

**ГІПОТЕЗИ. НЕСТАНДАРТНІ МЕТОДИ РІШЕННЯ НАУКОВИХ ТА
ІНЖЕНЕРНИХ ПРОБЛЕМ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ**

УДК 621: 514.83

**ФАНТОМНА МОДЕЛЬ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ВІРУСНИХ ОБ'ЄКТІВ
ПРИ ПАНДЕМІЇ. ЧАСТИНА 3***Скицюк В. І., Клочко Т. Р.**Національний технічний університет України**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна**E-mail: t.klochko@kpi.ua*

У статті визначено, що характер взаємодії вірусу з об'єктами при розповсюдженні у будь-якому середовищі є значною проблемою. Тому врахування особливостей такого комплексного фракційного складу потоків може надати можливість визначити характер взаємодії об'єкта, зокрема біологічного, з комплексними частинками вірусних потоків при входженні торкання.

В авторських попередніх роботах розглянуто особливості розповсюдження вірусів у навколишньому просторі панданної зони об'єкта за умови єдиної фракції частинки, тобто у приповерхневому шарі. Звісно, що для більш точного розуміння характеру взаємодії вірусних потоків з об'єктами можливого зараження, необхідно аналізувати процеси торкання віріону до поверхні клітини біологічного об'єкта. Досліджені закономірності виникнення сил руху в просторі середовища надали можливість визначення геометричних параметрів поширення вірусних утворень саме поблизу поверхні об'єкту.

Основною метою цього дослідження було продовження створення моделі взаємодії комплексних потоків з різними фракціями, що є переносниками вірусів як матеріальних частинок у навколишньому просторі, в частині моделювання руху та торкання поверхні об'єкта на рівні різних типів торкання залежно від стану їх взаємодії.

Розглянуто механічний рух вірусу під час торкання, а не стадій, як у біологічних процесах. Проведено моделювання характеру взаємодії комплексних потоків вірусів з об'єктами біологічного походження. Для дослідження особливостей взаємодії віріону з поверхнею клітини біологічного об'єкта необхідно розглядати потоковий комплекс частинок різних фракцій, тобто мікроструктури віріонів, які супроводжують крапельні суспензіїв потоки рідин організму, та сторонні пилові частинки. Таким чином, ми можемо виокремити рух комплексу частинок, який вступає в торкання з поверхнею об'єкта, а також можливість вириву окремих мікрочастинок, віріонів, які можуть виходити з комплексного потоку та розповсюджуватись окремо від інших. Водночас, визначено залежності енергетичного комплексу, який утворює потік комплексних елементів-частинок різних фракцій, що може надати врахування дальності розповсюдження потоку та особливостей кінематики руху.

У подальших дослідженнях фантомна модель розповсюдження потоків вірусних об'єктів у просторі потребує моделювання часових параметрів руху потоків комплексних частинок під час розповсюдження до поверхні об'єкта різного походження, зокрема біологічного.

Ключові слова: торкання; траєкторія руху; потік вірусів; розповсюдження.

Вступ. Постановка проблеми

Наразі найбільш актуальною проблемою є розуміння шляхів розповсюдження вірусу SARS-CoV-2, котрий провокує появу COVID-19, та визначення способів запобігання цьому захворюванню. Тому характер взаємодії вірусу з об'єктами при розповсюдженні у будь-якому середовищі є значною проблемою.

Віруси, не маючи клітинної будови, у своєму складі налічують оточені білками ДНК або РНК-геноми, які утворюють автономну генетичну систему з оболонкою капсидом [1, 2].

Водночас, ця оболонка зазвичай сприяє процесу проникнення геному вірусу в ту клітину біологічного організму, яка входить в торкання з вірусом, тобто в так звану «хазяйську» клітину стороннього об'єкта внаслідок злиття капсиду з мембранною структурою «хазяйської» клітини.

Більша частина патогенних вірусів мають ще одну оболонку – ліпопротеїнову (суперкапсид) [3], яка містить ліпіди та вірус-специфічні білки. Оболонкові віруси мають пристосованість до існування, швидкого змінення, що надає можливості короткочасного виходу від імунної системи, водночас, провокуючи відновлення

інфікування «хазяйського» організму. Зріла вірусна частинка як позаклітинна форма існування є віріоном, який має характер розповсюдження у просторі.

Зазвичай структуру віріонів досліджують за допомогою електронної мікроскопії [4], що надає можливості визначення стану віріону в цілому та на рівні ультратонких зрізів для визначення змін структури та можливого прогнозування ситуації, іноді за допомогою методу ультрацентрифугування.

Оскільки розміри вірусів мають досить великий розкид: від 20 до 300 нм, а також до рівня розмірів рибосом порядку 15 нм та до розмірів 1,5x0,5 мкм Pithovirus [5], проте саме такий вірус є майже унікальним. Тобто стандартними розмірами вірусних збудників можна вважати розміри в основному діапазоні від 15 до 400 нм. Таким чином, ми можемо визначити, що вільне розповсюдження таких частинок у просторі супроводжує рух саме віріонів спільно з іншими фракціями речовин, траєкторія руху яких залежить не тільки від їх спрямування, але й від їх габаритних параметрів.

Наявні дані свідчать про те, що SARS-CoV-2 передається від людини до людини переважно повітряно-крапельним шляхом та контактом, хоча аерозольний шлях також можливий [6, 7].

Таким чином, прямий або непрямий контакт предметів відбувається, коли вони перебувають у безпосередній близькості (при досить щільному контакті) через рідкі виділення, що містять вірус з дихальних шляхів, а також невеликі крапельки, що утворюються з цих рідин, що летять у повітря [8].

Крім того, можуть відбуватися подібні явища руху потоку вірусів, наприклад, коли утворюються аерозолі (суспензії дрібних крапель у повітрі), можлива передача вірусу повітрям та частинками пилу [9]. Водночас, необхідно визначати, що утворення таких комплексних фракційних потоків входять в торкання з об'єктами різного походження, тобто живої та неживої природи, при розповсюдженні, наприклад, у повітрі.

Отже, врахування особливостей такого комплексного фракційного складу потоків може надати можливість визначити характер взаємодії об'єкта, зокрема біологічного, з комплексними частинками вірусних потоків при входженні торкання.

Постановка задачі

В авторських попередніх роботах [10, 11] ми розглянули особливості розповсюдження вірусів у навколишньому просторі панданної зони об'єкта за умови єдиної фракції частинки, тобто у приповерхневому шарі. Звісно, що для більш точного розуміння характеру взаємодії вірусних потоків з об'єктами можливого зараження,

необхідно аналізувати процеси торкання віріону до поверхні клітини біологічного об'єкта.

Досліджені закономірності виникнення сил руху в просторі середовища надали можливість визначення геометричних параметрів поширення вірусних утворень саме поблизу поверхні об'єкту.

Основною метою цього дослідження було продовження створення моделі взаємодії комплексних потоків з різними фракціями, що є переносниками вірусів як матеріальних частинок у навколишньому просторі, в частині моделювання руху та торкання поверхні об'єкта на рівні різних типів торкання залежно від стану їх взаємодії.

Моделювання характеру взаємодії комплексних потоків вірусів з об'єктами біологічного походження

Процеси взаємодії, зокрема входження в торкання віріону та поверхні біологічного об'єкта передбачають можливість злиття віріону на рівні клітинної мембрани. При торканні віріона поверхні клітини відбувається повне входження геному віріону в склад клітини таким чином, що вірусна ДНК повністю поєднується з клітинною, а геном цих віріонів перетворюється у клітинні.

Водночас, як варіант розвитку ситуації, існує можливість продукування зараженою клітиною нових сукупностей віріонів при продовженні життєдіяльності цієї зараженої клітини, а віріон може активізуватись для продовження розповсюдження інфекції.

В іншому випадку, при поділі клітини та її хромосом цей вірусний геном проникає у кожне нове утворення. Отже, за певних умов активізації дія вірусного геному починає здійснюватися, відбуваються процеси передачі від основної клітинної структури до наступних утворених структур. Таким чином, розповсюдження дії вірусного захворювання від одного об'єкта до іншого на рівні клітинних структур призводить до масштабних пандемій. Для дослідження особливостей взаємодії віріону з поверхнею клітини біологічного об'єкта необхідно розглядати поточковий комплекс частинок різних фракцій, тобто мікроструктури віріонів, які супроводжують крапельні суспензіїв потоки рідин організму, та сторонні пилові частинки. Таким чином, ми можемо виокремити рух комплексу частинок, який вступає в торкання з поверхнею об'єкта, а також можливість викиду окремих мікрочастинок, віріонів, які можуть виходити з комплексного потоку та розповсюджуватись окремо від інших. Проте вони також мають здатність до інфікування клітини об'єкту при входженні в торкання з поверхнею.

Наразі розглянемо механічний рух вірусу під час торкання, а не стадій, як у біологічних процесах [12, 13]. Загальна теорія такого способу торкання розглянута у [14]. Такий спосіб торкання

має два варіанти виконання. За першим варіантом швидкість виходу з торкання менше за вхідну, але наступний вхід у тіло об'єкта є таким самим.

Діаграма такого способу торкання відображена на рис. 1.

За таким способом торкання віріону до поверхні об'єкта у момент входження, його швидкість дорівнює $k_i V_v$, де k_i є коефіцієнтом зниження швидкості.

Деякий час віріон рухається з цією сталою швидкістю і долає відстань, яка визначається величиною $k_i T V_v$.

Така відстань, яку проходить віріон за час T , необхідна йому для того, щоб виконати стадію абсорбції на поверхню. Саме таке ударне торкання віріона до поверхні впродовж часу T запускає другу стадію взаємодії віріону з об'єктом інфікування [15].

Якщо цей час достатній, віріон гальмує, доки не зупиняється у точці O_1 .

У випадку, коли пружна енергія поверхні більша за енергію руху віріона, тіло віріону відкидається від поверхні об'єкта, тобто або клітини, або їх сукупності.

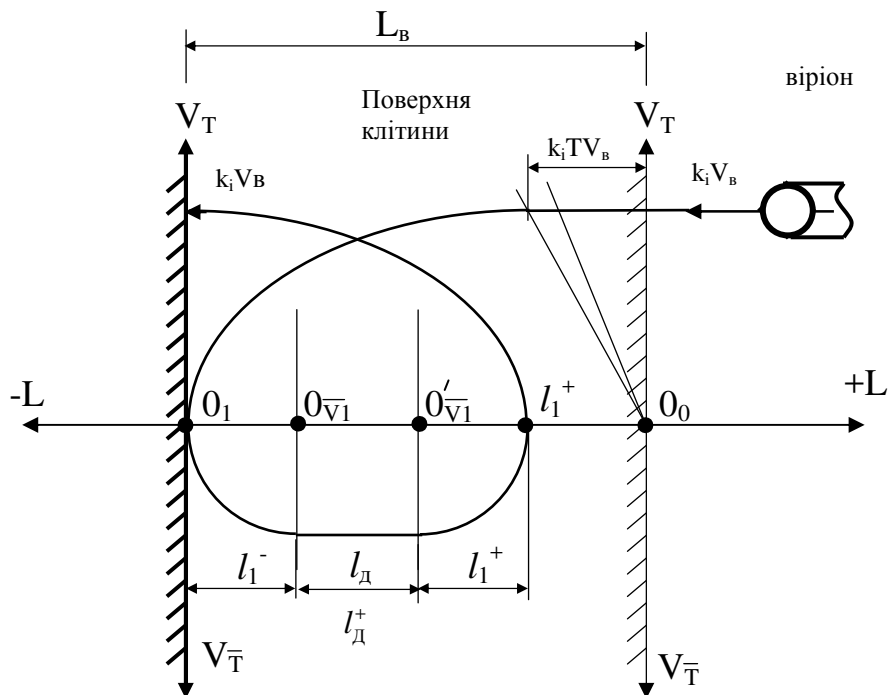


Рис. 1. Діаграма входження віріона у тіло об'єкта при одноразовому торканні за відтяжного способу руху (перший варіант)

Пружний розгін триває до точки $O_{\bar{v}1}$ (відстань l_1^-). Водночас, зворотній рух віріона стабілізується на деякий час (відстань l_d) і починається гальмування до точки l_1^+ .

Надалі відбувається черговий розгін до швидкості $k_i V_v$.

Отже, за такого способу торкання, якщо віріон має не досить значну енергію, то він повністю гальмується у точці O_1 . Це відповідає тому випадку, коли оболонка клітини $O_1 O_0$ зруйнована на свою повну глибину. У такому випадку у точці O_1 починається вивільнення його нуклеїнової кислоти у клітину (друга стадія) тощо.

Якщо енергія руху віріона недостатня, то він ледь дістає до координати O_1 , як його відкидає назад до координати l_1^+ . На цій ділянці пружність поверхні відкидає віріон, але розгін закінчується на координаті $O_{\bar{v}1}$, коли поверхня перестає рухатися.

Надалі віріон рухається з деякою сталою швидкістю й у координаті $O_{\bar{v}1}$ починає гальмувати до точки зупинки l_1^+ , де сили середовища знов розганяють його до максимальної швидкості. Тим не менш, на цьому шляху і за цей час цілком можливе закінчення другої стадії та початок третьої.

Таким чином, є можливість сформулювати основні рівняння руху віріону за умови руйнуючого відтяжного торкання в загальному випадку.

Отже, за першого варіанту

$$\begin{cases} L_{\Sigma 21} = V_6 \cdot (k_i \cdot T + k_i^2 \cdot T_{\text{тр}} + k_{i+1} \cdot \bar{T}) \\ T_{\Sigma 21} = T + \bar{T} + 2k_i \cdot T_{\text{тр}} + k_{i+1} \cdot T_{\text{тр}} \\ L_{e21} = k_i^2 \cdot L_{\text{тр}} + k_i \cdot T \cdot V_6 \end{cases}, \quad (1)$$

де $L_{\text{тр}}$ – глибина руйнування тіла клітини, тобто проникнення віріона під її поверхню,

k_i, k_{i+1} – коефіцієнт швидкості,

T – час визначення початку руйнування,

\bar{T} – час визначення закінчення руйнування,

$T_{\text{тр}}$ – загальний час процесу руйнування.

Згідно другого способу руйнуючого торкання з відтяжною швидкістю виходу є значно меншою за швидкість входження у тіло об'єкта (рис. 2).

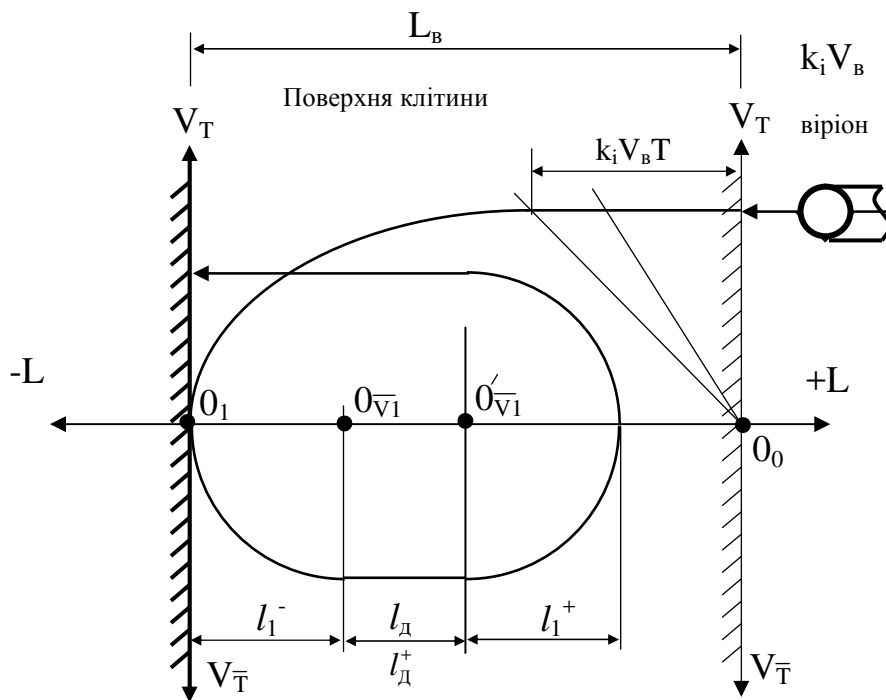


Рис. 2. Діаграма входження віріону в тіло об'єкта (клітини) при одноразовому торканні за відтяжного способу руху (другий варіант)

Більш добірний аналіз цього випадку доводить, що значне збільшення l_D призводить до появи ще одного додаткового шляху перед входженням у повторне торкання. Всі процеси за такого способу торкання саме такі, як і за першого способу, але мають деякі відмінності за швидкістю.

Отже, цей тип руху має опис через наступні рівняння

$$\begin{cases} L_{\Sigma 22} = k_i \cdot V_6 \cdot T + k_i^2 \cdot L_{\text{тр}} + 3k_{i+1}^2 \cdot L_{\text{тр}} + k_{i+1} \cdot V \cdot \bar{T} \\ T_{\Sigma 22} = T + \bar{T} + k_i \cdot T_{\text{тр}} + 3k_{i+1} \cdot T_{\text{тр}} \end{cases}. \quad (2)$$

В обох випадках необхідно звернути увагу на додатковий шлях l_D^+ (рис. 1, рис. 2). У загальному

випадку цей шлях дуже маленький і в разі збільшення інтерпретується як штучне втручання, так нібито віріон навмисно вводиться у тіло.

Всі види торкань є одноразові, а за кількістю торкань n загальна глибина проникнення визначиться як

$$L_{\Sigma 22} = \sum_{i=1}^n \left[V_6 \cdot T \cdot (k_i + k_{i+1} + k_{i+2} + \dots + k_n) + L_{\text{тр}} \cdot (k_i^2 + k_{i+1}^2 + k_{i+2}^2 + \dots + k_n^2) \right]. \quad (3)$$

Цілком зрозуміло, що величина l_D^+ є залежною від вхідної швидкості віріону.

Попри те, що ця величина може дорівнювати нулю, віріон все одно зберігає рух коливального характеру, який супроводжується його поступовим заглибленням у масу об'єкта.

Після зникнення l_d^+ починають зменшуватися відтинки шляху гальмування та розгону l_1^- та l_1^+ .

Але співвідношення L_{tr} до $(l_1^- + l_1^+)$ весь час буде сталим, оскільки ці величини пов'язує між собою коефіцієнт пружності поверхні. У цьому випадку вся діаграма масштабується, як показано у [16].

Зменшення величин l_1^- та l_1^+ до нуля можливо тільки у тому випадку, коли поверхня та віріон є абсолютно твердими речовинами (тілами), але подібні ситуації є малоімовірними внаслідок біологічних причин існування цих утворень. У будь-якому випадку існує ситуація, коли всі фізичні властивості віріону та поверхні біологічного об'єкту збігаються таким чином, що віріон повністю гальмує у точці O_1 . У цій точці відбувається фіксація віріону саме на поверхні об'єкту.

Водночас, координата поверхні тимчасово посувається з точки O_0 у точку O_1 . Цей випадок стосується тієї ситуації, коли поверхня є абсолютно гладкою без ознак жорсткості. Таким чином, можна розглядати, чого саме не вистачає об'єкту з огляду на молекулярний склад об'єктів, які взаємодіють, та мають різну фізичну природу [17].

Наразі реальна поверхня об'єкту є досить складна за конфігурацією.

Моделювання поверхні к такому випадку може бути проведено на засадах кінцевих елементів різної форми, як це показано у [16]. У такому разі на поверхні інфікування можуть утворюватися конфігурації, які призводять до затримки віріону на поверхні з координатою O_0 . Подібна поверхня може являти собою, наприклад, дві мікроповерхні, між якими вклинюється віріон. Особливо це стосується випадків, коли на поверхні існує мікрозаглибина у формі циліндра, куба тощо. Для тваринного світу це просто потові залози та волосяний покрив. За своїм характером з фізичного погляду, як об'єкт, потова залоза є протилежністю волосині, оскільки повсюди віріони добре осідають та кріпляться до тіла. Але ця проблема має і зворотній бік, тобто у такий самий спосіб виконуються засоби захисту від вірусної інфекції.

Розглядаючи засоби захисту біологічного об'єкту, необхідно зауважити, що вони відбуваються у два способи. За першим способом у тіло біологічного об'єкта вводиться інвазивно певний препарат, яким знищують віруси. За іншим способом створюється фізичний бар'єр на шляху вірусу. Найпростішим засобом є ґратка, яка гальмує проникнення вірусу через бар'єр. Але у такому випадку розміри ґратки повинні бути трохи менші за розмір вірусу, тобто від 20 до 300 нм одна сторона квадрату. Наразі така задача є

досить складною для сучасних технологій визначення та захисту від проникнення до поверхні клітини біологічного об'єкту.

Ми можемо зробити висновок про те, що частинки пилових хмар та крапельних слизових (рідин організму) потоків, для яких $m > 0$, і частинки саме віріонів, які супроводжують ці потоки, взаємодіють з полем гравітації [18]. Таким чином, утворюються потоки з різних фракцій частинок. У цьому випадку розглянемо комбінації великих частинок та частинок, що мають досить короткі траєкторії руху, тобто їхні світові лінії залежать від часу життя.

Особливостями механічного руху потоку частинок пилу в гравітаційних досить слабких полях є частинки малого діаметру, для яких ми таким чином враховуємо їх просторово-часові координати.

Таким чином, розглядаючи механічний рух потоку найдрібніших частинок, наприклад пилу, смогу, туману, ми можемо розглянути поєднання їх дії та руху з найдрібнішими частинками, які утворюються бризками та вірусами в них. Проте кожний елемент-частинка в комплексному вигляді різних фракцій характеризується енергією, тобто загалом тензором енергії-імпульсу [19, 20], як

$$T_{ik} = \begin{pmatrix} (\rho_1 + \dots + \rho_i) c^2 & & 0 \\ & p & \\ & & p \\ 0 & & & p \end{pmatrix}, \quad (4)$$

де $(\rho_1 + \dots + \rho_i) c^2 = \epsilon_\Sigma$ – щільність енергії середовища, в якому комплексна частинка перебуває в стані спокою, i, k – опис кожного елемента потоку частинок, ρ – густина середовища, c – безмасова швидкість частинок, p – тиск середовища.

Якщо розглядати одночасний потоковий рух набору комплексних частинок, які складаються з частинок пилу, рідин організму та вірусів, можна припустити, що $\epsilon = \rho(V_1 + \dots + V_i)^2 = \rho V_\Sigma^2$, де V_Σ – швидкість руху комплексних частинок, в тому числі і швидкість руху кожного віріону, який пристає до іншої фракції.

У цьому випадку ми отримуємо вираз для тензора енергії-імпульсу агрегатного середовища механічного поширення потоку віріонів, що знаходяться в спрямованій хмарі пилу, крапель рідин організму

$$T_{ik} = \begin{pmatrix} \rho_\Sigma V_\Sigma^2 & & 0 \\ & p & \\ & & p \\ 0 & & & p \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Таким чином, отриманий вираз є підходом до визначення механічного руху частинок-елементів енергетичного комплексу як найбільш оптимального варіанту пошуку частинок вірусу в навколишньому середовищі. Елементи різних фракцій потоку в комплексі утворюють дисперсну зону, яка містить елементи твердих частинок, рідинних з більшими розмірами, поєднуючись з мікроструктурними елементами віріонів. Максимально ефективна діяльність такого потоку виникає при торканні його з поверхнею клітини біологічного організму. Внаслідок торкання комплексних частинок потоку, навіть при взаємодії поодинокого елемента віріона відбувається проникнення певних структур цього потоку в тіло об'єкту, що викликає інфікування об'єкту.

Отже, визначення характеру механічного руху потоку віріонів (або одиничного елемента цього потоку) може надати можливості дослідження траєкторії розповсюдження таких елементів-частинок. Звідсіля можна дійти розуміння кутового розповсюдження потокових фракцій. Такий опис досліджує просторові особливості руху, що може визначити засоби захисту об'єкту від потрапляння на поверхню потокових комплексних частинок різних фракцій, а також навіть одиничних елементів.

Висновки

Проведене аналітичне дослідження визначає моделі взаємодії потоків комплексних частинок, які утворюють дисперсну зону поблизу поверхні об'єкта. Ці потоки містять різні фракції твердотільних частинок у сукупності із крапельними фракціями рідин організму, які утворюють разом із віріонами досить різні за геометричними параметрами та фізичними характеристиками комплексні елементи, що надходять до поверхні об'єкта, зокрема біологічного, та створюють ситуацію проникнення в тіло об'єкта скрізь клітину.

Отже, обґрунтовано аналітичну модель типів торкання віріона (або частинки елемента) з поверхнею клітини об'єкта, що визначає залежності геометричних характеристик руху потоків вірусів. Водночас, визначено залежності енергетичного комплексу, який утворює потік комплексних елементів-частинок різних фракцій, що може надати врахування дальності розповсюдження потоку та особливостей кінематики руху.

У подальших дослідженнях фантомна модель розповсюдження потоків вірусних об'єктів у просторі потребує моделювання часових параметрів руху потоків комплексних частинок під час розповсюдження до поверхні об'єкта різного походження, зокрема біологічного.

Література

- [1] X. Huang et al., "Self-assembled virus-like particles with magnetic cores", *Nano Letter*, 7, 8, pp. 2407–2416, 2007. DOI: 10.1021/nl0710831
- [2] І. Л. Дикий, І. Ю. Холупяк, Н. Ю. Шевельова, та ін. *Мікробіологія: Підр. для студ.* 2-е вид. Харків, Україна: Професіонал, 2006.
- [3] В. О. Голуб, С. М. Голуб, А. С. Машевська, і О. С. Соколова, *Класифікація вірусів людини і тварин: навч.-метод. рекомендації до вивч. курсу „Вірусологія” для студ. біол. фак-ту.* Луцьк, Україна: Вежа-Друк, 2015.
- [4] Jeol JEM-1400. [Електронний ресурс]. Доступно: http://biomed.spbu.ru/equipment/list/jeol_jem_14_00.php
- [5] Stefan Sirucek, Ancient "Giant Virus" Revived From Siberian Permafrost, *National Geographic* (3 марта 2014).
- [6] Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease, 2019 (COVID-19) 16-24 February 2020. Geneva: World Health Organization; 2020. <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-jointmission-on-covid-19-final-report.pdf>.
- [7] Detection of air and surface contamination by SARS-CoV-2 in hospital rooms of infected patients. *Nat Comm.*, 11(1), 2020.
- [8] E. Renzia and A. Clarke, "Life of a droplet: Buoyant vortex dynamics drives the fate of micro-particle expiratory ejecta", *Physics of Fluids*, 32, is. 12, 2020. Doi: 10.1063/5.0032591.
- [9] Volodymyr Skysyiouk, Tatiana Klotchko, and Nina Artyukhina, "Spatial-time phantom model of virus infection spreading", in *Proceeding of XIX International scientific and technical conference INSTRUMENT MAKING: state and prospect*, 13-14 May 2020, Kyiv, IMF of Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, pp. 101-103.
- [10] В. І. Скицюк, Т. Р. Ключко, "Фантомна модель розповсюдження вірусних об'єктів при пандемії. Частина 1", *Вісник КПІ. Серія Приладобудування*, Вип. 59(1), с. 109-117, 2020. DOI: 10.20535/1970.59(1).2020.210038.
- [11] В. І. Скицюк, Т. Р. Ключко, "Фантомна модель розповсюдження вірусних об'єктів при пандемії. Частина 2", *Вісник КПІ. Серія Приладобудування*, Вип. 60(2), с. 72-83, 2020. DOI: 10.20535/1970.60(2).2020.221461.
- [12] Glenn E. Lahodny Jr., Linda J. S. Allen, "Probability of a disease outbreak in stochastic multipatch epidemic models", *Bulletin of mathematical biology*, 75(7), pp. 1157-80, 2013 Jul. DOI: 10.1007/s11538-013-9848-z.
- [13] Brauer, Fred, and Carlos Castillo-Chavez, *Mathematical models in population biology and*

- epidemiology*, vol. 40. New York: Springer, 2012.
- [14] Г. С. Тимчик, В. І. Скицюк, Т. Р. Клочко, *Теоретичні засади технології ТОНТОР*. Київ, Україна: ВПЦ «Політехніка», 2006.
- [15] Д. А. Нешумаев, Е. Н. Сухарев, В. Л. Стасенко, “Математическое моделирование эпидемического и биологических процессов ВИЧ-инфекции”, *ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии*, Том 9, № 2, с. 58-67, 2017. DOI: 10.22328/2077-9828-2017-9-2-58-67
- [16] Г. С. Тимчик, В. І. Скицюк, Т. Р. Клочко, *Теорія біотехнічних об'єктів. Том 2. Динаміка польових взаємодій об'єктів*. Київ, Україна: ТОВ «Інтердрук», 2017.
- [17] Л. А. Булавін, Д. А. Гаврюшенко. *Молекулярна фізика: Підручник*. Київ, Україна: ЗНАННЯ, 2006.
- [18] В. І. Скицюк, Т. Р. Клочко, “Моделирование микродисперсной твердотельной зоны присутности технологического объекта различной кривизны поверхности”, *Вісник КПІ. Серія Приладобудування*, Вип. 56(2), с. 84-90, 2018. DOI: 10.20535/1970.56(2).2018.152456.
- [19] И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. *Справочник по математике*. Москва, СССР: Наука, 1967.
- [20] Catoni, F.; et al. *Mathematics of Minkowski Space. Frontiers in Mathematics*. Basel: Birkhäuser Verlag, 2008. DOI:10.1007/978-3-7643-8614-6. ISBN 978-3-7643-8613-9. ISSN 1660-8046.

УДК 621.9008:620.179

В. И. Скицюк, Т. Р. Клочко

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина

ФАНТОМНАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВИРУСНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПАНДЕМИИ. ЧАСТЬ 3

В статье определено, что характер взаимодействия вируса с объектами при распространении в любой среде является значительной проблемой. Поэтому учет особенностей такого комплексного фракционного состава потоков может позволить определить характер взаимодействия объекта, в том числе биологического, с комплексными частицами вирусных потоков при вхождении касания.

В авторских предыдущих работах рассмотрены особенности распространения вирусов в окружающем пространстве панданной зоны объекта при условии единой фракции частицы, то есть в приповерхностном слое объекта. Конечно, для более точного понимания характера взаимодействия вирусных потоков с объектами возможного заражения, необходимо анализировать процессы касания вириона к поверхности клетки биологического объекта. Исследованные закономерности возникновения сил движения в пространстве среды предоставили возможность определения геометрических параметров распространения вирусных образований именно вблизи поверхности объекта.

Основной целью данного исследования было продолжение создания модели взаимодействия комплексных потоков с различными фракциями, которые являются переносчиками вирусов как материальных частиц в окружающем пространстве, в части моделирования движения и касания поверхности объекта на уровне различных типов касания в зависимости от состояния их взаимодействия.

Рассмотрены типы механического движения вируса во время касания, а не стадий, как в биологических процессах. Проведено моделирование характера взаимодействия комплексных потоков вирусов с объектами биологического происхождения.

Для исследования особенностей взаимодействия вириона с поверхностью клетки биологического объекта необходимо рассматривать потоковый комплекс частиц различных фракций, то есть микроструктуры вирионов, которые сопровождают капельные суспензиевые потоки жидкостей организма, и посторонние пылевые частицы. Таким образом, мы можем выделить движение комплекса частиц, который вступает в касание с поверхностью объекта, а также возможность вырыва отдельных микрочастиц, вирионов, которые могут исходить из комплексного потока и распространяться отдельно от других.

В то же время, определены зависимости энергетического комплекса, которые образуют поток комплексных элементов-частиц различных фракций, что позволит учитывать дальность распространения потока и особенности кинематики движения.

В дальнейших исследованиях фантомная модель распространения потоков вирусных объектов в пространстве требует моделирования временных параметров движения потоков комплексных частиц при распространении к поверхности объекта различного происхождения, в том числе биологического.

Ключевые слова: касания; траектория движения; поток вирусов; распространения.

V. I. Skytsiouk, T. R. Klotchko

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

PHANTOM MODEL OF DISTRIBUTION OF VIRAL OBJECTS IN A PANDEMIC. PART 3

The article states that the nature of the virus's interaction with objects during its spread in any environment is a significant problem. Therefore, taking into account the peculiarities of such a complex fractional composition of flows can make it possible to determine the nature of the interaction of the object, in particular biological, with complex particles of viral flows when touching.

The author's previous works consider the peculiarities of the spread of viruses in the surrounding space of the pandemic zone of the object under the condition of a single fraction of the particle, ie in the near-surface layer. Of course, to better understand the nature of the interaction of viral flows with objects of possible infection, it is necessary to analyze the processes of virion's touching to the cell surface of a biological object. The studied regularities of the occurrence of motion forces in environment's space made it possible to determine the geometric parameters of the spread of viral formations near the object's surface.

The main purpose of this study was to continue to create a model of interaction of complex flows with different fractions that are carriers of viruses as material particles in the environment, in terms of modeling the motion and touching the surface of the object at different types of touch depending on their interaction.

The mechanical movement of the virus during contact, rather than stages, as in biological processes, is considered. The nature of the interaction of complex viruses's streams with objects of biological origin is modeled. To study the peculiarities of the interaction of the virion with the cell surface of a biological object, it is necessary to consider the flow complex of particles of different fractions, i.e. microstructures of virions that accompany drip suspension flows of body fluids and foreign dust particles. Thus, we can distinguish the motion of a complex of particles that comes into contact with object's surface, as well as the possibility of breaking out individual microparticles, virions, which can emerge from the complex flow and propagate separately from others. At the same time, the dependences of the energy complex, which forms the flow of complex elements-particles of different fractions, which can take into account the range of flow propagation and features of motion kinematics, are determined.

In further research, the phantom model of the propagation of fluxes of viral objects in space requires modeling the temporal parameters of the motion of fluxes of complex particles during the propagation to the object's surface of various origins, including biological object.

Key words: touch; trajectory of movement; flow of viruses; dissemination.

*Надійшла до редакції
12 лютого 2021 року*

*Рецензовано
15 березня 2021 року*