

№ 6**Чисельний експеримент з бджолами-розвідниками:
розробляємо найпростіший варіант**

Доброго вам здоров'я, друзі! – вас знову вітає дослідницька команда *«Біоні-ка та IT»*.

Ми продовжуємо ділитися своїми думками щодо реалізації запланованого чисельного експерименту стосовно фуражної поведінки бджіл-розвідників (див. *«Чисельний експеримент у Природничих науках, №1-5»*).

А почнемо нашу з вами комунікацію з нагадування, що принцип *«від простого до складного»* є дуже продуктивним на шляху дослідництва та пізнання, тому не боїмося використовувати корисні спрощення при математичному моделювання явищ та об'єктів, що досліджуються.

У наших минулих роздумах про те, як реалізувати чисельний експеримент про фуражну поведінку бджіл-розвідників у період інтенсивного медозбору, ми свідомо переступили через найважливіший етап харчової поведінки бджіл, а саме знаходження за запахом медоносних плантацій навколо вулика Колонії: запах цей є дуже привабливий для бджіл та генерується він квітами, які потребують запилення за допомогою комах.

Чому ми саме так зробили? – а через складність цих процесів у Природі! Звідси наше бажання спростити такі події, але не дуже втратити реалістичність. Ми вирішили не загрузнути в математичному описі процесів пошуку медоносних квітів і «захоплення цілі за запахом», а спростити цей опис (*читай*: математичне моделювання), просто викинувши з розгляду саме цей етап – «пошук потрібних квітів за запахом». ⇒ Ми почали розглядати фуражну поведінку саме з того моменту, коли бджола-розвідник вже знала, куди їй треба летіти за медозбором.

Пішли тепер далі... Що означає фраза «бджола-розвідник вже знала, куди їй треба летіти за медозбором»? Ця фраза означає, що бджола вже з'ясувала для се-

бе, що на досяжній відстані від Колонії є плантація з досить привабливим для бджіл набором харчових компонентів.

Тепер знову поговоримо про спрощення: нехай із 8 віртуальних плантацій є лише одна плантація, яку можна розглядати як генератор привабливого для бджіл запаху (*читай*: лише одна з 8 наявних поблизу плантацій є медоносними). Заради визначеності припустимо, що ця єдина медоносна плантація буде помічена як «плантація №1». Тобто, при математичному моделюванні експерименту ця плантація буде *проіндексована одиницею*: $i = 1$
 $\rightarrow Plantation_{\#1} \rightarrow Plantation(i = 1) \Rightarrow Plantation_1$. Додамо, що індексація об'єктів при моделюванні (наприклад, моделюванні природних явищ) потягне за собою потужне упорядкування думок та дій дослідника, тому що неминуче будуть проіндексовані (= упорядковані!) вхідні дані, змінні, рівняння, вихідні дані тощо.

Тепер детальніше про індексацію вхідних, вихідних та навіть «проміжних» даних: уявимо собі, що на плантацію з індексом $i = 1$ рушають $N_{i=1} = N_1$ бджіл (виглядає це так: $Vec_{n,i=1}$, де $n \in [1...N_1]$), ці бджоли летять «*туди-та-звідти*» з певними *партикулярними*¹ значеннями/величинами на кшталт швидкостями $V_{n,range,1}$ та впродовж різних проміжків часу $t_{n,range,1}$ (оскільки швидкості бджіл на всьому маршруті «туди-та-звідти» не є константами, помітка *range* потрібна для маркування певних етапів проходження шляхів від Вулика до певних пунктів обраної плантації – $Plantation_1$). Далі, для реалізації запланованого експерименту потрібно обчислювати та «поставити на облік» певні дистанції $s_{n,range,1}$, що будуть пройдені кожною комахою²: принаймні, найпростішим способом обчислити поточну дистанцію $s_{n,range,1}$ є такий: $s_{n,range,1} = V_{n,range,1} \cdot t_{n,range,1}$.

Тепер, після викладеного, будемо міркувати далі. Припустимо, що бджоли-розвідники цієї Колонії знають, де є поруч медоносні квіти ($\rightarrow Plantation_1!$) і відправляються до них на медозбір. Щоби успішно дістатися потрібної локації,

¹ *particular* ~ (англ.) особливий, винятковий, окремий.

² ...*КОЖНОЮ КОМАХОЮ* \rightarrow ми пам'ятаємо, що таких комах кожен день влітає на пошуки їжі n особин, і це є змінна кількість...

бджоли-розвідники напевне використовують низку своїх сенсорів. За генеральний напрямок подорожі та потрібну відстань (згадайте: «Дальнодія») «відповідає» незвичний для людини принцип орієнтування за азимутом Сонця та аналізу поляризованих променів. Але на багатосотметрових (~ 1...3 км) відстанях завжди треба відкоригувати свій рух. Корегування є цілком природною справою, і саме так воно є в реальності.

Так вже сталося, що бджола не має «пильного соколиного ока»: бджола вкрай короткозора, не кажучи вже про її примітивні фасеткові очі. Про поганий зір бджіл була наша замітка³, але про це докладно, з картинками, поговоримо пізніше, коли будемо розглядати та аналізувати бджолину тактику «близькодії».

Тепер уявіть: бджола летить, зір у неї поганий, дорога далека, а навколо безліч перешкод, до того ж раптових: дерева (і де вони в біса беруться?!), непролазні кущі, страшні хижакі, огидне повітря (як мінімум, дим)... – І що ж у таких випадках бджола робить?

Якщо на хвилинку заспокоїтися та згадати, що кожен із нас хоч трохи бачив бджіл у житті, то особиста пам'ять досить легко оживляє ті картини з нашого минулого, коли бджоли натикаються на різні дрібні перешкоди, вочевидь шукають вихід із якогось дрібного «глухого кута» і при цьому відверто зло дзижчать...

Цей довгий опис реальної бджолиної поведінки можна замінити більш коротким, «сухим», проте не менш інформативним описом подій: бджола в повітрі пересувається «ривками» довжиною $s_{n,range,1} = V_{n,range,1} \cdot t_{n,range,1}$, ці рухи є направленими «на ціль», із частими корегуваннями траєкторії. Пересування бджоли в повітрі, якщо вона виконує функцію фуражира, нагадує плавні («згладжені») зигзаги різної протяжності (див. Fig. 1).

До речі, про корекцію траєкторії бджіл: корегування польоту дуже часто трапляється за участю бджолиного «носа» – запахового сенсора бджоли. Якщо про принцип дії, то нервова система бджоли відпрацьовує типову тактику виявлення максимальної концентрації запахових молекул, тобто бджола на кожному етапі

³ див. попередній випуск: «Чисельний експеримент у Природничих науках, №5».

свого пересування до «пахучих» квітів рухається ривками довжиною $s_{n,range,1} = V_{n,range,1} \cdot t_{n,range,1}$ з обов’язковим корегуванням своїх дій та з урахуванням майже неперервної поточної інформації від її сенсорів про зміни концентрації певних запахів навколо.

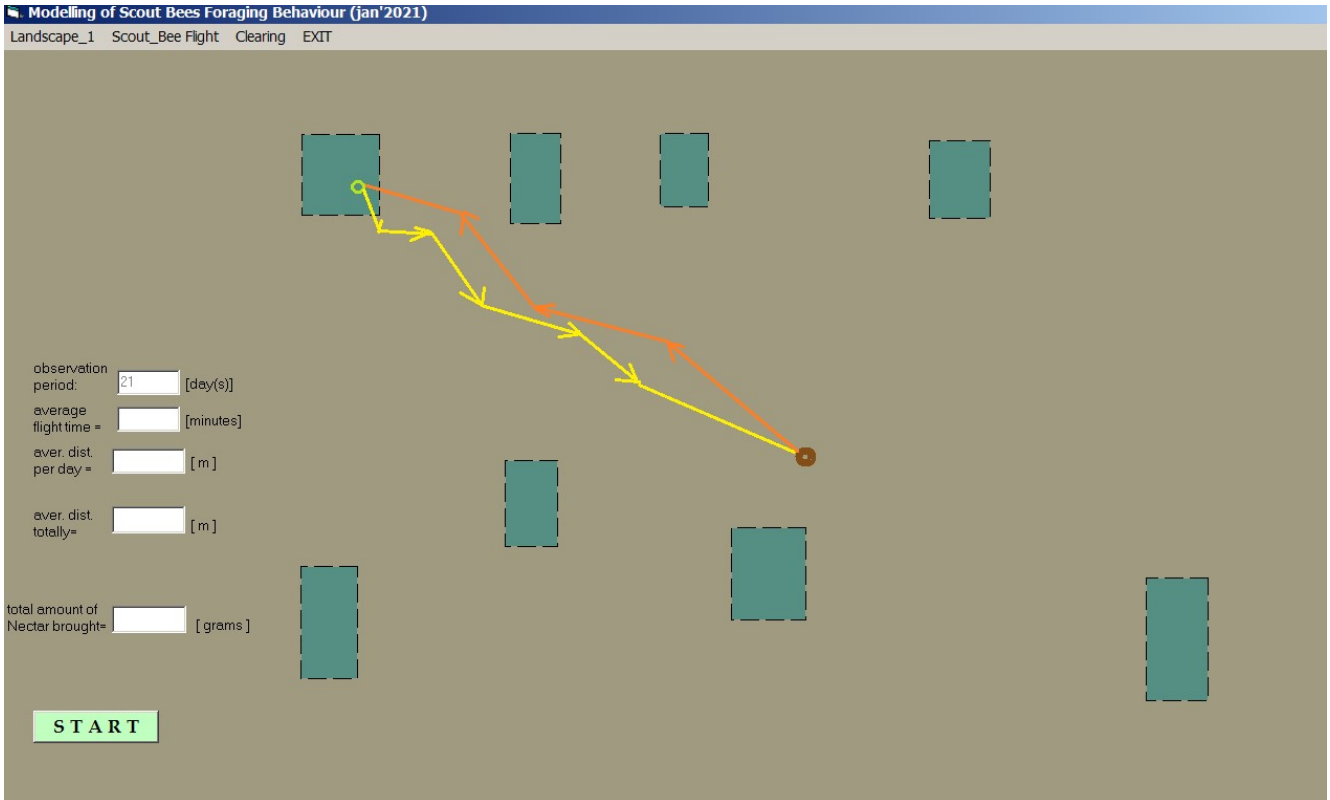


Fig. 1: Схема рухів бджоли-фуражера у повітрі під час її подорожі від вулика Колонії до медоносної плантації та назад (ілюстрація не є результатом чисельного експерименту)

Вище ми зібрали до купи загальні знання про характер бджолиних рухів у повітрі, коли бджола здалеку підлітає до цілі – скупчення пахучих квітів.

Тепер поговоримо про кінематичні «властивості» бджоли як рухомого об’єкту. По-перше, про що говорить кінематика? – про відстані, швидкості, \pm прискорення та час. Якщо не ламати голову над бджолиними прискореннями, то нас буде цікавити формула $s_{n,range,1} = V_{n,range,1} \cdot t_{n,range,1}$, а якщо убрати індекси (нагадаємо, індекси потрібні для упорядкування величин та програмування), то виходить дуже знайома та зовсім нестрашна формула: $s = V \cdot t$.

Задля реалістичного моделювання та адекватних розрахунків досліднику потрібно буде деталізувати ці величини, наприклад, для такого параметру, як швидкість бджоли⁴ у польоті. Так, польотна швидкість бджоли не є сталою величиною, звісно, вона є змінною, бо завжди існує розгін та гальмування. Це є природним фактом. Але у природних величин є свої «законні» індикаторні значення. Серед них, наприклад, є такі величини: мінімальна (*min*), максимальна (*max*), середня (*average/aver.*), «найбільш часто вживана» = мода⁵ (*mode*), ... А цю «останню» швидкість будемо називати «*крейсерською швидкістю*» бджоли: V_{cruise} .

Застосуємо цей розподіл величин до наших рухомих об'єктів, тобто бджіл. До речі, ми не будемо конкретизувати якійсь певний біологічний вид бджіл: просто скажемо «загальна бджола», але бджолині кінематичні дані (швидкості, timing) будуть реалістичними.

Для визначеності та для подальших розрахунків приймаємо як базові наступні величини бджолиних швидкостей (M/c):

величина	значення	одиниця виміру
мінімальна швидкість V_{min}	1,883	M/c
максимальна швидкість V_{max}	3,333	M/c
середня швидкість V_{aver}	2,608	M/c
крейсерська швидкість V_{cruise}	2,825	M/c

Теж саме зробимо і для відліків проміжків часу Δt , вимірювати час будемо у секундах:

величина	значення	одиниця виміру
мінімальний проміжок Δt_{min}	8,0	с
максимальний проміжок Δt_{max}	640,0	с
середній проміжок Δt_{aver}	324,0	с
найбільш вірогідний проміжок Δt_{mode}	155,0	с

⁴ ми пам'ятаємо, що різні види бджіл мають помітні відмінності у таких своїх базових параметрах як габарити, маса, швидкості та багато інших. Отже для «якісного» дослідництва та «зрозумілих» експериментів рекомендовано обрати якійсь конкретний вид комах і оперувати відповідними параметрами саме для них.

⁵ мода = найчастіше значення певної ознаки або якості.

Для обраних величин то є доволі-таки реалістичні дані. Спробуйте перевірити самі: підрахуємо мінімальні, середні та максимальні разові повітряні переміщення (або польотні відстані) бджіл:

мінімально	$s_{\min} = V_{\min} \times \Delta t_{\min}$	$\approx 15 \text{ м}$
середньо	$s_{\text{aver}} = V_{\text{aver}} \times \Delta t_{\text{aver}}$	$\approx 845 \text{ м}$
максимально	$s_{\max} = V_{\max} \times \Delta t_{\max}$	$\approx 2133 \text{ м}$

А от що з ними робити далі, – поговоримо наступним разом.

Зазначимо тільки, що наступна наша зустріч буде більш насиченою математикою.

(далі буде...)