представляют собой комплекс взаимосвязанных факторов, где рост неравенства усиливает уязвимость к кризисам занятости, а миграционные потоки одновременно сглаживают и обостряют структурные дисбалансы.

Инфраструктурные и пространственные риски

Инфраструктурные и пространственные риски мегаполисов являются одной из наиболее ощутимых групп угроз, поскольку они напрямую затрагивают качество жизни населения и условия функционирования бизнеса. В отличие от финансовых или технологических рисков, которые зачастую проявляются через косвенные механизмы, проблемы инфраструктуры и пространственной организации проявляются непосредственно. Эти риски тесно связаны между собой и нередко усиливают действие друг друга, создавая эффект накопления, который способен существенно нарушить устойчивость [7] и замедлить развитие города.

Перегрузка транспортной системы традиционно считается одной из наиболее болезненных проблем крупных городов. Рост автомобилизации, недостаточность развития общественного транспорта, неэффективное управление дорожным движением и дисбаланс в пространственном планировании ведут к хроническим заторам. Пробки не только отнимают у горожан время и снижают их качество жизни, но и оказывают прямое влияние на экономику. Задержки грузоперевозок, увеличение расходов на топливо, рост транспортных издержек бизнеса приводят к удорожанию товаров и услуг. Кроме того, высокая нагрузка на транспортную сеть провоцирует рост загрязнения воздуха и усиление шумового фона, что становится дополнительным фактором риска для здоровья людей. В результате мегаполис сталкивается с двусторонней угрозой: с одной стороны, транспортная система не справляется с возрастающими

потоками, с другой — ее неэффективность ведет к дополнительным экономическим потерям и снижению конкурентоспособности города.

Перегрузка транспортной инфраструктуры обостряется тем, что развитие городов часто идет быстрее, чем формирование транспортных узлов и сетей. Строительство новых жилых кварталов на окраинах редко сопровождается адекватным расширением транспортных возможностей. Это ведет к формированию спальных районов, жители которых вынуждены ежедневно добираться в центр, перегружая дороги и линии общественного транспорта. В долгосрочной перспективе такая ситуация может привести к тому, что бизнес станет переносить свои офисы и предприятия в другие регионы, где логистика устроена более рационально. Таким образом, перегрузка транспортной системы представляет собой не только социальную, но и стратегическую экономическую угрозу.

Не менее важным фактором является износ коммунальной инфраструктуры. Водопроводные и канализационные сети, линии электропередачи, теплоснабжение, газопроводы и системы связи в большинстве мегаполисов были построены десятилетия назад. В условиях постоянного роста нагрузки и недостаточного финансирования обновления они постепенно приходят в аварийное состояние. Сбои и аварии на этих системах способны парализовать жизнь отдельных районов или всего города. Прекращение подачи электроэнергии или воды ведет к остановке работы предприятий, снижению производительности труда и прямым экономическим убыткам. Кроме того, последствия таких аварий имеют и косвенный характер: жители теряют доверие к городским властям, бизнес начинает учитывать повышенные риски в своих стратегиях и даже отказывается от размещения производств в неблагополучных районах.

Коммунальная инфраструктура является основой жизнедеятельности мегаполиса. Если ее надежность ставится под сомнение, это приводит к росту затрат на страхование, увеличению транзакционных издержек и снижению инвестиционной привлекательности города. Особенно опасны ситуации, когда аварии происходят в зимний период, в условиях экстремальных погодных условий. Тогда последствия могут принимать масштаб катастрофы. В таких случаях речь идет не только о прямых убытках, но и о человеческих жертвах. Таким образом, износ коммунальной инфраструктуры превращается из технической проблемы в комплексный социально-экономический риск, который требует системного подхода к модернизации и управлению.

Еще одной ключевой угрозой является ограниченность земельных ресурсов. В условиях мегаполиса земля представляет собой один из наиболее ценных и дефицитных факторов производства. Рост численности населения, потребность в новых жилых массивах, коммерческой недвижимости и объектах инфраструктуры приводит к тому, что свободные территории для расширения оказываются исчерпанными. Дефицит земли неминуемо ведет к росту ее стоимости, что в свою очередь отражается на ценах на жилье, аренду офисных помещений и конечной стоимости товаров и услуг. Высокие цены на землю создают барьеры для новых игроков на рынке, усиливают социальное неравенство и ограничивают возможности для молодых семей и предпринимателей.

Ограниченность земельных ресурсов также вызывает ряд пространственных противоречий. Власти мегаполисов оказываются перед выбором: использовать землю под жилищное строительство, под развитие транспортной и промышленной инфраструктуры или же сохранять ее для рекреационных целей. Этот выбор всегда сопряжен с конфликтами интересов различных групп населения и бизнеса. Кроме того, дефицит земли подталкивает город к вертикальному росту — строительству высотных зданий и уплотнению застройки, что порождает новые проблемы: перегрузку инженерных сетей, ухудшение экологической обстановки и в целом снижение качества городской среды. В итоге ограниченность земельных ресурсов становится фактором, который формирует стратегические ограничения для долгосрочного развития мегаполиса.

Совокупное действие всех перечисленных факторов приводит к тому, что инфраструктурные и пространственные риски трансформируются в одно из ключевых препятствий устойчивого развития мегаполисов. Перегруженные транспортные системы снижают мобильность рабочей силы и повышают издержки бизнеса, изношенные коммунальные сети создают угрозу техногенных катастроф, а дефицит земли препятствует реализации новых проектов и повышает социальное напряжение. Если эти проблемы не решаются своевременно, они начинают усиливать друг друга, и формируется замкнутый круг. Например, рост плотности застройки увеличивает нагрузку на транспорт и инженерные сети, что в свою очередь ускоряет их износ и повышает вероятность аварий.

Экологические и ресурсные риски

Если финансовые или социальные факторы в большей степени зависят от состояния экономики и от политики, то экологическая и ресурсная

проблематика тесно связана с достаточностью биогенных и абиогенных ресурсов. Любое ухудшение состояния природной среды или перебои в снабжении базовыми ресурсами немедленно отражаются на здоровье населения, производительности труда, стоимости товаров и услуг, а также на инвестиционной привлекательности города. Таким образом, экологические и ресурсные риски формируют не только санитарно-биологические угрозы, но и прямые экономические потери, а их совокупное действие может существенно ограничивать возможности развития мегаполиса.

Загрязнение воздуха и воды является одним из наиболее острых вызовов для крупных городов. Транспорт, промышленные предприятия и строительные площадки — постоянные источники выбросов загрязняющих веществ, которые накапливаются в атмосфере и в водных объектах. Выхлопные газы, летучие выбросы, мелкодисперсные частицы, поступающие в воздух и в воду, растворимые вредные вещества, тяжелые металлы становятся фактором жизни горожан.

Последствия загрязнений выходят далеко за пределы сферы экологии. Так, загрязнение воздуха ведет к росту заболеваний органов дыхания и сердечно-сосудистой системы, что повышает затраты на здравоохранение и снижает общий уровень трудоспособности населения. В экономическом плане это выражается в снижении производительности труда, увеличении числа больничных и расходов на социальное страхование.

Загрязнение водных ресурсов также оказывает комплексное воздействие на жизнь мегаполиса. В условиях высокой плотности населения нагрузка на системы водоснабжения и водоотведения постоянно растет. Сброс недоочищенных сточных вод промышленными предприятиями и устаревание очистных сооружений приводят к ухудшению качества питьевой воды, что не только повышает риски для здоровья населения, но и увеличивает затраты домохозяйств на доведение воды до безопасного состояния. В долгосрочной перспективе плохое качество воды становится фактором, который снижает привлекательность города для инвесторов и мигрантов, поскольку санитарно-экологическая ситуация напрямую связана с уровнем жизни.

Наряду с загрязнением среды мегаполисы сталкиваются с дефицитом энергоресурсов и воды. Современный город является крайне энергоемкой системой, которая зависит от бесперебойного снабжения электричеством и теплом. Любые сбои в этой системе мгновенно сказываются на всех сферах — от работы промышленных предприятий

до функционирования больниц и транспорта. Перебои в энергоснабжении способны парализовать экономическую активность, вызвать транспортный коллапс и нанести прямой ущерб бизнесу. Дефицит воды, особенно в условиях засушливого климата или при неэффективной системе распределения, становится еще одним фактором риска. В таких условиях город вынужден вкладывать огромные средства в строительство новых водозаборов, очистных сооружений или даже в импорт воды из других регионов, что повышает себестоимость производства и стоимость жизни.

Особенно опасными становятся ситуации, когда энергетическая или водная система города оказывается зависимой от малого числа источников, от внешних поставщиков топлива или централизованных гидро- и теплоэлектростанций. В таких случаях авария или перебои в поставках могут привести к кризису, затрагивающему тысячи людей. Чем больше город, тем более разрушительными оказываются последствия подобного рода перебоев. Примером могут служить аварии в системах электроснабжения, случившиеся в Приморском и Красноярском краях летом 2025 г.

Важным аспектом экологических и ресурсных рисков является уязвимость мегаполисов к климатическим изменениям. Поскольку крупные города концентрируют большое количество населения и капитала на ограниченной территории, они особенно чувствительны к экстремальным погодным явлениям. Наводнения, ураганы, аномальная жара или длительные периоды смога могут нанести колоссальный прямой экономический ущерб. Наводнения разрушают транспортную и жилищную инфраструктуру, приводят к гибели людей и животных, создают эпидемиологические угрозы. Аномальная жара повышает нагрузку на энергетические системы из-за массового использования кондиционеров, вызывает рост смертности среди пожилого населения. Смоги, формирующиеся в условиях неблагоприятной розы ветров и высокой концентрации загрязнителей, снижают видимость на дорогах, парализуют авиасообщение и резко ухудшают здоровье людей.

Климатические риски имеют еще одну особенность: они носят кумулятивный и долговременный характер. Если загрязнение или перебои в ресурсах можно устранить относительно быстро, то изменение климата действует постепенно, но необратимо трансформирует условия существования мегаполиса. Повышение средней температуры ведет к перегреву городских территорий, особенно в районах плотной застройки, где формируется

так называемый эффект теплового острова. Это явление усиливает воздействие аномальной жары и повышает энергозатраты на охлаждение зданий. В прибрежных городах климатические изменения сопряжены с риском повышения уровня моря и угрозой затопления целых районов, что требует масштабных инвестиций в защитные сооружения.

Технологические и цифровые риски

Современные мегаполисы все в большей степени становятся «умными» системами, где практически все процессы — от управления транспортными потоками до предоставления государственных услуг — опираются на цифровые технологии. Цифровизация делает города более эффективными и комфортными для жителей, но одновременно создает целый спектр новых уязвимостей. Технологические и цифровые риски относятся к числу наиболее динамичных и трудно прогнозируемых угроз, поскольку связаны с быстрыми изменениями в сфере информационных технологий, с постоянно меняющимися методами нарушителей киберпространства и с высокой степенью зависимости мегаполисов от цифровых сервисов.

Одной из главных угроз в данной сфере являются кибератаки на критическую инфраструктуру. В условиях цифровизации экономики и городской среды практически все ключевые системы мегаполиса связаны с информационными технологиями. Транспортные узлы управляются через автоматизированные системы, энергосети зависят от цифровых центров, банковские и платежные системы функционируют на основе компьютерных сетей. В таких условиях успешная атака хакеров или сбой в программном обеспечении способны парализовать работу города. Случаи отключения электричества и следующих за этим нарушений работы банковских сервисов, остановки транспорта фиксировались уже во многих странах. Подобные инциденты не только наносят прямой экономический ущерб, но и подрывают доверие к городской инфраструктуре, повышают социальную тревожность и могут быть использованы в качестве инструмента политического давления.

Особую угрозу представляют собой кибератаки на финансовый сектор. В крупных городах концентрируются банки, биржи, страховые компании и инвестиционные фонды. Финансовый сектор мегаполиса становится приоритетной целью для киберпреступников. Даже кратковременные сбои в работе платежных систем способны вызвать панику среди населения и бизнеса, привести к массовому выводу средств и дестабилизировать

финансовую систему. Аналогичные угрозы существуют и для транспортной инфраструктуры: атака на систему управления общественным транспортом или систему управления аэропорта может вызвать транспортный коллапс, а при злонамеренном вмешательстве даже поставить под угрозу жизни людей. Для нашей страны весьма заметным оказался сбой в результате атаки хакеров в информационной системе «Аэрофлота» в июле 2025 г. с отменой десятков рейсов по всей стране. Таким образом, кибератаки превращаются в фактор стратегического риска, поскольку их последствия выходят далеко за рамки локальных технических проблем.

Не менее значимым технологическим риском является отставание мегаполиса от глобальных тенденций инновационного развития. В условиях всемирной конкуренции между городами именно уровень внедрения передовых технологий определяет их конкурентоспособность. Умные транспортные системы, цифровое администрирование, интеграция искусственного интеллекта в управление ресурсами и зеленые технологии становятся стандартом для ведущих мегаполисов мира. Если город не инвестирует в развитие таких решений, он рискует утратить привлекательность для бизнеса и высококвалифицированной рабочей силы. Технологическое отставание приводит к тому, что город становится менее эффективным, уровень его инфраструктуры все меньше соответствует потребностям населения, а экономический рост замедляется.

Кроме того, отставание в технологической сфере часто носит накопительный характер. Город, который упустил момент перехода на новые технологии, вынужден в дальнейшем тратить значительно больше ресурсов на догоняющее развитие. Этот процесс сопровождается ростом транзакционных издержек и снижением доверия инвесторов, которые предпочитают вкладывать средства в более инновационно развитые центры. В результате мегаполис, который не успевает адаптироваться к технологическим изменениям, оказывается в положении периферии глобальной экономики, что снижает его возможности для долгосрочного устойчивого развития.

Особого внимания заслуживает проблема зависимости мегаполисов от цифровых платформ. Для современных городов нормой повседневности стало пользование услугами глобальных и локальных IT-компаний, которые обеспечивают работу платежных систем, онлайн-банкинга, логистики, сервисов доставки, медицинских услуг и образовательных платформ. Сбой в работе крупного цифрового

сервиса способен вызвать цепную реакцию последствий. Например, отказ платежной системы парализует торговлю, сбой в логистическом сервисе приведет к дефициту товаров, а выход из строя систем умного города может вызвать транспортный хаос.

Зависимость от цифровых платформ усиливается тем, что они часто находятся в руках транснациональных корпораций или ограниченного числа игроков, что снижает устойчивость мегаполиса к внешним шокам. Если работа таких компаний будет нарушена по политическим, экономическим или техническим причинам, это немедленно отразится на миллионах жителей и тысячах предприятий. Таким образом, чрезмерная концентрация цифровых сервисов в руках ограниченного числа поставщиков превращает зависимость от них в один из ключевых рисков цифровой эпохи.

Важно, что цифровизация затрагивает не только сферу экономики, но и социальную жизнь мегаполиса. Зависимость населения от онлайн-платформ сформировала новые формы уязвимости — кибермошенничество, утечки персональных данных, манипуляции общественным мнением через цифровые каналы. Названные риски выходят за рамки чисто технологических проблем и становятся частью более широкого спектра социальных угроз, связанных с информационной безопасностью.

Вероятностная модель экономических рисков в мегаполисе

Для моделирования экономических рисков будем использовать вероятностную модель. Для этого рассмотрим вероятностное пространство в аксиоматике Колмогорова:

$$\langle \Omega, \mathcal{A}, P \rangle,$$

где Ω — это множество элементарных исходов, $\mathcal{A}$ — сигма-алгебра рассматриваемых событий, P — вероятностная мера на алгебре событий. При рассмотрении риска мы имеем реализацию случайного опыта:

$$\omega \in \Omega.$$

Пусть рассматриваемый риск представляет собой случайное событие в нашей аксиоматике, которое мы обозначим через B , полагая, что выполняется условие $B \subset \mathcal{A}$.

Соответственно, будем считать, что риск B реализовался, если выполнено условие $\omega \in B$.

При этом вероятность возникновения риска B вычисляется по следующей формуле, согласно вероятностному распределению:

$$p = P(B).$$

Экономические риски характеризуются не только вероятностью их возникновения, но и величиной ущерба [5]. Как правило, величина ущерба при реализации риска сама является случайной величиной. Поэтому при оценке экономических рисков необходимо учитывать вероятностные характеристики случайной величиной. Рассмотрим эту случайную величину, которую обозначим V_B . По определению случайная величина представляет собой измеримую относительно сигма-алгебры $\mathcal{A}$ вещественную функцию, заданную на Ω :

$$V_B = V_B(\omega).$$

По своему экономическому смыслу эта функция должна удовлетворять следующим условиям: быть неотрицательной и быть равной нулю, если не произошло событие B . Названные условия выражаются следующим образом:

$$V_B(\omega) \geq 0,$$

и

$$V_B(\omega) = 0, \omega \notin B.$$

Для оценки экономического риска будем использовать математическое ожидание от ущерба, возникающего при реализации риска B . Собственно экономический риск, который мы обозначим через R , определяется по следующей формуле:

$$R = E[V_B] = \int_B f_V(\omega) d\omega.$$

Здесь через $f_B(\omega)$ обозначена плотность распределения случайной величины $V_B(\omega)$.

В частном случае, когда ущерб от реализации риска является константой, риск можно оценить по более простой формуле:

$$R = P(B) \cdot V_B.$$

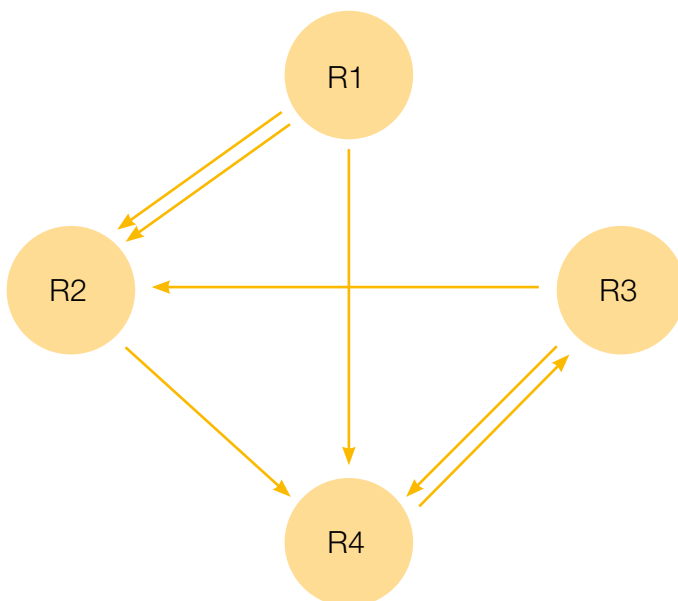


Рис. 2. Схема взаимного влияния рисков

Математическая модель сетевых рисков в мегаполисе

Рассмотренное вероятностное представление риска не учитывает взаимную связь экономических рисков, которые могут возникать в экономических системах мегаполисов. Поэтому необходимо построить математическую модель влияния различных экономических рисков друг на друга. Выше рассмотрены все группы рисков, специфичных для большинства крупных городов мира. Это разнообразие индуцирует взаимную связь между различными рисками [1]. Будем говорить, что риск $R1$ влияет на риск $R2$, если реализация риска $R1$ влечет за собой изменение вероятностных характеристик риска $R2$. При этом возможно, что риск $R2$ также влияет на риск $R1$. Схематично это влияние и взаимное влияние можно представить графически (рис. 2).

Изменение вероятностных характеристик отдельных рисков, связанных в сеть рисков, можно описать функционально, задавая функциональные зависимости плотностей вероятности и вероятностных мер, но такой подход труднореализуем на практике. Кроме того, указание явной функциональной зависимости может быть неэффективным, поскольку все вероятностные характеристики экономических рисков в мегаполисе зависят от глобальных параметров, что означает зависимость от времени.

Взаимное влияние экономических рисков мы будем учитывать с помощью временной модели, когда поток возникающих событий будет формировать временную шкалу. Будем использовать стандартное для системы массового обслуживания предположение, что одновременно не могут происходить несколько событий.

Таким образом, отмечая каждое наступление события с помощью t_k , мы получаем следующую временную шкалу:

$$t_1 < t_2 < \dots < t_k < \dots$$

Соответственно, в каждый момент времени t_k мы будем осуществлять пересчет вероятностных характеристик, описывающих системы рассматриваемых экономических рисков в мегаполисе. Формально эту процедуру можно записать следующим образом:

$$P_{\{k+1\}} = \varphi(P_k, \omega) \\ f_{B\{k+1\}} = \psi(f_{Bk}, \omega).$$

Здесь функции ψ и φ формализуют изменение вероятностных характеристик рисков. При этом изменения могут затрагивать как вероятность возникновения рисков, так и ущерб от наступающих рисков.

Как видим, использование модели сетевых рисков позволяет более точно и многомерно оценивать экономические риски в мегаполисе.

Заключение

Экономические риски в современном мегаполисе представляют собой многоплановое явление, которое оказывает существенное влияние на состояние и развитие города и которое для практических

целей можно описать с помощью математических моделей экономических рисков. Построенная вероятностная модель позволяет определять вероятностные характеристики экономических рисков и оценивать ущерб в случае реализации риска. Сетевая модель экономических рисков мегаполиса учитывает взаимосвязь между различными рисками и позволяет оценивать влияние одного реализованного риска на вероятностные характеристики других рисков.



Информационные источники

1. Акимов В. А., Порфирьев Б. Н. Кризисы и риск: к вопросу взаимосвязи категорий // Проблемы анализа риска. 2004. № 1. С. 38–49.
2. Бородушко И. В., Максимов Ю. А. Экономические риски в современном обществе: понятие, виды, методы оценки // Петербургский экономический журнал. 2017. № 3. С. 24–32. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskie-riski-v-sovremennom-obschestve-ponyatie-vidy-metody-otsenki> (дата обращения: 25.08.2025).
3. Глущенко В. М., Шамин Р. В. Математика управления городом // Вестник Университета Правительства Москвы. 2024. № 4. С. 30–35.
4. Исаков Д. А., Николаев В. А. Совершенствование системы управления рисками в муниципальных экономических системах. М.: МАКС Пресс. 2008. 51 с.
5. Covello V. T., Merkhofer M. W. Risk Assessment Methods, Plenum Press. New York; London, 1993. 318 p.
6. New Urban Agenda. Habitat III. Quito. 17–20 October 2016 / United Nations. Habitat III Secretariat, 2017. URL: <https://www.un.org/ru/conferences/habitat/quito2016> (дата обращения: 26.07.2025).
7. Rinaldi S. M., Peerenboom J. P., Kelly T. K. Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies // IEEE Control Systems Magazine. 2002. Vol. 21. No. 6. Pp. 11–25. DOI: 10.1109/37.969131.

References

1. Akimov V. A., Porfiriev B. N. Crises and Risk: on the Issue of the Concepts' Interrelationship. *Issues of Risk Analysis*, 2004, no. 1, pp. 38–49. (In Russ.).
2. Borodushko I. V., Maksimov Yu. A. Economical Risks in Modern Society: Concept, Types, Assessment Methods. *Petersburg Economic Journal*, 2017, no. 3, pp. 24–32. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskie-riski-v-sovremennom-obschestve-ponyatie-vidy-metody-otsenki> (accessed: 25.08.2025). (In Russ.).
3. Gluschenko V. M., Shamin R. V. The Mathematics of City Management. *MMGU Herald*, 2024, no. 4, pp. 30–35. (In Russ.).
4. Isakov D. A., Nikolaev V. A. *Sovershenstvovanie Sistemy Upravleniya Riskami v Munitsipal'nykh Ekonomicheskikh Sistemakh [Improving the Risk Management System in Municipal Economic Systems]*. Moscow: MAX Press, 2008. 51 p. (In Russ.).
5. Covello V. T., Merkhofer M. W. *Risk Assessment Methods*, Plenum Press. New York; London, 1993. 318 p.
6. United Nations. *New Urban Agenda. Habitat III. Quito. 17–20 October 2016*. Habitat III Secretariat, 2017. Available at: <https://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-English.pdf> (accessed: 26.07.2025).
7. Rinaldi S. M., Peerenboom J. P., Kelly T. K. Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies. *IEEE Control Systems Magazine*, 2002, vol. 21, no. 6, pp. 11–25. DOI: 10.1109/37.969131.