

## МЕНЕДЖМЕНТ И УПРАВЛЕНИЕ БИЗНЕСОМ

Научная статья  
УДК 519.2:608

### Динамические байесовские сети при решении задач стратегического и оперативного планирования сдерживания пандемий

Оксана Михайловна Куликова<sup>1</sup>, Наталья Сергеевна Веремчук<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, Россия

<sup>1</sup> ya.aaaaa11@yandex.ru

<sup>2</sup> n-veremchuk@rambler.ru

**Аннотация.** Применение государственных мероприятий сдерживания пандемии требует эффективного решения задач оперативного и стратегического планирования и охвата всего без исключения населения страны. Данное исследование направлено на выявление взаимосвязей между показателями эпидемического процесса и показателями реагирования государства в рамках сдерживания пандемии COVID-19. Выявлена последовательность противоэпидемических мероприятий, способствующая снижению заболеваемости населения и росту экономического потенциала страны. Исследование выполнено на примере России. Используются еженедельные статистические данные за период с января по декабрь 2020 г. по показателям, характеризующим развитие эпидемического процесса COVID-19 и реализацию государственных противоэпидемических мероприятий (источник – Oxford COVID-19 Government Response Tracker). Построена динамическая байесовская сеть. При обучении сети использован алгоритм «a variation on Ghada Trabelsi's dynamic max-min hill climbing». Расчеты выполнены с применением библиотеки dbnR языка программирования R. Выявлены следующие типы взаимосвязей между показателями развития эпидемического процесса COVID-19 и государственными мероприятиями сдерживания пандемии: 1) краткосрочные; 2) долгосрочные; 3) самовлияния. Государственные противоэпидемические мероприятия формируют сложную динамическую структуру, которая определяет закономерности их воздействия на сдерживание роста заболеваемости населения России COVID-19. Эпидемический процесс характеризуется эффектом памяти: изменение заболеваемости и смертность населения в текущий момент будут являться причиной изменения показателей данного процесса в будущем. Эффективная реализация государственных противоэпидемических мероприятий способствует снижению роста заболеваемости и смертности населения от COVID-19. При этом необходимо соблюдать строгую последовательность противоэпидемических мероприятий: начинать с реализации мер в сфере здравоохранения, затем постепенно подключать ограничительные государственные мероприятия, далее – мероприятия государственной экономической поддержки населения. Особое внимание необходимо обращать на реализацию двух видов мероприятий: 1) ограничения по проведению собраний; 2) экономическая поддержка населения, поскольку они подвержены значительному влиянию со стороны различных факторов. При этом ограничение на передвижение общественного транспорта не оказывает значимого влияния на заболеваемость и смертность населения от COVID-19.

**Ключевые слова:** байесовская сеть, эпидемический процесс, оперативное планирование, государственные противоэпидемические меры

**Основные положения:**

♦ определены последовательность и взаимосвязи между показателями эпидемического процесса и факторами реагирования государства в рамках сдерживания пандемии COVID-19 в России;

◆ выявлено наличие эффекта памяти в проведении государственных противоэпидемических мероприятий, свидетельствующего о том, что их эффективная реализация в текущий момент будет способствовать снижению роста заболеваемости, смертности населения в отложенной перспективе и росту экономического потенциала страны;

◆ необходимо соблюдать строгую последовательность противоэпидемических мероприятий: начинать с реализации мер в сфере здравоохранения, затем постепенно подключать ограничительные государственные мероприятия, далее – мероприятия государственной экономической поддержки населения и бизнеса;

◆ с целью снижения негативного влияния последствий пандемии на экономику страны рекомендуется осуществлять жесткий мониторинг социально-экономического благосостояния населения и бизнеса для предотвращения риска их банкротства.

**Для цитирования:** Куликова О.М., Веремчук Н.С. Динамические байесовские сети при решении задач стратегического и оперативного планирования сдерживания пандемий // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2024. № 6 (236). С. 66–74.

## MANAGEMENT AND BUSINESS MANAGEMENT

Original article

### Dynamic Bayesian networks in solving the tasks of strategic and operational planning to hold back the pandemic

Oksana M. Kulikova<sup>1</sup>, Natalia S. Veremchuk<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia

<sup>1</sup> ya.aaaaa11@yandex.ru

<sup>2</sup> n-veremchuk@rambler.ru

**Abstract.** The use of government measures to hold back the pandemic requires effective solution of operational and strategic planning tasks and coverage of the entire population of the country without exception. This study aims to identify the interrelationships between the indicators of the epidemic process and the indicators of the state's response to hold back the COVID-19 pandemic. A sequence of anti-epidemic measures has been identified that contributes to reducing the incidence of the population and increasing the economic potential of the country. The study was carried out on the example of Russia. Weekly statistical data for the period from January to December 2020 were used on indicators characterizing the development of the COVID-19 epidemic process and the implementation of state anti-epidemic measures (source - Oxford COVID-19 Government Response Tracker). A dynamic Bayesian network is constructed. When training the network, the algorithm "a variation on Ghada Trabelsi's dynamic max-min hill climbing" was used. The calculations were performed using the dbnR library of the R programming language. The following types of relationships have been identified between indicators of the development of the COVID-19 epidemic process and government measures to contain the pandemic: 1) short-term; 2) long-term; 3) self-influence. State anti-epidemic measures form a complex dynamic structure that determines the patterns of their impact on curbing the increase in the incidence of COVID-19 in the Russian population. The epidemic process is characterized by a memory effect: changes in the morbidity and mortality of the population at the current moment will cause changes in the indicators of this process in the future. Effective implementation of state anti-epidemic measures helps to reduce the increase in morbidity and mortality from COVID-19. At the same time, it is necessary to observe a strict sequence of anti-epidemic measures: start with the implementation of measures in the field of healthcare, then gradually connect restrictive state measures, then - measures of state economic support for the population. Special attention should be paid to the implementation of two types of activities: 1) restrictions on holding meetings; 2) economic support for the population, as they are significantly influenced by various factors. At the same time, the restriction on the movement of public transport does not have a significant impact on the morbidity and mortality of the population from COVID-19.

**Keywords:** Bayesian network, epidemic process, operational planning, state anti-epidemic measures

**Highlights:**

- ◆ the sequence and interrelationships between the indicators of the epidemic process and the factors of the state's response to hold back the COVID-19 pandemic in Russia are determined;
- ◆ the presence of a memory effect in the conduct of state anti-epidemic measures has been revealed, indicating that their effective implementation at the moment will contribute to reducing the growth of morbidity and mortality in the long term and the growth of the country's economic potential;
- ◆ it is necessary to observe a strict sequence of anti-epidemic measures: start with the implementation of measures in the field of healthcare, then gradually connect restrictive state measures, then measures of state economic support for the population and business;
- ◆ in order to reduce the negative impact of the consequences of the pandemic on the country's economy, it is recommended to strictly monitor the socio-economic well-being of the population and businesses to prevent the risk of their bankruptcy.

**For citation:** Kulikova O.M., Veremchuk N.S. Dynamic Bayesian networks in solving the tasks of strategic and operational planning to hold back the pandemic // Vestnik of Samara State University of Economics. 2024. No. 6 (236). Pp. 66–74. (In Russ.).

### Введение

Вопросы эффективного стратегического и оперативного управления в системе здравоохранения становятся наиболее актуальными во время экстенсивного роста заболеваемости и смертности населения, в том числе связанных с распространением различных инфекций. Быстрое распространение новой коронавирусной инфекции (COVID-19) в 2019–2021 гг. поставило государства и национальные системы здравоохранения перед необходимостью решения серьезной проблемы сдерживания пандемии [1]. Учитывая сохраняющуюся неопределенность в отношении выявления закономерностей развития указанного эпидемического процесса и разработки мероприятий сдерживания пандемии, крайне важно иметь оперативные и прогностические данные о динамике развития заболеваемости и бремени болезней, тесно связанных с COVID-19 [2]. Как показывает практика, наиболее действенными являются государственные мероприятия сдерживания пандемии, позволяющие охватывать противоэпидемическими действиями абсолютно все население страны [3].

Библиографический поиск показал, что оценка эффективности указанных мероприятий выполняется с двух позиций. Оценивается эффективность либо отдельно реализуемых государственных мероприятий, либо комплексно группы связанных между собой меро-

приятий, в том числе с учетом национальных особенностей и направленности действий. При этом были использованы методы анализа временных рядов, регрессионного анализа, структурного и имитационного моделирования. Было установлено, что наиболее популярными мерами борьбы с пандемией являются социальное дистанцирование и экономические инструменты поддержки населения и бизнеса [3]. Национальная культура оказывает незначительное влияние на восприятие государственных мер борьбы с пандемией [4].

В работе Petrônio C.L. Silva, Paulo V.C. Batista, Hélder S. Lima и др. моделируются различные сценарии применения мер специфической профилактики, таких как социальное дистанцирование, ношение масок на распространяемость инфекции. Выявлено, что социальное дистанцирование и ношение масок эффективны только при медленном развитии эпидемического процесса [5].

В ряде исследований [6] установлено, что противоэпидемические мероприятия эффективно могут работать только в комплексном применении. Например, частичное или полное закрытие границ может привести к положительному эффекту только в сочетании с другими противоэпидемическими мероприятиями, такими как введение карантина для прибывающих в страну людей из-за границы.

При стратегическом и оперативном планировании в рамках сдерживания пандемии воз-

никает необходимость решения задачи определения сочетания и последовательности реализации государственных мероприятий, что позволит не только разрушить механизмы передачи вирусной инфекции, но и снизить их негативное влияние на экономику страны, уровень и качество жизни населения.

На решение поставленной задачи направлено данное исследование, цель которого в том, чтобы выявить последовательности и взаимосвязи между показателями эпидемического процесса и показателями реагирования государства в рамках сдерживания пандемии. Для изучения наличия взаимосвязей между указанными показателями на основе статистических данных построена динамическая байесовская сеть с применением языка программирования R и библиотеки dbnR.

В нашем исследовании мы восполняем пробел в литературе, поскольку, несмотря на большое число научных работ, посвященных оценке эффективности реагирования государства на развитие эпидемического процесса во время пандемии, в данной области остается ряд научных проблем и дискуссионных вопросов. Мы предлагаем следующие нововведения:

- ◆ построенная байесовская сеть имеет сложную динамическую структуру, а также эффект памяти;

- ◆ выявлены взаимосвязи между показателями, их комплексность, иерархичность, эффекты воздействия друг на друга с учетом временных лагов и специфики построенной сети;

- ◆ проведена типизация установленных взаимосвязей на краткосрочные, долгосрочные и самовлияния;

- ◆ учтена специфика оперативного и стратегического планирования государственных мероприятий, направленных на поддержку граждан, бизнеса в сочетании с медицинскими мероприятиями по сдерживанию пандемии с целью снижения их негативного воздействия на экономику страны, уровень и качество жизни населения.

Материалы исследования могут применяться для экономического обоснования оперативного и стратегического планирования государственных мероприятий по сдерживанию пандемий.

## Методы

**Источники данных.** В данном исследовании использовались данные из базы Oxford COVID-19 Government Response Tracker (OxCGRT), которая предполагает организованный способ отслеживания министерских отчетов по COVID-19 по разным странам в динамике [4]. База данных OxCGRT содержит информацию о количестве выявленных случаев заболеваний, количестве смертельных случаев, а также данные о различных методах реагирования государств, направленных на решение задач сдерживания пандемии.

Использованы еженедельные статистические данные за период с января по декабрь 2020 г. по показателям, определяющим: 1) количество впервые выявленных случаев заболеваний COVID-19 на 1 млн чел. в день, кол. сл. (new cases); 2) количество смертей от COVID-19 на 1 млн чел. в день, кол. сл. (deaths); 3) количество полностью вакцинированных человек на 1 млн чел., кол. чел. (vaccination); 4) государственные мероприятия по сдерживанию пандемии, такие как: закрытие школ (school closing) ( $c_1$ ), закрытие рабочих мест (workplace closing) ( $c_2$ ), ограничение проведения публичных мероприятий (cancel public events) ( $c_3$ ), ограничение собраний (restrictions on gatherings) ( $c_4$ ), закрытие общественного транспорта (close public transport) ( $c_5$ ), требования оставаться дома (stay at home requirements) ( $c_6$ ), ограничения передвижения (movement-restrictions) ( $c_7$ ), ограничение международных поездок (international travel) ( $c_8$ ), финансовая поддержка населения (income support) ( $e_1$ ), облегчение долгового бремени (debt relief) ( $e_2$ ), публичное информирование населения (public information campaigns) ( $h_1$ ), проведение всеобщего обследования населения на COVID-19 (testing policy) ( $h_2$ ), ограничение контактов (tracing) ( $h_3$ ), ношение медицинских лицевых масок (facial coverings) ( $h_6$ ), всеобщая вакцинация (vaccination policy) ( $h_7$ ), защита пожилых людей (protection of elderly people) ( $h_8$ ).

**Статистический анализ.** С целью выявления взаимосвязей между показателями заболеваемости, смертности от COVID-19 и государственными методами реагирования использованы динамические байесовские сети (Dynamic Bayesian Networks), дающие возмож-

ность выявить закономерности эволюции исследуемых систем. Структура динамической нейронной сети представляет собой совокупность слоев. Каждый слой сети соответствует временному интервалу, в котором переменная может быть родительской для любой другой переменной в том же слое и в следующих, в то время как любой переменной запрещено быть родительской для любой другой переменной в предыдущих слоях [7]. Обучение сети базировалось на применении алгоритма «a variation on Ghada Trabelsi's dynamic max-min hill climbing» [8].

При построении динамической байесовской сети вначале осуществляется построение иерархической структуры для временного среза, затем происходит ее репликация для каждого среза. На следующем этапе выполняется определение положения каждого узла относительно его эквивалента в первом срезе. Результатом является сеть, в которой каждый временной отрезок упорядочен и отделен от других, где крайний левый слой является самым удаленным во времени, а крайний правый представляет текущее время [9]. Порядок сети определяет количество временных слоев, которые содержит байесовская динамическая сеть.

Значения степени вершин в пределах слоя динамической байесовской сети определялось как количество ребер графа, инцидентных вершине. Чем выше значение степени вершин в пределах слоя динамической байесовской сети, тем большее влияние оказывается на показатель, связанный с данной вершиной.

Расчеты выполнены с применением библиотеки dbnR языка программирования R.

### Результаты

С помощью применения динамической байесовской сети определена последовательность государственных противоэпидемических мероприятий, реализуемых в рамках сдерживания пандемии, взаимосвязи между ними и взаимосвязи с показателями реализации исследуемого эпидемического процесса. Исходя из этого, определен порядок динамической байесовской сети, равный 7.

Анализ построенной динамической байесовской сети позволил выявить следующие типы взаимосвязей между показателями развития эпидемического процесса и государственными мероприятиями сдерживания пандемии: 1) краткосрочные (взаимосвязи между показателями, выявляемые в рамках слоя

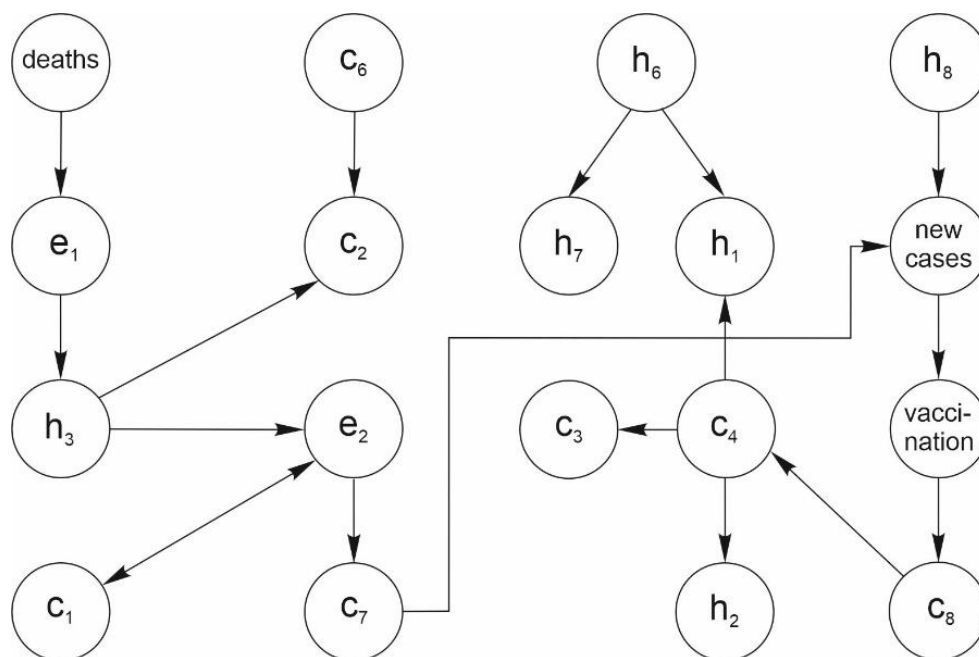


Рис. Связи между исследуемыми показателями, характеризующими эпидемический процесс и мероприятия государственного реагирования на пандемию, в рамках одного слоя динамической байесовской сети

**Значения степени вершин, взаимосвязи второго и третьего типов в пределах слоя динамической байесовской сети**

Показатели	Значение степени вершин в пределах слоя	Взаимосвязи второго типа		Взаимосвязи третьего типа	
		Показатели	Временной лаг*	Наличие	Максимальный временной лаг**
new cases	3	нет	нет	да	4
deaths	1	нет	нет	да	7
vaccination	2	нет	нет	да	7
c <sub>3</sub>	1	c <sub>8</sub>	3	да	1
c <sub>4</sub>	4	c <sub>8</sub>	1	нет	нет
		c <sub>7</sub>	5		
c <sub>6</sub>	1	нет	нет	да	7
c <sub>7</sub>	2	h <sub>6</sub>	7	да	7
c <sub>8</sub>	2	c <sub>7</sub>	4	нет	нет
		e <sub>2</sub>	5		
e <sub>1</sub>	2	h <sub>8</sub>	6	нет	нет
e <sub>2</sub>	4	h <sub>7</sub>	7	нет	нет
h <sub>2</sub>	1	e <sub>2</sub>	1	нет	нет
		c <sub>6</sub>	5		
h <sub>3</sub>	3	нет	нет	да	7
h <sub>7</sub>	1	нет	нет	да	7
h <sub>8</sub>	1	нет	нет	да	7

\* Временной лаг, определяющий задержку между влиянием первого параметра на второй.

\*\* Определяет продолжительность наличия отношений во времени (количество недель).

сети и реализуемые в течение одной недели); 2) долгосрочные (взаимосвязи между показателями, действующие между слоями сети и реализуемые в течение нескольких недель); 3) самовлияния (взаимосвязь между одним и тем же показателем, реализованная во времени, выявляется в рамках нескольких слоев сети).

На рисунке показаны взаимосвязи первого типа. В рамках одной недели выявлены взаимосвязи между развитием эпидемического процесса в России и государственными мерами ограничений, экономической поддержки населения, мероприятиями, реализуемыми в сфере отечественного здравоохранения. По результатам расчетов мероприятия по ограничению передвижения общественного транспорта (c<sub>5</sub>) не связаны с другими исследуемыми показателями и не показаны на рисунке.

В таблице приведены значения степени вершин в пределах слоя динамической байесовской сети, задаваемых исследуемыми показателями, а также взаимосвязи второго и третьего типов для данных показателей.

### Обсуждение

По результатам исследования установлено, что эпидемический процесс при COVID-19 ха-

рактеризуется эффектом памяти: изменение заболеваемости и смертность населения в текущий момент будут являться причинами изменения показателей данного процесса в будущем.

В процессе реализации государственные противоэпидемические мероприятия формируют сложную динамическую структуру, которая определяет закономерности их воздействия на сдерживание заболеваемости населения России COVID-19. Мероприятия, связанные с ограничениями, оказывают косвенное влияние на динамику развития пандемии, действуя через мероприятия сферы здравоохранения, за исключением ограничений, связанных с передвижением населения внутри страны, – данный вид ограничений оказывает непосредственное влияние на количество выявленных новых случаев заболеваний COVID-19 (см. рисунок). Они имеют все три типа взаимосвязей с другими противоэпидемическими мероприятиями, реализуемыми на государственном уровне. Ограничения, связанные с передвижением общественного транспорта, не оказывают значимого влияния на заболеваемость и смертность населения от COVID-19.

Мероприятия, определяющие экономическую поддержку населения во время пандемии, в общей структуре мероприятий связаны с другими противоэпидемическими мероприятиями на базе двух типов связей – краткосрочных и среднесрочных. Они также оказывают косвенное влияние на эпидемический процесс, при этом на экономическую поддержку населения значительное влияние оказывает смертность населения от COVID-19.

Значимыми при сдерживании пандемии являются мероприятия, связанные со сферой здравоохранения. Они оказывают непосредственное влияние на рост заболеваемости населения COVID-19 и связаны с ограниченными мероприятиями.

В структуру одного слоя байесовской сети включаются все мероприятия сферы здравоохранения. Мероприятия, связанные с медицинской пропагандой (публикование информации населения) и ношением средств индивидуальной защиты (ношение медицинских масок), оказывают краткосрочное влияние и не имеют отложенного запаздывающего эффекта.

Из всех мероприятий только проведение всеобщего обследования населения на COVID-19 имеет долгосрочные связи с мероприятиями экономической поддержки. Вакцинация населения имеет накопительный эффект. Увеличение количества вакцинированных способствует росту охвата населения вакцинацией в последующие моменты времени.

Особое внимание необходимо обращать на реализацию мероприятий, связанных с ограничениями проведения собраний ( $c_4$ ) и экономической поддержкой населения ( $e_2$ ), поскольку они подвержены значительному влиянию со стороны различных факторов (см. таблицу).

### Заключение

Исследование направлено на выявление последовательности и взаимосвязей между по-

казателями эпидемического процесса и факторами реагирования государства в рамках сдерживания пандемии COVID-19 в России. На основе статистических данных построена динамическая байесовская сеть с применением библиотеки dbnR и языка программирования R.

Отмечены сложная динамическая структура построенной сети, а также наличие эффекта памяти. Установлены взаимосвязи между факторами, их комплексность, иерархичность, краткосрочные и долгосрочные эффекты воздействия друг на друга с учетом временных лагов и специфики построенной сети.

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что эффективная реализация государственных противоэпидемических мероприятий в текущий момент будет способствовать снижению роста заболеваемости и смертности населения от COVID-19 в будущем. При этом необходимо соблюдать строгую последовательность противоэпидемических мероприятий: начинать с реализации мер в сфере здравоохранения, затем постепенно подключать ограничительные государственные мероприятия, а далее – мероприятия государственной экономической поддержки населения. При реализации ограничительных мероприятий особое внимание необходимо уделять подходам, способствующим разрушению путей и механизмов передачи вируса. Только комплексное применение государственных мероприятий сдерживания пандемии станет эффективным инструментом снижения интенсивности эпидемического процесса.

Материалы исследования могут применяться для экономического обоснования оперативного и стратегического планирования государственных мероприятий, в том числе поддержки бизнеса, граждан в сочетании с медицинскими подходами по сдерживанию пандемий, снижения их негативного влияния на экономику страны, уровень и качество жизни населения.

### Список источников

1. Doubled mortality rate during the COVID-19 pandemic in Italy: quantifying what is not captured by surveillance / A. Odone, D. Delmonte, G. Gaetti, C. Signorelli // Public Health. 2021. Vol. 190. Pp. 108–115. URL: <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2020.11.016> (дата обращения: 14.01.2024).

2. Yousefpour A., Jahanshahi H., Bekiros S., Optimal policies for control of the novel coronavirus disease (COVID-19) outbreak // *Chaos, Solitons & Fractals*. 2020. Vol. 136. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109883> (дата обращения: 14.01.2024).

3. The impact of various policy factors implemented for controlling the spread of COVID-19 / P.N. Senthil Prakash, B. Hariharan, S. Kaliraj [et al.] // *Materials Today : proceedings*. 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.524> (дата обращения: 14.01.2024).

4. Wang Y. Government policies, national culture and social distancing during the first wave of the COVID-19 pandemic: International evidence // *Safety Science*. 2021. Vol. 135. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.105138> (дата обращения: 14.01.2024).

5. COVID-ABS: an agent-based model of COVID-19 epidemic to simulate health and economic effects of social distancing interventions / Petrônio C.L. Silva, Paulo V.C. Batista, Hélder S. Lima [et al.] // *Chaos, Solitons & Fractals*. 2020. Vol. 139. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110088> (дата обращения: 14.01.2024).

6. Public health effects of travel-related policies on the COVID-19 pandemic: A mixed-methods systematic review / Lama Bou-Karroum, Joanne Khabza, Mathilda Jabbour [et al.] // *Journal of Infection*. 2021. Vol. 83, Issue 4. Pp. 413–423. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2021.07.017> (дата обращения: 14.01.2024).

7. López D.Q., Castilla G.A.V. Gaussian dynamic Bayesian networks structure learning and inference in R. 2019. URL: [https://www.researchgate.net/publication/337545669\\_Gaussian\\_dynamic\\_Bayesian\\_networks\\_structure\\_learning\\_and\\_inference\\_in\\_R](https://www.researchgate.net/publication/337545669_Gaussian_dynamic_Bayesian_networks_structure_learning_and_inference_in_R) (дата обращения: 14.01.2024).

8. Trabelsi G. New structure learning algorithms and evaluation methods for large dynamic Bayesian networks. URL: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00996061/document> (дата обращения: 14.01.2024).

9. Ontañón S., Montaña J.L., Gonzalez A.J. A Dynamic-Bayesian Network framework for modeling and evaluating learning from observation // *Expert Systems with Applications*. 2014. Vol. 41, Issue 11. Pp. 5212–5226. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.02.049> (дата обращения: 14.01.2024).

#### References

1. Doubled mortality rate during the COVID-19 pandemic in Italy: quantifying what is not captured by surveillance / A. Odone, D. Delmonte, G. Gaetti, C. Signorelli // *Public Health*. 2021. Vol. 190. Pp. 108–115. URL: <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2020.11.016> (date of access: 14.01.2024).

2. Yousefpour A., Jahanshahi H., Bekiros S., Optimal policies for control of the novel coronavirus disease (COVID-19) outbreak // *Chaos, Solitons & Fractals*. 2020. Vol. 136. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109883> (date of access: 14.01.2024).

3. The impact of various policy factors implemented for controlling the spread of COVID-19 / P.N. Senthil Prakash, B. Hariharan, S. Kaliraj [et al.] // *Materials Today : proceedings*. 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.524> (date of access: 14.01.2024).

4. Wang Y. Government policies, national culture and social distancing during the first wave of the COVID-19 pandemic: International evidence // *Safety Science*. 2021. Vol. 135. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.105138> (date of access: 14.01.2024).

5. COVID-ABS: An agent-based model of COVID-19 epidemic to simulate health and economic effects of social distancing interventions / Petrônio C.L. Silva, Paulo V.C. Batista, Hélder S. Lima [et al.] // *Chaos, Solitons & Fractals*. 2020. Vol. 139. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110088> (date of access: 14.01.2024).

6. Public health effects of travel-related policies on the COVID-19 pandemic: A mixed-methods systematic review / Lama Bou-Karroum, Joanne Khabza, Mathilda Jabbour [et al.] // *Journal of Infection*. 2021. Vol. 83, Issue 4. Pp. 413–423. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2021.07.017> (date of access: 14.01.2024).

7. López D.Q., Castilla G.A.V. Gaussian dynamic Bayesian networks structure learning and inference in R. 2019. URL: [https://www.researchgate.net/publication/337545669\\_Gaussian\\_dynamic\\_Bayesian\\_networks\\_structure\\_learning\\_and\\_inference\\_in\\_R](https://www.researchgate.net/publication/337545669_Gaussian_dynamic_Bayesian_networks_structure_learning_and_inference_in_R) (date of access: 14.01.2024).

8. Trabelsi G. New structure learning algorithms and evaluation methods for large dynamic Bayesian networks. URL: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00996061/document> (date of access: 14.01.2024).

9. Ontañón S., Montaña J.L., Gonzalez A.J. A Dynamic-Bayesian Network framework for modeling and evaluating learning from observation // *Expert Systems with Applications*. 2014. Vol. 41, Issue 11. Pp. 5212–5226. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.02.049> (date of access: 14.01.2024).



**Информация об авторах**

*О.М. Куликова* – кандидат технических наук, доцент, доцент Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета;

*Н.С. Веремчук* – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета.

**Information about the authors**

*O.M. Kulikova* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Siberian State Automobile and Highway University;

*N.S. Veremchuk* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Siberian State Automobile and Highway University.

Статья поступила в редакцию 13.03.2024; одобрена после рецензирования 01.04.2024; принята к публикации 14.05.2024.

The article was submitted 13.03.2024; approved after reviewing 01.04.2024; accepted for publication 14.05.2024.