

УДК 338.1+338.001.36

## **СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭПИДЕМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС COVID-19 ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ**



**А.Г. Давыдовский**  
доцент кафедры инженерной  
психологии и эргономики  
БГУИР

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Республика Беларусь  
E-mail: agd2011@list.ru*

### **А.Г. Давыдовский**

*Доцент кафедры инженерной психологии и эргономики факультета компьютерного проектирования БГУИР, кандидат биологических наук, доцент. Окончил докторантуру БГУИР по специальности «Системный анализ, управление и обработка информации». Проводит научные исследования в области социальной информатики, математического моделирования биологических, биосоциальных и биосоциотехнических систем, методологии превентивного управления рисками в природно-техносферных, социотехнических и инновационных производственных системах. Член ряда международных научных обществ. Автор учебных программ и пособий для студентов и магистрантов.*

**Аннотация.** Представлены результаты системного анализа и краткосрочного прогнозирования влияния экономических факторов на развитие эпидемического процесса COVID-19 и оценки возможностей оптимизации транспортных коммуникаций и логистического взаимодействия между странами, характеризующимися различным социально-экономическим и демографическим развитием, а также географическим положением в условиях глобальной пандемии COVID-19. Разработана кинетическая модель развития эпидемического процесса, обусловленного вирусом SARS-CoV-2, представленная системой линейных дифференциальных уравнений. В результате исследования данной математической модели получены условия стабилизации и ограничения эпидемического процесса. Предложен комплекс множественных линейных регрессионных моделей, описывающих динамику заболеваемости и выживаемости заболевших в условиях эпидемического процесса, с учетом важных экономических показателей, включая цены на баррель нефти Brent, одной тройской унции золота и серебра, биткойна, а также курс китайского юаня к российскому рублю, курс доллара к российскому рублю, курс китайского юаня к доллару для таких стран, как Австралия, Австрия, Беларусь, Германия, Индия, Испания, Италия, Китай, Латвия, Литва, Польша, Россия, США, Украина, Франция, Эстония. Сформулирована гипотеза о двух градиентах ежедневного прироста – заболеваемости и выживаемости, которые могут иметь динамически нестабильную точку равновесия в условиях развития эпидемии COVID-19 в международном кластере стран (регионов). Данные положения могут быть использованы для предотвращения неоправданных человеческих потерь и дестабилизации социальных систем в условиях повторных эпидемий, обусловленных COVID-19 и подобных вызовов в обозримом будущем.

**Ключевые слова:** COVID-19, эпидемический процесс, системный анализ, краткосрочной прогнозирование, математическое моделирование, множественные линейные регрессионные модели, международная транспортная логистика.

*Введение.* 11 марта 2020 года Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) объявила, что распространение нового коронавируса COVID-19 (SARS-CoV-2) в мире приобрело характер пандемии [1], которая началась с обнаружения в конце декабря 2019 года в городе Ухане провинции Хубэй центрального Китая первых случаев пневмонии неизвестного происхождения у местных жителей, связанных с местным рынком животных и морепродуктов. Уже начиная с 24 января 2020 г. вирус был зафиксирован во всех административных образованиях Китая провинциального уровня [2]. 30 января ВОЗ признала вспышку нового коронавируса чрезвычайной ситуацией в области общественного здравоохранения, имеющей международное значение. 11 февраля 2020 года заболевание получило название нового коронавирусного заболевания (COVID-2019). Китайские учёные выделили возбудителя – новый коронавирус и установили генетическую связь последовательности его генома. По своей генетической последовательности вирус не менее, чем на 70 % похож на вызывающий тяжелый острый респираторный синдром (известный также как атипичная пневмония) вирус SARS-CoV и поэтому получил название SARS-CoV-2. Инкубационный период обычно составляет около 5 дней, но может длиться от 2 до 14 дней. Заболевание становится заразным до появления симптомов. Отличительный признак нынешней пандемии, который затрудняет борьбу с ней, – длительный инкубационный период. Другая неблагоприятная особенность – большое число бессимптомных пациентов, то есть лиц, которые, заразившись коронавирусной инфекцией, не демонстрируют клинических проявлений, хотя способны заражать окружающих [3]. Воспалительный процесс вызванный SARS-CoV-2 врачи описывают следующим образом: признаки токсического шока, показатели анализов крови как при тяжелом течении COVID-19, проявления, сходные с болезнью Кавасаки (поражения слизистых, лимфатических узлов, конъюнктивит, сыпь, шелушение кожи на пальцах рук и ног, трещины на губах), проблемы с сердцем, а также боли в животе, диарея, рвота и сильный жар. Случаи аналогичного заболевания наблюдают и в других странах, включая Италию и Испанию [4].

Последствия пандемии COVID-19 существенно усугубляются тем, что мировая социально-экономическая система, начиная с 2008 года, переживает очередной системный циклический кризис, связанный со сменой длинных волн экономического развития Кондратьева, сменой действующего 5-го технологического уклада (ТУ), основанного на кремниевой полупроводниковой микроэлектронике. Посткризисная депрессия, охватившая развитые страны, как и предсказывалось ранее, была затяжной и продлилась до 2018-2020 гг., когда предполагался новый подъема мирового производства за счет массового развития и внедрения конвергентных технологий 6-го ТУ, освоения альтернативных источников «чистой энергии» при сбалансированном и рациональном использовании углеводородных энергетических ресурсов – нефти и газа [5].

Однако, 20 апреля 2020 г. цена нефти впервые в истории упала ниже нуля и майский фьючерс на американскую нефть марки West Texas Intermediate (WTI) составил «минус 38 USD за баррель», что могло быть связано с отсутствием свободного места в нефтехранилищах [6]. Помимо трудно учитываемых спекулятивных и латентных причин, данное событие в значительной степени могло быть спровоцировано развитием пандемии COVID-19 и существенным снижением интенсивности пассажирских и товарных логистических потоков. По-видимому, эти обстоятельства могут существенно скорректировать все прогнозы развития как региональных экономик, так и мировой экономики в целом. Нарушение мировых логистических цепочек обуславливает падение объемов мирового товарооборота и замедление темпов экономического роста, провоцируя усугубление последствий кризисных социотехнических явлений и событий, обусловленных пандемией COVID-19 и падением цен на углеводородное сырье. Борьба с пандемией неизбежно требует введения мер социальной изоляции и карантина с резким сокращения пассажирских и товарных потоков. Это провоцирует создание демпинговых условий в отношении углеводородных энергоносителей

и транспортных услуг на поставку ресурсов и товаров. Отмена карантинных ограничений может сопровождаться обратным эффектом, связанным с риском кризисных последствий.

*Проблема исследования.* Как свидетельствует анализ, в условиях мирового финансово-экономического кризиса 2008–2009 гг. произошло резкое сокращение глобального спроса и нарушение сложившихся торгово-экономических логистических цепочек, что, в свою очередь, привело к существенному замедлению мировой торговли, последствия которого ощущались вплоть до 2019 года в различных регионах планеты. Падение глобального товарооборота представляет главную угрозу прежде всего для сокращения реальных доходов населения развивающихся стран с социально-экономическими системами переходного (транзитивного) типа с высоким риском негативных социально-экономических и социокультурных последствий. Многие постсоциалистические страны Восточной Европы характеризуются подобным типом социально-экономических систем [7, 8].

В условиях сложной социально-демографической ситуации и глобального старения населения Европы и Северной Америки, страдающего всеми «болезнями цивилизации», включая сердечно-сосудистые, онкологические и неврологические заболевания, становится очевидным, что продолжительные карантинные меры глобального характера могут сопровождаться трудно прогнозируемыми социально-экономическими и социокультурными последствиями [9, 10, 11].

Таким образом, становится актуальной разработка подходов и методов, направленных на организационно-техническую оптимизацию функционирования логистических цепочек поставок товаров и ресурсов, при которой достигалось бы нераспространение инфекции COVID-19 при минимизации негативных социальных и социально-экономических последствий карантинных мер и региональной изоляции. В свою очередь, представляет интерес анализ влияния экономических показателей на динамику распространения COVID-19 в странах, представляющих различные регионы мира, а также характеризующихся различными уровнями научно-технологического, социально-экономического и демографического развития. При этом особую важность приобретает разработка подходов, методов и средств для прогнозирования, прежде всего краткосрочного и оперативного с горизонтом прогнозирования от одной недели до шести месяцев, а также поиск достаточно надежных и эффективных критериев прогнозирования. В качестве таких критериев могут быть предложены такие, как цена барреля нефти марки Brent в долларах США (USD), цена одной тройской унции золота (USD), цена одной тройской унции серебра (USD), цена биткойна (USD за 1 монету), курс китайского юаня к российскому рублю, курс доллара США к российскому рублю, а также курс китайского юаня к доллару США. Такой выбор был обусловлен высокой динамичностью одних критериев (цена барреля нефти марки Brent, курсы мировых валют и криптовалюты по отношению друг к другу) при относительной стабильности других (тройской унции золота и серебра).

В этой связи необходимо отметить, что значительный интерес представляет изучение влияния вышеназванных экономических показателей, характеризующих состояние глобальной экономической системы, на такие показатели эпидемического процесса COVID-19, как ежедневный прирост числа заболевших, а также ежедневная динамика выживаемости, которая соответствует разности количества случаев заболеваемости и летальных исходов, в странах, находящихся в различных территориально-географических условиях и обладающие различным научно-техническим, социально-экономическим и демографическим потенциалом.

*Цель работы* – системный анализ и краткосрочное прогнозирование влияния экономических факторов на распространение инфекции COVID-19 и изучение возможностей оптимизации транспортных коммуникаций и логистического взаимодействия между странами, представляющими различные регионы мира и характеризующимися различным

социально-экономическим и демографическим развитием в условиях глобальной пандемии COVID-19.

В качестве объектов исследования были выбраны страны с высокими темпами социально-экономического развития и наиболее плотностью населения, расположенные в Юго-Восточной и Южной Азии (Индия, Китай), высокотехнологических стран, характеризующиеся прогрессивным старением населения и расположенных в Северной Америке (США), Западной (Австрия, Германия, Испания, Италия, Франция) и Восточной (Литва, Латвия, Польша, Эстония) Европе, а также постсоциалистические страны с перспективными моделями социально-экономического развития (Беларусь, Россия, Украина), а также Австралия как страна, расположенная на географически изолированном материке.

*Моделирование распространения эпидемического процесса COVID-19.* Распространение инфекции COVID-19 является типичным эпидемическим процессом. Как известно, любой эпидемический процесс – это непрерывное взаимодействие друг с другом возбудителя-паразита и организма человека на видовом и популяционном уровне по неоднородным и эволюционно-сопряженным признакам. В процессе эпидемического процесса отношения между возбудителем-паразитом и организмом человека выражаются как манифестными, так и бессимптомными формами инфекции, распространяющихся среди населения по территории, времени и группами риска развития заболевания [12, 13].

Для упрощения задачи описания и моделирования эпидемического процесса COVID-19 в человеческой популяции был использован кинетический подход. При моделировании развития эпидемического процесса использованы такие переменные, как:

- общая популяция населения (the general population) –  $G(t)$ ;
- лица, восприимчивые к инфекции (susceptible) –  $S(t)$  ;
- лица, не восприимчивые к инфекции (non susceptible) –  $NS(t)$ ;
- лица, находящиеся в острой стадии заболевания (acute stage of the disease) –  $ASD(t)$ ;
- лица, находящиеся в хронической стадии заболевания (chronic stage of the disease) –  $CSD(t)$ ;
- выздоравливающие (convalescent) –  $C(t)$ ;
- выздоровевшие (recovered) –  $R(t)$ ;
- лица, перенесшие инфекцию и получившие иммунитет, – иммунные (immune) –  $I(t)$ ;
- лица, завершившие заболевание летальным исходом (fatal outcome of the disease) –  $FOD(t)$ ;
- $\mu_{(0-15)}$  – постоянные или параметры, характеризующие интенсивность переходов между популяциями и субпопуляциями лиц, вовлеченных в эпидемический процесс.

На рисунке 1 представлена блок-схема кинетической модели процесса распространения инфекции COVID-19 в человеческой популяции.

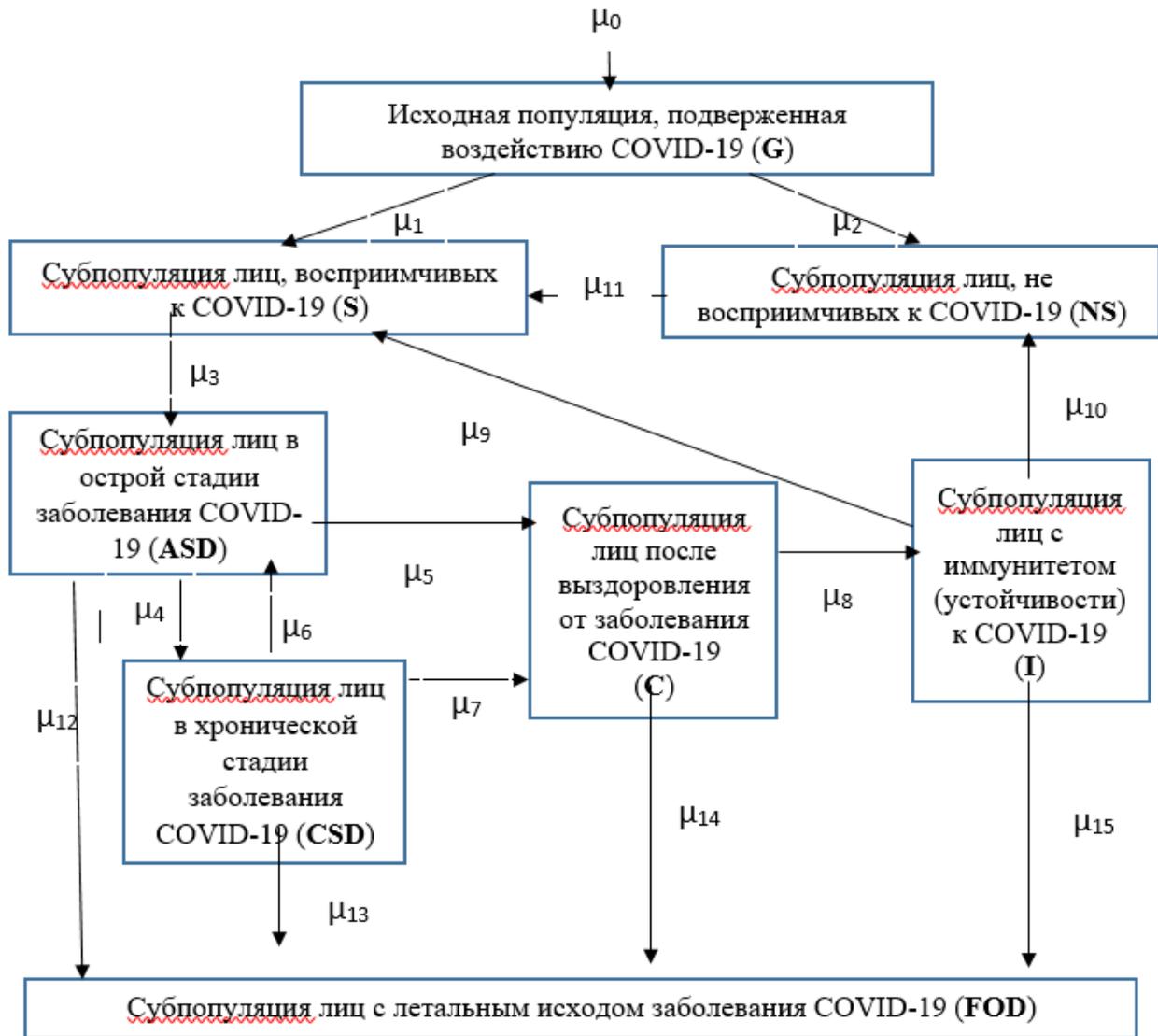


Рисунок 1. Блок-схема кинетической модели процесса распространения инфекции COVID-19 в человеческой популяции

Кинетическая модель распространения инфекции COVID-19 в человеческой популяции, блок-схема которой представлена на рисунке 1, может быть описана системой линейных дифференциальных уравнений (1) – (8):

$$\frac{dG}{dt} = \mu_0 - (\mu_1 + \mu_2)G, \tag{1}$$

$$\frac{dS}{dt} = \mu_1G + \mu_9I + \mu_{11}NS - \mu_3S, \tag{2}$$

$$\frac{dNS}{dt} = \mu_2G - (\mu_{10} + \mu_{11})NS, \tag{3}$$

$$\frac{dASD}{dt} = \mu_3S - (\mu_4 + \mu_5 + \mu_{12})ASD, \tag{4}$$

$$\frac{dCSD}{dt} = \mu_3 S + \mu_4 ASD - (\mu_6 + \mu_{13}) CSD, \quad (5)$$

$$\frac{dC}{dt} = \mu_5 ASD + \mu_7 CSD - (\mu_8 + \mu_{14}) C, \quad (6)$$

$$\frac{dI}{dt} = \mu_6 C - (\mu_9 + \mu_{10} + \mu_{15}) I, \quad (7)$$

$$\frac{dFOD}{dt} = \mu_{12} ASD + \mu_{13} CSD + \mu_{14} C + \mu_{15} I \quad (8)$$

Применяя принцип квазистационарности к системе дифференциальных уравнений (1) – (8) и приравнявая левую часть каждого уравнения к нулю, можно получить ряд условий стабилизации инфекционного процесса (9) – (16):

$$G = -\frac{\mu_0}{(\mu_1 + \mu_2)}, \quad (9)$$

$$S = \frac{\mu_1 G + \mu_9 I + \mu_{11} NS}{\mu_3}, \quad (10)$$

$$NS = \frac{\mu_2 G}{(\mu_{10} + \mu_{11})}, \quad (11)$$

$$ASD = \frac{\mu_3 S}{(\mu_4 + \mu_5 + \mu_{12})}, \quad (12)$$

$$CSD = \frac{\mu_3 S + \mu_4 ASD}{(\mu_6 + \mu_{13})}, \quad (13)$$

$$C = \frac{\mu_5 ASD + \mu_7 CSD}{(\mu_8 + \mu_{14})}, \quad (14)$$

$$I = \frac{\mu_6 C}{(\mu_9 + \mu_{10} + \mu_{15})}, \quad (15)$$

$$\mu_{12} ASD + \mu_{13} CSD + \mu_{14} C + \mu_{15} I = 0 \quad (16)$$

Данные выражения (10) – (16) могут быть полезны для осуществления численных экспериментов при исследовании кинетики эпидемического процесса COVID-19 на основе предложенной математической модели.

Как свидетельствует качественный анализ предложенной кинетической модели, общая популяция, подверженных COVID-19, должна быть постоянной, что подразумевает отсутствие миграционных потоков, способствующих как увеличению, так и уменьшению общей популяции населения ( $G$ ). Причем вероятность нахождения человеческой популяции, подверженной воздействию COVID-19, в состоянии восприимчивости к инфекции ( $S$ ) зависит от биодемографических характеристик общей (исходной) данной популяции ( $G$ ), включая возрастную структуру, наличие хронических заболеваний и фактора «генетического груза», а также ее взаимоотношений с субпопуляциями выздоравливающих субъектов ( $C$ ), невосприимчивых, т.е. устойчивых к инфекционному агенту ( $NS$ ), а также переболевших и приобретших иммунитет, т.е. «иммунных» ( $I$ ). Необходимо отметить, что в рамках данной модели не рассматривается и не учитывается вероятность перехода к летальному исходу заболевания из состояний восприимчивости ( $S$ ) и отсутствия восприимчивости ( $NS$ ). Особого внимания заслуживает возможность перехода между субпопуляциями иммунных и

чувствительных (I→S). Такой переход обусловлен полной или частичной потерей иммунитета субъектами, перенесшими коронавирусную инфекцию, при последующих мутациях вируса SARS-CoV-2. Такие мутации будут сопровождаться изменениями патогенеза и клинической картины развития инфекционного процесса. При этом часть представителей «иммунной» субпопуляции может погибнуть, т.е. совершить переход в субпопуляцию лиц с летальным исходом заболевания COVID-19 (I→FOD).

Из уравнений (1) – (8) следует ряд условий, важных для оценки условий реализации этапов развития инфекционного процесса COVID-19:

- развития и распространения;
- ограничения и стабилизации;
- выздоровления (конвалесценции) и завершения эпидемического процесса.

На основе анализа данных условий могут быть сформированы и представлены три различных сценария развития эпидемического процесса COVID-19 – оптимистический, нейтральный и пессимистический.

Условия, соответствующие реализации оптимистического, нейтрального и пессимистического сценария, представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Условия реализации различных сценариев эпидемического процесса COVID-19

№ п/п	Критерии оценки модели	Пессимистический сценарий – развитие и распространение эпидемии	Нейтральный сценарий – ограничение и стабилизация эпидемии	Оптимистический сценарий – выздоровление (конвалесценция) и завершение эпидемии
1	$\frac{dG(t)}{dt} = \dots$	$\geq 0$	$\geq 0$	$\geq 0$
2	$\frac{dS(t)}{dt} = \dots$	$\gg 0; \geq 0$	$\geq 0$	$\ll 0$
3	$\frac{dNS(t)}{dt} = \dots$	$\ll 0; \leq 0$	$\gg 0;$	$\gg 0$
4	$\frac{dASD(t)}{dt} = \dots$	$\gg 0;$	$\geq 0$	$\ll 0$
5	$\frac{dCSD(t)}{dt} = \dots$	$\geq 0$	$\geq 0$	$\leq 0$
6	$\frac{dC(t)}{dt} = \dots$	$\leq 0$	$\geq 0$	$\gg 0$
7	$\frac{dIm(t)}{dt} = \dots$	$\leq 0$	$\geq 0$	$\gg 0$
8	$\frac{dFOD(t)}{dt} = \dots$	$\geq 0$	$\geq 0$	$\leq 0$

Интегрирование дифференциального уравнения (1) позволяет получить выражение для оценки общей популяции субъектов, подверженных влиянию COVID-19:

$$G(t) = G_0 \exp \left[ - (k_1 + k_2)t + k_0 \int_0^{+\infty} \frac{dt}{G(t \rightarrow 0)} \right], \quad (0 \leq G(t) \leq 1) \quad (17)$$

Сложением уравнений (2) и (3) получим выражение для оценки вероятности восприимчивости инфекции COVID-19:

$$S(t) = \frac{1}{\mu_3} \left[ \frac{dS(t)}{dt} + \frac{dSN(t)}{dt} - (\mu_1 + \mu_2)G(t) + \mu_9Im(t) \right], \quad (0 \leq S(t) \leq 1). \quad (18)$$

Путем сложения уравнений (4), (5) и (6) получим выражение для оценки вероятности формирования хронической стадии инфекционного процесса:

$$CSD(t) = \frac{\frac{dASD(t)}{dt} + \frac{dCSD(t)}{dt} + \frac{dC}{dt} - \mu_3S + (\mu_8 + \mu_{13})C(t)}{\mu_{12}}, \quad (0 \leq CSD(t) \leq 1). \quad (19)$$

Из уравнения (7) получим выражение для оценки вероятности перехода к стадии выздоровления в инфекционном процессе:

$$C(t) = \frac{1}{\mu_8} \left( \frac{dIm(t)}{dt} - \mu_9Im(t) \right), \quad (0 \leq C(t) \leq 1). \quad (20)$$

С помощью выражений (17) – (20) и дифференциального уравнения (8) получим выражение для количественной оценки вероятности летального исхода инфекционного процесса:

$$FOD(t) = (\mu_1 + \mu_2) \int_0^{+\infty} G(t) dt - NS(t) - S(t) + \mu_8 \int_0^{+\infty} ASD(t) + ASD(t) + CSD(t) + C(t) - Im(t) + K, \quad (0 \leq FOD(t) \leq 1), \quad (21)$$

где  $K$  – постоянная интегрирования.

В уравнении (21) взаимосвязаны все характеристики, представленные в предложенной математической модели эпидемического процесса, представленной дифференциальными уравнениями (1) – (8) и выражениями (9) – (21).

Кроме того, на основании блок-схемы, представленной на рисунке 1, а также математической модели (1) – (21), можно выделить, как минимум, три контура развития эпидемического процесса COVID-19, которые могут быть описаны следующими переходами между различными субпопуляциями субъектов, подверженных воздействию вируса SARS-CoV-2:

- S → ASD → C → I → S;
- S → ASD → CSD → ASD → C → I → S;
- S → ASD → CSD → C → I → S.

Наличие таких контуров развития эпидемического процесса указывает на циклический характер его развития благодаря возможности реинфицирования той части человеческой популяции, которая уже перенесла инфекцию и в которой могло произойти формирование иммунитета (I), либо хронизация инфекционного процесса (CSD), а также пополнения числа лиц, восприимчивых к инфекции (S). Таким образом, для минимизации рисков негативных последствий эпидемического процесса COVID-19 его целесообразно рассматривать как возвратно-циклический процесс.

*Краткосрочное прогнозирование региональной динамики показателей эпидемического процесса COVID-19.* Для решения задачи краткосрочного прогноза региональной динамики показателей эпидемического процесса COVID-19 были использованы материалы международных баз данных, содержащих сведения о количестве случаев заболевания,

выздоровления и летального исхода. Были собраны и подвергнуты статистической обработке данные по ежедневной динамике случаев заболевания, выздоровления и летального исхода с 31.12.2019 г. по 27.04.2020 г. С помощью MS Excel 2016 for Windows 10 были агрегированы и статистически обработаны данные с web-ресурсов ВОЗ (<https://www.who.int/ru>) и Университета имени Дж. Хопкинса (<https://www.jhu.edu/>). В дальнейшем на основе статистически обработанных материалов были определены характеристики для системного анализа динамики эпидемического процесса COVID-19. В частности, был предложен показатель «выживаемости» (индекс «заболеваемость–смертность» – ИЗС), рассчитываемый как разность ежедневного количества случаев заболеваемости и случаев летального исхода на 1 млн. населения страны:

$$\text{ИЗС} = \frac{\text{случаи заболеваемости} - \text{случаи летального исхода}}{\text{день} * \text{млн.чел.населения}} \quad (22)$$

Исследовано влияние ряда важных показателей, характеризующих состояние мировой экономики, на динамику заболеваемости при COVID-19. В частности, изучено влияние таких показателей, как цена на нефть марки Brent, цена тройских унций золота и серебра (в долларах США – USD), цена биткоина (USD за 1 монету), курс юаня к российскому рублю, курс доллара к российскому рублю и курс юаня к доллару. Все собранные статистические материалы были исследованы на соответствие нормальному распределению с помощью критериев асимметрии и эксцесса [14]. Получены математические линейные регрессионные модели, описывающие влияние экономических показателей на динамику заболеваемости в Австралии, Австрии, Беларуси, Германии, Индии, Испании, Италии, Китае, Латвии, Литве, Польше, России, США, Украине, Франции и Эстонии.

Для краткосрочного прогнозирования динамики случаев заболевания, выздоровления и летального исхода применяли комплекс методов статистического анализа данных, включая экспоненциальное сглаживание по методу Холта-Винтерса для временных рядов с наличием сезонности [15]. При этом предполагалось, что сезонный фактор мультипликативен, а тренд – аддитивен. Пусть  $\{X_t\}$  – временной ряд ( $t = \overline{1, n}$ ), содержащий тренд и подверженный влиянию сезонного фактора;

$\overline{X}_t$  – оценка уровня;

$T_t$  – оценка тренда;

$F_t$  – оценка сезонного фактора;

$s$  – период сезонности ( $s = 4$  – в случае квартальных данных,  $s = 12$  – в случае месячных данных,  $s = 52$  – в случае недельных данных);

$F_{t-s}$  – оценка сезонного фактора соответствующего периода в предыдущем году.

Начальные оценки уровня, тренда и параметра сезонности вычисляются по методу скользящего среднего следующим образом:

$$\overline{X}_t = \frac{X_{t-\frac{s}{2}} + 2 \left( X_{t-\frac{s}{2}+1} + K + X_{t+\frac{s}{2}-1} \right) + X_{t+\frac{s}{2}}}{2s}, \quad \left( t = \frac{s}{2} + 1, \frac{s}{2} + 2, K, \frac{5s}{2} \right); \quad (23)$$

$\overline{X}_{\frac{5s}{2}}$  – первая необходимая оценка уровня;

$T_{\frac{5s}{2}} = \overline{X}_{\frac{5s}{2}} - \overline{X}_{\frac{5s}{2}-1}$  – соответствующая оценка тренда;

$$F_{\frac{5s}{2}-j} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{X_{\frac{5s}{2}-j}}{\frac{2}{2}} + \frac{X_{\frac{3s}{2}-j}}{\frac{2}{2}} \right), \quad (j = \overline{0, s-1}). \quad (24)$$

Начиная с периода  $\frac{5s}{2} + 1$ , для построения оценок уровня, тренда и сезонного фактора используются уравнения  $\left( t = \frac{5s}{2} + 1, K, n \right)$ :

$$\bar{X}_t = \alpha(\bar{X}_{t-1} + T_{t-1}) + (1-\alpha)\frac{X_t}{F_{t-s}}, \quad \text{где } \alpha - \text{параметр } (0 < \alpha < 1), \quad (25)$$

где слагаемое  $(\bar{X}_{t-1} + T_{t-1})$  представляет оценку уровня в период  $t$ , сформированную в предыдущий период.

Для выделения сезонности целесообразно использовать дефляцию наблюдаемых значений в исследуемый период  $t$  на значение последней оценки сезонного фактора, доступной для данного периода ( $F_{t-s}$ ):

$$T_t = \beta T_{t-1} + (1-\beta)(\bar{X}_t - \bar{X}_{t-1}), \quad \text{где } \beta - \text{параметр } (0 < \beta < 1), \quad (26)$$

$F_t = \gamma F_{t-s} + (1-\gamma)\frac{X_t}{\bar{X}_t}$ ,  $(0 < \gamma < 1)$  – новый сезонный фактор есть взвешенное среднее между сезонным фактором предыдущего периода расчетного ( $F_{t-s}$ ) и сезонным фактором, получающимся при делении наблюдения в период  $t$  и оценки уровня в этот период:  $\frac{X_t}{\bar{X}_t}$ .

Тогда прогноз может быть рассчитан как:

$$\hat{X}_{n+h} = \begin{cases} (\bar{X}_n + hT_n)F_{n+h-s}, & \text{if } h = s+1, K, s \\ (\bar{X}_n + hT_n)F_{n+h-2s}, & \text{if } h = s+1, K, 2s \\ K & \\ (\bar{X}_n + hT_n)F_{n+h-ls}, & \text{if } h = (l-1)s+1, K, ls \\ K & \end{cases}. \quad (27)$$

Первичные возможные значения оценок всех переменных по методу Холта-Винтерса выбираются в момент  $\frac{5s}{2}$  по ряду причин, тогда как предыдущие значения вычисляются при помощи других методов [14 – 16].

*Математическое моделирование заболеваемости и выживаемости при эпидемическом процессе COVID-19.* Для системного анализа ежедневной динамики заболеваемости и выживаемости лиц с коронавирусной инфекцией разработан комплекс математических моделей на основе метода множественной линейной регрессии данных вариационных рядов ежедневной динамики показателей заболеваемости, выздоровления и летальности для 16 исследуемых стран мира в период с 31.12.2019 г. по 27.04.2020 г.

Необходимо заметить, что все регрессионные модели были построены с соблюдением требований по предотвращению мультиколлинеарности, гетероскедастичности и автокорреляции остатков [16].

Ежедневный прирост заболеваемости COVID-19 в различных странах [указаны в квадратных скобках] представлен следующими уравнениями множественной линейной регрессии:

$$[\text{Австралия}] = 0,009X_1 + 2,25E-05X_2 - 0,004X_3 - 1,2E-05X_4 + 0,16X_5 - 0,013X_6 - 6,135X_7 \quad (R^2=0,992), \quad (28)^1$$

где  $X_1$  – цена на нефть марки Brent (USD),  $X_2$  – цена одной тройской унции золота (USD),  $X_3$  – цена одной тройской унции серебра (USD),  $X_4$  – цена биткоина (USD за 1 монету),  $X_5$  – курс китайского юаня к российскому рублю,  $X_6$  – курс доллара США к российскому рублю,  $X_7$  – курс китайского юаня к доллару США;

$$[\text{Австрия}] = 0,008X_1 + 2,4E-05X_2 - 0,0046X_3 - 1,1E-05X_4 + 0,134X_5 - 0,011X_6 - 5,15X_7 \quad (R^2=0,989); \quad (29)$$

$$[\text{Беларусь}] = -0,039X_1 + 0,0001X_2 - 0,001X_3 + 4,45E-05X_4 - 0,75X_5 + 0,065X_6 + 28,1X_7 \quad (R^2=0,998); \quad (30)$$

$$[\text{Германия}] = -0,01X_1 + 3,13E-05X_2 - 0,001X_3 + 1,15E-05X_4 - 0,2X_5 + 0,017X_6 + 7,4772X_7 \quad (R^2=0,998); \quad (31)$$

$$[\text{Индия}] = 0,012X_1 + 2,88E-05X_2 - 0,006X_3 - 1,5E-05X_4 + 0,214X_5 - 0,02X_6 - 8,13X_7 \quad (R^2=0,994); \quad (32)$$

$$[\text{Испания}] = 3,64E-05X_2 - 0,004X_3 - 1,5E-06X_4 - 0,02X_5 + 0,003X_6 + 0,64X_7 \quad (R^2=0,999); \quad (33)$$

$$[\text{Италия}] = 0,005X_1 + 2,89E-05X_2 - 0,004X_3 - 7,7E-06X_4 + 0,081X_5 - 0,006X_6 - 3,15X_7 \quad (R^2=0,965); \quad (34)$$

$$[\text{Китай}] = 0,003X_1 - 0,001X_2 + 0,052X_3 + 3,52E-05X_4 + 0,225X_5 - 0,027X_6 - 4,3X_7 \quad (R^2=0,971); \quad (35)$$

$$[\text{Латвия}] = -0,0216X_1 + 7,58E-05X_2 - 0,003X_3 + 2,41E-05X_4 - 0,42X_5 + 0,037X_6 + 15,73X_7 \quad (R^2=0,998); \quad (36)$$

$$[\text{Литва}] = -0,013X_1 + 6,15E-05X_2 - 0,0032X_3 + 1,37E-05X_4 - 0,26X_5 + 0,023X_6 + 9,5X_7 \quad (R^2=0,998); \quad (37)$$

$$[\text{Польша}] = -0,025X_1 + 7,97E-05X_2 - 0,0022X_3 + 2,8E-05X_4 - 0,485X_5 + 0,042X_6 + 18,14X_7 \quad (R^2=0,998); \quad (38)$$

$$[\text{Россия}] = -0,029X_1 + 9,05E-05X_2 - 0,002X_3 + 3,28E-05X_4 - 0,55X_5 + 0,048X_6 + 20,77X_7 \quad (R^2=0,998); \quad (39)$$

$$[\text{США}] = -0,008X_1 + 5,07E-05X_2 - 0,00337X_3 + 7,91E-06X_4 - 0,167X_5 + 0,015X_6 + 6,183X_7 \quad (R^2=0,999); \quad (40)$$

$$[\text{Украина}] = -0,047X_1 + 0,000115X_2 - 0,00052X_3 + 5,35E-05X_4 - 0,89X_5 + 0,076X_6 + 33,37X_7 \quad (R^2=0,998); \quad (41)$$

$$[\text{Франция}] = 0,0015X_1 + 3,7E-05X_2 - 0,004X_3 - 3,2E-06X_4 + 0,0124X_5 - 0,00015X_6 - 0,56X_7 \quad (R^2=0,998); \quad (42)$$

$$[\text{Эстония}] = 0,003X_1 + 3,23E-05X_2 - 0,00423X_3 - 5,4E-06X_4 + 0,045X_5 - 0,003X_6 - 1,78X_7 \quad (R^2=0,958). \quad (43)$$

<sup>1</sup> – Примечание: в уравнениях множественной линейной регрессии, а также в уравнениях аппроксимации  $n$ -й степени на рисунках выражение «ME $n$ » следует читать как «M\*10 $n$ »

Наряду с этим были построены математические модели на основе множественной линейной регрессии, описывающие влияние экономических факторов на динамику выживаемости в различных странах [указаны в квадратных скобках] в условиях пандемии COVID-19:

$$\begin{aligned} [\text{Австралия}] &= 0,090X_1+0,001X_2-0,079X_3+1,305X_5-0,087X_6-53,158X_7 \\ (R^2=0,923); \end{aligned} \tag{44}$$

$$\begin{aligned} [\text{Австрия}] &= 0,008X_1-0,005X_3+0,134X_5-0,010X_6-5,151X_7 \\ (R^2=0,99); \end{aligned} \tag{45}$$

$$\begin{aligned} [\text{Беларусь}] &= -0,001X_1-0,016X_5+0,001X_6+0,604X_7 \\ (R^2=0,998); \end{aligned} \tag{46}$$

$$\begin{aligned} [\text{Германия}] &= 0,003X_1-0,004X_3+0,034X_5-0,002X_6-1,384X_7 \\ (R^2=0,984); \end{aligned} \tag{47}$$

$$\begin{aligned} [\text{Индия}] &= 0,012X_1-0,006X_3+0,214X_5-0,017X_6-8,125X_7 \\ (R^2=0,994); \end{aligned} \tag{48}$$

$$\begin{aligned} [\text{Испания}] &= 3,822X_1+0,006X_2-1,606X_3-0,005X_4+67,039X_5-5,409X_6-2555,942X_7 \\ (R^2=0,994); \end{aligned} \tag{49}$$

$$\begin{aligned} [\text{Италия}] &= 0,002X_1-0,013X_3-0,011X_5+0,004X_6+0,114X_7 \\ (R^2=0,999); \end{aligned} \tag{50}$$

$$[\text{Китай}] = 0,001X_3+0,006X_5-0,001X_6-0,161X_7 \quad (R^2=0,997); \tag{51}$$

$$\begin{aligned} [\text{Латвия}] &= -62,28X_1+0,14X_2+0,8X_3+0,07X_4-1181,9X_5+101,2X_6+44426,6X_7 \\ (R^2=0,998); \end{aligned} \tag{52}$$

$$\begin{aligned} [\text{Литва}] &= -19,6X_1+0,06X_2+1,7X_3-0,02X_4-379,4X_5+32,895X_6+14216,3X_7 \\ (R^2=0,998); \end{aligned} \tag{53}$$

$$\begin{aligned} [\text{Польша}] &= 1,28X_1-0,001X_2-0,171X_3-0,002X_4+23,875X_5-2,017X_6-901,1X_7 \\ (R^2=0,997); \end{aligned} \tag{54}$$

$$\begin{aligned} [\text{Россия}] &= -0,033X_1+0,000X_2+0,001X_3+0,000X_4-0,620X_5+0,053X_6+23,318X_7 \\ (R^2=0,998); \end{aligned} \tag{55}$$

$$\begin{aligned} [\text{США}] &= 2,086X_1+0,004X_2-0,9X_3-0,003X_4+36,8X_5-2,97X_6-1402,5X_7 \\ (R^2=0,994); \end{aligned} \tag{56}$$

$$\begin{aligned} [\text{Украина}] &= 0,140X_1-0,071X_3+2,514X_5-0,205X_6-96,2X_7 \\ (R^2=0,994); \end{aligned} \tag{57}$$

$$\begin{aligned} [\text{Франция}] &= 1,5X_1+0,003X_2-0,633X_3-0,002X_4+26,2X_5-2,1X_6-996,9X_7 \\ (R^2=0,994); \end{aligned} \tag{58}$$

$$\begin{aligned} [\text{Эстония}] &= 1,16X_1+0,002X_2-0,49X_3-0,002X_4+20,4X_5-1,6X_6-776,4X_7 \\ (R^2=0,994). \end{aligned} \tag{59}$$

Краткосрочное прогнозирование на период с 16.04.2020 г. по 28.05.2020 г. по показателям случаев заболевания, выздоровления и летального исхода, а также показателю выживаемости с помощью показателя ИЗС осуществляли для 16 стран, таких как Австралия, Австрия, Беларусь, Германия, Индия, Испания, Италия, Китай, Латвия, Литва, Польша, Россия, США, Украина, Франция, Эстония. При этом динамика показателя выживаемости (ИЗС) находилась в области отрицательных значений в случаях, когда ежедневный прирост летальных исходов преобладал над заболеваемостью. Если же преобладал прирост заболеваемости над летальностью – показатель ИЗС находился в области положительных значений.

На рисунках 2 – 10 представлены показатели выживаемости для Китая, Индии, США, Германии, Италии, Польши, Беларуси, России и Украины. На рисунках представлены совмещенные результаты, где период исследований охватывает временной интервал с 31.12.2019 г. по 28.05.2020 г. Для оценки всех аспектов прогнозирования был использован

сценарный подход, предполагающий рассмотрение и анализ трех сценариев: пессимистического, оптимистического и инерционного (нейтрального).

На графиках, представленных на рисунках, варианты пессимистического сценария динамики заболеваемости были аппроксимированы полиномиальной функцией 6-й степени и линейной функцией для повышения эффективности визуализации тенденции.

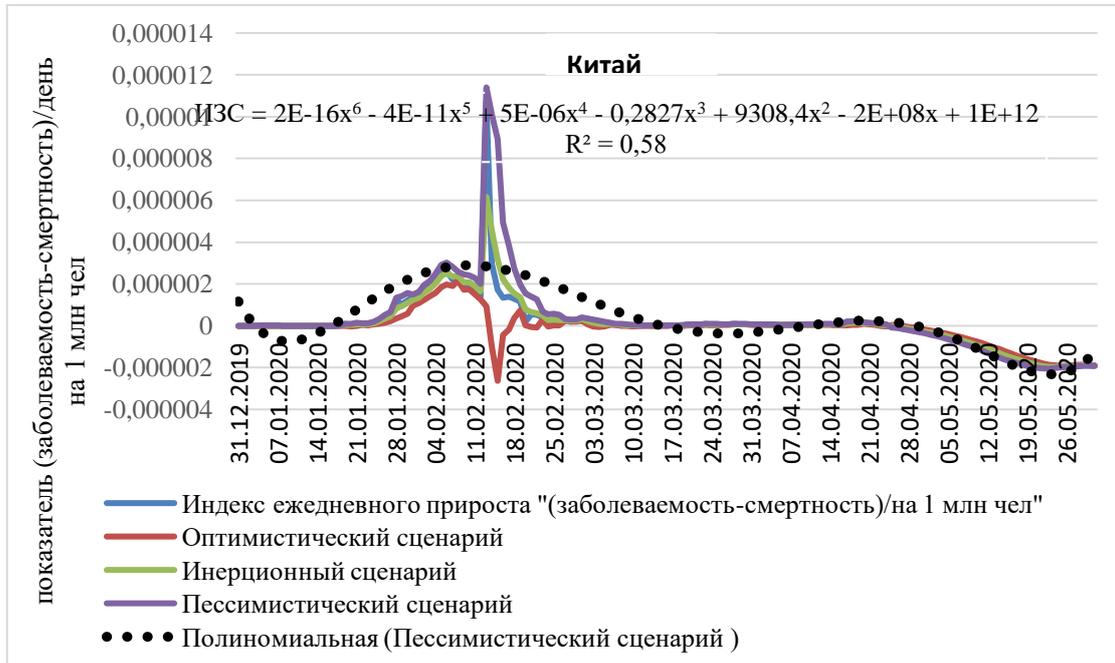


Рисунок 2. – Ежедневная динамика выживаемости для Китая (представлено уравнение полиномиальной функции 6-й степени для аппроксимации кривой пессимистического сценария динамики ИЗС).

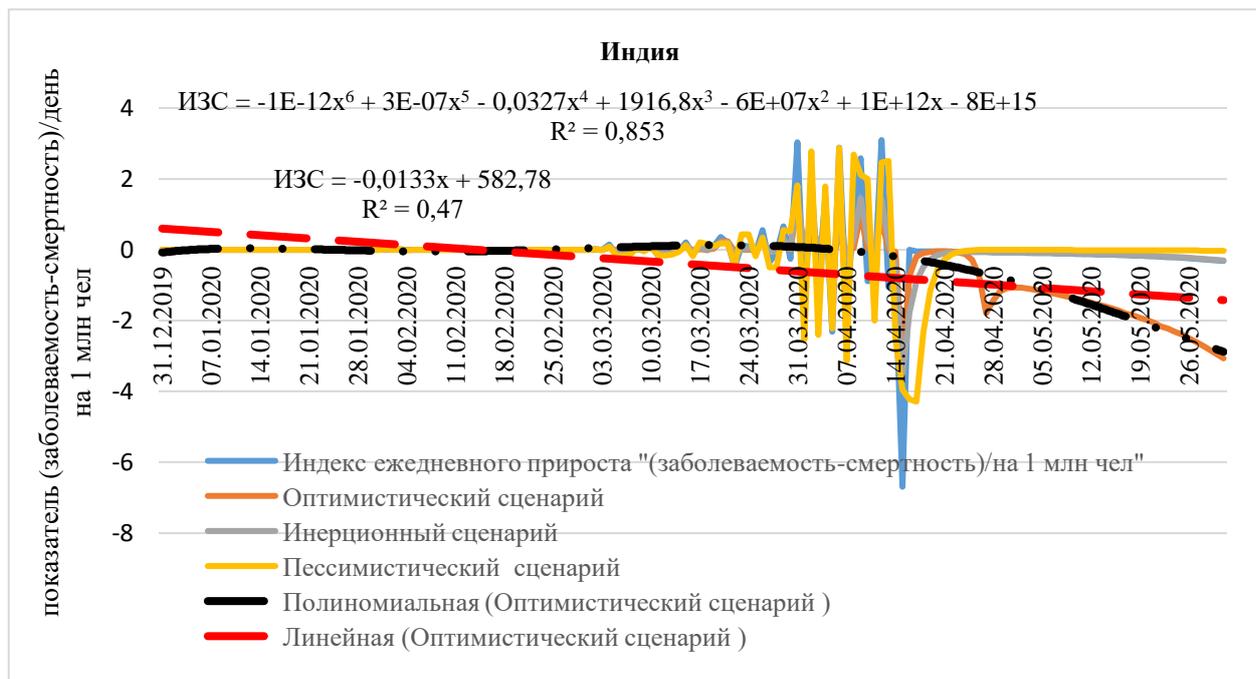


Рисунок 3. – Ежедневная динамика выживаемости для Индии (здесь и далее на рисунках представлены: уравнение полиномиальной функции 6-й степени и уравнение линейной функции для аппроксимации кривой пессимистического сценария динамики ИЗС)

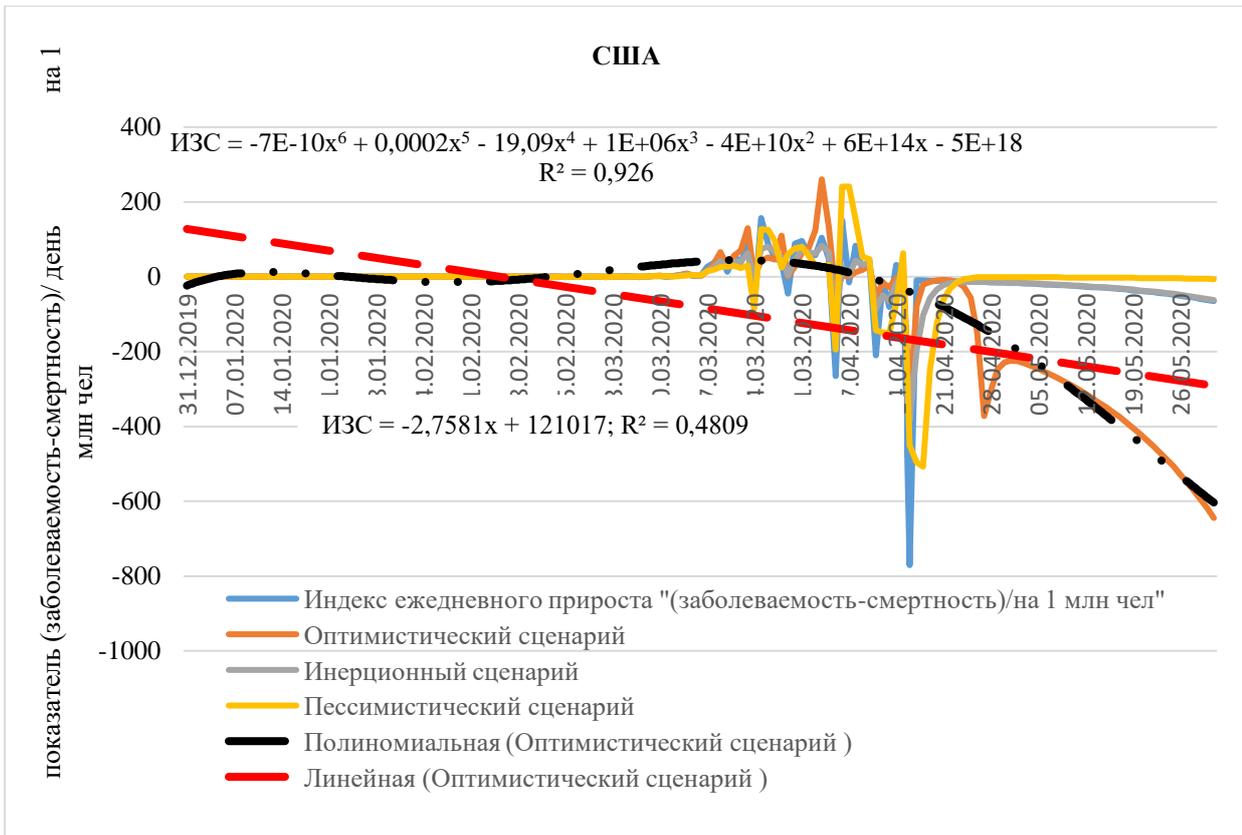


Рисунок 4. – Ежедневная динамика выживаемости для США

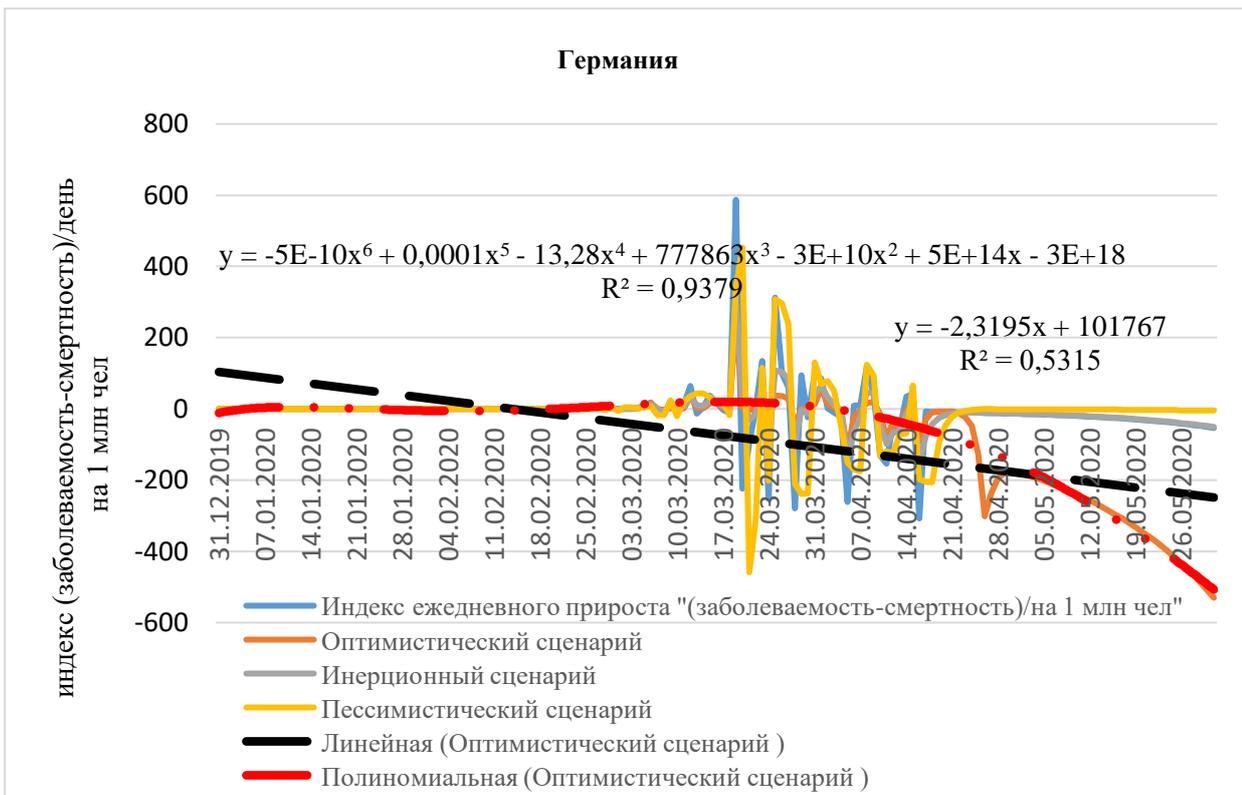


Рисунок 5. – Ежедневная динамика выживаемости для Германии

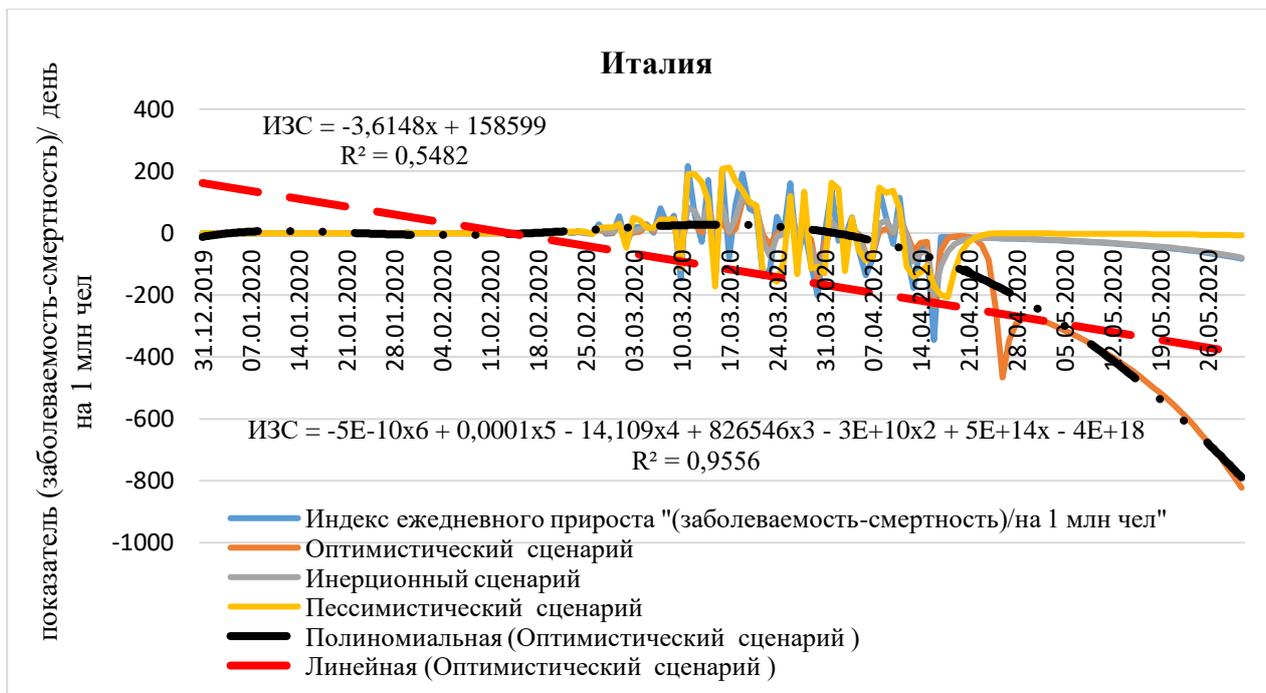


Рисунок 6. –Ежедневная динамика выживаемости для Италии

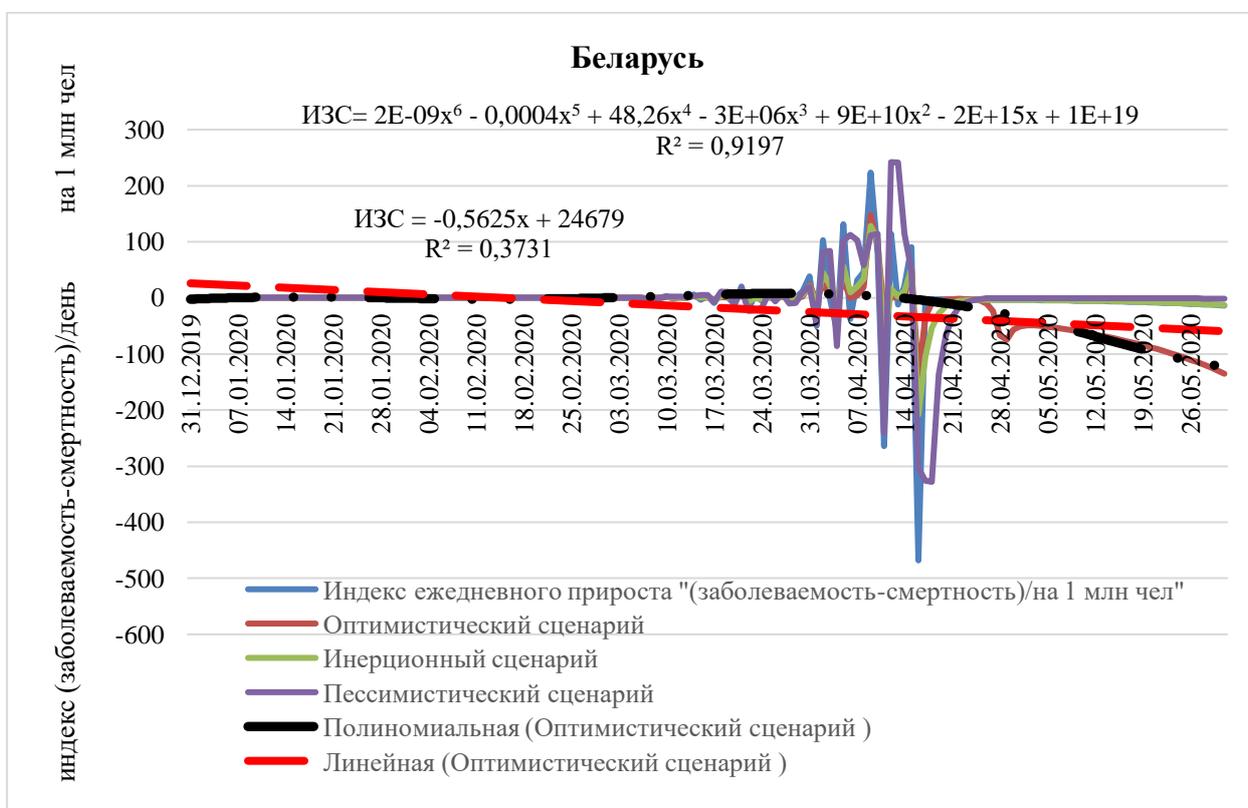


Рисунок 7. –Ежедневная динамика выживаемости для Беларуси

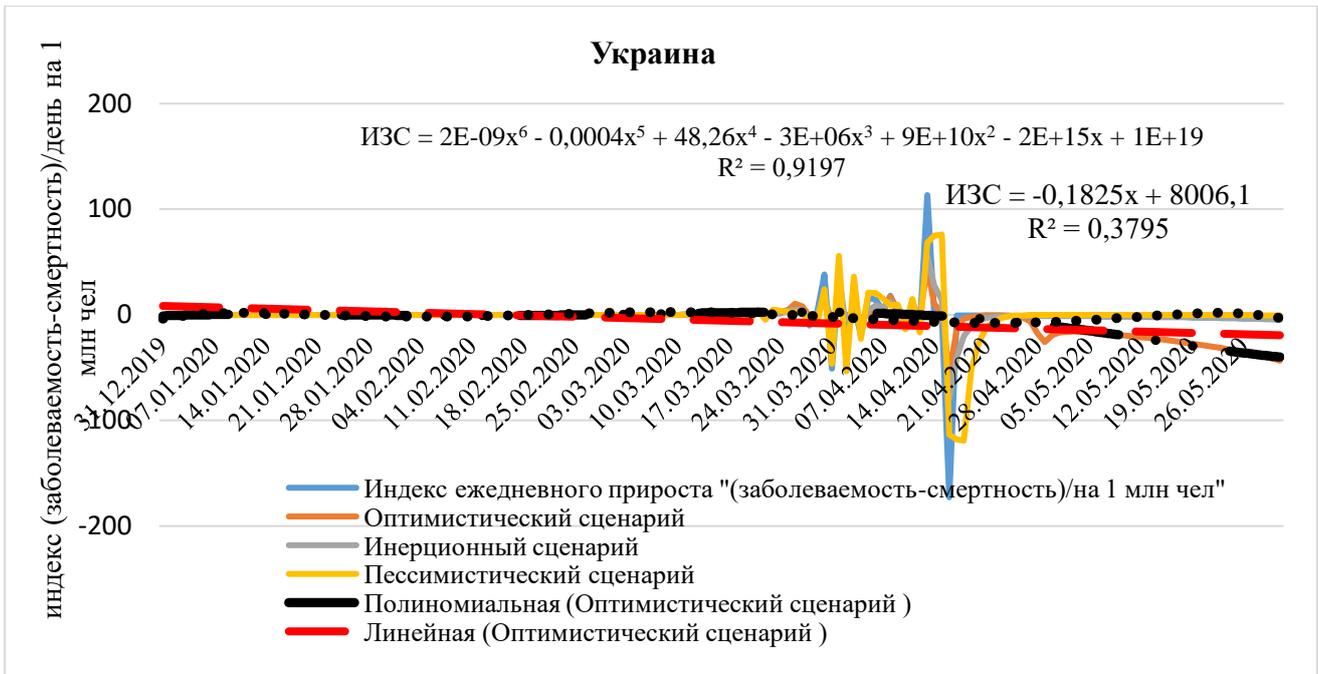


Рисунок 8. – Ежедневная динамика выживаемости для Украины

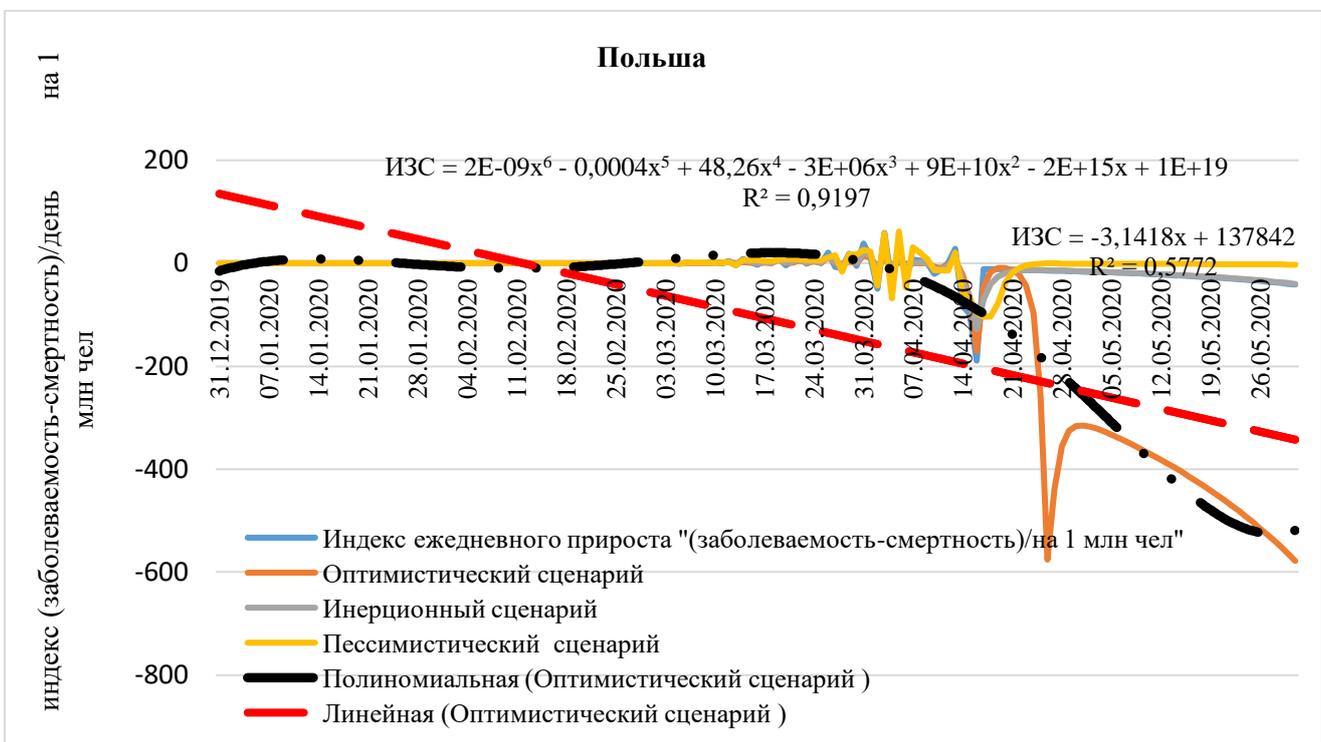


Рисунок 9. – Ежедневная динамика выживаемости для Польши

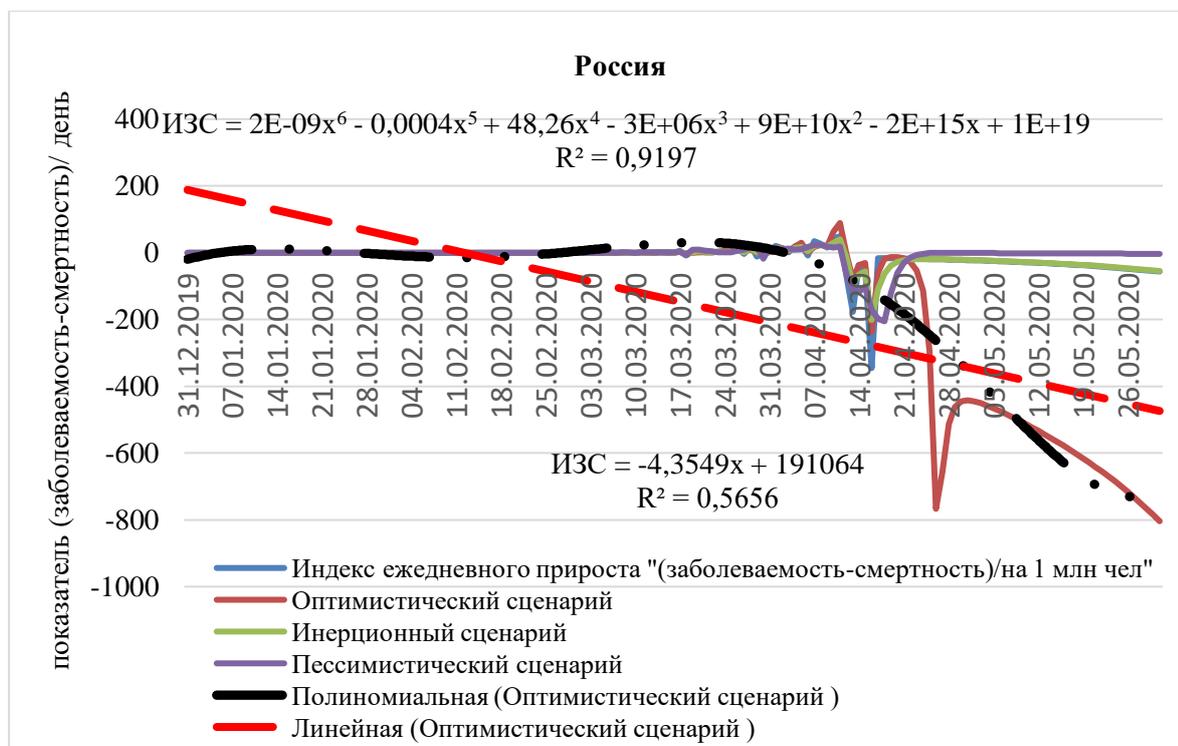


Рисунок 10. – Ежедневная динамика выживаемости для России

Как следует из анализа динамики предложенного параметра ИЗС как показателя выживаемости, в странах со сложным характером течения эпидемического процесса COVID-19, прогнозируемые значения ИЗС в заданном горизонте краткосрочного прогнозирования (май 2020 г.) уходят в область отрицательных значений. Это указывает на вероятность реализации пессимистического сценария развития эпидемического процесса и нарастания угрозы для здоровья и жизни популяции, подвергшейся влиянию вирусного фактора SARS-CoV-2. На основе результатов математического моделирования и системного анализа полученных моделей, к таким странам могут быть отнесены США, Италия, Польша, Россия. Вместе с тем, необходимо отметить, что активные меры по борьбе с эпидемическим процессом COVID-19, прежде всего рациональная организация пассажирских и товарных транспортных потоков, может предотвратить риск распространения инфекции и минимизировать вероятность реализации негативного сценария в этих странах.

Вместе с тем, оценка динамика эпидемии в Китае, Германии, Беларуси и Украине позволяет предположить значительную вероятность оптимистического сценария развития эпидемического процесса и благоприятного его завершения в период летнего сезона. Причинами этого могут быть как эффективная организация противоэпидемических мероприятий, так и особенности поведения значительной части населения.

Важной мерой предотвращения распространения инфекции COVID-19 является рациональная организация и управления потоками людей, а также товаров, изделий и других предметов, которые могут служить факторами передачи агентов инфицирования. В условия эпидемического процесса перемещения людей и технических средств осуществляется в соответствии с принципом «три зоны и два перехода»: зараженная зона, потенциально зараженная зона и чистая зона. Пределы этих трех зон четко обозначаются, причем зараженная и потенциально зараженная зоны отделяются буферными зонами. При этом необходимо обустроить отдельный проход для перемещения зараженных предметов: для этого выделяется зона для односторонней передачи предметов из служебных помещений (потенциально зараженная зона) в изоляционную палату (зараженная зона). Для

медицинского персонала разрабатываются стандартизированные процедуры в отношении надевания и снятия средств индивидуальной защиты. Необходимо подготовить схемы различных зон, обеспечить наличие зеркал в полный рост и четко соблюдать маршруты перемещения [17]:

*Математическое моделирование влияния экономических показателей на заболеваемость и выживаемость.* Прогнозируемый ежедневный прирост заболеваемости (случаев на 1 млн. населения) в мае 2020 года характеризуется градиентом возрастания в ряду стран, включающем Индию, Австралию, Австрию, Италию, Китай, Эстонию, Францию, Испанию, США, Германию, Литву, Латвию, Польшу, Россию, Беларусь и Украину.

Возрастание влияния такого экономического фактора, как цена на нефть марки Brent (в USD) прослеживается в последовательном ряду стран, таких как, Украина, Беларусь, Россия, Польша, Латвия, Литва, Германия, США, Испания, Франция, Китай, Эстония, Италия, Австрия, Австралия, Индия.

Влияние такого экономического фактора, как цена тройской унции золота (USD), на развитие эпидемии COVID-19 возрастает в ряду стран, включая Китай, Австралию, Австрию, Индию, Италию, Германию, Эстонию, Испанию, Францию, США, Литву, Латвию, Польшу, Россию, Беларусь и Украину.

Влияние такого экономического фактора, как цена тройской унции серебра (USD) на развитие эпидемии возрастает в ряду стран, таких как Индия, Австрия, Италия, Эстония, Франция, Австралия, Испания, США, Литва, Латвия, Польша, Россия, Беларусь, Германия, Украина и Китай.

Влияние такого экономического фактора, как биткоин (USD за 1 монету), на развитие эпидемии постепенно усиливается в ряду стран, начиная с Индии и далее включая Австралию, Австрию, Италию, Эстонию, Францию, Испанию, США, Германию, Литва, Латвию, Польшу, Россию, Китай, Беларусь, Украину.

Курс юаня к российскому рублю оказывает возрастающее влияние на развитие эпидемии в ряду, включающем Украину, Беларусь, Россию, Польшу, Латвию, Литву, Германию, США, Испанию, Францию, Эстонию, Италию, Австрия, Австралию, Индию и Китай.

Курс доллара к российскому рублю, по-видимому, усиливает свое влияние на эпидемию COVID-19 в таких странах, как Китай, Индия, Австралия, Австрия, Италия, Эстония, Франция, Испания, США, Германия, Литва, Латвия, Польша, Россия, Беларусь, Украина.

Кроме того, курс китайского юаня к доллару США, по-видимому, может оказывать последовательно возрастающее влияние на развитие эпидемического процесса COVID-19 в таких странах, как Индия, Австралия, Австрия, Китай, Италия, Эстония, Франция, Испания, США, Германия, Литва, Латвия, Польша, Россия, Беларусь, Украина. Как следует из результатов статистического анализа данных о ежедневном приросте заболеваемости, выздоровления и смертности при эпидемии COVID-19 в исследованных странах, показатель выживаемости (ИЗС) постепенно возрастает, переходя в область положительных значений, в ряду стран, последовательно включающем Испанию, США, Польшу, Францию, Эстонию, Украину, Австралию, Индию, Австрию, Китай, Германию, Беларусь, Италию, Россию, Литву и Латвию. Данная последовательность позволяет сделать обоснованное предположение о возможностях перехода определенных стран к благоприятной стадии развития эпидемического процесса по сравнению с другими в том же международном кластере. В данном случае, с формальной точки зрения и при благоприятных условиях, тройку лидеров образуют Латвия, Литва и Россия, а тройку замыкающих – Испания, США, Польша.

При этом представляет интерес анализ характера потенциально возможного влияния некоторых экономических показателей на ежедневную динамику выживаемости при эпидемии COVID-19 в исследованных странах.

Цена на нефть марки Brent (USD) может оказывать возрастающее влияние на ежедневный прирост выживаемости и, как следствие, увеличение показателя ИЗС в положительной области значений при эпидемическом процессе COVID-19 в таких странах, как Латвия, Литва, Россия, Беларусь, Китай, Италия, Германия, Австрия, Индия, Австралия, Украина, Эстония, Польша, Франция, США и Испания.

Цена одной тройской унции золота (USD) усиливает влияние на ежедневный прирост выживаемости при COVID-19 в таких странах, как Польша, Китай, Беларусь, Австрия, Индия, Германия, Россия, Италия, Украина, Австралия, Эстония, Франция, США, Испания, Литва и Латвия.

Цена одной тройской унции серебра (USD) последовательно усиливает влияние на ежедневный прирост выживаемости в таких странах, как Литва, Испания, США, Франция, Эстония, Польша, Австралия, Украина, Италия, Индия, Австрия, Германия, Беларусь, Россия, Китай и Латвия.

Цена биткоина (USD за 1 монету) усиливает влияние на показатель выживаемости в ряду стран, включая Испанию, США, Францию, Польшу, Эстонию, Украину, Австралию, Индию, Австрию, Италию, Германию, Китай, Беларусь, Россию, Литву и Латвию.

Наряду с этим, курс юаня к российскому рублю усиливает свое влияние на выживаемость при COVID-19 в таких странах, как Латвия, Литва, Россия, Беларусь, Италия, Китай, Германия, Австрия, Индия, Австралия, Украина, Эстония, Польша, Франция, США и Испания.

При этом курс доллара к российскому рублю и курс китайского юаня к доллару США могут последовательно усиливать стимулирующее влияние на выживаемость при эпидемическом процессе COVID-19 в таких странах, как Испания, США, Франция, Польша, Эстония, Украина, Австралия, Индия, Австрия, Китай, Германия, Беларусь, Италия, Россия, Литва и Латвия.

Благодаря этим результатам анализа влияния экономических показателей на заболеваемость и выживаемость заболевших при эпидемическом процессе COVID-19 предложена и обоснована гипотеза о «градиентах ежедневного прироста заболеваемости и выживаемости» в человеческой популяции. Согласно этой гипотезы, логистические потоки в условиях глобальной пандемии необходимо направлять по градиенту заболеваемости, но против градиента выживаемости. Это значит, что транспортно-логистические потоки, включающие товары, изделия медицинского назначения, продовольственные, энергетические и другие ресурсы, необходимо направлять из стран и регионов с меньшей заболеваемостью в страны и регионы, где заболеваемость значительно выше, но никогда наоборот. Вместе с тем, потоки товаров, изделий медицинского назначения, а также различных ресурсов должны быть направлены из стран и регионов с лучшими показателями выживаемости в страны и регионы с худшими показателями выживаемости. Как следует из предложенной гипотезы, для превентивного управления эпидемическим процессом необходимо искать «точки равновесия» градиента (направлении возрастания) заболеваемости и градиента выживаемости в том или ином регионе на основе методов краткосрочного прогнозирования для того, чтобы заблаговременно осуществить перераспределение потоков товаров, ресурсов и высококвалифицированных человеческих ресурсов с целью смещения «точки равновесия» в пользу прироста выживаемости. При этом подобная «точка равновесия» градиентов прироста заболеваемости и прироста выживаемости является триггерным фактором в социотехнических схемах превентивного управления эпидемическим процессом. Детальный анализ упомянутых социотехнических схем и моделей выходит за рамки настоящего исследования.

*Возможные социотехнические последствия многолетней возвратно-циклической пандемии COVID-19.* По мнению одного из крупнейших мыслителей и специалистов в области исследования динамики мировых финансов Нассима Николаса Талеба, западные страны

оказались существенно менее подготовлены к угрозе коронавирусной пандемии, чем, например, Китай. Это обусловлено, в числе других, и тем фактором, что на Западе очень популярно влияние класса «псевдоэкспертов», которые рассуждали так: «Инфаркты убивают полмиллиона человек в год, а коронавирус пока убил всего несколько десятков. Давайте беспокоиться об инфарктах». Однако, нерационально сравнивать то, что существует в статике, с тем, что развивается в динамике. По мнению Н.Н. Талеба, который ввел понятие «черный лебедь» в своем одноименном бестселлере [18], «мы пока не имеем достоверной статистики о том, как вирус себя ведет» [19]. Он называет «черными лебедями» события, которые возникают непредсказуемо, как торнадо, и оказывают огромное воздействие на рынки, глобальную политику и жизни людей. Распространение коронавируса Талеб таким событием не считает. Он уверен, что пандемия была предсказуема. «Меня раздражают те, кто говорит, что это «черный лебедь». Настоящий «черный лебедь» – это события 11 сентября 2001 года» [20].

В свете этого правомерным представляется вопрос: «Какие глобальные и долговременные социально-экономические, социотехнические и социокультурные последствия может иметь пандемия COVID-19 и сопряженные с ней события?»

При условии относительно продолжительного периода карантинных мероприятий и социальной изоляции в течение от одного года до трех лет может быть значительно ускорен переход к широкому внедрению киберфизических систем различного масштаба и назначения, включая «умный дом», «умное предприятие», «умная дорога», «умный город», «умный регион».

Широкое распространение получают робототехнические комплексы и беспилотные транспортные средства, обеспечивающие доставку грузов и ресурсов без риска инфекционного заражения людей.

Несомненный приоритет получают технологии телемедицины, дистанционной диагностики и распознавания проблемных ситуаций в различных областях социальной практики, мониторинга территорий, обеспечения общественной и производственной безопасности.

Высоковостребованными окажутся технологии online-коммуникаций и online-образования на основе платформ социальных сетей Интернет. Традиционные образовательные системы подвергнутся значительным трансформациям, которые будут превосходить любые самые смелые прогнозы и предположения сегодняшнего дня. Традиционные университеты и формы организации образовательного процесса могут оказаться достоянием исторического опыта. В этой связи можно ожидать значительного сокращения ассигнований на массовое образование, как среднее, так и высшее, по причине снижения расходов на эксплуатацию и содержание основных фондов (зданий, коммуникаций, логистики) учебных заведений и оплату услуг персонала. Достаточно очевидным представляется углубление дифференциации и диверсификации форм и направлений получения профессионального образования. Можно предположить достаточно выраженное разделение форм получения высшего образования на «массовые», основанные на технологиях дистанционного обучения, и «элитарные», сохраняющие многие признаки традиционного университета.

Не менее значительные изменения коснутся крупносерийного и массового промышленного производства и бизнеса. Широкое распространение получит удаленная (дистанционная) профессиональная деятельность (фриланс) в самых различных областях бизнеса и социальной практики, а количество специалистов, предпочитающих работать удаленно, может возрасти на порядки.

Соотношение времени, проводимого работниками в социотехнической системе «дом»–«дорога на работу»–«офис» радикально изменится в пользу первого ее компонента.

Вероятно, большую популярность приобретут технологии дополненной и виртуальной реальности как для профессионального использования, так и для досуга. В свою очередь, эта тенденция может сопровождаться появлением и распространением принципиально новых форм патологической вовлеченности человека в использование технических средств и досуговых информационных технологий. Вполне прогнозируемо развитие такого направления досуговой сферы робототехники, как «бот-игры» и развлекательные «бот-услуги». В целом, можно предположить появление совершенно новых форм и средства для рекреационной деятельности и занятий спортом.

Радикальные сокращения затронут сферу туристической индустрии.

Значительные изменения произойдут в области развития мегаполисов и систем их жизнеобеспечения, архитектуры и строительства промышленных и жилых зданий и помещений. Очевидно, прежде всего будут модифицированы технические средства оборудования входных групп в помещения, а также систем и способов обеспечения биозащиты систем водной канализации и воздушных потоков внутри зданий и сооружений.

Несомненно, продолжительная эпидемия COVID-19 вызовет появление принципиально новых форм социального контроля, социальной инженерии и социального программирования.

С особыми вызовами столкнется сфера технологий информационной и кибербезопасности. Качественно изменится структура требований к системе управления охраной труда, производственной безопасности и управлению рисками инцидентов в природно-техносферных системах.

Неизбежно изменится мода, сленг, язык социальных коммуникаций, субкультурные течения, а также способы, средства и методы охраны правопорядка и обеспечения социальной безопасности, социальная структура общества в целом.

*Заключение.* Таким образом, в работе представлены результаты системного анализа и краткосрочного прогнозирования влияния экономических факторов, включая цену барреля нефти марки Brent в долларах США, тройских унций золота и серебра, цену биткоина, а также курсы китайского юаня к российскому рублю, доллара США к российскому рублю и курс китайского юаня к доллару США, на показатели ежедневной динамики заболеваемости и выживаемости при COVID-19, для оценки и изучения возможностей оптимизации транспортно-логистического взаимодействия между разными странами в условиях глобальной пандемии.

Показано, что все изученные экономические факторы оказывают значительное, хотя и неоднозначное, влияние на динамику ежедневного прироста заболеваемости и выживаемости при эпидемии COVID-19 в изученных странах мира. Влияние исследованных экономических факторов имеет существенную географическую и региональную специфику. Например, одни и те же экономические факторы демонстрируют противоположный характер влияния на параметры эпидемического процесса COVID-19 в странах Южной, Западной и Восточной Европы, а также в Австралии, США, Беларуси, России и Украине. При этом обращает внимание определенное сходство эффектов влияния экономических факторов на динамику показателей эпидемического процесса COVID-19 в постсоциалистических странах.

Разработана кинетическая модель развития эпидемического процесса, обусловленного вирусом SARS-CoV-2, представленная системой линейных дифференциальных уравнений. В результате исследования данной системы дифференциальных уравнений на основе принципа квазистационарности получен набор условий стабилизации и ограничения эпидемического процесса COVID-19.

Предложен комплекс множественных линейных регрессионных моделей, описывающих динамику заболеваемости и выживаемости заболевших в условиях эпидемического процесса COVID-19, с учетом важных экономических показателей, включая цены на баррель нефти Brent, одной тройской унции золота и серебра, биткоина, а также курс

китайского юаня к российскому рублю, курс доллара к российскому рублю, курс китайского юаня к доллару для таких стран, как Австралия, Австрия, Беларусь, Германия, Индия, Испания, Италия, Китай, Латвия, Литва, Польша, Россия, США, Украина, Франция, Эстония.

На основе исследования сформулирована гипотеза о двух градиентах – прироста заболеваемости и прироста выживаемости, имеющих динамически нестабильную точку равновесия прироста заболеваемости и прироста выживаемости в условиях развития пандемии COVID-19 в отдельных странах, входящих в определенный глобальный или региональный кластер стран. Практическое значение этой гипотезы заключается в оптимизации и рациональной организации транспортных потоков, которые необходимо направлять по градиенту заболеваемости, но против градиента выживаемости. Это значит, что логистические потоки товаров, изделий медицинского назначения, продовольственных, энергетических и других ресурсов должны быть ориентированы из стран и регионов с меньшей заболеваемостью в те страны и регионы, где заболеваемость значительно выше. Это позволит минимизировать риск распространения инфекции. Вместе с тем, потоки товаров, изделий медицинского назначения, а также различных ресурсов должны быть направлены из стран и регионов с лучшими показателями выживаемости в страны и регионы с худшими показателями выживаемости.

При этом особую роль в управление развитием эпидемического процесса COVID-19 играет поиск региона, где прирост заболеваемости и выживаемости взаимно уравновешены. При этом смысл усилий по превентивному управлению эпидемическим процессом сводится к поиску (вычислению) территориальных очагов и человеческих популяций, находящихся в состоянии динамического равновесия показателей прироста заболеваемости и выживаемости. В дальнейшем логистика организуется с учетом двух градиентов – ежедневного прироста заболеваемости и выживаемости – таким образом, чтобы сместить это равновесие в сторону прироста показателя выживаемости. Эту точку равновесия и момент его смещение целесообразно рассматривать как триггерные факторы в управлении развитием эпидемического процесса.

Полученные результаты могут быть использованы для краткосрочного прогнозирования динамики эпидемического процесса COVID-19 в исследованных странах в условиях социально-экономической турбулентности. Своевременное краткосрочное прогнозирование возможных всплесков ежедневной динамики заболеваемости на фоне негативных тенденций по выживаемости заболевших позволит осуществлять превентивное перераспределение медицинских, продовольственных, энергетических ресурсов, а также высококвалифицированных кадров различных профессиональных категорий в рамках международного и трансграничного сотрудничества в условиях пандемии COVID-19. В частности, такое прогнозирование позволит сравнительно быстро реорганизовать транспортно-логистические цепочки и организовать работу транспортных коридоров в направлении поставок товаров и ресурсов из регионов с наименьшей заболеваемостью в регионы с наибольшей заболеваемостью. Это позволит поддержать функционирование систем транспортной логистики и обеспечит превентивное управление рисками социогуманитарных катастроф в очагах повышенной заболеваемости коронавирусной инфекцией.

Данные положения, основанные на разработанных математических моделях и методах для краткосрочного прогнозирования темпов прироста заболеваемости и выживаемости при коронавирусной инфекции, могут быть успешно апробированы и использованы для оптимизации международных транспортных коммуникаций и логистического взаимодействия, а также предотвращения неоправданных человеческих потерь и дестабилизации социальных систем в условиях повторных эпидемий, обусловленных COVID-19 и его возможными мутациями, либо сходными с ним факторами в обозримом будущем.

### **Список литературы**

- [1.] ВОЗ объявила о пандемии коронавируса. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ria.ru/20200311/1568455428.html>. – Дата доступа: 28.03.2020 г.
- [2.] Chaolin. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China / Chaolin Huang, Yeming Wang, Xingwang Li, Lili Ren, Jianping Zhao // *The Lancet*. – Elsevier. – 2020. — Vol. 395, Issue. 10223. – P. 497–506.
- [3.] virus: China locks down Huanggang, imposes tough travel restrictions in 3 other cities. *The Straits Times* (23 January 2020). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.straitstimes.com/asia/east-asia/china-locks-down-two-more-cities-huanggang-and-ezhou-after-wuhan>. – Дата доступа: 31.03.2020.
- [4.] бьют тревогу: у детей выявлен опаснейший синдром на фоне COVID-19. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.9tv.co.il/item/13274?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com](https://www.9tv.co.il/item/13274?utm_referrer=https%3A%2F%2Fzen.yandex.com). – Дата доступа: 28.04.2020.
- [5.] А. К прогнозированию глобальной экономической динамики ближайших лет / А. Акаев, А. Коротаев // *Экономическая политика*. – 2017. – Т.12, N1. – С. 8–39.
- [6.] нефти впервые в истории упала ниже нуля. Что важно знать. – [Электронный ресурс]. – <https://www.rbc.ru/economics/21/04/2020/5e9df3249a79470ff099ae32>. – Дата доступа: 22.04.2020.
- [7.] Dale, G. (ed.), *First the Transition, then the Crash: Eastern Europe in the 2000s* / G. Dale. – London: Pluto Press, 2011. – 288 p.
- [8.] А.А. Анализ и прогноз влияния шестого технологического уклада на динамику мирового экономического развития / А.А. Акаев, А.И. Рудской // *Мировая динамика: закономерности, тенденции, перспективы*. – М.: ЛИБРОКОМ, 2013, с. 142–166.
- [9.] А.А. Большие циклы конъюнктуры и инновационно-циклическая теория экономического развития Шумпетера-Кондратьева / А.А. Акаев // *Экономическая наука современной России*. – 2013, N2(61). – С.7–28.
- [10.] А.А. Год бифуркации в динамике мировой экономики / А.А. Акаев // *Вестник РАН*. – 2015. – Т. 85, N12. – С.1–11.
- [11.] Л. Е. Глобальное старение населения, шестой технологический уклад и мировая финансовая система / Л. Е. Гринин, А.В. Коротаев // *Кондратьевские волны: наследие и современность*. – Волгоград: Учитель, 2015. – С. 107–132.
- [12.] по эпидемиологии инфекционных болезней: В 2 т. Т. I / В. М. Болотовский, А. М. Зарицкий, А. И. Кондрусев и др. Под ред. В. И. Покровского. – М.: Медицина, 1993. – 464 с.:
- [13.] Л.П. Эпидемиология: учебник / Л.П. Зуева, Р.Х. Яфаев.– СПб: ООО «Издательство ФОЛИАНТ», 2005.–752 с.
- [14.] Дж. Много цифр: Анализ больших данных при помощи Excel / Джон Форман; Перс. С англ. А. Соколовой. – 2-е изд. – М.: Альпина Публишер, 2019. – 461 с.
- [15.] P. *Statistics for Business and Economics*. 8th Edition / P. Newbold, W.L. Carlson, B.M. Thorne. – Pearson Education, 2013. – 797 P.
- [16.] Я.Р. Эконометрика / Я.Р. Магнус, П.К. Катышев, А.А. Пересецкий. – М.: Дело, 2004. – 576 с.
- [17.] по профилактике и лечению новой коронавирусной инфекции COVID-19. Первая академическая клиника Университетской школы медицины провинции Чжэцзян. Составлено на основе клинической практики. – [Электронный ресурс]. –Режим доступа: [https://ria.ru/ips/op/COVID\\_19\\_Book.pdf](https://ria.ru/ips/op/COVID_19_Book.pdf). – Дата доступа: 28.04.2020.
- [18.] Н.Н. Черный лебедь. Под знаком непредсказуемости – 2-е изд., доп. / Н.Н. Талеб; Пер. с англ. –М.: КоЛибри, Азбука-Аттикус, 2014. –736 с.
- [19.] Талеб –РБК: «Я вижу угрозу серьезнее пандемии». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pro.rbc.ru/demo/5e998c119a7947697d5cb9d9>. –Дата доступа: 16.04.2020 г.
- [20.] раздражает, когда коронавирус называют «черным лебедем»: Нассим Талеб о пандемии, кризисе и цене успеха. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/booksforyou/meni-razdrajaet-kogda-koronavirus-nazyvaiut-chernym-lebedem-nassim-taleb-o-pandemii-krizise-i-cene-uspeha-5e86ebd15a232e3422b29d3e>. – Дата доступа: 16.04.2020.

## **SYSTEM ANALYSIS AND SHORT-TERM FORECASTING OF THE IMPACT OF ECONOMIC FACTORS ON THE COVID-19 EPIDEMIC PROCESS TO OPTIMIZATION OF INTERNATIONAL TRANSPORT COMMUNICATIONS IN THE PANDEMIC CONDITIONS**

**A.G. DAVYDOVSKY**

*Associate Professor, Department of  
Engineering Psychology and Ergonomics  
of the BSUIR*

**Abstract.** Has been presented the results of system analysis and short-term forecasting of the impact of economic factors on the development of the epidemic process COVID-19 and to assess opportunities to optimize the transport communications and the logistic interactions between the countries with different socio-economic and demographic development, as well as geographical position in the global pandemic COVID-19. Has been developed a kinetic model of the development of the epidemic process caused by the SARS-CoV-2 virus, represented by a system of linear differential equations. As a result of the study of this mathematical model, the conditions for stabilization and limitation of the epidemic process are obtained. The complex multiple linear regression models describing the dynamics of the incidence and survival in diseased conditions of the epidemic process, given the important economic indicators, including the price of a barrel of Brent crude, one Troy ounce of gold and silver, bitcoin, and the Chinese yuan to Russian ruble, us dollar rate to the Russian ruble, the Chinese yuan to the dollar for countries such as Australia, Austria, Belarus, Germany, India, Spain, Italy, China, Latvia, Lithuania, Poland, Russia, USA, Ukraine, France, Estonia. Has been formulated a hypothesis about two gradients of daily growth-morbidity and survival, which may have a dynamically unstable equilibrium point in the development of the COVID-19 epidemic in an international cluster of countries (regions). These provisions can be used to prevent unnecessary human losses and destabilization of social systems in the context of repeated epidemics caused by the COVID-19 and similar challenges in the foreseeable future.

**Keywords:** COVID-19, epidemic process, system analysis, short-term forecasting, mathematical modeling, multiple linear regression models, international transport logistics.