

УДК 519.87

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СЦЕНАРНОГО АНАЛИЗА СВЯЗИ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ COVID-19 И ПОИСКОВОЙ АКТИВНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ БИОИНСПИРИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ



**А.Г. Давыдовский**  
доцент кафедры программного  
обеспечения информационных  
технологий БГУИР

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

### **А.Г. Давыдовский**

Доцент кафедры программного обеспечения информационных технологий факультета компьютерных систем и сетей БГУИР, кандидат биологических наук, доцент. Окончил докторантуру БГУИР по специальности «Системный анализ, управление и обработка информации». Проводит научные исследования в области социальной информатики, эволюционного моделирования, системного анализа и математического моделирования биологических, биосоциальных и биосоциотехнических систем, методологии превентивного управления рисками в природно-техносферных, социотехнических и биосоциальных системах. Автор учебных программ и пособий для студентов и магистрантов.

**Аннотация.** Коронакризис вынудил обратить внимание на использование информационно-технологических платформ дистанционного обучения. Представлены результаты разработки и обоснования биоинспирированных квазимолекулярных моделей и алгоритмов для формирования и анализа сценариев связи распространения COVID-19 и тематических поисковых обращений интернет-пользователей в русскоязычном сегменте Сети в локации Республики Беларусь, касающихся информационно-коммуникационных технологий дистанционного обучения.

**Ключевые слова:** биоинспирированные алгоритмы, заболеваемость, поисковая активность, прогнозирование, сценарный анализ, COVID-19.

### **Введение.**

Развитие пандемии COVID-19 (SARS-CoV-2) сопровождается развитием социальных, социотехнических и социокультурных трансформаций, приобретающих в ряде случаев катастрофический характер [1]. Одним из маркерных феноменов любого социального кризиса или социальной катастрофы является поисковая активность интернет-пользователей. В значительной степени коронакризис вынудил обратить внимание на использование информационно-технологических платформ дистанционного обучения [2]. Это характерно для интернет-аудиторий практически всех стран мира, включая Республику Беларусь. Закономерно встает вопрос о возможной связи между заболеваемостью COVID-19 и особенностями поисковой активности интернет-пользователей. В частности, это может касаться влияния использования современных технологий дистанционного обучения на распространение COVID-19.

В этой связи особую актуальность приобретает разработка и внедрение технологий сценарного анализа, моделирования и прогнозирования социальных последствий пандемии COVID-19 на основе системного анализа распространения тематического медиаконтента [3]. При этом одним из многообещающих направлений сценарного анализа и прогнозирования социотехнических последствий биосоциальных катастроф является комплексное применение идей эволюционных вычислений, в частности, биоинспирированных алгоритмов поиска оптимальных решений. Подобные алгоритмы позволяют осуществлять обработку больших объемов данных, формировать оригинальные прогностические сценарии, выходящие за рамки традиционного сценарного анализа, включающего построение оптимистического, пессимистического и базового (инерционного) сценариев, основанных на оценке статистических допущений [3–6].

Одним из многообещающих направлений системного анализа и поиска сценариев развития тенденций, представленных вариационными рядами, является разработка методологических основ и практическое применение вновь предложенных биоинспирированных квазимолекулярных алгоритмов (БКМА). Методологическими основами БКМА являются: теория эволюционных вычислений, эволюционного моделирования и программирования, теория генетических алгоритмов, теория вероятности, теория временных рядов, теория корреляционного и регрессионного анализа, теория сценарного анализа, теория прогнозирования, теория бионического поиска, теория интеллектуального анализа данных. Очевидно, применение БКМА для решения задач сценарного анализа и прогнозирования позволяет экономить время принятия рациональных многофакторных решений при управлении сложными социальными, социально-экономическим, территориально-производственными и социотехническими системами в условиях чрезвычайных ситуаций, обусловленных биологическим факторами.

*Цель работы* – разработка и обоснование биоинспирированных квазимолекулярных моделей и алгоритмов для формирования и анализа сценариев связи распространения COVID-19 и тематических поисковых обращений интернет-пользователей в русскоязычном сегменте Сети в локации Республики Беларусь, касающихся информационно-коммуникационных технологий дистанционного обучения.

#### **Методология и дизайн исследования.**

В условиях глобальной пандемии COVID-19 анализ поисковых запросов пользователей новых медиа, включающих социальные сети и мессенджеры, по тематике, связанной коронавирусной инфекцией, является полезным источником для прогнозирования медико-биологических, социальных и социально-экономических последствий для различных групп пользователей Интернет практически во всех странах мира.

Данные о динамике поисковых обращениях по тематическому кластеру «дистанционное обучение» в русскоязычном сегменте интернет-пространства были получены с помощью с помощью общедоступных сервисов Wordstat.Yandex.by и GoogleTrends.ru [7, 8]. Собранные данные были обработаны с помощью методов корреляционного и регрессионного анализа с последующим формированием множественных линейных регрессионных моделей. Для прогнозирования тенденций динамики поисковых обращений был использован метод экспоненциального сглаживания, а также основные положения теории аппроксимации [9].

Анализ соответствия данных вариационных рядов нормальному (Гауссовскому) распределению осуществлен с помощью критериев Колмогорова-Смирнова и критерия Лиллиефорса. Показано удовлетворительное соответствие исследуемых вариационных рядов нормальному (Гауссовскому) распределению. Статистическая обработка данных поисковых обращений была обработана с помощью метода корреляционного анализа с использованием критерия Пирсона. Кроме того, были построены уравнения множественной линейной регрессии (МЛР) в среде MS Excel 2016 for Windows [10 – 12]. В

качестве горизонта прогнозирования был выбран период продолжительностью 12 месяцев. Анализ степени реализации прогноза осуществлен с помощью метода пассивного эксперимента. В результате был разработан комплекс множественных линейных регрессионных моделей, описывающих связь динамики кумулятивных показателей заболеваемости и смертности от COVID-19 с поисковой активностью по тематическим COVID-19-ассоциированным кластерам поисковой активности интернет-пользователей в Республике Беларусь в период с 05.01.2020 г. по 27.03.2022 г.

Для прогнозирования связи заболеваемости COVID-19 с поисковой активностью интернет-пользователей использовался сравнительно традиционный метод, основанный на корреляционно-регрессионном аналитическом моделировании (КРАМ), а также вновь разработанный БКМА, предполагающий формирование, изомеризацию, гибридизацию и селекцию сценариев, представленных уравнениями МЛР [9, 12]. БКМА относится к алгоритмам, инспирированным природными системами (АИПС), в частности, такими как рибонуклеиновые и дезоксирибонуклеиновые кислоты (РНК и ДНК). При этом период времени снижения эффективности генерируемых сценариев линейно зависит от количества генераций и экспоненциально снижается в зависимости от степени сложности от «молекулярного веса РНК или ДНК», соответствующего количеству слагаемых в уравнении МЛР-модели сценария прогнозной динамики.

В рамках исследования реализован подход сценарного анализа и моделирования с последующей численной симуляцией и верификацией полученных МЛР-моделей. Рассмотрены модели оптимистического, базового и пессимистического сценариев. В рамках данного подхода использован метод «гибридизации сценариев», использующий приемы конверсии коэффициентов в уравнениях МЛР из десятичной в бинарную форму. Путем перекombинации бинарных чисел были получены ряды значений для каждого коэффициента в уравнении МЛР, соответствующем каждому сценарию – оптимистическому, базовому и пессимистическому. В дальнейшем полученные варианты уравнений каждого сценария – «гибриды» – подвергались селекции по критериям минимума и максимума. Были получены «максимальные» (max, «макси»), «минимальные» (min, «мини»), усредненные варианты сценариев («миди»), а также гибридные варианты оптимистического (optimistic – O), базового (basic – B) и пессимистического (pessimistic – P) сценариев.

Одним из методологических оснований БКМА является «сценарный крест», представленный на рисунке 1, включающий четыре различных сценария, базирующихся на взаимодействии двух неопределенностей, создающих пространство сценариев, генерируемых посредством БКМА, предусматривающего процессы формирования, изомеризации, гибридизации, селекции и оценки сценариев прогноза динамики COVID-ассоциированных поисковых обращений интернет-пользователей.

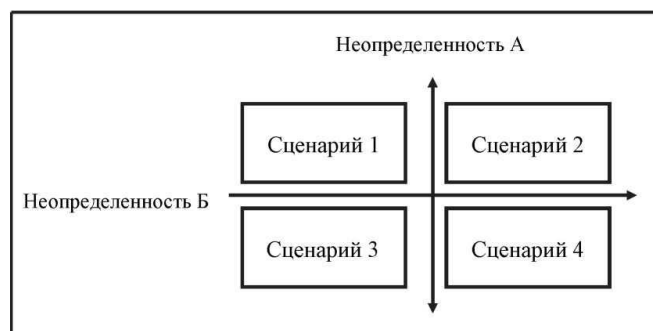


Рисунок 1. «Сценарный крест» формирования четырех различных сценариев в условиях, основанных на взаимодействии двух неопределенностей (А) и (Б)

Поиск оптимальных решений сложных задач сценарного анализа и прогнозирования может быть осуществлен с помощью АИПС для поиска оптимальных решений с использованием процедур, соответствующих биологическим феноменам кроссинговера, мутаций, селекции. В свою очередь, такие операции могут быть использованы при поиске оптимальных вариантов сценариев формирования оптимальных решений прогнозной динамики вариационных рядов. Инструментом такого поиска могут быть БКМА, в которых каждое решение (сценарий) рассматривается как молекула ДНК, подвергающаяся изомеризации, гибридизации (рекомбинации) и селекции. На рисунке 2 представлена универсальная блок-схема биоинспирированного квазимолекулярного алгоритма формирования, изомеризации, гибридизации и селекции оптимальных вариантов («молекул») сценариев прогноза динамики вариационных и временных рядов, а также сложных событий.



Рисунок 2. Универсальная блок-схема биоинспирированного квазимолекулярного алгоритма формирования оптимальных прогнозирования динамики вариационных рядов на основе изомеризации, гибридизации и селекции оптимальных вариантов («молекул») сценарных моделей

На рисунке 3 представлена блок-схема индуктивного варианта БКМА для формирования сценариев. В данном варианте БКМА этап формирования начальной

популяции «молекул» сценариев предшествует выбору стратегии бионического поиска критериев изомеризации/гибридизации/модификации/ селекции «молекул» исходных сценариев. После чего наступает этап генерации критериев целевого (-ых) сценария (-ев) (ЦС), который обеспечивает вычисление ЦС. В дальнейшем с помощью ЦС происходит оценка эффективности этапов изомеризации, гибридизации, одно/двух/трехфакторной модификации и рекомбинации «молекул» сценариев. Именно на основе сопоставления продуктов – «молекул» сценариев – после каждого из названных этапов осуществляется селекция итоговых сценариев. Важным узловым элементом данного индуктивного варианта БКМА является оценка того, насколько достигнуты критерии ЦС после селекции. В случае выполнения условий критериев ЦС происходит переход к вычислению приспособленности сценариев, «выживших» после этапа селекции. В случае же невыполнения данных условий происходит переход к этапу формирования начальной популяции «молекул» сценариев. Другим вариантом БКМА является дедуктивный, блок-схема которого представлена на рисунке 4.

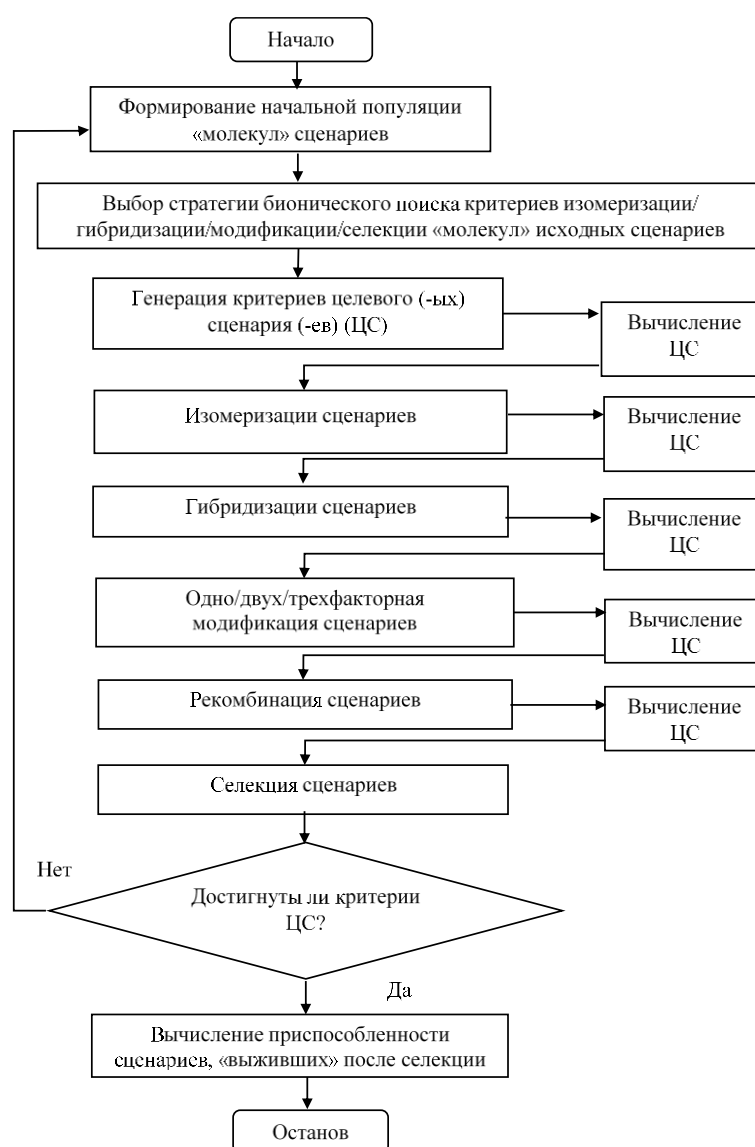


Рисунок 3. Блок-схема индуктивного варианта биоинспирированного квазимолекулярного алгоритма формирования сценариев



Рисунок 4. Блок-схема дедуктивного варианта биоинспирированного квазимолекулярного алгоритма формирования сценариев

На основе анализа и верификации данных «гибридных» сценариев были разработаны наиболее вероятные прогнозы динамики поисковых обращений, ассоциированных с темой «дистанционное обучение». Таким образом, кроме собственно сценариев, были получены следующие варианты пар интервальных сценариев « $O_{\max} - O_{\min}$ », « $O_{\max} - B_{\max}$ », « $O_{\max} -$

$V_{min}$ », « $O_{max} - P_{max}$ », « $O_{max} - P_{min}$ », « $O_{min} - V_{max}$ », « $O_{min} - V_{min}$ », « $O_{min} - P_{max}$ », « $O_{min} - P_{min}$ », « $V_{max} - V_{min}$ », « $V_{max} - P_{max}$ », « $V_{max} - P_{min}$ », « $V_{min} - P_{max}$ », « $V_{min} - P_{min}$ », « $P_{max} - P_{min}$ ». Вероятность принадлежности любого случайного сценария к одной из таких пар была рассчитана с помощью функции Лапласа.

#### **Анализ и обсуждение результатов исследований.**

С помощью разработанного БКМА изучены и охарактеризованы особенности распространения медиаконтента различной направленности и поисковой активности интернет-пользователей интернет-сервисов в условиях пандемии COVID-19 (SARS-CoV-2) в Республике Беларусь.

Анализ показателей динамики поисковых обращений, связанных с «дистанционным обучением», по данным web-сервиса Yandex.WordStat.by в период второй и третьей волны распространения COVID-19 с 27.07.2020 г. до 03.08.2021 г., позволил установить коэффициенты корреляции по Пирсону ( $P < 0,05$ ) между частотой поисковых обращений по терминологической конструкции «дистанционное обучение» и частотами поисковых обращений «электронное обучение» ( $r^2=0,56$ ), «антивирус» ( $r^2=0,36$ ), «Viber» ( $r^2=0,28$ ), «COVID-19» ( $r^2=-0,03$ ), «Zoom» ( $r^2=0,86$ ), «Discord» ( $r^2=-0,46$ ), «Moodle» ( $r^2=0,86$ ), «Skype» ( $r^2=0,65$ ), «мемы» ( $r^2=0,69$ ), «Википедия» ( $r^2=0,67$ ) и «Windows» ( $r^2=0,51$ ).

Вместе с тем, после прогнозирования фактических тенденций динамики исследуемых поисковых обращений на прогнозируемый период с 04.07.2021 г. до 25.07.2022 г. с использованием метода экспоненциального сглаживания и коэффициентом затухания 0,8 и горизонт прогнозирования получены существенно другие результаты.

В частности, между частотой поисковых обращений по терминологической конструкции «дистанционное обучение» и частотами поисковых обращений «электронное обучение» ( $r^2=0,63$ ), «on-line обучение» ( $r^2=0,61$ ), «антивирус» ( $r^2=0,45$ ), «Telegram» ( $r^2=-0,58$ ), «Viber» ( $r^2=-0,11$ ), «COVID-19» ( $r^2=0,23$ ), «Zoom» ( $r^2=0,89$ ), «Discord» ( $r^2=-0,50$ ), «Moodle» ( $r^2=0,92$ ), «Skype» ( $r^2=0,68$ ), «мемы» ( $r^2=0,85$ ), «Википедия» ( $r^2=0,75$ ), «Windows» ( $r^2=0,60$ ), «Linux» ( $r^2=0,37$ ).

Также установлена повышенная отрицательная корреляция между поисковыми обращениями в парах «COVID-19»–«Telegram» ( $r^2=-0,55$ ) и «COVID-19»–«Viber» ( $r^2=-0,76$ ).

Результаты свидетельствуют о прогнозируемой повышенной заинтересованности русскоязычного контингента интернет-пользователей в поисковых обращениях с использованием терминологической конструкции «дистанционное обучение», с одной стороны, и поисковыми обращениями «антивирус» ( $r^2=0,45$ ), «Zoom» ( $r^2=0,89$ ), «Discord» ( $r^2=-0,50$ ), «Moodle» ( $r^2=0,92$ ), «Skype» ( $r^2=0,68$ ), «мемы» ( $r^2=0,85$ ), «Википедия» ( $r^2=0,75$ ), «Windows» ( $r^2=0,60$ ), с другой.

Также показана прогнозируемая тенденция к повышению корреляции заинтересованности русскоязычного контингента интернет-пользователей между поисковыми обращениями «дистанционное обучение», с одной стороны, и поисковыми обращениями «COVID-19» ( $r^2=0,23$ ), «on-line обучение» ( $r^2=0,61$ ), «Telegram» ( $r^2=-0,58$ ), «COVID-19» ( $r^2=0,23$ ), «Linux» ( $r^2=0,37$ ), с другой.

Анализ результатов прогнозирования позволяет предположить возрастание роли фактора COVID-19 в цифровой трансформации технологий дистанционного обучения в направлении стабильного использования информационно-технологических платформ «Zoom», «Discord», «Moodle», «Skype», операционной системы «Windows» ( $r^2=0,60$ ). Кроме того, в прогнозируемом периоде COVID-19 является фактором стимуляции заинтересованности в использовании on-line-обучения, таких популярных мессенджеров, как «Viber» ( $r^2=0,61$ ), «Telegram» ( $r^2=-0,58$ ), «Википедия» ( $r^2=0,75$ ), «COVID-19» ( $r^2=0,23$ ), «Linux» ( $r^2=0,37$ ), с другой.

Вместе с тем, повышенная отрицательная корреляция в парах «COVID-19»–«Telegram» ( $r^2=-0,55$ ) и «COVID-19»–«Viber» ( $r^2=-0,76$ ) указывает на возможную роль

обращений к популярным мессенджерам «Telegram» и «Viber» в отвлечении внимания контингентов интернет-пользователей от поисковых обращений, связанных с COVID-19, в прогнозируемом периоде с 04.07.2021 г. до 25.07.2022 г. В свою очередь, это позволяет предположить возможность мессенджер-опосредованной регуляции социальных последствий, связанных с распространением COVID-19.

Было изучено влияние основных поисковых обращений «электронное обучение», «online-обучение», «антивирус», «Telegram», «Viber», «COVID-19», «Zoom», «Discord», «Moodle», «Skype», «мемы», «википедия», «Windows», «Linux», «самоизоляция» на ключевое поисковое обращение «дистанционное обучение».

Таким образом, значимыми факторами, оказывающими наибольшее влияние на показатели поискового обращения «дистанционное обучения», являются «Антивирус», «Википедия», «Самоизоляция», «Мемы», «Moodle», «Skype», «Windows», «Zoom».

На основе БКМА осуществлена генерация и последующая селекция «молекул» различных сценариев зависимости заболеваемости и смертности от COVID-19 от поисковой активности интернет-пользователей в Сети.

При этом изучены пессимистические, инерционные и оптимистические сценарии влияния поисковой активности интернет-пользователей на общую заболеваемость по частоте заболеваемости (New cases), накоплению случаев заболевания (Cumulative cases). Полученные результаты представлены ниже.

А) Пессимистический сценарий динамики частоты новых случаев заболевания COVID-19 (1) – (5):

А1) КРАМ-сценарий:

$$[\text{New cases}] = 51,1[\text{e-learning}] + 6,5[\text{Twitter}] + 3,9[\text{LMS}] + 2,6[\text{Instagram}] + 2,3[\text{ВКонтакте}] - 1,6[\text{Wikipedia}] - 2,8[\text{Википедия}] - 7,2[\text{LinkedIn}] - 16,8[\text{Google classroom}] \quad (R^2=0,72; F=50,09; \text{значимость } F=8,33E-43). \quad (1)$$

А2) БКМА-сценарии:

1) макси-сценарий:

$$[\text{New\_cases}] = 51[\text{e-learning}] + 6[\text{Twitter}] + 3[\text{LMS}] + 2[\text{Instagram}] + 2[\text{ВКонтакте}] + [\text{Wikipedia}] + 2[\text{Википедия}] + 7[\text{LinkedIn}] + 30[\text{Google classroom}]; \quad (2)$$

2) мини-сценарий:

$$[\text{New\_cases}] = 12[\text{e-learning}] + [\text{Twitter}] + [\text{Instagram}] + [\text{ВКонтакте}] + [\text{Википедия}] + [\text{Google classroom}]; \quad (3)$$

3) миди-сценарий:

$$[\text{New\_cases}] = 32[\text{e-learning}] + 4[\text{Twitter}] + 2[\text{LMS}] + 2[\text{Instagram}] + 2[\text{ВКонтакте}] + [\text{Wikipedia}] + 2[\text{Википедия}] + 4[\text{LinkedIn}] + 16[\text{Google classroom}]; \quad (4)$$

4) базовый сценарий:

$$[\text{New\_cases}] = 51[\text{e-learning}] + 6[\text{Twitter}] + 4[\text{LMS}] + 3[\text{Instagram}] + 2[\text{ВКонтакте}] + 2[\text{Wikipedia}] + 3[\text{Википедия}] + 7[\text{LinkedIn}] + 17[\text{Google classroom}]. \quad (5)$$

Б) Инерционный сценарий динамики частоты новых случаев заболевания COVID-19 (6) – (10):

Б1) КРАМ-сценарий:

$$[\text{New\_cases}] = 60,42[\text{LinkedIn}] + 52,1[\text{Google classroom}] + 21,6[\text{Википедия}] + 14,4[\text{Instagram}] + 13,97[\text{Wikipedia}] - 19,81[\text{Дистанционное обучение}] - 33,1[\text{LMS}] - 39,99[\text{e-learning}] - 54,96[\text{Twitter}] \quad (R^2=0,721427; F=50,09225; \text{значимость } F=8,33E-43). \quad (6)$$

Б2) БКМА-сценарии:

1) макси-сценарий:



$$[\text{New\_cases}] = 60[\text{LinkedIn}] + 52[\text{Google classroom}] + 21[\text{Википедия}] + 14[\text{Instagram}] + 13[\text{Wikipedia}] + 25[\text{Дистанционное обучение}] + 33[\text{LMS}] + 57[\text{e-learning}] + 54[\text{Twitter}]; \quad (7)$$

2) мини-сценарий:

$$[\text{New\_cases}] = 3[\text{LinkedIn}] + 11[\text{Google classroom}] + 10[\text{Википедия}] + 1[\text{Instagram}] + 2[\text{Wikipedia}] + 6[\text{Дистанционное обучение}] + 30[\text{LMS}] + 6[\text{e-learning}] + 9[\text{Twitter}]; \quad (8)$$

3) миди-сценарий:

$$[\text{New\_cases}] = 32[\text{LinkedIn}] + 32[\text{Google classroom}] + 16[\text{Википедия}] + 8[\text{Instagram}] + 8[\text{Wikipedia}] + 16[\text{Дистанционное обучение}] + 32[\text{LMS}] + 32[\text{e-learning}] + 32[\text{Twitter}]; \quad (9)$$

4) базовый сценарий:

$$[\text{New\_cases}] = 60[\text{LinkedIn}] + 52[\text{Google classroom}] + 22[\text{Википедия}] + 14[\text{Instagram}] + 14[\text{Wikipedia}] + 20[\text{Дистанционное обучение}] + 33[\text{LMS}] + 40[\text{e-learning}] + 55[\text{Twitter}]. \quad (10)$$

В) Оптимистический сценарий динамики частоты новых случаев заболевания COVID-19 (11) – (15):

В1) КРАМ-сценарий:

$$[\text{New\_cases}] = 95,1[\text{LinkedIn}] + 57,8[\text{Google classroom}] + 32,6[\text{Википедия}] + 22,5[\text{Wikipedia}] + 10,8[\text{Instagram}] - 31,7[\text{Дистанционное обучение}] - 39,4[\text{e-learning}] - 52,6[\text{LMS}] - 87,1[\text{Twitter}]$$

( $R^2=0,72$ ;  $F=50,09225$ ; Значимость  $F$  8,33E-43). (11)

В2) БКМА-сценарии:

1) макси-сценарий:

$$[\text{New\_cases}] = 125[\text{LinkedIn}] + 57[\text{Google classroom}] + 62[\text{Википедия}] + 22[\text{Wikipedia}] + 10[\text{Instagram}] + 31[\text{Дистанционное обучение}] + 57[\text{e-learning}] + 52[\text{LMS}] + 117[\text{Twitter}]; \quad (12)$$

2) мини-сценарий:

$$[\text{New\_cases}] = 2[\text{LinkedIn}] + 6[\text{Google classroom}] + [\text{Википедия}] + 9[\text{Wikipedia}] + 5[\text{Instagram}] + 6[\text{e-learning}] + 11[\text{LMS}] + 10[\text{Twitter}]; \quad (13)$$

3) миди-сценарий:

$$[\text{New\_cases}] = 64[\text{LinkedIn}] + 32[\text{Google classroom}] + 32[\text{Википедия}] + 16[\text{Wikipedia}] + 8[\text{Instagram}] + 16[\text{Дистанционное обучение}] + 32[\text{e-learning}] + 32[\text{LMS}] + 64[\text{Twitter}]; \quad (14)$$

4) базовый сценарий:

$$[\text{New\_cases}] = 95[\text{LinkedIn}] + 58[\text{Google classroom}] + 33[\text{Википедия}] + 23[\text{Wikipedia}] + 11[\text{Instagram}] + 32[\text{Дистанционное обучение}] + 39[\text{e-learning}] + 53[\text{LMS}] + 87[\text{Twitter}]. \quad (15)$$

Г) Пессимистический сценарий накопления случаев заболевания COVID-19 (16) – (20):

Г1) КРАМ-сценарий:

$$[\text{Cumulative cases}] = 9485,25[\text{Google classroom}] + 2499,2[\text{LinkedIn}] + 2190,2[\text{Wikipedia}] + 672,7[\text{Википедия}] + 642,3[\text{Instagram}] + 568,8[\text{ВКонтакте}] - 1562,1[\text{LMS}] - 7440,2[\text{Twitter}] - 22005,9[\text{e-learning}]$$

( $R^2=0,86$ ;  $F=119,0206$ ; значимость  $F$  4,39E-66). (16)

Г2) БКМА-сценарии:

1) макси-сценарий:

$$[\text{Cumulative\_cases}] = 11305[\text{Google classroom}] + 3129[\text{LinkedIn}] + 2286[\text{Wikipedia}] + 1002[\text{Википедия}] + 762[\text{Instagram}] + 910[\text{ВКонтакте}] +$$

$$+1562[\text{LMS}]+7912[\text{Twitter}]+22485[\text{e-learning}]; \quad (17)$$

2) мини-сценарий:  
[Cumulative\_cases]=5078[Google classroom]+966[LinkedIn]+  
+1809[Wikipedia]+21[Википедия]+261[Instagram]+ +113[ВКонтакте]+485[LMS]+  
+279[Twitter]+10282[e-learning]; \quad (18)

3) миди-сценарий:  
[Cumulative\_cases]=8192[Google classroom]+2048[LinkedIn]+  
+2048[Wikipedia]+512[Википедия]+512[Instagram]+512[ВКонтакте]+  
+1024[LMS]+4096[Twitter]+16384[e-learning]; \quad (19)

4) базовый сценарий:  
[Cumulative\_cases]=9485[Google classroom]+2499[LinkedIn]+  
+2190[Wikipedia]+673[Википедия]+642[Instagram]+569[ВКонтакте]+  
+1562[LMS]+7440[Twitter]+22006[e-learning]. \quad (20)

Д) Инерционный сценарий накопления случаев заболевания COVID-19 (21) – (25):

Д1) КРАМ-сценарий:  
[Cumulative\_cases]=26784,4[Google classroom]+19162,9[LinkedIn]+  
+17417,96[Wikipedia]+4815,6[Википедия]+ +4460,7[Дистанционное обучение]–  
–3277,12[Instagram]–12153,7[LMS]–15735,9[e-learning]–57587,5[Twitter]  
( $R^2=0,86$ ;  $F=119,021$ ;  $\text{Значимость}=F\ 4,39E-66$ ) \quad (21)

Д2) БКМА-сценарии:

1) макси-сценарий:  
[Cumulative\_cases]=32116[Google classroom]+21078[LinkedIn]+  
+18449[Wikipedia]+ +7785[Википедия]+ +6446[Дистанционное обучение]+  
+3277[Instagram]+12153[LMS]+15735[e-learning]+57587[Twitter]; \quad (22)

2) мини-сценарий:  
[Cumulative\_cases]=651[Google classroom]+11689[LinkedIn]+  
+14318[Wikipedia]+ +406[Википедия]+ +1745[Дистанционное обучение]+  
+818[Instagram]+4230[LMS]+648[e-learning]+7948[Twitter]; \quad (23)

3) миди-сценарий:  
[Cumulative\_cases]=16384[Google classroom]+16384[LinkedIn]+  
+16384[Wikipedia]+4096[Википедия]+4096[Дистанционное обучение]+  
+2048[Instagram]+ +8192[LMS]+8192[e-learning]+32768[Twitter]; \quad (24)

4) базовый сценарий:  
[Cumulative\_cases]=26784[Google classroom]+19163[LinkedIn]+  
+17418[Wikipedia]+4816[Википедия]+ +4461[Дистанционное обучение]+  
+3277[Instagram]+ +12154[LMS]+15736[e-learning]+57588[Twitter]. \quad (25)

Е) Оптимистический сценарий накопления случаев заболевания COVID-19 (26) – (30):

Е1) КРАМ-сценарий:  
[Cumulative\_cases]=30172,68[LinkedIn]+29753,99[Google classroom]+  
+28115,74[Wikipedia]+7263,496[Википедия]+7130,936[Дистанционное обучение]–  
–2456,69[Instagram]–15494,3[e-learning]–19323,6[LMS]–91241,7[Twitter]  
( $R^2=0,86$ ;  $F=119,0206$ ;  $\text{Значимость}=F=4,39E-66$ ). \quad (26)

Е2) БКМА-сценарии:

1) макси-сценарий:  
[Cumulative\_cases]=30172[LinkedIn]+29753[Google classroom]+  
+28115[Wikipedia]+8007[Википедия]+130[Дистанционное обучение]+  
+3686[Instagram]+15494[e-learning]+28521[LMS]+695703[Twitter]; \quad (27)

2) мини-сценарий:

$$\begin{aligned}
 & [\text{Cumulative\_cases}] = 2595[\text{LinkedIn}] + 3014[\text{Google classroom}] + \\
 & + 4652[\text{Wikipedia}] + 184[\text{Википедия}] + 1061[\text{Дистанционное обучение}] + \\
 & + 409[\text{Instagram}] + 889[\text{e-learning}] + 4246[\text{LMS}] + 76877[\text{Twitter}]; \quad (28)
 \end{aligned}$$

3) миди-сценарий:

$$\begin{aligned}
 & [\text{Cumulative\_cases}] = 16384[\text{LinkedIn}] + 16384[\text{Google classroom}] + \\
 & + 16384[\text{Wikipedia}] + 4096[\text{Википедия}] + 4096[\text{Дистанционное обучение}] + \\
 & + 2048[\text{Instagram}] + 8192[\text{e-learning}] + 16384[\text{LMS}] + 386290[\text{Twitter}]; \quad (29)
 \end{aligned}$$

4) базовый сценарий:

$$\begin{aligned}
 & [\text{Cumulative\_cases}] = 30173[\text{LinkedIn}] + 29754[\text{Google classroom}] + \\
 & + 28116[\text{Wikipedia}] + 7263[\text{Википедия}] + 7131[\text{Дистанционное обучение}] + \\
 & + 2457[\text{Instagram}] + 1549[\text{e-learning}] + 19324[\text{LMS}] + 91242[\text{Twitter}]. \quad (30)
 \end{aligned}$$

Таким образом, результаты сценарного анализа (1) – (30) указывают на наличие зависимости заболеваемости COVID-19 от поисковой активности интернет-пользователей по тематике, ассоциированной с технологиями дистанционного обучения, в русскоязычном сегменте Сети в локации Республики Беларусь. Кроме того, показана возможность формирования четырех попарно альтернативных сценариев, соответствующих исходному сценарию, получаемому с помощью традиционного подхода. При этом требует выяснения механизм влияния поисковой активности интернет-пользователей, а также, вероятно, их последующей деятельности, на процесс заболеваемости COVID-19. Для объяснения данного феномена была предложена гипотеза снижения коллективного иммунитета вследствие «медийного заражения».

*Гипотеза снижения коллективного иммунитета вследствие «медийного заражения».* На основе биоинспирированного квазимолекулярного алгоритма выполнен сценарный анализ и прогнозирование динамики поисковых обращений интернет-пользователей по COVID-19-ассоциированной тематике в русскоязычном сегменте Сети в локации Республики Беларусь совместно с данными о заболеваемости и смертности от COVID-19 от Всемирной организации здравоохранения. Наиболее популярными запросами интернет-пользователей в Республике Беларусь по «коронавирусной» тематике являются: «COVID-19», «коронавирус», «ковид» и др. Эти поисковые обращения можно рассматривать в качестве прогностического предиктора развития заболеваемости и смертности при COVID-19. При этом распространение информации по тематике, связанной с COVID-19, можно рассматривать как фактор медийного заражения широких контингентов интернет-пользователей. Последствиями такого медийного заражения может быть значительное повышение индивидуальной личностной и ситуативной тревожности, психологической настройки на потенциальное инфицирование, психогенное снижение коллективного иммунитета с последующим распространением COVID-19 и формированием очередной волны заболеваемости коронавирусом.

При этом распространение медийного заражения возможно благодаря тому, что медиaprостранство интернет является активной социотехнической средой с диффузионными и квазиупругими свойствами, в которой медиавирусные сообщения распространяются подобно гармоническим, резонирующим или затухающим колебаниям. Как следствие, разработана модель волнового распространения медиавирусных сообщений в медиaprостранстве интернет (31):

$$D \frac{d^2 n}{dz^2} - \alpha(f - g) \frac{dn}{dz} - \beta \left( \frac{df}{dz} - \frac{dg}{dz} \right) n = 0, \quad z = \gamma \Delta t N \sum_{i=1}^N C_i \sum_{j=1}^M M_j, \quad (31)$$

где  $n$  – количество медиапользователей, подверженных влиянию факторов инфодемии, обусловленной распространением медиавирусов;

$z$  – функция связи между количеством интернет-пользователей ( $N$ ), количеством связей, образуемых каждым из них, по которым осуществляется передача множества сообщений ( $M_j$ ) в течение периода времени  $\Delta t$  ;

$\gamma$  – средний показатель пропускной способности каждого медиаканала;

$D$  – коэффициент диффузии медиасообщений, зависящий от социотехнических свойств медиaprостранства;

$f$  – функция распространения медиазаражения;

$g$  – функция ограничения медиазаражения;

$\alpha$  и  $\beta$  – постоянные.

Очевидно, что частота поисковых запросов с упоминанием коронавируса, заболеваемости, госпитализации, лечения, смертности, вакцинации и последствий COVID-19 коррелируют с частотой запросов, отражающих депрессивные и тревожные настроения, распространенные среди значительной части интернет-пользователей, отражающих, в частности, рост тревожности и страха перед заражением COVID-19. При этом медиасообщения о пандемии, обладая свойствами медиавирусом, способны чрезвычайно быстро распространяться в интернет-сообществах, оказывая негативный психогенный эффект на механизмы индивидуального и коллективного иммунитета [13, 14].

*Заключение.* Разработан биоинспирированный квазимолекулярный алгоритм, в котором любой сценарий, представленный уравнением множественной линейной регрессии, рассматривается как полинуклеотидная молекула РНК или ДНК, а коэффициенты при независимых переменных – как отдельные нуклеотиды. В свою очередь, нуклеотиды могут подвергаться изомеризации, участвовать в последующей гибридизации различных «цепей» ДНК. В дальнейшем полученные новые варианты «ДНК-молекул» сценариев прогнозной динамики вариационных рядов подвергаются модификации «квазирадикалами» с изменением численных коэффициентов в МЛР-моделях сценариев и селекцией по критерию соответствия целевой функции, которая представляет собой целевой сценарий, наиболее оптимальный для решения основной задачи. Это позволяет расширить область поиска данных без увеличения времени работы и сократить преждевременную сходимость алгоритмов, повысить эффективность и качество получаемых решений при сценарном анализе и прогнозировании [3].

На основе биоинспирированного квазимолекулярного алгоритма показана связь между показателями заболеваемости COVID-19 и поисковой активностью интернет-пользователей в Сети. Анализ результатов численных экспериментов позволяет отметить, что биоинспирированные квазимолекулярные алгоритмы позволяют снизить затраты времени на поиски рациональных решений и позволяют получать набор более эффективных и оригинальных локально-оптимальных решений по сравнению с традиционным сценарным подходом [3– 6].

Проведенные исследования и тестирование программной реализации БКМА с последующим численным моделированием позволили уточнить теоретические оценки временной сложности алгоритмов генерации (расчета, изомеризации, гибридизации, модификации и селекции) оптимальных сценариев прогнозной динамики вариационных рядов комплексных данных. Результаты исследований свидетельствуют об улучшении работы предложенного БКМА для генерации сценариев прогнозной динамики по сравнению с традиционным КРАМ-подходом. При этом улучшение по качеству составило от 24% до 78%, а по времени от 62% до 387% в зависимости от вида решаемых задач анализа и прогнозирования.

Вместе с тем, возрастание частоты подобных поисковых запросов может свидетельствовать о заражении медиааудитории интернет-пользователей медиавирусом, который может быть идентифицирован как «глобальная пандемия COVID-19». Анализ и прогнозирование динамики поисковых запросов населения предоставляет определенные

возможности для управления медико-биологическими, социально-экономическими и социальными последствиями распространения коронавирусной инфекции, а также для формирования информационной повестки для организации профилактики роста заболеваемости, подготовки и организации превентивных мер, ликвидации последствий глобальной пандемии COVID-19.

Для объяснения механизма влияния поисковой активности интернет-пользователей, а также, вероятно, их последующей деятельности, на процесс заболеваемости COVID-19 предложена гипотеза снижения коллективного иммунитета вследствие «медийного заражения».

Таким образом, с помощью вновь разработанного биоинспирированного квазимолекулярного алгоритма осуществлен анализ динамики поисковых обращений по избранным терминам-предикторам, что позволяет прогнозировать динамику заболеваемости, социальные и социально-экономические последствия COVID-19 в условиях очередной волны пандемии для Республики Беларусь.

#### **Список использованных источников**

- [1] ВОЗ объявила о пандемии коронавируса. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ria.ru/20200311/1568455428.html>. – Дата доступа: 28.03.2020 г.
- [2] Попова, Е.И. Дистанционное образование: современные реалии и перспективы / Е.И. Попова, А.А. Баландин, Д.Д. Дедюхин // Образование и право. – 2020. – N7. – С. 203–209.
- [3] Бова, В.В. Технологии интеллектуального анализа и извлечения данных на основе принципов эволюционного моделирования / В.В. Бова, Л.А. Гладков, Ю.А. Кравченко, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик, Е.В. Нужнов, Ю.И. Рогозов, А.С. Свиридов, П.В. Сороколетов, С.Н. Щеглов. – Таганрог: изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 124 с.
- [4] Курейчик, В.В. Концептуальная модель представления решений в генетических алгоритмах / В.В. Курейчик, П.В. Сороколетов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – N9(86). – С. 7–12.
- [5] Гладков, Л.А. Методы и алгоритмы принятия решений на основе бионического поиска / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик, Б.К. Лебедев, В.Б. Лебедев, О.Б. Лебедев, П.В. Сороколетов. – Таганрог: изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 137с.
- [6] Гладков, Л.А. Биоинспирированные методы в оптимизации / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик, П.В. Сороколетов. – М.: Физматлит, 2009. – 384 с.
- [7] Осипенков, Я. Google Analytics 2019: Полное руководство / Я. Осипенков. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 748 с.
- [8] Newbold, P. Statistics for Business and Economics. 8th Edition / P. Newbold, W.L. Carlson, V.M. Thorne. – Pearson Education, 2013. – 797 P.
- [9] Форман, 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.
- [10] Сигал, Э. Практическая бизнес-статистика / Э. Сигал. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 1056 с.
- [11] Фёрстер, Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа: Руководство для экономистов / Э. Фёрстер, Б. Рёнц // М.: Финансы и статистика, 1983. – 304 с.
- [12] Бараз, В.Р. Корреляционно-регрессионный анализ связи показателей коммерческой деятельности с использованием программы Excel : учебное пособие / В.Р. Бараз. – Екатеринбург : ГОУ ВПО «УГТУ–УПИ», 2005. – 102 с.
- [13] Левчук, Н.Н. Принцип медиавируса в процессе коммуникативного взаимодействия / Н.Н. Левчук // Веснік Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя 4, Філалогія. Журналістыка. Педагогіка. – 2009. – N 3. – С. 96–100. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/5917>. – Дата обращения: 05.04.2021.
- [14] Петросян А. Э. В паутине Фамы (природа слухов, их распространение и социальный резонанс) // Вестник ОмГУ. 2008. N3. – С. 114–126. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/v-pautine-famy-priroda-sluhov-ih-rasprostranenie-i-sotsialnyy-rezonans>. – Дата доступа: 05.04.2021.

**METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF SCENARIO ANALYSIS OF THE  
RELATIONSHIP BETWEEN THE INCIDENCE OF COVID-19 AND THE  
SEARCH ACTIVITY OF USERS USING BIOINSPIRED ALGORITHMS**

**A.G. DAVYDOVSKY**

*Associate Professor, Department of  
Information Technology Software of the  
BSUIR*

**Abstract.** The Corona crisis forced us to pay attention to the use of information technology platforms for distance learning. The results of the development and substantiation of bioinspired quasi-molecular models and algorithms for the formation and analysis of communication scenarios for the spread of COVID-19 and thematic search requests of Internet users in the Russian-speaking segment of the Network in the location of the Republic of Belarus concerning information and communication technologies of distance learning are presented.

**Keywords:** COVID-19, bioinspired algorithms, morbidity, search activity, forecasting, scenario analysis.