

Научная статья  
УДК 519.218.28

**А.В. Боровский**

*Байкальский государственный университет,  
г. Иркутск, Российская Федерация*

**Н.Н. Ильиных**

*Государственное бюджетное учреждение здравоохранения  
Иркутская орден «Знак почета» областная клиническая больница,  
г. Иркутск, Российская Федерация*

**С.С. Козлова**

*Байкальский государственный университет,  
г. Иркутск, Российская Федерация*

## **Математическая модель для скорости заражения SARS-COV-2 в неинфекционных больницах на примере города Иркутска**

**Аннотация.** Пандемия новой коронавирусной инфекции оказала сильное влияние на социально-экономическое развитие многих стран. В настоящее время большую актуальность представляет исследование эпидемических моделей.

Целью данной работы является построение математической модели для скорости заражения неинфицированных пациентов, находящихся в больнице. В статье описывается комбинаторная модель распространения эпидемии COVID-19 среди пациентов, госпитализированных в неинфекционные больницы. Комбинаторным методом, а также с применением усовершенствованной модели эпидемической кинетики для населённого пункта, выведена аналитическая формула для скорости заражения неинфицированных пациентов без различий и с учётом различий в работе отделений больницы. Произведены оценки скорости заражения пациентов для вируса  $\delta$  и вируса  $\Omega$  на примере областной больницы города Иркутска и медицинских стационаров города в целом.

**Ключевые слова.** Математическое моделирование эпидемий, теоретические модели эпидемий, модель распространения коронавируса, заражение в неинфекционных больницах, новая коронавирусная инфекция, постоянно действующий источник заражения вирусной инфекцией.

**Информация о статье.** Дата поступления: 7 ноября 2022 г.

Original article

**A.V. Borovsky**

*Baikal State University,  
Irkutsk, Russian Federation*

**N.N. Ilinykh**

*State Budgetary Healthcare Institution  
Irkutsk Order "Badge of Honor" Regional Clinical Hospital,  
Irkutsk, Russian Federation*

**S.S. Kozlova**

*Baikal State University,  
Irkutsk, Russian Federation*

## **Mathematical Model for SARS-COV-2 Infection Rate in Non-Infectious Hospitals on the Example of the City of Irkutsk**

**Abstract.** The pandemic of a new coronavirus infection greatly affects the socio-economic development of many countries. Currently, the study of epidemic models

is of great relevance. The purpose of this work is to build a mathematical model for the infection rate of uninfected patients in the hospital. The article describes a combinatorial model of the spread of the COVID-19 epidemic among patients admitted to non-infectious hospitals. Using the combinatorial method, as well as using an improved model of epidemic kinetics for a locality, an analytical formula was derived for the rate of infection of uninfected patients without differences and taking into account differences in the work of hospital departments. Estimates of the rate of infection of patients for the  $\delta$  virus and the  $\Omega$  virus were made using the example of the regional hospital in the city of Irkutsk and medical hospitals in the city as a whole.

**Keywords.** Mathematical modeling of epidemics, theoretical models of epidemics, coronavirus spread model, infection in non-infectious hospitals, new coronavirus infection, a permanent source of infection with a viral infection.

**Article info.** Received 10 November 2022.

## Введение

В условиях разразившейся эпидемии COVID-19 резко возрастает нагрузка на организации здравоохранения. К ним относятся поликлиники, инфекционные отделения больниц, пункты скорой медицинской помощи, лаборатории диагностики и тестирования больных.

Органы власти в условиях разразившейся эпидемии осуществляют комплекс мер по снижению эпидемической нагрузки на население и органы Здравоохранения. Закрываются или ограничивается обслуживание в организациях общественного питания. Школы и ВУЗы переводятся на дистанционное обучение. Ограничиваются перевозки граждан общественным транспортом. Отменяются общественные и спортивные мероприятия. Пенсионерам запрещается выходить на улицы. Все это ложится тяжелым бременем на население.

Для расчета вариантов возможных мер по снижению нагрузки на медицинские учреждения, а также сроков снятия карантинных мер используется математическое моделирование эпидемии [1–8].

Расчеты эпидемии COVID-19 для крупного города на примере Иркутска и Москвы [9; 10] показали, что взрывной колоколообразный ход эпидемии продолжается до 100 дней. Затем эпидемия не исчезает, а переходит в квазистационарный (ждущий) режим протекания, который определяется наличием постоянно действующих источников заражения. К числу таких источников относятся завоз инфицированных лиц транспортными потоками (авиацией, поездами, кораблями и др.), постоянно действующее заражение в поликлиниках и неинфекционных больницах и другое. В работах [11; 12] получены аналитические формулы для скорости заражения граждан в поликлиниках населенного пункта.

В данной статье рассмотрим подробнее вывод аналитической формулы для скорости заражения неинфицированных паци-

ентов, находящихся в больнице. Численные оценки проведем для города Иркутска.

### Скорость заражения в неинфекционных стационарах

1. Комбинаторная задача о размещении в больнице новых больных, среди которых имеются, скрыто инфицированные лица.

Пусть в больнице  $N$  коек. Все койки заполнены пациентами. Эти койки распределены по палатам: имеется  $n_1$  одноместных палат,  $n_2$  — двухместных, ...  $n_i$  —  $i$ -местных, ...  $n_l$  — палат с максимальной вместимостью  $l$ .

В конкретный день из больницы выписали  $k$  пациентов. На другой день на освободившиеся места приняли новых пациентов. Освободившиеся койки распределены по больничным местам случайным образом. Среди вновь принятых пациентов имеется  $L$  инфицированных. Для целых чисел выполнены неравенства

$$N \gg k \gg L.$$

Считается, что каждый инфицированный заражает всех других неинфицированных пациентов, находящихся в палате с вероятностью 100 %. Определить скорость заражения неинфицированных пациентов, находящихся в больнице.

Мы имеем дело с комбинаторной задачей о размещении  $k$  новых неразличимых пациентов на  $N$  различных местах (койках больницы) с учетом разбиения этих мест по палатам. Так как для нас не играют роли персональные данные и диагнозы пациентов, то это именно классическая задача о размещении неразличимых пациентов по различным койко-местам в больнице.

Рассмотрим палату с вместимостью  $i$ . В нее может попасть 0, 1, 2...  $i$  новых пациентов. Подсчитаем общее количество размещений  $k$  пациентов по  $N$  койкам больницы. Если в палате оказалось  $m$  новых пациентов, то число размещений с учетом этого обстоятельства будет равно произведению числа размещений  $m$  пациентов внутри палаты и числу размещений  $k - m$  пациентов оказавшихся вне палаты. Взяв сумму по числу пациентов, оказавшихся внутри палаты, получим

$$R_N^k = R_i^0 R_{N-i}^k + R_i^1 R_{N-i}^{k-1} + R_i^2 R_{N-i}^{k-2} + \dots + R_i^i R_{N-i}^{k-i}. \quad (1)$$

Здесь  $R_i^0 = 1$ , так как  $0! = 1$ . Также  $R_i^i = 1$ . Формула для  $R_N^k$  приведена ниже (4).

Разделим (1) на  $R_N^k$

$$1 = \frac{R_i^0 R_{N-i}^k}{R_N^k} + \frac{R_i^1 R_{N-i}^{k-1}}{R_N^k} + \frac{R_i^2 R_{N-i}^{k-2}}{R_N^k} + \dots + \frac{R_i^i R_{N-i}^{k-i}}{R_N^k}. \quad (2)$$

Соотношение (2) позволяет ввести понятие вероятности попадания в палату с вместимостью  $i$ ,  $m$  новых пациентов. В самом деле

$$\sum_{m=0}^i p^m(N, k, i) = 1, p^m(N, k, i) = \frac{R_i^m R_{N-i}^{k-m}}{R_N^k}. \quad (3)$$

Согласно [11] число размещений  $k$  неразличимых предметов по  $N$  различным местам равно

$$R_N^k = \frac{N!}{(N-k)!k!}. \quad (4)$$

Отметим, что (4) совпадает с формулой для биномиальных коэффициентов, т.е.  $R_N^k \equiv C_N^k$ .

Рассмотрим далее конкретный вариант размещения  $k$  новых пациентов по  $N$  койкам, при котором в палату вместимостью  $i$  попадает  $m$  новых пациентов. Вероятность такого события описывается отдельным слагаемым в правой части (2) или величиной  $p^m(N, k, i)$ .

Допустим далее, что среди  $k$  новых пациентов оказалось  $L$  инфицированных. Подсчитаем далее количество случаев размещения  $L$  инфицированных пациентов по  $k$  новым местам. В палате с  $m$  новыми пациентами может не оказаться инфицированных лиц, может оказаться одно инфицированное лицо, может оказаться два инфицированных лица, наконец, может оказаться  $m$  или  $L$  инфицированных пациента в зависимости от соотношения между этими числами. Применив формулу типа (1), запишем

$$R_k^L = R_m^0 R_{k-m}^L + R_m^1 R_{k-m}^{L-1} + R_m^2 R_{k-m}^{L-2} + \dots + R_m^m R_{k-m}^{L-m}, L \geq m \quad (5)$$

$$R_k^L = R_m^0 R_{k-m}^L + R_m^1 R_{k-m}^{L-1} + R_m^2 R_{k-m}^{L-2} + \dots + R_m^L R_{k-m}^0, L < m. \quad (6)$$

Разделив (5-6) на  $R_k^L$

$$1 = \frac{R_m^0 R_{k-m}^L}{R_k^L} + \frac{R_m^1 R_{k-m}^{L-1}}{R_k^L} + \frac{R_m^2 R_{k-m}^{L-2}}{R_k^L} + \dots + \frac{R_m^m R_{k-m}^{L-m}}{R_k^L}, L \geq m \quad (7)$$

$$1 = \frac{R_m^0 R_{k-m}^L}{R_k^L} + \frac{R_m^1 R_{k-m}^{L-1}}{R_k^L} + \frac{R_m^2 R_{k-m}^{L-2}}{R_k^L} + \dots + \frac{R_m^L R_{k-m}^0}{R_k^L}, L < m \quad (8)$$

приходим к понятиям вероятностей

$$p^1(k, m, L) = \frac{R_m^1 R_{k-m}^{L-1}}{R_k^L}. \quad (9)$$

Формулы (7–8) могут быть записаны в виде суммы

$$\sum_{l=0}^{m(L \geq m), L(L < m)} p^l(k, m, L) = 1. \quad (10)$$

Вероятность (9) описывает появление в палате с  $m$  новыми пациентами  $l$  инфицированных из  $L$  появившихся в больнице для случая, когда в больницу положили  $k$  новых пациентов.

Учтем, что события по размещению новых пациентов по освободившимся койкам больницы и появление инфицированных пациентов среди них являются событиями независимыми. Поэтому вероятности (3) и (9) можно перемножать. Например, вероятность появления в палате с вместимостью  $i$  новых пациентов в количестве  $m$  и среди них  $l$  инфицированных ( $l \leq m$ ) будет равна

$$p^m(N, k, i) \cdot p^l(k, m, L). \quad (11)$$

Для того чтобы получить количество инфицированных лиц в больнице в результате суточной госпитализации новых пациентов нужно умножить (11) на число неинфицированных пациентов в палате ( $i - l$ ). Далее нужно получившееся выражение просуммировать по всем возможным комбинаторным вариантам заражения (по числам  $l$  и  $m$ ) и по всем палатам. В результате получим

$$\Delta N = \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^i \sum_{l=1}^{m(L \geq m), L(L < m)} n_i (i - l) p^m(N, k, i) \cdot p^l(k, m, L). \quad (12)$$

Формулу (12) можно также переписать в виде

$$\Delta N(N, k, L) = \sum_{i=1}^I n_i \sum_{m=1}^i p^m(N, k, i) \sum_{l=1}^{m(L \geq m), L(L < m)} (i - l) p^l(k, m, L). \quad (13)$$

$$p^m(N, k, i) = \frac{R_i^m R_{N-i}^{k-m}}{R_N^k}, p^l(k, m, L) = \frac{R_m^l R_{k-m}^{L-l}}{R_k^m}.$$

Далее следует рассмотреть особенности формул (12–13), связанные с наличием неравенства  $N \gg k \gg L$ .

Случай  $L = 1$  (в суточном приеме больных имеется одно инфицированное лицо)

$$\Delta N_1(N, k) = \sum_{i=1}^I (i-1) n_i \sum_{m=1}^i p^m(N, k, i) p^1(k, m, 1) \quad (14)$$

$$p^1(k, m, 1) = \frac{R_m^1 R_{k-m}^0}{R_k^m} = \frac{m \cdot 1}{\left(\frac{k!}{(k-m)!m!}\right)} = m \frac{(k-m)!m!}{k!}$$

Рассмотрим произведение вероятностей

$$\begin{aligned} p^m(N, k, i) p^1(k, m, 1) &= \frac{R_i^m R_{N-i}^{k-m}}{R_N^k} \cdot \frac{R_m^1 R_{k-m}^0}{R_k^m} = \\ &= \left( \frac{i!}{(i-m)!m!} \cdot \frac{(N-i)!}{(N-i-k+m)!(k-m)!} \cdot \frac{(N-k)!k!}{N!} \right) \times \\ &\quad \times \left( \frac{m!}{(m-1)!1!} \cdot \frac{(k-m)!}{(k-m)!0!} \cdot \frac{(k-m)!m!}{k!} \right) = \\ &= m \frac{i!}{(i-m)!} \cdot \frac{(N-i)!(N-k)!}{(N-i-k+m)!N!}. \end{aligned}$$

Воспользуемся далее формулой Стирлинга, согласно которой при  $N \rightarrow \infty$

$$(N-r)! \rightarrow \sqrt{2\pi(N-r)} e^{-N} N^{N-r}.$$

В результате получим

$$p^m(N, k, i) p^1(k, m, 1) \rightarrow m \frac{i!}{(i-m)!} \sqrt{\frac{(N-i)(N-k)}{(N-i-k+m)N}} \cdot N^{-m}.$$

Корень при стремлении  $N$  к бесконечности стремится к 1. Степенной фактор  $N^{-m}$  показывает, что имеет смысл учитывать только значение  $m = 1$ , так как  $N$  большое число (число коек в больнице может достигать  $N = 1\,000$ ). Поэтому

$$\begin{aligned} \Delta N_1(N, k) &= \sum_{i=1}^I (i-1) n_i \sum_{m=1}^i p^m(N, k, i) p^1(k, m, 1) \rightarrow \\ &\rightarrow \sum_{i=1}^I (i-1) n_i p^{m=1}(N, k, i) p^1(k, m, 1) \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{1}{N} \sum_{i=1}^I (i-1) n_i \sqrt{\frac{(N-i)(N-k)}{(N-i-k+m)N}} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{1}{N} \sum_{i=1}^I (i-1) n_i. \end{aligned} \tag{15}$$

2. Формула для скорости заражения без различий в работе отделений больницы.

Определим, количество скрыто инфицированных лиц, которые будут госпитализированы в больницы города. Доля скрыто инфицированных лиц в городе в день  $t$  согласно модели усовершенствованной эпидемической кинетики [12] составляет

$$\delta(t) \cong \frac{1}{N_0} \int_{t-\tau}^t \frac{dN_-(t')}{dt'} dt' = \frac{\tau}{N_0} \frac{N_-(t) - N_-(t-\tau)}{\tau} \cong \frac{\tau}{N_0} \frac{dN_-(t)}{dt}. \quad (16)$$

Тогда количество инфицированных лиц, ежедневно попадающих в больницу, составит величину

$$\frac{dN_{\text{БИ}}}{dt} = k\delta(t) = \frac{k\tau}{N_0} \frac{dN_-(t)}{dt}. \quad (17)$$

Для того, чтобы получить ежедневную скорость заражения в больнице нужно количество инфицированных лиц (17) умножить на величину (15)

$$\frac{dN_{\text{Б}}(t)}{dt} = \frac{k\tau}{N_0} \frac{dN_-(t)}{dt} \Delta N_1 = \frac{k\tau}{N_0 N} \left( \sum_{i=1}^I (i-1) n_i \right) \cdot \frac{dN_-(t)}{dt}. \quad (18)$$

Формула (18) элементарно обобщается на все больницы города. В этом случае под  $n_i$  следует понимать коечный фонд не отдельной больницы, а всех неинфекционных больниц города. В формуле (18):

$N_0$  — численность города;

$N$  — коечный фонд больницы;

$k$  — число госпитализаций в сутки ( $k = N / \tau_+$ );

$\tau$  — период скрытой инкубации вирусного заболевания;

$\tau_+$  — среднее время нахождения пациента в больнице;

$n_i$  — количество палат с вместимостью  $i$  — коек;

$\frac{dN_-(t)}{dt}$  — скорость заражений в городе (число заражений в сутки).

### Численные оценки для города Иркутска

Рассмотрим далее оценки на основе формулы (18) для областной клинической больницы города Иркутска (ИОКБ). По данным Иркутскстата численность населения Иркутской области на 1 января 2021 г. — 2 375 021 чел., а численность населения города Иркутска — 617 515 чел.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> URL: <https://irkutskstat.gks.ru/ofstatistics>.

Определим скорость заражения в городе Иркутске с помощью процентного соотношения. По Иркутской области на 18 февраля 2022 г. по данным Оперштаба по коронавирусу подтвержденных случаев инфицирования (+3 015), в том числе: выздоровело (+1 434), умерло (+16). Следовательно, на 18 февраля 2022 года по городу Иркутску скорость инфицирования COVID-19 составила  $3\,015/2\,375\,021 \cdot 617\,515 \approx 784$  чел. в сутки.

ИОКБ по структуре делится на: Стационар (845 коек), Амбулатория (1 000 посещений в день), Дневной стационар (60) и Областной перинатальный центр (210). Соответственно, общий койко-фонд больницы составляет 1 115. Неинфекционный коечный фонд на данный момент, с исключением детских палат, составляет 472 койки.

Известно, что  $\tau$  — инкубационный период заболевания для COVID-19 для вируса  $\delta - \tau = 7$ , для вируса  $\Omega - \tau = 3$  дня.

Для расчета времени выздоровления пациента, возьмем статистические данные по выбывшим из больницы пациентам за 2021 г., причем выделим лечение в неинфекционных отделениях (заболевания, кроме COVID), таким образом, необходимо исследовать 27 570 случаев. Далее рассчитаем время выздоровления одного пациента от других заболеваний. Получаем  $\tau_+ = 10$  дней.

1. Оценки для вируса  $\delta$  на примере данных областной больницы города Иркутска на 19 декабря 2021 г.

$$\begin{aligned} \frac{dN_B(t)}{dt} &= \frac{\tau}{\tau_+ N_0} \left( \sum_{i=1}^I (i-1) in_i \right) \cdot \frac{dN_-(t)}{dt} = \\ &= \frac{7}{10 \cdot (6 \cdot 10^5)} 1\,302 \cdot 150 = 0,23. \end{aligned}$$

Получается 1 заражение в 5 дней.

2. Оценки для вируса  $\Omega$  на примере областной больницы города Иркутска на 18 февраля 2022 г.

$$\frac{dN_B(t)}{dt} = \frac{3}{10 \cdot (6 \cdot 10^5)} 1\,260 \cdot 784 = 0,49.$$

Получается одно заражение в два дня.

3. Приведем ниже формулу, учитывающую особенности работы отделений больницы

$$\frac{dN_B(t)}{dt} = \frac{\tau}{N_0} \frac{dN_B(t)}{dt} \sum_{k=1}^K \frac{1}{\tau_+^k} \sum_{i=1}^{I^k} (i-1) in_i^k,$$

$N_0$  — численность города;  
 $\frac{dN_-(t)}{dt}$  — скорость заражений в городе (число заражений в сутки);  
 $\tau$  — период скрытой инкубации вирусного заболевания;  
 $\tau_+^k$  — среднее время выздоровления пациента в  $k$ -ом отделении;  
 $n_i^k$  — количество палат с вместимостью  $i$  – коек в  $k$ -ом отделении;  
 $I^k$  — максимальная вместимость палаты в  $k$ -ом отделении;  
 $K$  — количество отделений.

Для проведения оценок необходимо иметь статистические величины  $\tau_+^k$ , описывающие среднее время госпитализации пациентов в  $k$ -ом отделении больницы. На данный момент таких данных у авторов работы не имеется. Однако, есть основания полагать, что учет различий в работе отделений больницы не приведет к существенному изменению оценок, так как показатели работы отделений усредняются по всей больнице.

#### 4. Заражение в неинфекционных больницах Иркутска

Медицинскую помощь жителям города Иркутска оказывает 60 учреждений здравоохранения различного ведомственного подчинения, в том числе 30 – муниципальных. Общий коечный фонд в муниципальных больницах города – 11,6 тыс. коек. Если взять пропорцию по количеству медицинских стационаров в городе, то общий коечный фонд примерно составит  $11,6 \cdot 2 = 23,2$  тыс. коек.

Оценить коечный фонд города можно также следующим образом. По данным годового отчета министерства здравоохранения Иркутской области за 2021 г. неинфекционный коечный фонд составляет 99 712 коек, соответственно в процентном соотношении относительно численности населения по городу Иркутску получа-

ем 25 925 коек. Далее по формуле (18) получаем  $\frac{dN_B(t)}{dt} \approx 10$  заражений в сутки (для вируса  $\delta$ ). Отметим, что обе оценки коечного фонда примерно совпадают.

### Выводы

В данной работе решена комбинаторная задача, позволившая вычислить скорость заражения вирусной инфекцией пациентов неинфекционных стационаров городских больниц на примере города Иркутска. Доля скрыто инфицированных лиц, среди ежедневно госпитализируемых в стационары, определена на основе исследования [12].

Заражение COVID-19 в неинфекционных больницах относится к стационарно действующему источнику инфекции. Причиной существования такого источника является то, что среди

госпитализируемых пациентов имеются скрыто инфицированные лица. Инфекция обладает инкубационным периодом, на протяжении которого заболевание никак не проявляется и не может быть обнаружено посредством тестирования. Такие лица попадают в больницу и заражают других пациентов, с которыми лежат в одной палате.

В работе получена формула (18) для скорости заражения инфекцией, обладающей инкубационным периодом, в неинфекционных стационарах города. Проведены оценки для отдельной больницы на примере ИОКБ и всего города Иркутска.

Другой источник стационарного заражения происходит в поликлиниках города [12]. Анализ, проведенный выше, показывает, что скорость заражения в больницах Иркутска составляет примерно 10–15 % от скорости заражения граждан в поликлиниках города.

Таким образом, изучение комбинаторных задач о заражении вирусной инфекцией в различных учреждениях представляет несомненный интерес.

### Благодарности

Авторы благодарят Т.И. Ведерникову за критику и ценные замечания.

### Список использованной литературы

1. Прогнозирование длительности стационарного лечения пациентов с COVID-19 / В.В. Цветков, И.И. Токин, Д.А. Лиознов, Е.В. Венеев. — DOI 10.21518/2079-701X-2020-17-82-90. — EDN EHNNMG // Медицинский совет. — 2020. — № 17. — С. 82–90.
2. Кольцова Э.М. Математическое моделирование распространения эпидемии коронавируса COVID-19 в Москве / Э.М. Кольцова, Е.С. Куркина, А.М. Васецкий. — DOI 10.33693/2313-223X-2020-7-1-99-10. — EDN EXTPQW // Computational Nanotechnology. — 2019. — Т. 7, № 1. — С. 99–105.
3. Тамм М.В. Коронавирусная инфекция в Москве: прогнозы и сценарии / М.В. Тамм // Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология. — 2020. — Т. 13, № 1. — С. 43–51.
4. Иванов М.В. Математическое моделирование процесса пандемии. Теория и практика / М.В. Иванов // Институт развития стратегических инициатив. — 2020. — 30 апр. — URL: <https://indsi.ru/2020/04/30>.
5. Головинский П.А. Математическое моделирование распространения вирусов с длинной инкубационной фазой в тесном мире / П.А. Головинский. — DOI 10.17308/sait.2020.2/2909. — EDN HQGBNS // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. — 2020. — № 2. — С. 5–14.
6. Modeling the spatio-temporal epidemic spreading of covid-19 and the impact of mobility and social distancing interventions / A. Arenas, W. Cota, J. Gómez-Gardeñes [et al.]. — DOI 10.1103/PhysRevX.10.041055 // Physical Review X. — 2020. — Vol. 10, iss. 4. — P. 041055.

7. Riyapan P. A Mathematical Model of COVID-19 Pandemic: A Case Study of Bangkok, Thailand / P. Riyapan, S.E. Shuaib, A. Intarasit. — DOI 10.1155/2021/6664483 // *Computational and Mathematical Methods in Medicine*. — 2021. — URL: <https://doi.org/10.1155/2021/6664483>.
8. A new Hepatitis B model in light of asymptomatic carriers and vaccination study through Atangana-Baleanu derivative / A. Ali, M.A. Khan, R. Bilal [et al.]. — DOI 10.1016/j.rinp.2021.104603 // *Results in Physics*. — 2021. — Vol. 29. — P. 104603.
9. Боровский А.В. Модель квазистационарной эпидемической кинетики / А.В. Боровский, А.Л. Галкин. — DOI 10.17150/2500-2759.2021.31(2).221-229. — EDN YXYZYO // *Известия Байкальского государственного университета*. — 2021. — Т. 31, № 2. — С. 221–229.
10. Borovsky A.V. Model of Epidemic Kinetics with a Source on the Example of Moscow / A.V. Borovsky, A.L. Galkin. — DOI 10.1155/2022/6145242 // *Computational and Mathematical Methods in Medicine*. — 2022. — URL: <https://doi.org/10.1155/2022/6145242>.
11. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. — 2-е изд. — Москва : Наука, 1970. — 832 с.
12. Усовершенствованная математическая модель эпидемической кинетики и заражение SARS-CoV-2 в поликлиниках / А.В. Боровский, А.Л. Галкин, Н.Н. Ильиных, С.С. Козлова. — DOI 10.17150/2500-2759.2022.32(1).161-169. — EDN WPUTNM // *Известия Байкальского государственного университета*. — 2022. — Т. 32, № 1. — С. 161–169.

## References

1. Tsvetkov V.V., Tokin I.I., Lioznov D.A., Veneev E.V. Predicting the Duration of Inpatient Treatment for COVID-19 Patients. *Meditsinskii sovet = Medical Council*, 2020, no. 17, pp. 82–90. (In Russian). EDN: EHNNMG. DOI: 10.21518/2079-701X-2020-17-82-90.
2. Koltsova E.M., Kurkina E.S., Vasetskii A.M. Mathematical Modeling of the Spread of COVID-19 in Moscow. *Computational Nanotechnology*, 2019, vol. 7, no. 1, pp. 99–105. (In Russian). EDN: EXTPQW. DOI: 10.33693/2313-223X-2020-7-1-99-10.
3. Tamm M.V. COVID-19 in Moscow: Prognoses and Scenarios. *Farmakoeconomika. Sovremennaya farmakoeconomika i farmakoepidemiologiya = Pharmacoeconomics. Modern Pharmacoeconomic and Pharmacoepidemiology*, 2020, vol. 13, no. 1, pp. 43–51. (In Russian).
4. Ivanov M.V. Mathematical modeling of the pandemic process. Theory and practice. *Institute for the Development of Strategic Initiatives*, 2020. April 30. Available at : <https://indsi.ru/2020/04/30>. (In Russian).
5. Golovinski P.A. Mathematical Modelling of the Transmission of Viruses with a Long Incubation Period in a Small-world Network. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyi analiz i informatsionnye tekhnologii = Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems analysis and information technologies*, 2020, no. 2, pp. 5–14. (In Russian). EDN: HQGBNS. DOI: 10.17308/sait.2020.2/2909.
6. Arenas A., Cota W., Gómez-Gardeñes J., Gómez S., Granell C., Matamalas J.T., Soriano- Paños D., Steinegger B. Modeling the Spatio-temporal Epidemic Spreading of COVID-19 and the Impact of Mobility and Social Distancing Interventions. *Physical Review X*, 2020, vol. 10, iss. 4, pp. 041055. DOI: 10.1103/PhysRevX.10.041055.
7. Riyapan P., Shuaib S.E., Intarasit A. A Mathematical Model of COVID-19 Pandemic: A Case Study of Bangkok, Thailand. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2021. DOI: 10.1155/2021/6664483.

8. Ali A., Khan M.A., Bilal R., Gul N., Li X.-P., Muhammad T., Islam S., Alshahrani M.Y., Altaf M.K. A New Hepatitis B Model in Light of Asymptomatic Carriers and Vaccination Study Through Atangana-Baleanu Derivative. *Results in Physics*, 2021, vol. 29, pp. 104603. DOI: 10.1016/j.rinp.2021.104603.

9. Borovsky A.V., Galkin A.L. Model of Quasi-stationary Epidemic Kinetics. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2021, vol. 31, no. 2, pp. 221–229. (In Russian). EDN: YXYZYO. DOI: 10.17150/2500-2759.2021.31(2).221-229.

10. Borovsky A.V., Galkin A.L. Model of Epidemic Kinetics with a Source on the Example of Moscow. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2022. DOI: 10.1155/2022/6145242.

11. Korn G., Korn T. *Handbook of mathematics for scientists and engineers*. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Nauka Publ., 1970. 832 p.

12. Borovsky A.V., Galkin A.L., Ilinykh N.N., Kozlova S.S. Improved Mathematical Model of Epidemic Kinetics and Sars-COV-2 Infection in Outpatient Clinics. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Baikal State University*, 2022, vol. 32, no. 1, pp. 161–169. (In Russian). EDN WPUTNM. DOI 10.17150/2500-2759.2022.32(1).161-169.

### Информация об авторах

**Боровский Андрей Викторович** — доктор физико-математических наук, профессор, кафедра математических методов и цифровых технологий, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: andrei-borovskii@mail.ru.

**Ильиных Николай Николаевич** — заместитель главного врача, Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Иркутская область «Знак почета» областная клиническая больница, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: ilinykh\_nn@iokb.ru.

**Козлова Светлана Сергеевна** — аспирант, кафедра математических методов и цифровых технологий, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: kozlova\_ss@iokb.ru.

### Information about the Authors

**Andrey V. Borovsky** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Mathematical Methods and Digital Technologies, Baikal State University, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: andrei-borovskii@mail.ru.

**Nikolay N. Il'nykh** — Deputy Chief Physician, State Budgetary Healthcare Institution Irkutsk Order "Badge of Honor" Regional Clinical Hospital Irkutsk, Russian Federation, e-mail: ilinykh\_nn@iokb.ru.

**Svetlana S. Kozlova** — PhD Student, Department of Mathematical Methods and Digital Technologies, Baikal State University, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: kozlova\_ss@iokb.ru.

### Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Contribution of the Authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

**Для цитирования**

Боровский А.В. Математическая модель для скорости заражения SARS-COV-2 в неинфекционных больницах на примере города Иркутска / А.В. Боровский, Н.Н. Ильиных, С.С. Козлова. — DOI 10.17150/2713-1734.2022.4(3).187-199 // System Analysis & Mathematical Modeling. — 2022. — Т. 4, № 3. — С. 187–199.

**For Citation**

Borovsky A.V., Ilinykh N.N., Kozlova S.S. Mathematical Model for SARS-COV-2 Infection Rate in Non-Infectious Hospitals on the Example of the City of Irkutsk. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2022, vol. 3, no. 2, pp. 187–199. (In Russian). DOI: 10.17150/2713-1734.2022.4(3).187-199.