

## СТУДЕНТСЬКІ ДОСЛІДЖЕННЯ

<https://doi.org/10.26565/2524-2547-2021-62-10>  
УДК 658:616-036.21

**Тетяна Вікторівна Біткова\***

кандидат економічних наук, доцент  
tbitkova@karazin.ua,  
<https://orcid.org/0000-0001-6287-0392>

**Вікторія Костянтинівна Третяк\***

студентка  
vika.odyvanchik@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0003-3110-7700>

\*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
майдан Свободи, 4, Харків, 61022, Україна

**ВПЛИВ ПАНДЕМІЇ КОРОНАВІРУСУ НА МАКРОЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ:  
АНАЛІЗ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМНО-ДИНАМІЧНОГО ПІДХОДУ**

У роботі на базі огляду джерел проаналізовано теоретичні положення щодо прямого та непрямого впливу епідемій / пандемій на макроекономіку різних країн, зокрема стосовно шоку пропозиції і шоку попиту; проведено порівняльний аналіз економічних втрат, пов'язаних з епідеміями різних років. Проведено аналіз припущень класичних компартментальних моделей епідемій (зокрема SARS і SEIR) і досвід застосування системно-динамічної концепції імітації у дослідженнях поширення інфекцій. Представлено епідемічну та економічну ситуації в Україні 2020–2021 рр; оцінено вплив поширення інфекції на демографічні показники та визначено зв'язок пандемії з падінням ВВП України у відсотках до аналогічного періоду попереднього року, зокрема під час першого локдауну у березні-квітні 2020 р. Поширення припущень базової моделі SEIR дозволило авторам сформулювати припущення демографічно-епідемічної системно-динамічної моделі, агреговані результати якої використано в економічній моделі. Моделі реалізовано в середовищі Vensim PLE. Результати контрольного прогону моделей свідчать про високу точність відображення реальних процесів. В економічній моделі показник ВВП в ході імітації обчислюється на основі динамізованої виробничої функції Кобба-Дугласа, параметри якої оцінено окремо на базі статистичних даних України. Результати прогону економічної моделі достатньо точно відображають динаміку населення, капітальних інвестицій і ВВП на душу населення (коефіцієнт кореляції модельних і реальних даних складає 0,995). Основними напрямками експериментування з моделлю і її використання для обґрунтування управлінських рішень є прогнозування макроекономічних показників в залежності від різних сценаріїв розвитку пандемії в Україні, а також заходів щодо її стримування.

Ключові слова: **пандемія коронавірусу, демографічні процеси, макро-показники, системна динаміка.**

JEL Classification: B55; C19; C51; C63; E00.

**Як цитувати:** Біткова, Т. В., & Третяк, В. К. (2021). Вплив пандемії коронавірусу на макроекономічні показники: аналіз з використанням системно-динамічного підходу. *Соціальна економіка*, 62, 107-121. <https://doi.org/10.26565/2524-2547-2021-62-10>.

**In cites:** Bitkova, T., & Tretiak, V. (2021). The impact of the coronavirus pandemic on macroeconomic indicators: analysis using a system-dynamic approach. *Social Economics*, 62, 107-121. <https://doi.org/10.26565/2524-2547-2021-62-10>. (in Ukrainian)

**Вступ.** На сьогоднішній день питання впливу епідемій на макроекономіку є надзвичайно актуальним і до кінця невивченим. Наймасштабнішою проблемою суспільства 2020–2021 рр. можна без сумніву назвати пандемію коронавірусу Covid-19, наслідками

якого є велика кількість хворих і померлих, зростання безробіття та інфляція, недоотримання коштів державами, і це ще далеко не всі негативні сторони впливу пандемії на економіку у довгостроковій перспективі. Починаючи динаміка демографічних і економічних

показників України свідчить про те, що її економіка може зазнати ще більшого удару.

Метою роботи є дослідження того, як саме пандемія впливає на макроекономічні показники і масштаби цього впливу з використанням системно-динамічної концепції імітації для оцінки довгострокових тенденцій процесів, що аналізуються, – зокрема сполученій динаміці і взаємовпливу демографічних, епідемічних і економічних показників.

Об'єктом дослідження даної роботи є динаміка макроекономічних показників в умовах виникнення та поширення пандемії коронавірусної інфекції вплив пандемії коронавірусу на макроекономічні показники. Предметом дослідження є залежність динаміки демографічних та економічних показників від особливостей поширення інфекції та протиепідемічних стратегій.

**Огляд літератури.** Серед робіт 2020–2021 рр., присвячених аналізу процесів, що відбуваються в економіці різних країн у зв'язку з пандемією коронавірусу, варто відмітити статті, в яких розглядається її прямиий і непрямиий вплив на економіку, а також аналізуються процеси розповсюдження пандемії з використанням методів моделювання (Correia et al., 2020; Barro et al., 2020; Eichenbaum, 2020; Jorda, Singh, & Taylor, 2020; Колот & Герасименко, 2020; Пугачова, 2021; Іващенко, 2021). Використання моделювання для стримування епідемій пропонувався автором відомої статті (Epstein, 2009). Серед робіт, у яких оцінюється вплив карантинних заходів, пов'язаних із Covid-19, на окремий сектор Української економіки (аграрного сектору), можна відмітити роботу (Ходаківська та ін., 2021).

Що стосується використання методу системної динаміки для аналізу епідемічних процесів, то у різні роки цьому було присвячено багато робіт, наприклад, (National Infrastructure..., 2007; López & Rodó, 2020; Godio, Pace, & Vergnano, 2020; Sy Ch. et al., 2020; Sihombingand, 2020). Однією з останніх робіт, в якій системно-динамічна концепція імітації використовується для аналізу впливу пандемії коронавірусу на імпорт, експорт і трудові ресурси на прикладі Ірану, є робота (Safaie et al., 2021).

Більшість авторів відмічають, що пандемія напряму впливає на попит та пропозицію, викликаючи шок.

На думку (Eichenbaum et al., 2020), шок пропозиції виникає через те, що внаслідок захворюваності і смертності скорочується пропозиція робочої сили, а шок попиту пов'язаний з тим, що епідемія скорочує кількість людей, які купують споживчі товари, зменшуючи споживання останніх. Ефекти шоку попиту та пропозиції взаємодіють, спричиняючи стійкий спад економіки.

В роботі (National Infrastructure..., 2007) при розгляді економічних наслідків пандемії грипу «шоки» визначаються наступним чином:

– шок пропозиції – це тимчасове скорочення працездатного населення через власну хворобу, хворобу членів сім'ї, страх перед загрозою хвороби або перебування вдома для догляду за дітьми;

– шок попиту – це тимчасове зменшення та перерозподіл споживання певних товарів та послуг.

Пандемія охоплює працюючих і непрацюючих людей. Працюючі можуть хворіти, і через це тимчасово не працювати або піти з роботи задля мінімізації ризику, що як раз і призводить до скорочення пропозиції. Що стосується споживачів (працюючих і непрацюючих), вони також можуть хворіти, в зв'язку з чим у них можуть скорочуватись доходи, і вони будуть знижувати свій попит на певні товари чи послуги. Тобто вплив на попит і пропозицію раніше розглядався лише з точки зору самої захворюваності.

Однак, як показує досвід пандемії коронавірусу, її економічні наслідки суттєво залежать й від дій керівництва держави. Законодавчі обмеження, їх ступінь й тривалість можуть завдавати значних ударів по певним секторам економіки. На думку авторів статті (Колот & Герасименко, 2020) шок пропозиції полягає у тому, що органами законодавчої, виконавчої влади та місцевого самоврядування в адміністративному порядку призупиняється господарська та підприємницька діяльність низки секторів економіки, і серед них – туризм, громадське харчування, транспорт, індустрія спорту та розваг. Шок попиту пов'язаний з тим, що доходи суб'єктів господарської діяльності, а отже й домогосподарств (що пов'язані із секторами економіки, діяльність яких призупинена, заборонена та обмежена) стрімко знижуються. Абсолютна більшість домогосподарств обмежують витрати через зниження доходів, погіршення споживчих настроїв та непередбачуване майбутнє. За короткий період приватне споживання концентрується на товарах першої необхідності, а попит на інші товари різко зменшується, що негативно впливає на всі сфери економічної діяльності. Яскравим прикладом шоку попиту, викликаного локдауном, є безпрецедентний обвал цін на нафту: у квітні 2020 р. контрактна ф'ючерсна ціна на WTI впала з 18 USD до -37 USD за барель. Ситуація почала виправлятися тільки ближче до літа, завдяки зняттю карантинних обмежень і договору між країнами ОПЕК про суттєве скорочення виробництва сирої нафти.

Непрямиий вплив пандемії на економіку пов'язаний з демографічними змінами. Очевидно, що пандемія безпосередньо впливає

на демографічні показники: від хвороби страждає і помирає населення різних вікових категорій, і це позначається на кількості працездатного населення, народжуваності та ресурсних показниках. Звідси виникає поняття «популяційного шоку», під яким розуміється постійна втрата населення та робочої сили через скорочення чисельності населення.

В статті (Lewis & Bell, 2004) автори досить змістовно описують вплив пандемії на демографічні зміни та, як наслідок, – на економіку. Ефект залежить від того, які вікові групи страждають найбільше. Епідемія серед дітей не має швидкого впливу на економіку, хоча ресурси, безумовно, будуть відволікатися на їх лікування та догляд, і тому ВВП може впасти в короткостроковій перспективі, так як батьки змушені не працювати, а приділяти більше часу своїм хворим дітям. Це, в свою чергу, може мати довгострокові наслідки для сукупної пропозиції робочої сили та професійних навичок, якщо епідемія тривала, а темпи народжуваності не зростали настільки, щоб «замінити» дітей, які не вижили, або якщо хтось із тих хто вижив, психічно або фізично ослаблений перенесеним захворюванням.

Епідемія серед молодих людей має більш широкі та глибокі наслідки. У міру того, як хвороба набирає сили, миттєво зменшується пропозиція робочої сили. Інвалідність або смерть призводять не тільки до постійного скорочення пропозиції робочої сили, але і, з високою ймовірністю – до зниження народжуваності, а отже, до зменшення робочої сили в майбутньому. Інший канал, за допомогою якого така епідемія може вплинути на довгострокову пропозицію або якість робочої сили, полягає в її впливі на формування людського капіталу дітей. Кінцевим результатом є скорочення не стільки навіть кількості майбутньої робочої сили, скільки її якості. Більш висока смертність серед молодих і дорослих та нижчі темпи народжуваності зменшать темпи зростання робочої сили. У той же час помітне і тривале збільшення захворюваності вочевидь відверне заощадження від інвестиційна лікування, а втрата сталого сімейного доходу взагалі зменшує заощадження.

Епідемія серед людей похилого віку має безпосередній вплив на пропозицію робочої сили лише в тій мірі, в якій ці люди працюють або присвячують частину свого часу догляду за онуками та домашніми господарствами своїх дорослих дітей, внаслідок чого ресурси також перенаправляються на лікування хворих.

Що до масштабів впливу, різні дослідники проводили порівняльний аналіз наслідків епідемій минулих років та пандемії коро-

навірусу. Аналіз результатів цих досліджень показує, що оціночні втрати, пов'язані з епідеміями, значно різняться залежно від їх тяжкості та способу подолання. В якості головного прикладу, співмірного за масштабами пандемії коронавірусу, розглядається Іспанський грип (1918–1919 рр.; близько 50 млн померлих), який вважається найтяжчим з економічної точки зору. За оцінками (Correia et al., 2020), ця пандемія скоротила виробничу діяльність приблизно на 20%, а у роботі (Barro et al, 2020) її негативний вплив на ВВП оцінюється в цілому приблизно у 6–8%. Для стримування пандемії 1918 р. було впроваджено заходи соціального дистанціювання, але вони різнилися між юрисдикціями, і не було синхронізованої зупинки економічної діяльності. Автори (Correia et al, 2020) виявили, що ті штати США, які першими запровадили заходи стримування епідемії, мали відносно вищий середньостроковий ріст. Це свідчить про те, що на той час економічні витрати були пов'язані, головним чином, із людськими втратами та скороченням робочої сили, що розтягнулися на три роки. У ряді досліджень оцінюється вартість гіпотетичної пандемії грипу 1918 р. у сучасну епоху. Наприклад, за оцінкою Global Preparedness Monitoring Board, 2019<sup>1</sup>, вартість гіпотетичної пандемії грипу 1918 р. зараз становила б 5% світового ВВП. Витрати, пов'язані з іншими, більш м'якими епідеміями, як правило, на порядок нижче. Зокрема, наслідками епідемії пташиного грипу (вірусу H5N1) за оцінками Світового банку були 0,1% втрат в річному світовому ВВП і 0,4% – для Азії.

Аналіз минулих епідемій показує, що макроекономічні втрати можуть формуватися наступним чином: у відповідь на епідемічний ризик працівники обмежують соціальну взаємодію, зменшуючи як пропозицію, так і споживання. В результаті в перший рік пандемія зменшує ВВП приблизно на 2,3% (Arnold et al, 2016). В цьому ж дослідженні показано, що епізод ГРВІ 2003 р. свідчить про те, що наслідки пандемії особливо серйозні у таких галузях, де діяльність вимагає збору клієнтів.

Цікавим висновком дослідників, що займалися вивченням довготривалого впливу епідемій минулих років було те, що пандемії можуть постійно пригнічувати сукупний попит. Автори (Jorda et al, 2020) вивчали довгострокові наслідки 12 основних епідемій в Європі, що сягають 14 століття, і виявили, що за пандемією слідували кілька десятиліть низької нейтральної відсоткової ставки через економію збережень та зниження інвестиційних можливостей.

<sup>1</sup><https://www.gpmb.org/annual-reports/annual-report-2021>

Таблиця 1. Порівняння наслідків пандемії корона вірусу з іншими епідеміями  
 Table 1. Comparison of the consequences of the coronavirus pandemic and other epidemics

| Епідемії             | Кількість смертей | Міри стримування                 | Фінансова ампліфікація                          | Реальна ампліфікація                              | Контекст   |
|----------------------|-------------------|----------------------------------|---|---|--|
| Пандемія 1918        | до 50 млн         | Соціальне дистанціювання         | Мала  | Мала  | Перша світова війна: висока частка виробництва у ВВП   |
| SARS                 | Близько 800       | Соціальне дистанціювання         | Мала  | Мала  | Прискорене зростання Китаю   |
| Covid-19, 01.03.2020 | 2996              | Локдаун в Ухані і Ломбардії      | Ринковий розпродаж                              | Збої в ланцюгах постачань                         | Глобалізована економіка; інтегровані ланцюги постачань /кредитів; велика частка послуг у ВВП для багатьох країн; високий леверидж в частинах реального сектора |
| Covid-19, 08.04.2020 | 82220             | Глобальний локдаун               | Погіршення фінансових умов                      | Збої в ланцюгах постачань; раптова зупинка попиту |  |
| Covid-19, 09.10.2020 | 1,06 млн          | Послаблення глобального локдауну | Стабільні фінансові ринки, але банки під тиском | Баланси НН / фірми під примусом                   |  |

Джерело: (Boissay & Rungcharoenkitkul, 2020)

**Методологія дослідження.** Для досягнення вказаної мети авторами було використано наступні методи: аналіз, синтез і теоретичне узагальнення – для порівняння результатів теоретичних і прикладних досліджень вітчизняних та зарубіжних авторів щодо прямого та непрямого впливу на економіку епідемії минулих років та пандемії коронавірусу, а також при розгляді припущень референтних моделей; статистичні методи аналізу даних, зокрема методи кореляційного аналізу – для оцінки параметрів та статистичної значущості динамізованої виробничої функції Кобба-Дугласа, що відображає взаємозв'язок ВВП, інвестицій та трудових ресурсів, а також для оцінки відповідності реальних даних і даних, отриманих в ході імітації; системно-динамічну концепцію імітації – для побудови взаємопов'язаних демографічно-епідемічної та економічної імітаційних моделей. Моделі реалізовано у середовищі Vensim.

В роботі використано офіційні дані ВОЗ, Державної служби статистики України, Мінфіну, МОЗ та НАБУ за 2016–2021 р.

Роботу виконано на кафедрі економічної кібернетики та прикладної економіки Каразінського університету.

### Основні результати.

#### Аналіз епідемічної та економічної ситуації України 2020–2021 рр.

За офіційними даними Мінфіну на 22.11.2021 р. в Україні усього інфікованих 3 340 407 (8,1% від загального населення 41 342 тис.), у тому числі: хворих – 485 319 (14,5%); померлих 81 598 (2,4%); тих, що одужали, – 2 773 490 (83,1%). Ці дані змінюються щодня, але кількість інфікованих і хворих постійно зростає (рис. 1, 2).

На тому ж сайті надається розподіл інфікованих за віком: 0–17 років – 5%; 18–29 років – 11%; 30–49 років – 37%; 50–69 років – 38%; 70+ – 9%<sup>1</sup>.

Тобто, в цілому, 75% серед інфікованих (серед яких 60% жінок і 40% чоловіків) припадає на людей віком від 30 до 70, тобто на основну групу працездатного населення. Відсоток хворих і померлих сягає майже 17% від загальної кількості інфікованих. Демографічна ситуація ускладнюється ще і тим, що протягом останніх 10 років в Україні взагалі спостерігається помітне переважання кількості померлих над народженими (14,4% до 10,3% при природному прирості –0,41%), що в свою чергу обумовлює тенденцію падіння загальної чисельності населення країни.

Рис. 2 наглядно демонструє ефективність локдауну, який було оголошено у березні 2021 р., і протиепідемічних обмежень з точки зору соціально-демографічних наслідків – показник смертності від Covid-19 знизився в 2,8 разів.

Щодо макроекономічних показників, той же локдаун призвів до різкого падіння ВВП (рис. 3). Зміни складу реального ВВП за виробничим методом у другому кварталі 2020 року в категорії «Тимчасове розміщування й організація харчування» склали 58,1%. Також досить значний спад ВВП (більше 15%) спостерігався в категорії «Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність», «Сільське, лісове та рибне господарство», «Професійна, наукова та технічна діяльність», «Діяльність у сфері адміністративного та допоміжного обслуговування», «Надання інших видів послуг», «Мистецтво, спорт, розваги та відпочинок».

<sup>1</sup>Текущая статистика по коронавирусу. URL: <https://index.minfin.com.ua/reference/coronavirus/ukraine/> (дата звернення: 05.11.2021).

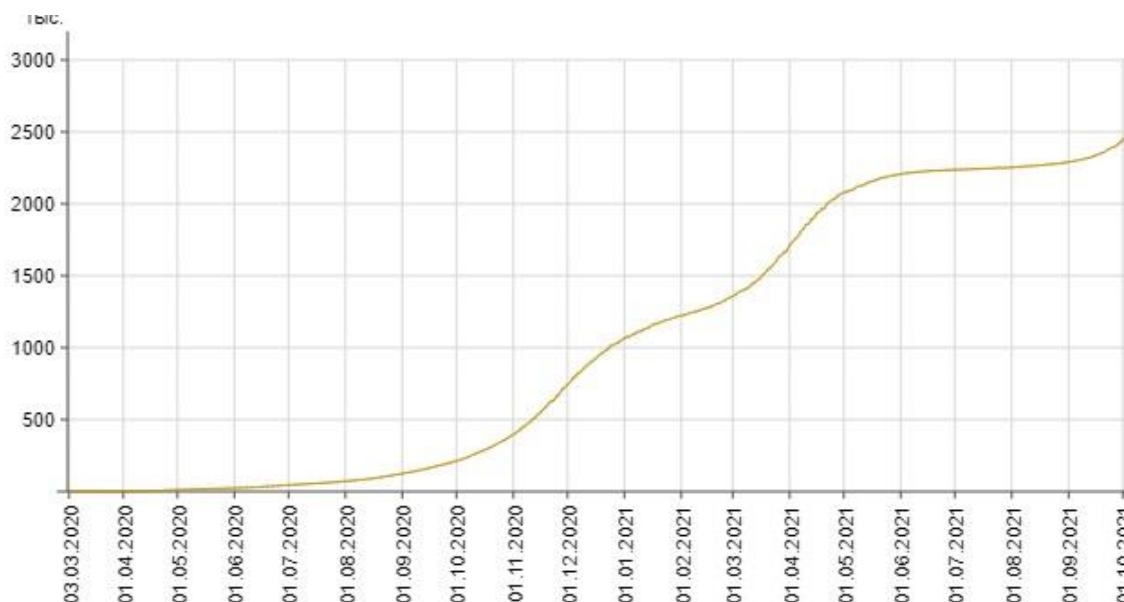


Рис. 1. Коронавірус в Україні: динаміка інфікованих протягом 2020–2021  
 Fig.1. Coronavirus in Ukraine: the dynamics of those infected during 2020–2021  
 Джерело: побудовано авторами за даними<sup>1</sup>

Жорсткий карантин тривав в Україні до початку червня 2021 р., і саме за цей час він наніс серйозних втрат всім сферам економіки, але в першу чергу тим, що безпосередньо пов'язані із взаємодією з клієнтами.

За оперативною оцінкою Держслужби статистики що до змін ВВП України після послаблення карантину «...реальний ВВП у II кварталі 2021 року збільшився на 5,4%. ...

це дуже слабкий результат на тлі слабкої бази порівняння. Наприклад, реальний ВВП Євро-союзу в II кварталі зріс на 13,2%, США – на 12,2%, Росії – на 10,2%. ...Україна за показником ВВП залишається досі суттєво нижчою за докоронний рівень. Цікаво, що за багатьма економічними показниками вимір стану української економіки є помітно кращим, ніж за ВВП»<sup>2</sup>.

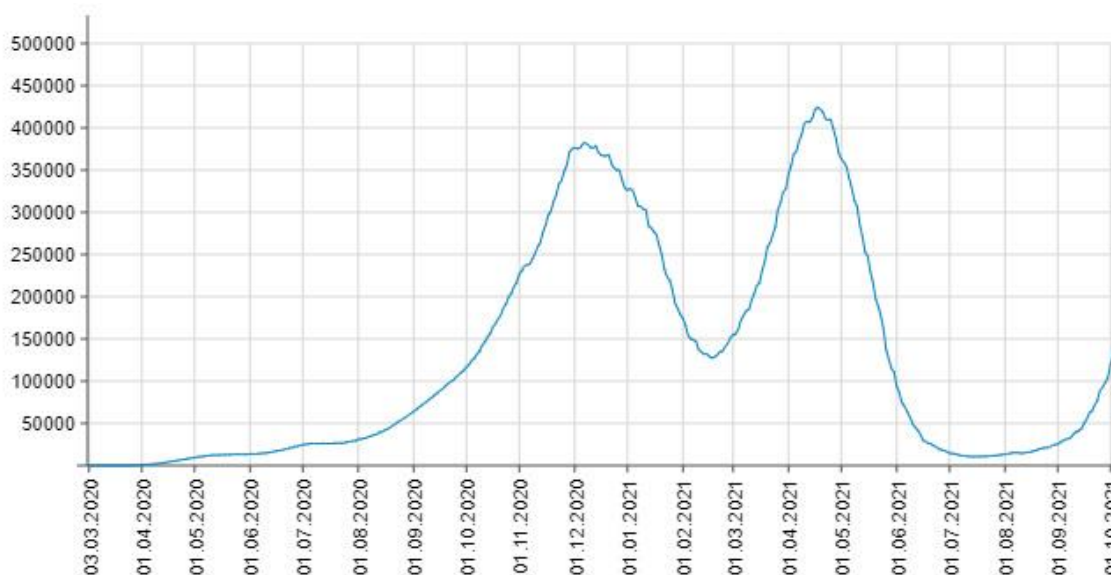


Рис. 2. Коронавірус в Україні: динаміка смертності протягом 2020–2021  
 Fig. 2. Coronavirus in Ukraine: dynamics of mortality during 2020–2021  
 Джерело: побудовано авторами за даними<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Текущая статистика по коронавирусу. URL: <https://index.minfin.com.ua/reference/coronavirus/ukraine/> (дата звернення: 05.11.2021).

<sup>2</sup> Там само.

<sup>3</sup> Там само.

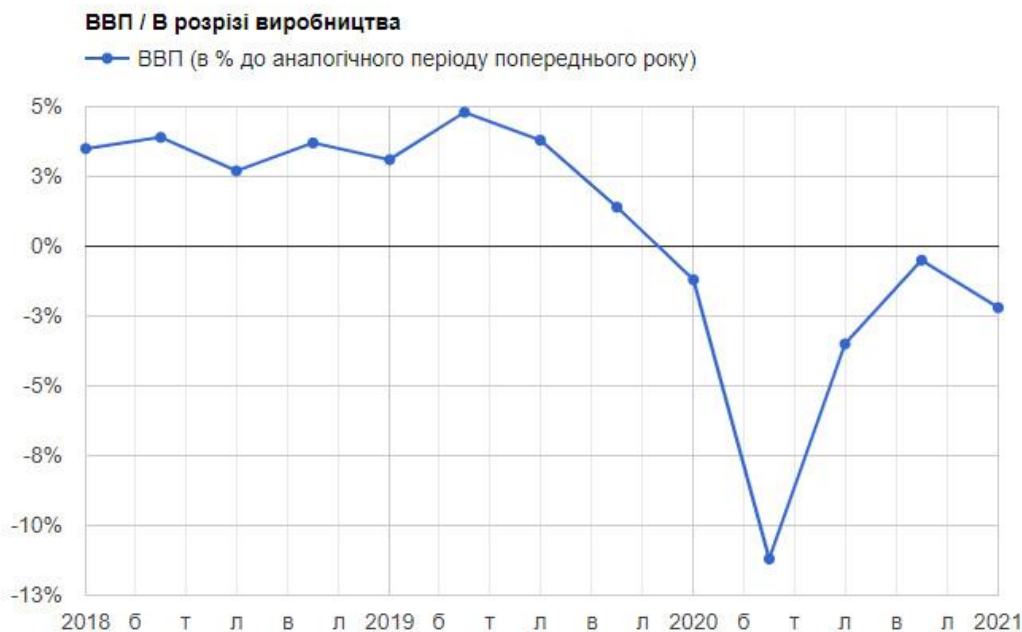


Рис. 3. ВВП України в % до аналогічного періоду попереднього року

Fig. 3. Ukraine's GDP in% to the same period of the previous year

Джерело: побудовано авторами за даними<sup>1</sup>

### **Застосування системно-динамічної концепції імітації для аналізу поширення захворюваності та впливу пандемії на економічні показники**

Огляд референтних моделей. Не маючи на меті дати в цієї роботі детальний огляд історії моделювання епідемій, відмітимо, однак, що головними класиками в цієї сфері вважаються вчені початку ХХ ст. Р. Росс, У. Хемер, А. Г. МакКендрік и У. О. Кермак, які заклали основи т.з. компартментальних моделей, в яких суспільство поділяється на групи або класи. На рубежі 1950–60-х рр. найбільш відомими дослідниками процесів розповсюдження захворювань були Дж. Макдональд, статистики Н. Бейли и М. Бартлетт и математик П. Ердеш. Макдональд запропонував поняття основного репродуктивного числа, Бартлетт розвивав стохастичну аналогію моделі Кермака-МакКендріка, Ердеш був співавтором моделі генерації випадкових графів. В 1970-х рр. з'являються просторові і імовірнісні моделі і дослідження поширення нових вірусів в умовах глобалізації (Лосева А., Панкратова Л., 2020). Тоді ж Дж. Форрестер запропонував метод системної динаміки (СД), який зараз широко використовується для аналізу поширення захворювань і динаміки пов'язаних з цим процесів. Припущення класичних компартментальних моделей епідемій SIR та SEIR (Godio A., Pace F. & Vergnano A., 2020; López L, Rodó X., 2020):

- все населення поділяється на підмножини S (*Susceptible* – схильні до інфікування), I (*Infectious* – інфіковані) і R (*Recovered* – ті, що одужали); ці підмножини не перетинаються, а у сумі дорівнюють загальної кількості всіх індивідів N (в простішій моделі N – константа);
- задаються середній період інфікування / середня швидкість одужання і середня швидкість розповсюдження вірусу;
- здорові індивіди можуть ставати інфікованими (перехід елементів з підмножини S у підмножину I), а інфіковані індивіди отримують імунітет (переходять із підмножини I у R);
- може враховуватися диференціювання населення за певними ознаками, зокрема, можуть додаватися заходи оздоровлення – наприклад, лікування або вакцинація для запобігання захворюванню;
- в моделі SEIR додається також підмножина *Exposed*, тобто люди, у яких захворювання знаходиться в інкубаційному періоді;
- може враховуватися також народжуваність та смертність населення, тобто природне відтворення;
- може припускатися також, що імунізація триває певний період, тобто людина, яка вже перехворіла, через певний час може знову перейти в групу схильних до інфікування.

<sup>1</sup> ВВП України за роками. URL: <https://nabu.ua/ua/vvp-2.html> (дата звернення: 05.11.2021).

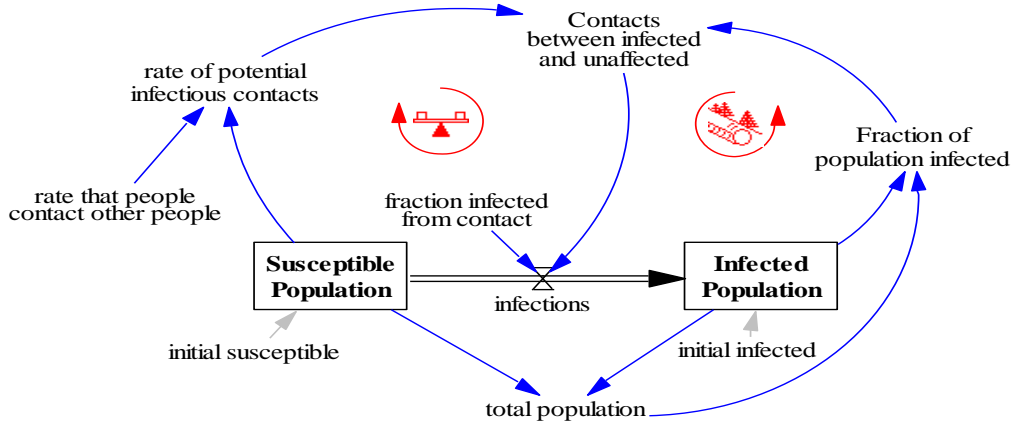


Рис. 4. Диаграма потоків генеративної імітаційної моделі поширення епідемії  
 Fig. 4. Stock and flow diagram of generative simulation model of epidemic spread  
 Джерело: побудовано авторами за допомогою<sup>1</sup>

**Системно-динамічні моделі поширення захворюваності COVID-19**

Системно-динамічна (СД) концепція імітації дозволяє легко реалізувати припущення класичних компартментальних моделей епідемії і модифікувати моделі, враховуючі додаткові припущення. На рис. 4 показана одна з простіших генеративних СД моделей епідемії. Ця модель відображає динаміку контактів населення, схильного до інфікування, з інфікованим – з заданням початкових значень обох груп, середнього темпу контактів і частки контактів, які призвели до інфікування.

Результатом моделі є класична S-подібна траєкторія показника інфікованого населення і реверсивна S-подібна траєкторія чисельності населення, схильного до інфікування; момент перетину цих траєкторій (і, відповідно, точки перегину кожної з них) обумовлений максимальним значенням показника контактів з інфікованими (рис. 5).

В статті (Sy Ch. et al., 2020) автори намагались модифікувати базову модель SIR, щоб визначити яким чином треба діяти, щоб запобігти катастрофічним наслідкам, а саме – якої моделі стримування епідемії краще дотримуватися, щоб максимально знизити темпи захворюваності з урахуванням обмежень зі сторони системи охорони здоров'я і тиску зі сторони економіки (рис. 6). В цієї моделі головні змінні (кількість схильних до інфікування, інфікованих, у тому числі тих, у кого захворювання в інкубаційному стані, і померлих) залежать від змінних, що відображають ефективність карантину та лікарняної допомоги, місткості лікарень, а також взаємний вплив карантинних заходів і економіки. Головний зворотний зв'язок в моделі обумовлений управлінням: поширення захворюваності викликає управлінську реакцію, що стабілізує ситуацію з урахуванням обмежень.

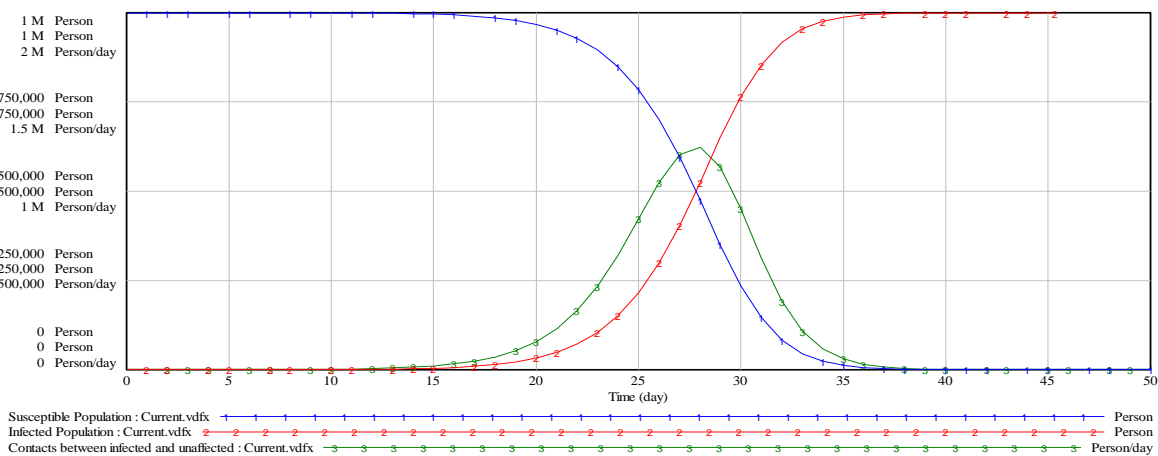


Рис. 5. Результати системно-динамічної моделі Epidemic.mdl  
 Fig. 5. The results of Epidemic.mdl system dynamics model  
 Джерело: отримано авторами на базі моделі Epidemic.mdl

<sup>1</sup> Extra Models that Come with Vensim. URL: [https://www.vensim.com/documentation/models\\_extra.html](https://www.vensim.com/documentation/models_extra.html) (дата звернення: 05.11.2021).



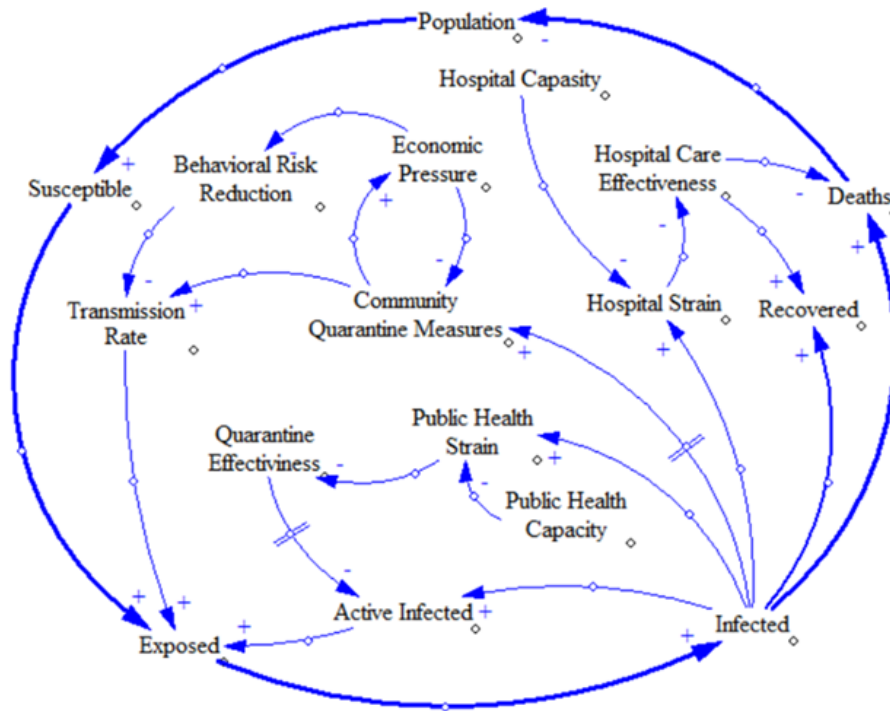


Рис. 6. Діаграма причинно-наслідкових зв'язків моделі (Sy Ch. et al., 2020)  
Fig. 6. Model causal loop diagram (Sy Ch. et al., 2020)

Ще одним зразком системно-динамічної моделі для аналізу не тільки поширення захворюваності, але й економічних збитків від пандемії, є модель, представлена в статті (Sihombingand et al., 2020) – рис. 7.

В даній моделі інфіковане населення переходить із стану безсимптомно хворих у стан хворих з вираженими симптомами. Початкове значення населення, схильного до інфікування, задається у відповідному рівні (*Susceptible*). Інфіковане населення може перейти в один із двох станів – тих, що одужали, та померлих. В моделі також припускається, що хворе населення потребує апаратів штучної вентиляції легенів, доступність яких може зменшити кількість смертей. Збільшення смертності і вартість втрачених життів, в свою чергу, призводять до економічних втрат і визначають частку падіння ВВП (з врахуванням чутливості ВВП до втрат), яка, в свою чергу, залежить від заходів зі стримування епідемії та їх поступового послаблення.

Аналізу переваг застосування імітаційного підходу і того, як імітаційне моделювання може допомогти зменшити вплив COVID-19, присвячено статтю (Curtie et al., 2020).

#### **Побудова моделі поширення COVID-19 в Україні та його економічних наслідків**

*Припущення моделей.* Для аналізу впливу поширення пандемії коронавірусу в Україні на економіку, зокрема, на ВВП на душу насе-

лення, ми пропонуємо дві взаємозв'язані імітаційні моделі — демографічно-епідемічну, яка відображає динаміку захворюваності і відповідні демографічні зміни, та економічну, яка відображає вплив пандемії на економіку, причому в економічній моделі в якості демографічних показників використовуються дані, отримані за допомогою першої моделі.

На відміну від базової моделі SEIR і розглянутих вище референтних моделей демографічно-епідемічна модель, що пропонується, ґрунтується на наступних додаткових припущеннях:

- населення розглядається в розрізі 4-х вікових груп (0-14, 15-44, 45-64 та 65+); в кожній віковій групі населення може перебувати в 5 станах: схильні до інфікування, інфіковані в інкубаційному періоді, хворі, померлі або ті, що одужали/імунізовані; імунітет після одужання (або вакцинації) може зберігатись досить довго, тому в моделі імунізовані не можуть знову переходити в стан схильних до інфікування; населення країни становить суму індивідів в усіх вікових групах; оскільки шагом імітації моделі є день, при дорослішанні населення може переходити між віковими групами виключно в межах відповідних станів (наприклад, імунізовані можуть переходити тільки до імунізованих);

- всі вікові групи можуть контактувати між собою; ймовірність зараження для кожної з груп є однаковою і залежить від частки хворих в країні (як в інкубаційному



періоді, так і з явними симптомами), швидкості передачі вірусу та превентивних заходів з запобігання поширенню вірусу (дистанціювання, використання масок, вакцинація, тощо);

- в кожній віковій групі, крім смертності від коронавірусу враховується смертність з інших причин (показники смертності в Україні до пандемії); смертність від пандемії в кожній з вікових груп залежить від частки тяжких випадків (що потребують госпіталізації чи ретельного медичного контролю) в даній віковій групі, загальної кількості тяжких випадків в країні, заповненості міст у лікарнях, рівня смертності у тяжких випадках при наданні допомоги та без неї а також чутливості якості допомоги до її потужності;

- група 0-14 поповнюється за рахунок народжуваності; для відображення динаміки коефіцієнта народжуваності було використано реальні дані для побудови рівняння регресії:  $y = -0,02270t + 46,52323$  (коефіцієнт детермінації дорівнює 0,8549);

- чисельність потенційних трудових ресурсів залежить від кількості піддатливих, імунізованих та в інкубації серед працездатного населення (це вікові групи 15-44 та 45-64) та рівня участі трудових ресурсів.

Фрагмент діаграми потоків даної системно-динамічної моделі, реалізованої в сере-

довищі Vensim PLE, приведено на рис. 8. Шагом імітації в моделі є день. Для економічної моделі результати демографічної моделі агрегуються щоквартально.

Економічна модель відображає зміну квартальних економічних показників і ґрунтується на наступних ключових припущеннях:

- чисельність трудових ресурсів та чисельність населення задаються таблично на базі результатів епідемічно-демографічної моделі;

- ВВП обчислюється на основі динамізованої виробничої функції Кобба-Дугласа, параметри якої оцінено на основі реальних даних України; аргументи функції – трудові ресурси і капітальні інвестиції; отримана функція має вигляд<sup>1</sup>:

$$Y_t = e^{-154,594} \cdot e^{0,076t} K_t^{0,414} L_t^{0,586}; \quad (1)$$

- капітальні інвестиції з врахуванням пандемії залежать від ВВП минулого періоду, частки інвестицій від доходу, кількості людино-днів інфікованих, втрат на одну людину за один день хвороби, ступеня карантинних обмежень;

Діаграма потоків економічної СД моделі представлена на рис. 9.

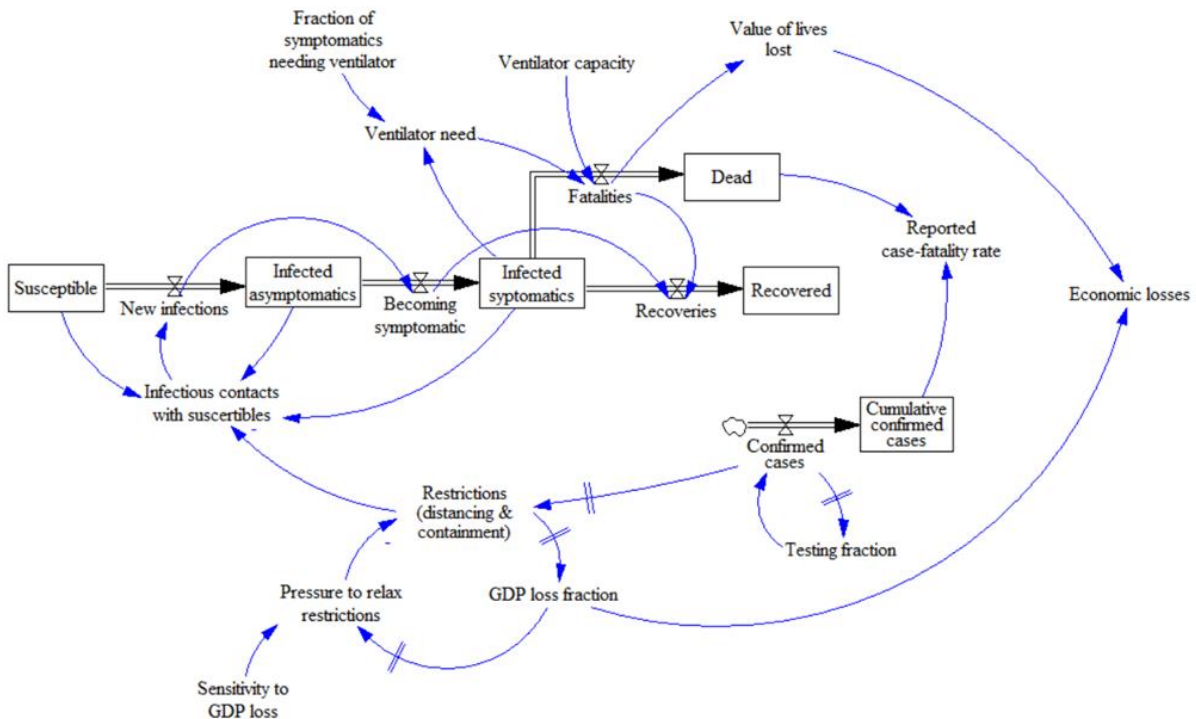


Рис. 7. SEIR Модель COVID-19 з врахуванням впливу на економіку (Sihombingand et al.,2020)

Fig. 7. SEIR Model of COVID-19 taking into account the impact on the economy (Sihombingand et al.,2020)

<sup>1</sup>Оцінку параметрів динамізованої виробничої функції Кобба-Дугласа здійснено за методикою метода найменших квадратів на базі квартальних даних Держслужби статистики (<http://www.ukrstat.gov.ua/>) за 2018-2020 рр. Якість моделі оцінено за допомогою критерію Фішера (розрахункове значення 12.68, Fтабл (f1=K=2; f2=N-K-1=5; P=0.995)=5.786), k-та детермінації (0.89) та похибки апроксимації 4.95%.

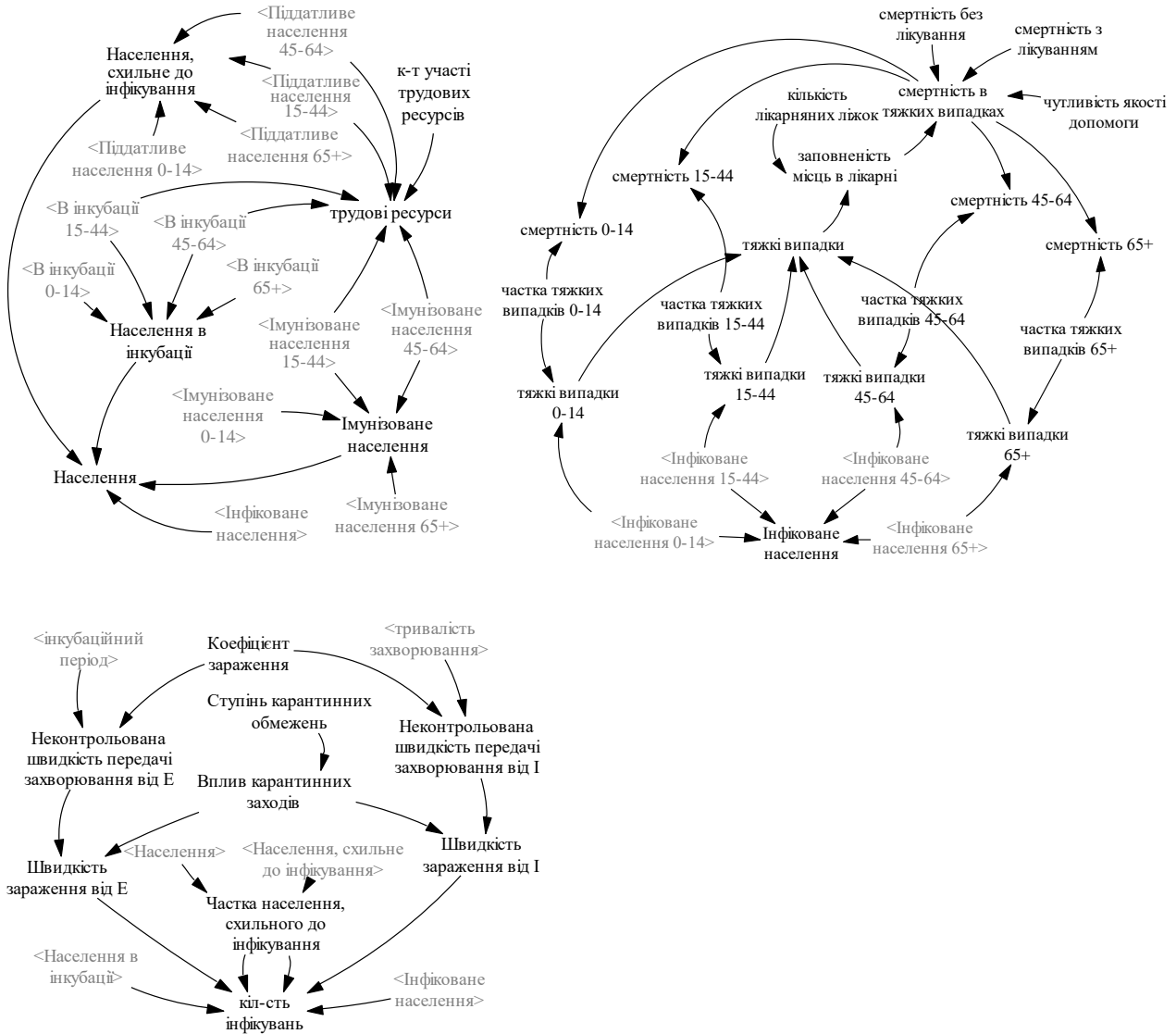


Рис. 8. Фрагмент діаграми потоків епідемічно-демографічної СД моделі  
 Fig. 8. A fragment of stock and flow diagram of epidemic-demographic SD model

*Результати імітації* представлено на рис. 10–12. Рис. 10 свідчить про те, що результати *контрольного прогону* моделі (за умови стійкої імунізації, тобто неможливості повторного захворювання) в цілому відповідають динаміці показників захворюваності класичної SIR моделі (рис. 5). Тобто ми бачимо логістичну і реверсивну логістичні траєкторії інфікованого і населення, схильного до інфікування, і траєкторії нормального розподілу для населення з хворобою в інкубації і інфікованого – з фазовим зсувом, тобто по-перше, не всі ті, у кого хвороба в інкубації, переходять в категорію інфікованих/хворих, і це відбувається з запізненням.

Динаміка, яку ми спостерігаємо на рис. 10, можлива тільки за умови відсутності повторних захворювань, тобто при формуванні стійкого імунітету у тих, що перехворіли або

були вакциновані. Пік траєкторії інфікованого населення відповідає актуальному стану (близько 3 млн.) цього показника в Україні.

Більш реальну картину показників захворюваності в Україні протягом 2020–2021 рр. ми бачимо на рис. 11, який отримано в результаті прогону модифікованої моделі (кроком імітації є місяць, і криві відображають динаміку показників захворюваності протягом 21 місяця – з березня 2020 по жовтень 2021 р.). Помітне падіння показника «хворе населення» припадає на літні місяці 2021 р. і пояснюється зменшенням контактів внаслідок періоду відпусток і початком вакцинації.

Результати прогону економічної моделі достатньо точно відображають динаміку населення, капітальних інвестицій і ВВП на душу населення (коефіцієнт кореляції модельних і реальних даних складає 0,995<sup>1</sup>).

<sup>1</sup> Оцінку коефіцієнта кореляції модельних і реальних даних здійснено в Excel з використанням даних, представлених на сайті Мінфіну: <https://index.minfin.com.ua/reference/coronavirus/ukraine/>.

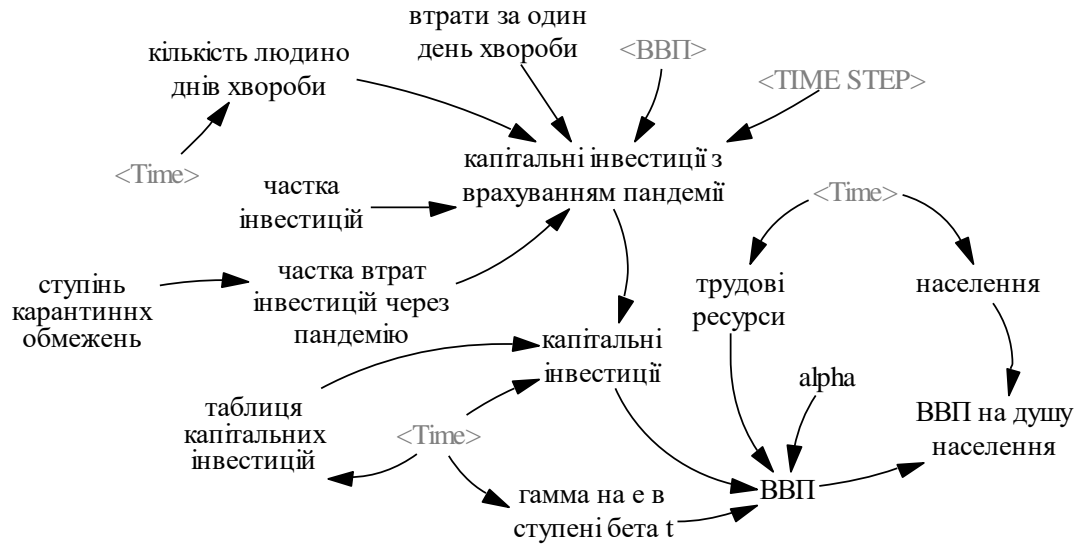


Рис. 9. Діаграма потоків економічної моделі  
Fig. 9. Economic model stock and flow diagram

Основними напрямками експериментування з моделлю і її використання для обґрунтування управлінських рішень є прогнозування макроекономічних показників в залежності від різних сценаріїв розвитку пандемії в Україні, а також заходів щодо її стримування.

**Висновки.** Дослідження впливу пандемії коронавірусу на макроекономічні показники є надзвичайно актуальним, зокрема у зв'язку з карантинними обмеженнями в більшості країн світу, які безпосередньо впливають на економічну діяльність.

Огляд теоретичних робіт, присвячених дослідженню впливу пандемії на економіку, і

аналіз статистичних даних України за 2020–2021 рр. свідчать про те, що, на відміну від наслідків попередніх локальних і глобальних епідемій, цього разу причинами зміни макроекономічних показників є не тільки захворюваність і смертність серед працездатного населення, які обумовлюють шок попиту і пропозиції, але й жорсткі карантинні обмеження, націлені на стримування пандемії, які разом із панікою серед населення призводить до скорочення інвестицій та зменшення ВВП, дохідність підприємств та населення, а також рівень безробіття у короткостроковому періоді.

### Показники захворюваності

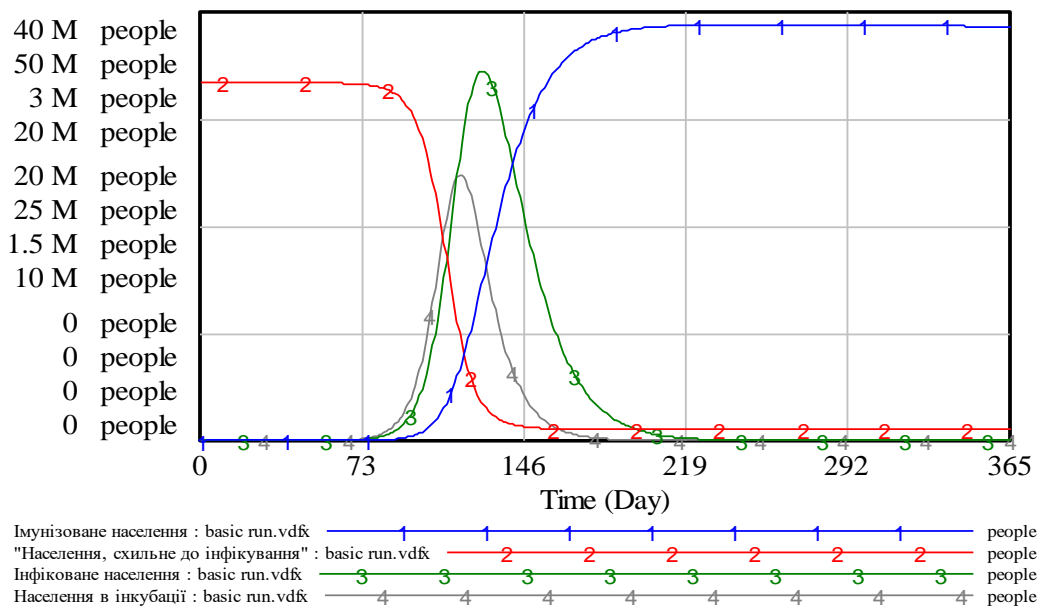


Рис. 10. Результати імітації (кожен графікв своєму масштабі)  
Fig. 10. Simulation results (each graph in its own scale)



В основі більшості імітаційних моделей лежить SIR-модель та її більш складні модифікації. При побудові авторської моделі, в якості базової було використано одну з таких модифікацій – модель SEIR.

Для відображення динаміки захворюваності та економічних показників запропоновано 2 взаємопов'язані моделі — демографічно-епідемічну та економічну (в розрізі кварталних даних), в якій використовуються агреговані дані працездатного населення, отримані на базі першої моделі, а динаміка ВВП обчислюється на базі динамізованої виробничої функції Кобба-Дугласа, параметри якої оцінено на основі реальних даних України.

Обидві моделі реалізовано з використанням програмного пакету Vensim PLE. Результат контрольного прогону економічної моделі показав, що в першому кварталі 2020 р. основною причиною значного скорочення темпів приросту ВВП були зміни капітальних ін-

вестицій, пов'язані з втратами через витрати, пов'язані з подоланням пандемії (захворюваності населення) та через вплив пандемії на частку інвестицій у ВВП. Протягом наступних кварталів 2020 р. спостерігається значне падіння ВВП вже не лише за рахунок зменшення величини капітальних інвестицій, але й через значне скорочення чисельності трудових ресурсів. Починаючи з II-го кварталу 2021 р., ВВП починає зростати і навіть перевищує значення ВВП для відповідних кварталів 2019 р. (докоронних часів), так як динаміка чисельності трудових ресурсів стає більш стабільною.

В цілому, обидві моделі адекватно відображають динаміку захворюваності та макроекономічних показників і дозволяють експериментально визначити вплив пандемії на економіку в довготривалій перспективі, оцінити вплив різноманітних факторів (смертності в різних вікових групах, ступеня карантинних обмежень тощо).

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Correia S., Luck S., Verner E. Pandemics Depress the Economy, Public Health Interventions Do Not: Evidence from the 1918 Flu. 2020. URL: <https://www.aeaweb.org/conference/2021/preliminary/paper/b2RZ9HeZ> (дата звернення: 15.11.2021).
2. Arnold B. F. et al. Brief Report: Negative Controls to Detect Selection Bias and Measurement Bias in Epidemiologic Studies. *Epidemiology*. Sep 2016. Vol. 27(5). P. 637-641.
3. Barro R.J. et al. The Coronavirus and the Great Influenza Pandemic: Lessons from the “Spanish Flu” for the Coronavirus’s Potential Effects on Mortality and Economic Activity. 2020. URL: <https://www.nber.org/papers/w26866> (дата звернення: 15.11.2021).
4. Eichenbaum M. S., Rebelo S., Trabandt M. The Macroeconomics of Epidemics. *NBER Working paper*. 2020. Vol. 26882. P. 48.
5. Jorda O., Singh S. R., Taylor S. R. Longer-Run Economic Consequences of Pandemics. *NBER Working paper series*. 2020. 48 p.
6. Колот А., Герасименко О. Сфера праці в умовах глобальної соціоекономічної реальності 2020: виклики для України. URL: <http://library.fes.de/pdf-files/bueiros/ukraine/16344.pdf> (дата звернення: 15.11.2021).
7. Пугачова О. Г. Моделювання епідемії covid-19 та її соціальних наслідків. *Наукові записки НаУКМА. Соціологія*. 2021. Том 4. С. 18-27. DOI: <https://doi.org/10.18523/2617-9067.2021.4.18-27>
8. Іващенко Д. С., Кученко О. С. Огляд і аналіз методів моделювання процесу розвитку епідемії. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ"*. 2021. № 1 (5). С. 16–19.
9. Epstein J. M. Modelling to contain pandemics. *Nature*. 2009. Vol. 460. P. 687. DOI: <https://doi.org/10.1038/460687a>.
10. Ходаківська О. В. та ін. Методологічні підходи до оцінювання впливу карантинних заходів, пов'язаних із поширенням covid-19, на фінансову складову аграрної економіки. *Економіка та держава*. 2021. № 9. С. 45–51. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2021.9.45>.
11. Economic Modeling for the Analysis of Pandemic Influenza / National Infrastructure Simulation & Analysis Center: USA, 2007. 38 p.
12. López L., Rodó X. A modified SEIR model to predict the COVID-19 outbreak in Spain and Italy: Simulating control scenarios and multi-scale epidemics. *Results in Physics*. February 2021. Vol. 21, 103746. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2020.103746>.
13. Godio A., Pace F., Vergnano A. SEIR Modeling of the Italian Epidemic of SARS-CoV-2 Using Computational Swarm Intelligence. *International journal of environmental research and public health*. 2020. Vol. 17(10). P. 3535. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17103535>.
14. Charlle Sy et al. Policy Development for Pandemic Response Using System Dynamics: a Case Study on COVID-19. *Process Integration and Optimization for Sustainability*. 2020. Vol. 4.
15. Sihombingand L. B. et al. An Analysis of the Spread of COVID-19 and its Effects on Indonesia’s Economy: A Dynamic Simulation Estimation. 2020. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3597004>.
16. Safaie N. et al. Analysis of the effects of COVID-19 virus on the Import, export and labor in Iran using system dynamic approach. 2021. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Analysis-of-the-effects-of-COVID-19-virus-on-the-%2C-Safaie-ghasavi/06b997e1d6cceb0f6a74409833cd160bf329a776> (дата звернення: 15.11.2021).
17. Lewis M., Bell C. The Economic Implication of Epidemics Old and New. *World Economics*. 2004. Vol. 5(4). DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.1112799>.

18. Boissay F., Rungcharoenkitkul P. Macroeconomic effects of Covid-19: an early review. *BIS Bulletin*. 2020. № 7. URL: <https://www.bis.org/publ/bisbull07.pdf> (дата звернення: 15.11.2021).
19. Currie C.M. et al. How simulation modelling can help reduce the impact of COVID-19. *Journal of Simulation*. 2020. Vol.14, iss. 2. P. 83–97.
20. Лосева А., Панкратова Л., 2020. Моделирование эпидемий: история развития. URL: <https://polit.ru/article/2020/06/05/modeling-history/> (дата звернення: 29.11.2021).

Стаття надійшла до редакції 22.11.2021 р.

Стаття рекомендована до друку 21.12.2021 р.

**Tetiana Bitkova\***, PhD (Economics), Associate Professor  
tbitkova@karazin.ua,  
<https://orcid.org/0000-0001-6287-0392>

**Viktoriiia Tretiak\***, Student  
vika.odyvanchik@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0003-3110-7700>

\*V.N. Karazin Kharkiv National University,  
4, Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

### THE IMPACT OF THE CORONAVIRUS PANDEMIC ON MACROECONOMIC INDICATORS: ANALYSIS USING A SYSTEM-DYNAMIC APPROACH

**Abstract.** The article considers theoretical provisions concerning the direct and indirect impact of epidemics / pandemics on the macroeconomic indicators of different countries. The aim of the study is to study how the pandemic affects macroeconomic indicators and the scale of this impact using a system-dynamic concept of simulation to assess long-term trends in the analyzed processes - including combined dynamics and interactions of demographic, epidemic and economic indicators. In particular, we have analyzed and compared supply and demand shocks and economic losses associated with epidemics of different years and study the assumptions of classical compartmental models of epidemics (in particular SARS and SEIR ones) and the experience of system-dynamics concept using in simulating infections spread. The article presents the epidemic and economic situation in Ukraine in 2020-2021. We've evaluated the impact of infection spread on demographic indicators and have determined the correlation of the pandemic with the fall of Ukraine's GDP in percentage to the same period of the previous year, in particular during the first lockdown in March-April 2020. Extension of SEIR model assumptions allowed us to build a demographic-epidemic system-dynamic model, which aggregated results were used in economic model. Both models are implemented in Vensim PLE. The control run results show a high accuracy of real processes reflection. In the economic model the GDP indicator is calculated during the model run, using a dynamized Cobb-Douglus production function, which parameters were estimated on the basis of the real data of Ukraine. The results of the economic model fairly accurately reflect the dynamics of population, capital investment and GDP per capita (the correlation coefficient of model and real data is 0.995). We consider that the main areas of experimentation with the model and of its use in decisions support are forecasting of macroeconomic indicators depending on different scenarios of the Covid-19 pandemic in Ukraine and on measures of its containment.

Keywords: **Coronavirus Pandemic, Demographic Processes, Macroindicators, System Dynamics.**

JEL Classification: B55; C19; C51; C63; E00.

#### REFERENCES

1. Correia, S., Luck, S., & Verner, E. (2020). Pandemics Depress the Economy, Public Health Interventions Do Not: Evidence from the 1918 Flu. Retrieved from <https://www.aeaweb.org/conference/2021/preliminary/paper/b2RZ9HeZ>.
2. Arnold, B. F., Ercumen, A., Benjamin-Chung, J., & Colford, J. M. Jr. (2016). Brief Report: Negative Controls to Detect Selection Bias and Measurement Bias in Epidemiologic Studies. *Epidemiology*, 27(5), 637-641. DOI: <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000504>.
3. Barro, R.J. Ursua, J. F., & Weng, J. (2020). The Coronavirus and the Great Influenza Pandemic: Lessons from the "Spanish Flu" for the Coronavirus's Potential Effects on Mortality and Economic Activity. Retrieved from <https://www.nber.org/papers/w26866>.



4. Jorda, O., Singh, S. R., & Taylor, S. R. (2020). Longer-Run Economic Consequences of Pandemics. *NBER Working paper series*. 48 p.
5. Kolot, A., & Gerasimenko, O. (2020). Labor in the context of the global socio-economic reality of 2020: challenges for Ukraine. Retrieved from <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/ukraine/16344.pdf>. (in Ukrainian)
6. Pugachova, O. G. (2021). Modelling the Covid-19 epidemics and its social consequences. *NaUKMA Research Papers. Sociology*, 4, 18-27. DOI: <https://doi.org/10.18523/2617-9067.2021.4.18-27>. (in Ukrainian)
7. Ivashenko, D. S., & Kutsenko, O. S. (2021). Review and analysis of methods of modeling the process of developing the epidemiology. *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*, 1(5), 16–19. (in Ukrainian)
8. Epstein, J. M. (2009). Modelling to contain pandemics. *Nature*, 460, 687. DOI: <https://doi.org/10.1038/460687a>.
9. Khodakivska, O., Tulush, L., Pugachov, M., & Krushelnyskyi, M. (2021), Methodological approaches to assessing the impact of quarantine measures related to the spread of covid-19 on the financial component of the agricultural economy. *Ekonomika ta derzhava*, 9, 45–51. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2021.9.45>.
10. National Infrastructure Simulation & Analysis Centre USA. (2007). *Economic Modeling for the Analysis of Pandemic Influenza*.
11. López, L., & Rodó X. (2020). A modified SEIR model to predict the COVID-19 outbreak in Spain and Italy: Simulating control scenarios and multi-scale epidemics. *Results in Physics*, 21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2020.103746>.
12. Godio, A., Pace, F., & Vergnano, A. (2020, May). SEIR Modeling of the Italian Epidemic of SARS-CoV-2 Using Computational Swarm Intelligence. *International journal of environmental research and public health*, 17(10). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17103535>.
13. Sy, Ch., Bernardo, E., Miguel, A., San Juan, J. L., Mayol, A. Ph., Ching, Ph. M.,..., & Mutuc, J. E. (2020). Policy Development for Pandemic Response Using System Dynamics: a Case Study on COVID-19. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 4, 497–501.
14. Sihombingand, L. B., Malczynski, L., Jacobson, J., Soeparto, H. G., & Saptodewo, D. T. (2020). An Analysis of the Spread of COVID-19 and its Effects on Indonesia's Economy: A Dynamic Simulation Estimation. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3597004>.
15. Currie, C.M., Fowler, J. W., Kotiadis, K., Monks, T., Onggo, B. S., Robertson, D. A., & Tako, A. A. (2020). How simulation modelling can help reduce the impact of COVID-19. *Journal of Simulation*, 14, 83–97.
16. Safaie, N., Ghazavi, N., Sarabadani, A., & Nasri, S. A. (2021). Analysis of the effects of COVID-19 virus on the Import, export and labour in Iran using system dynamic approach. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/>.
17. Eichenbaum, M. S., Rebelo, S., & Trabandt, M. (2020). The Macroeconomics of Epidemics. (2020). *NBER Working paper*, 26882.
18. Lewis, M., & Bell, C. (2004). The Economic Implication of Epidemics Old and New. *World Economics*, 5(4). DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.1112799>.
19. Boissay, F., & Rungcharoenkitkul, P. (2020). Macroeconomic effects of Covid-19: an early review. *BIS Bulletin*, 7. Retrieved from <https://www.bis.org/>.
20. Loseva, A., & Pankratova, L. (2020). Epidemic Modeling: A History of Development. Retrieved from <https://polit.ru/article/2020/06/05/modeling-history/>. (in Russian)

The article was received by the editors 22.11.2021.

The article is recommended for printing 21.12.2021.