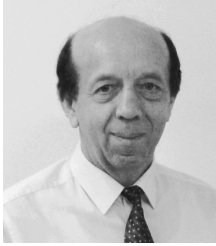


# Моделирование эпидемиологической обстановки в рамках концептуальной модели умного города

Modeling the epidemiological situation within the framework of the conceptual model of a smart city

doi 10.26310/2071-3010.2021.275.9.007



## С. М. Сергеев,

к.т.н., с.н.с., Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева / доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
✉ sergeev2@yandex.ru

## S. M. Sergeev,

candidate of technical sciences, senior research, Oryol state university named after I. S. Turgeneva / assistant professor, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University



## Я. О. Лебедева,

к. э. н., докторант, Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева / начальник управления, БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова  
✉ yana-lebedeva@bk.ru

## Ya. O. Lebedeva,

candidate of economic sciences, doctoral, Oryol state university named after I. S. Turgeneva/head of the department, BSTU «VOENMEH» named after D. F. Ustinov



## Е. В. Новикова,

к.э.н., доцент, Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева  
✉ katuynya\_law@mail.ru

## E. V. Novikova,

candidate of economic sciences, Associate Professor, Oryol State University named after I. S. Turgenev

Экономическую основу благополучия современных городов составляют научные, производственные, а также культурные возможности. Решение экологических проблем крупных городов затруднено тем, что их деятельность строится на концентрации многих видов ресурсов. Уроки пандемии COVID-19 заставляют искать новые методы управления мегаполисами. Особенностью мегаполисов является постоянный приток гостей — туристов, иностранных работников, учащихся и др. В статье предлагается подход решения проблем, связанных с регулированием притока гостей города. Составлена динамическая модель распространения инфекции, в качестве аргументов которой фигурируют ограничительные и карантинные мероприятия. Одновременно решается задача поиска экономически обоснованного баланса между внешними эффектами экологического характера и возможностями ограниченных ресурсов. При решении этих двух задач с применением механизмов моделирования становится возможным использовать информационные потоки систем умного города, а результаты расчетов дают основу принятия оптимального комплекса административных и технических решений.

The economic basis of the well-being of modern cities is scientific, industrial, and cultural opportunities. Solving the environmental problems of large cities is hampered by the fact that their activities are based on the concentration of many types of resources. The lessons of the COVID-19 pandemic are forcing us to look for new methods of managing megacities. A feature of megacities is the constant influx of guests — tourists, foreign workers, students, etc. The article proposes an approach to solving problems related to the regulation of the influx of city guests. A dynamic model of the spread of infection has been compiled, the arguments of which are restrictive and quarantine measures. At the same time, the problem of finding an economically justified balance between the external effects of an ecological nature and the possibilities of limited resources is being solved. When solving these two problems using modeling mechanisms, it becomes possible to use the information flows of smart city systems, and the calculation results provide the basis for making an optimal set of administrative and technical decisions.

**Ключевые слова:** умный город, эпидемиологическая обстановка, качество жизни, цифровая экономика.

**Keywords:** smart city, epidemiological situation, quality of life, digital economy

## Введение

Повышение эффективности государственного управления на основе внедрения цифровых технологий и платформенных решений обозначено в Национальной программе «Цифровая экономика Российской Федерации» [1]. Создание механизмов развития комфортной городской среды, комплексного развития городов с учетом качества городской среды является одной из задач Национального проекта «Жилье и городская среда» [2].

В настоящее время активно применяются инновационные решения развития городов в соответствии с концептуальной моделью умного города (SCCM, Smart City Concept Model). Из опыта существования в условиях пандемии, правительства и администрации городов только сейчас начинают

формировать регламенты управления. Современные информационные технологии [10] позволяют контролировать перемещение каждого отдельного лица с применением геолокации и распознавания личностей.

При недостаточном уровне развития средств наблюдения и отсутствии современных технологий для реализации контроля над перемещениями жителей, необходимы другие организационные мероприятия. К таким мероприятиям относятся ограничение потока прибывающих в город гостей, регулирование деятельности предприятий, особенно тех, которые относятся к жизнеобеспечению мегаполисов.

При этом, важным является соблюдение баланса капитальных (capital expenditure, CAPEX) и операционных расходов (operational expenditure, OPEX). Решение такого рода задач возложено на власти горо-

да, а также связано с мобилизацией всех доступных ресурсов в рамках законодательства.

Стандартами SCCM определены наиболее актуальные модели управления в данных условиях. В первую очередь, это относится к ситуации, когда множество организаций предоставляют различные сервисы сообществам, сконцентрированным в небольшом ареале на ограниченных ресурсах.

### Постановка проблемы

Современное городское хозяйство представляет сложную экосистему. Для поддержания необходимого уровня жизни проводится оперативный анализ с использованием данных в режиме реального времени, что обеспечивает оптимальные стратегические решения. Опыт работы администраций городов в условиях пандемии COVID-19 позволяет сформулировать основные направления мобилизации усилий по обеспечению экономической деятельности [9] и решения социальных проблем.

Становится ясным, что необходимые карантинные меры, а также мероприятия по предупреждению распространения любых инфекций принимаются на основе проведенного анализа. Здесь также необходимо решать проблему использования такого общего ресурса мегаполисов, как территория и определить степень ограничений по одновременному нахождению определенного числа людей населенного пункта в рамках общего пространства. Эта задача коррелируется также с экологическими проблемами использования общих городских и природных ресурсов.

Таким образом, задача распадается на две составляющие. Необходимо составить динамическую модель [11] распространения инфекций в условиях мегаполиса, аргументы которой отражают влияние ограничительных и карантинных мер. Далее требуется решение проблемы использования общего ресурса мегаполисов. При этом проводится поиск экономически обоснованного баланса между внешними эффектами экологического характера и допустимым притоком приезжих в мегаполис. Сравнение результатов решения поставленных задач, позволит принять необходимый комплекс административных и технических решений.

### Моделирование эпидемиологической обстановки

Первая задача относится к определению критических условий развития эпидемий в рамках мегаполиса. Для базовых расчетов применяется модель эпидемии вируса (Susceptible-Infected-Removed model, SIR). Это позволяет учесть группу потенциального риска  $S$ , число уже инфицированных  $I$  и существующий процент людей имеющих иммунитет  $R$ . Сложив для рассматриваемой популяции  $N$  значения должно выполняться равенство  $S + I + R = N$ .

С другой стороны  $N$  можно разложить на сумму резидентов  $H$  и гостей  $G$ . От общего количества пропорционально зависит показатель  $\omega(N)$  скорости передачи инфекции здоровым людям. В качестве до-

полнительного условия рассматривается приобретение иммунитета гражданами после излечения. Кроме того, необходимо учесть влияние профилактических и карантинных мер. Это будет интегральный [12] показатель  $\gamma$  отражающий уровень эффективности действий администрации и руководства мегаполиса в виде нормативных актов, запретов и ограничений, то есть реакцию на возникшую эпидемию. Численно  $\gamma$  показывает скорость излечения в популяции, измеряемую появлением положительных анализов на антитела.

Тогда составив систему уравнений  $S'_i = -\omega i s$ ,  $i'_i = \omega i s - \gamma i$ ,  $r'_i = \gamma i$ , где принято  $i = I / (H + G)$ ,  $r = R / (H + G)$ ,  $s = S / (H + G)$ , можно математически моделировать динамику процесса протекания эпидемии. Так как в период регистрации роста заболевания выполняется условие  $i'_i > 0$ , а  $s(t)$  наоборот уменьшается по причине роста инфицированных, то имеем следующее условие:  $s(0) > \gamma / \omega = \rho$ . Начавшаяся в 2020 году эпидемия COVID-19 показала, что это условие выполнено с запасом. Причинами являются, во-первых запоздалые профилактические меры  $\gamma$  и время на поиск средств борьбы с эпидемией, а во-вторых  $\omega$  связано с мутацией вирусов и неисполнением карантинных мер. В результате успешного применения административных мер и степени жесткости карантина, должно увеличиваться число граждан, обладающих приобретенным иммунитетом, и происходить снижение рисков для уязвимого числа  $S$ .

Отметим, что согласно мировой практике, прежде всего, вводятся ограничения на прибытие новых граждан на зараженную территорию, то есть в числе  $N$  уменьшается доля слагаемого  $G$  при незначительном изменении  $H$ . Тогда получим систему уравнений для описания динамики развития эпидемии в виде:  $i'_i = \omega i (1 - r - i) - \gamma i$ ,  $r'_i = \gamma (1 - r)$ . Отсюда следует, что при такой модели  $r(t) = 1 - e^{-\gamma t}$ .

Из полученного результата можно строить в первом приближении прогнозы [8] эпидемиологической обстановки. Входными данными для расчета являются показатели заболеваемости, а управляемые переменные отражают принимаемые меры по ограничению притока приезжих людей, а также карантинные и лечебно-профилактические мероприятия. Расчет показывает, что именно от соотношения темпа инфицирования и скорости приобретения иммунитета зависит прохождение порога «вспышки»  $i_{TRH}$  который пропорционален значению  $\gamma^{-1}$ . В случае если анализируется влияние ограничения потока приезжих, то зная декремент снижения числа  $S$ , динамика [13] процесса подчиняется следующим соотношениям:  $S'_i = -\omega i s - (\lambda + \alpha) S + \alpha$ ,  $i'_i = \omega i s - (\gamma + \alpha) i$ ,  $r'_i = \gamma (1 - r) - \alpha r$  и ограничивающие меры должны удовлетворять соотношению:  $s > (\lambda + \alpha) / \omega$ .

Также возможно усовершенствовать данную динамическую модель за счет учета влияния инкубационного периода  $E$ , например в 14 дней. По истечении данного срока человек становится источником распространения вируса. Для этого вводится соотношение для  $E = E(I)$ , дополняющее представленную систему уравнений.

Вторая задача относится к планированию потока прибывающих. Если сопоставить перечень «альфа++»

городов, публикуемый в исследований глобализации и мировых городов (annual Globalization & World Cities Research Network, GaWC) [15] и список знаковых для туристического бизнеса и соответственно для интересов путешественников, то они совпадут по большинству позиций.

Перечень городов, отвечающих критериям «альфа» и верхним строчкам в рейтинге туристической привлекательности, согласно данным агрегатора Conde Nast Travel [14] включает: Нью-Йорк, Лондон, Гонконг, Пекин, Париж, Токио, Дубай, Шанхай, Москва, Санкт-Петербург.

Этот вывод вполне прогнозируем, так как к городам, имеющим исторический центр, всегда повышенное внимание. В мегаполисах сосредоточена также культурная, научная жизнь и соответственно в таких городах наибольший поток в рамках индустрии делового туризма (MICE, Meetings, Incentives, Conferences, Exhibitions).

Отсюда вытекает вторая проблема посещения достопримечательностей (POI, point of interest). При большом скоплении желающих увидеть достопримечательности, посещение музеев становится настолько большой проблемой, что нарастает поток негативных отзывов и впечатлений. Так, например, очередь в Лувр, в Эрмитаж, Ватикан и другие знаковые места растягивается на много часов. То же относится и к природным, заповедным местам Ниагара, Санторини, и к историческим и архитектурным ансамблям — Парфенон, Гиза, остров Пасхи.

**Результаты**

Для разработки математического описания [3] необходим набор формализмов — в данном случае совокупность ресурсов мегаполиса. К ним относятся: природные ресурсы — парки, водоемы, воздух; коммунальные ресурсы, снабжение водой, энергией, пропускная способность улиц, охрана правопорядка; культурные, спортивные, исторические объекты.

Суммарное количество таких ресурсов обозначим  $n$ . Нагрузка  $l_i$  на каждый из них при  $i = 1...n$ , зависит от суммарного числа  $N$  суммы резидентных жителей  $H$  и приезжих  $G$ . Сведем это в вектор  $\bar{L} = (l_1, l_2, \dots, l_n)$  обозначим общую нагрузку на мегаполис как  $L$ :

$$L = \sum_{i=1}^n l_i$$

Для перехода к экономическим [4] оценкам, обозначим  $U$  размер средневзвешенных переменных затрат и введем функцию  $g(L)$ , определяющую выручку по каждому пользователю ресурса.

Так как по мере насыщения  $L_0$  возможностей мегаполиса доходность падает, то при выполнении условия  $L > L_0$  будет справедливо неравенство  $g'(L) < 0$ . Кроме того, ограниченность возможностей вызывает негативные эффекты, поэтому справедливо:  $g''(L) < 0$ . Действия администрации мегаполиса направлены на сохранение баланса между прибылью [5] от притока гостей в город и неблагоприятным влиянием дополнительной нагрузки на ресурсы. Для этого необходимо

учесть прибыль  $R_i$  по каждому  $i = 1...n$  из них:  $R_i = l_i g(l_1 + l_2 + \dots + l_n) - U l_i = l_i g(L) - U l_i$ .

Согласно равновесию по Нэшу (теореме Nash equilibrium) должно иметься значение вектора  $(l_1^*, l_2^*, \dots, l_n^*)$ , которое максимизирует  $R_i$  при  $(l_1^*, l_2^*, \dots, l_{i-1}^*, l_{i+1}^*, \dots, l_n^*)$  компонентах вектора.

Соответствующее условие первого порядка имеет вид:  $g(l_i + l_{-i}) + l_i g'(l_i + l_{-i}) - U = 0$ ,

$$\text{где } l_{-i}^* = \sum_{k \neq i} l_k^*$$

при  $i = 1...n$ . Решение [6] будет найдено из выполнения условий

$$\frac{\partial R_i}{\partial l_i} = 0$$

Воспользовавшись условием равновесия для  $L^*$  и, просуммировав значения по  $i$ , получим искомый результат:

$$L^* = n \frac{U - g(L^*)}{g'(L^*)}$$

Теперь необходимо учесть условие минимизации отрицательных эффектов и найти максимум из условия оптимизации нагрузки  $L_0$  на ресурсы мегаполиса. В этом случае в точке экстремума выполняется равенство:

$$L_0 = \frac{U - g(L_0)}{g'(L_0)}$$

Сравним результаты и так как всегда  $n \gg 1$ , очевиден вывод, что  $L^* > L_0$ .

Далее на конкретных примерах рассмотрим влияние уровня притока гостей города (рис. 1) и данные отзывов гостей города (рис. 2).

По оси абсцисс находятся данные изменения плотности населения в виде соотношения гостей и жителей города (VR. visitors/residents) (рис. 1). Отдельные графики для прибыли города (имеет пик с увеличением плотности приезжих), для прибылей/убытков от риска распространения инфекции. Также отметим, что, начиная с некоторого значения плотности гостей, диаграмма показывает резкое снижение прибыли.

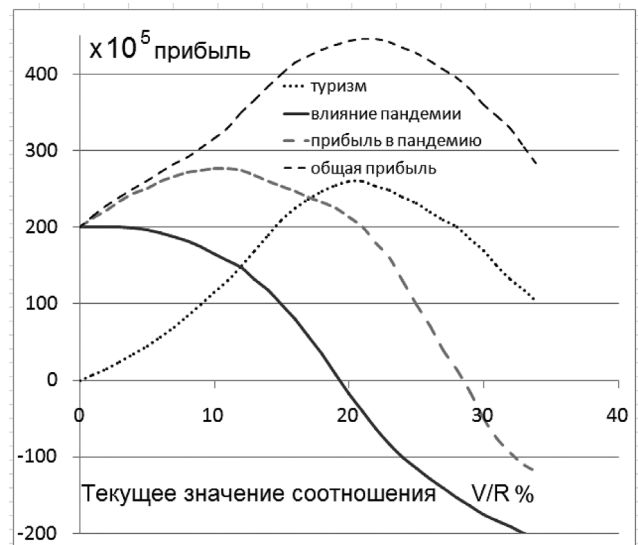


Рис. 1. Влияние уровня притока гостей города

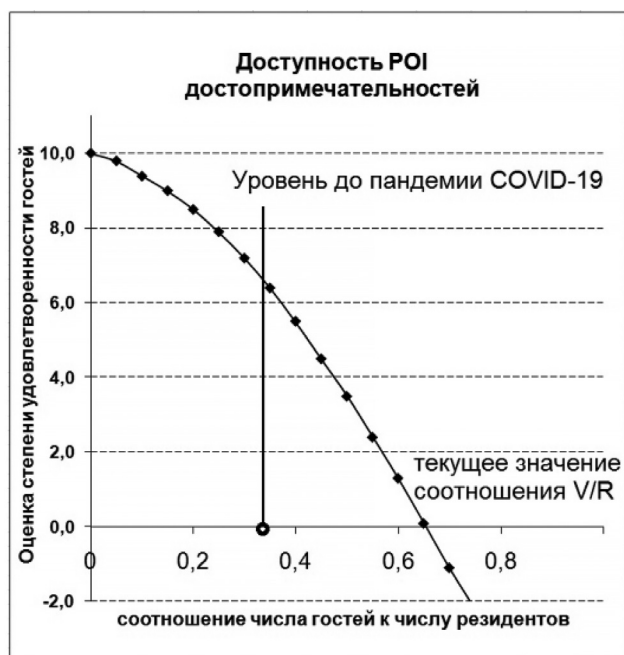


Рис. 2. Данные по отзывам гостей города

Ожидаемо, что пик в нормальных условиях находится гораздо правее по оси абсцисс, чем при наличии риска распространения инфекции.

На рис. 2 представлены данные по степени удовлетворенности гостей по данным эксперта российского рынка делового туризма – Travel Management Consulting от посещения достопримечательностей (POI). Отмечены данные по сведениям агентства Resonance Consultancy за предшествующий пандемии год. За нулевой уровень взяты среднестатистические данные по сезонному гриппу.

Даже в условиях эпидемии, резкое ограничение популяции грозит длительными экономическими последствиями. Необходимо найти оптимальное соотношение гостей и резидентов, которое при минимизации эпидемических потерь позволил бы максимально сохранить экономические индикаторы деятельности мегаполиса.

В нормальных условиях, когда нет карантинного режима, необходимость ограничения гостей диктуется другими причинами. Это нагрузка на ресурсы общего пользования, экологические факторы и негативные эффекты такие, как возникновение очагов социальной напряженности. Сугубо техническое решение в данном случае невозможно. Поэтому во всем мире наиболее удачным является введение экологического налога, взимаемого с туристов и визитеров деловых поездок.

Также для прозрачности учета уровня приезжих, вводятся штрафные санкции на пользователей сервисов CouchSurfing, Airbnb и подобных. Этим же целям

служит система ограниченного лицензирования услуг гостеприимства. На рис. 3 представлены усредненные значения расчета экологического налога (Ecotax) в условиях отсутствия других ограничений на посещение мегаполиса.

Для расчетов использовалась математическая модель [7] и методика, учитывающая реальное ведение бизнеса в условия цифровой экономики. Необходимо отметить, что использованные при расчетах данные по относительному числу  $G/H$  находятся в довольно узком диапазоне. Во многих случаях это соотношение может быть весьма большим. В первую очередь такая картина наблюдается на территориях, для которых туристический бизнес составляет основную статью дохода. В этом случае население приветствует максимальный сезонный приток туристов, так как это дает возможность прожить период низкого сезона. Здесь необходимо проводить отдельное исследование.

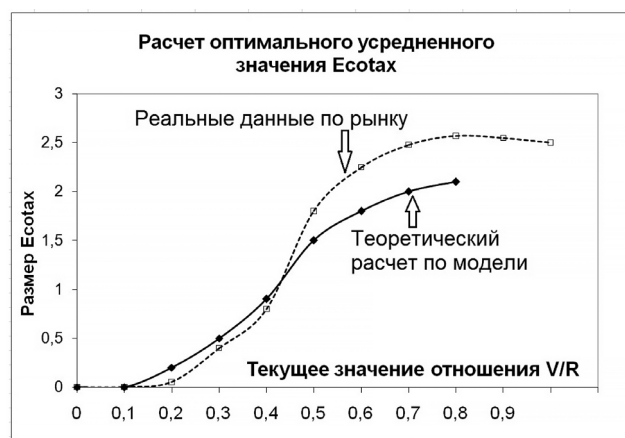


Рис. 3. Сравнение расчетного и реального значений экологического налога (Ecotax).

## Выводы

Современный мир извлекает уроки пандемии COVID-19. Особенно пострадали крупные мегаполисы. Уровень жизни их населения зависит от ряда разнонаправленных факторов. В первую очередь, от возможностей принимать значительное количество гостей, которые способствуют росту экономики. Однако возникающие негативные эффекты заставляют администрацию городов искать баланс с помощью введения мер, которые обусловлены разумным использованием ограниченного общего ресурса.

Разработанная математическая модель позволяет встроить полученные алгоритмы в концептуальную модель умного города SCCM в качестве одного из слоев интеллектуальных систем поддержки принятия управленческих решений.

## Список использованных источников

1. Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16) — URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения 08.04.2022).
2. Паспорт национального проекта «Жилье и городская среда» (утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16) — URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения 08.04.2022).
3. Borisoglebskaya L. N., Provotorov V. V., Sergeev S. M., and Kosinov E. S.. 2019. "Mathematical Aspects of Optimal Control of Transference Processes in Spatial Networks." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 537 (4). — URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/537/4/042025>.

4. Barykin S. Y., Kapustina I. V., Sergeev S. M., Kalinina O. V., Vilken V. V., Elena De La Poza Plaza, Putikhin Y. Y., and Volkova L. V. 2021. "Developing the Physical Distribution Digital Twin Model within the Trade Network." *Academy of Strategic Management Journal* 20 (1): 1–18. — URL: <https://www.abacademies.org/articles/developing-the-physical-distribution-digital-twin-model-within-the-trade-network.pdf>.
5. Barykin S. Y., Kapustina I. V., Sergeev S. M., and Yadykin V. K. 2020. "Algorithmic Foundations of Economic and Mathematical Modeling of Network Logistics Processes." *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity* 6 (4): 1–16. — URL: <https://doi.org/10.3390/joitmc6040189>.
6. Barykin S. Y., Borisoglebskaya L. N., Provotorov V. V., Kapustina I. V., Sergeev S. M., Elena De La Poza Plaza, and Lilya Saychenko. 2021. "Sustainability of Management Decisions in a Digital Logistics Network." *Sustainability* 13 (16): 9289. — URL: <https://doi.org/10.3390/su13169289>.
7. Barykin S. E., Smirnova E. A., Dan Chzhao, Kapustina I. V., Sergeev S. M., Mikhailchevsky Y. Y., Gubenko A. V., et al. 2021. "Digital Echelons and Interfaces within Value Chains: End-to-End Marketing and Logistics Integration." *Sustainability* 13 (24): 13929. — URL: <https://doi.org/10.3390/su132413929>.
8. Golosnoy A. S., Provotorov V. V., Sergeev S. M., Raikhelgauz L. B., and O. Ja Kravets. 2019. "Software Engineering Math for Network Applications." *Journal of Physics: Conference Series* 1399 (4): 044047. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/4/044047>.
9. Krasnov Sergey, Sergey Sergeev, Elizaveta Zotova, and Nadezhda Grashchenko. 2019. "Algorithm of Optimal Management for the Efficient Use of Energy Resources." *E3S Web of Conferences* 110. — URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911002052>.
10. Pilipenko O. V., Provotorova E. N., Sergeev S. M., and Rodionov O. V. 2019. "Automation Engineering of Adaptive Industrial Warehouse." *Journal of Physics: Conference Series* 1399 (4). — URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/4/044045>.
11. Provotorov V. V., Sergeev S. M., and Van Nguyen Hoang. 2020. "Countable Stability of a Weak Solution of a Parabolic Differential-Difference System with Distributed Parameters on the Graph." *Vestnik of Saint Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes* 16 (4): 402–14. — URL: <https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2020.405>.
12. Provotorov V. V., Sergeev S. M., and Hoang Van Nguyen. 2021. "Point Control of a Differential-Difference System with Distributed Parameters on the Graph." *Vestnik of Saint Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes* 17 (3): 277–86. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2021.305>.
13. Deloitte. 2020. "Government Trends 2020." *Deloitte Insights*, 88. URL: [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ec/Documents/public-sector/DI\\_Government-Trends-2020.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ec/Documents/public-sector/DI_Government-Trends-2020.pdf). (дата обращения 08.04.2022).
14. Conde Nast Travel — URL: <https://www.cntraveller.com/> (дата обращения 08.04.2022).
15. Globalization and World Cities Research Network — URL: <http://https://fortune.com/rankings/> (дата обращения 08.04.2022).

### References

1. Passport of the national program «Digital Economy of the Russian Federation» (approved by the Presidium of the Council under the President of the Russian Federation for Strategic Development and National Projects, protocol dated December 24, 2018 № 16) — URL: <http://www.consultant.ru/> (date of access 04.08.2022).
2. Passport of the national project «Housing and Urban Environment» (approved by the Presidium of the Council under the President of the Russian Federation for Strategic Development and National Projects, protocol dated December 24, 2018 № 16) — URL: <http://www.consultant.ru/> (date of access 04.08.2022).
3. Borisoglebskaya L. N., Provotorov V. V., Sergeev S. M., and Kosinov E. S. 2019. "Mathematical Aspects of Optimal Control of Transference Processes in Spatial Networks." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 537 (4). — URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/537/4/042025>.
4. Barykin S. Y., Kapustina I. V., Sergeev S. M., Kalinina O. V., Vilken V. V., Elena De La Poza Plaza, Putikhin Y. Y., and Volkova L. V. 2021. "Developing the Physical Distribution Digital Twin Model within the Trade Network." *Academy of Strategic Management Journal* 20 (1): 1–18. — URL: <https://www.abacademies.org/articles/developing-the-physical-distribution-digital-twin-model-within-the-trade-network.pdf>.
5. Barykin S. Y., Kapustina I. V., Sergeev S. M., and Yadykin V. K. 2020. "Algorithmic Foundations of Economic and Mathematical Modeling of Network Logistics Processes." *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity* 6 (4): 1–16. — URL: <https://doi.org/10.3390/joitmc6040189>.
6. Barykin S. Y., Borisoglebskaya L. N., Provotorov V. V., Kapustina I. V., Sergeev S. M., Elena De La Poza Plaza, and Lilya Saychenko. 2021. "Sustainability of Management Decisions in a Digital Logistics Network." *Sustainability* 13 (16): 9289. — URL: <https://doi.org/10.3390/su13169289>.
7. Barykin S. E., Smirnova E. A., Dan Chzhao, Kapustina I. V., Sergeev S. M., Mikhailchevsky Y. Y., Gubenko A. V., et al. 2021. "Digital Echelons and Interfaces within Value Chains: End-to-End Marketing and Logistics Integration." *Sustainability* 13 (24): 13929. — URL: <https://doi.org/10.3390/su132413929>.
8. Golosnoy A. S., Provotorov V. V., Sergeev S. M., Raikhelgauz L. B., and O. Ja Kravets. 2019. "Software Engineering Math for Network Applications." *Journal of Physics: Conference Series* 1399 (4): 044047. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/4/044047>.
9. Krasnov Sergey, Sergey Sergeev, Elizaveta Zotova, and Nadezhda Grashchenko. 2019. "Algorithm of Optimal Management for the Efficient Use of Energy Resources." *E3S Web of Conferences* 110. — URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911002052>.
10. Pilipenko O. V., Provotorova E. N., Sergeev S. M., and Rodionov O. V. 2019. "Automation Engineering of Adaptive Industrial Warehouse." *Journal of Physics: Conference Series* 1399 (4). — URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/4/044045>.
11. Provotorov V. V., Sergeev S. M., and Van Nguyen Hoang. 2020. "Countable Stability of a Weak Solution of a Parabolic Differential-Difference System with Distributed Parameters on the Graph." *Vestnik of Saint Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes* 16 (4): 402–14. — URL: <https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2020.405>.
12. Provotorov V. V., Sergeev S. M., and Hoang Van Nguyen. 2021. "Point Control of a Differential-Difference System with Distributed Parameters on the Graph." *Vestnik of Saint Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes* 17 (3): 277–86. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2021.305>.
13. Deloitte. 2020. "Government Trends 2020." *Deloitte Insights*, 88. URL: [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ec/Documents/public-sector/DI\\_Government-Trends-2020.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ec/Documents/public-sector/DI_Government-Trends-2020.pdf). (date of access 04.08.2022).
14. Conde Nast Travel — URL: <https://www.cntraveller.com/> (date of access 04.08.2022).
15. Globalization and World Cities Research Network — URL: <http://https://fortune.com/rankings/> (date of access 04.08.2022).