

**№ 5    Працюємо над віртуальним ЛАНДШАФТОМ №2**

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

Нагадуємо (див. «*Чисельний експеримент у Природничих науках, №4*»), що в рамках реалізації запланованого чисельного експерименту першим значним кроком буде *побудова віртуального ландшафту*, в межах якого ми реалізуємо наш чисельний експеримент стосовно фуражної поведінки бджіл-розвідників. – Так, невеликий крок в бік виконання задуму, але цей крок теж буде складний...

Щоб повноцінно рушити далі, вважаємо за потрібне освіжити в пам'яті декілька базових положень, з яких ми почали своє моделювання. Ці положення відображають низку спрощень, що були прийняті при математичному описуванні означених подій:

- Віртуальний ландшафт, що будується, має 2D-структуру: ми не розглядаємо зміни «вертикальних» координат, тобто оперуємо тільки  $X, Y$ -координатами.
- Цей ландшафт сам по собі та більшість його складових (наприклад, квіткові плантації) розглядаються як прямокутники.
- Цей віртуальний простір має певні розміри – приблизно  $2.6 \times 1.8$  км<sup>2</sup> («мисливські угіддя» таких розмірів є цілком звичайними для бджолої сім'ї чисельністю десь 20-30 тис. «одиниць»).
- «Квіткові плантації», що містяться у віртуальному ландшафті, не мають фіксованого розташування в межах пейзажу (назвемо це «нефіксована локація») та не мають фіксованих  $X, Y$ -розмірів таких плантацій. – Це речення означає, що принципово можна генерувати різні ландшафти, навіть якщо вони будуть побудовані за однією схемою.
- Щодо найближчого майбутнього, то також повідомимо, що кожного разу генерація віртуальних ландшафтів продукує не тільки різні за своєю локацією та площею квіткові галявини, що оточують Колонію, але такі віртуальні галявини

відрізняються ще й ботанічним різноманіттям квітів-медоносів та матимуть нефіксовану щільність рослин плюс нефіксовану «харчову спроможність».

Тепер перейдемо «від географії до геометрії», якщо так можна заявити... Мабуть зараз настає той самий момент, коли віртуальний географічний простір можна планувати як геометричну задачу. З чого почнемо? – Звісно, з чогось базового, наприклад, з *системи координат*: це буде 2D-декартова система координат. Ми її обрали ще на стадії математичного моделювання. А під час програмування ми задіємо екранну систему координат.

До обраної системи координат треба додати відповідну *точку відліку* ( $X_0; Y_0$ ) (*the reference point*) та обрати більш-менш вдалиий масштаб.

Нижче наведено наш робочий варіант загальної схеми віртуального ландшафту: цей ландшафт розбитий на 8 рівних частин (на ілюстрації Fig.1 це ділянки прямокутної форми *червоного кольору*), частини розташовані у два ряди та *прондексовані*. Квіткові плантації (рамки *зеленого кольору*) формуються відповідним програмним модулем: і локація, і  $X, Y$ -розміри віртуальних квіткових плантацій в межах відповідної ділянки визначаються генераторами випадкових чисел (*ГВЧ*).

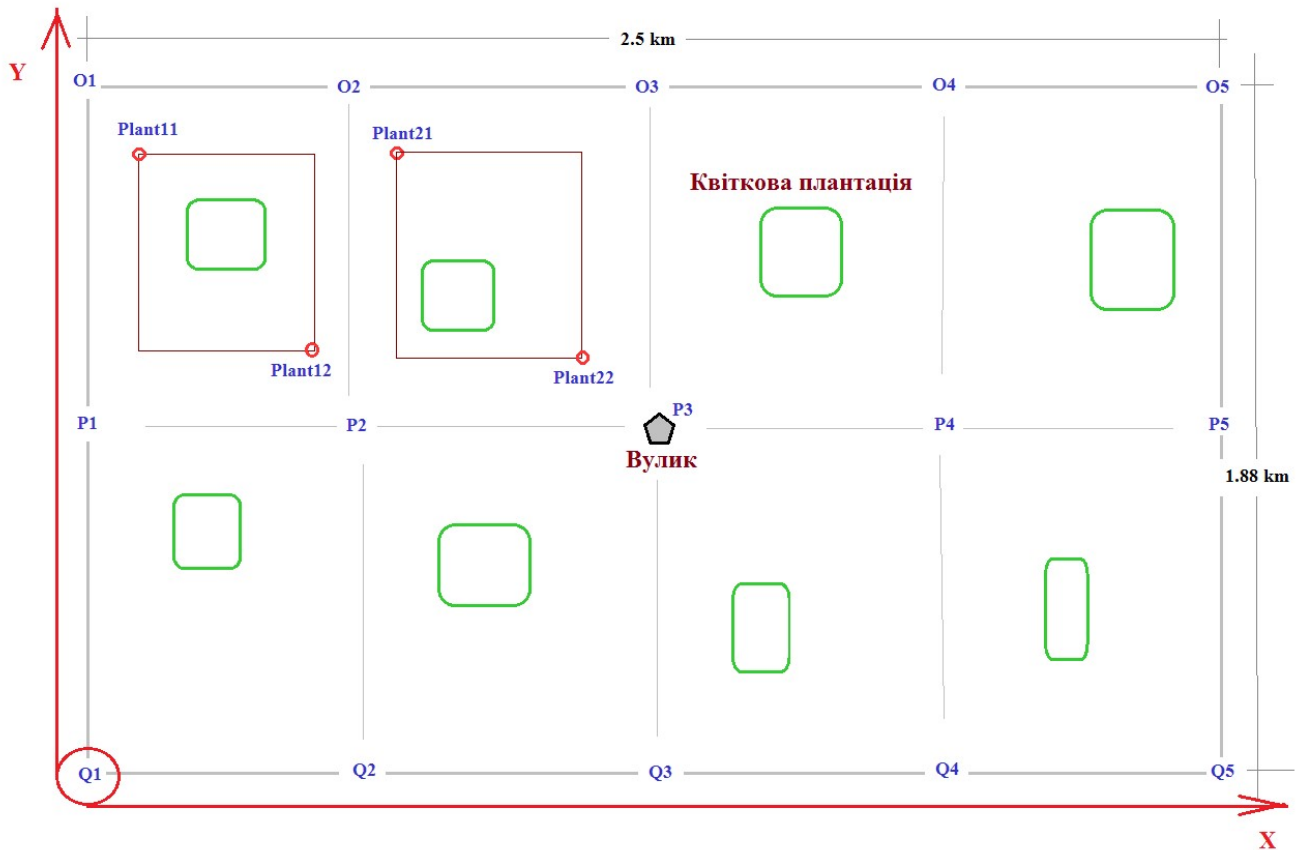
Щодо генерації випадкових чисел у даному випадку: а) ми використовуємо стандартний ГВЧ, що має поточне середовище програмування; б) за допомогою ГВЧ комп'ютер генерує певну послідовність випадкових значень  $X_i$  в певних фіксованих межах від мінімального значення  $X_{\min}$  до максимального  $X_{\max}$ :

$X_i = Rnd() \Big|_{X_{\min}}^{X_{\max}}$ . Звісно, тут  $i$  – це *індекс* для цієї послідовності чисел.

Отже, програмний модуль створює на дисплеї ПК цифровий (або віртуальний) ландшафт, де зображено локацію бджолоїної Колонії. За замовчуванням це бджолиний вулик, або «будиночок» Колонії, який зображений у центрі ландшафту кружечком – див. Fig 2. На плані майбутньої місцевості локація Сім'ї позначена пентагоном<sup>1</sup> (див. Fig. 1) та 8 ділянок «мисливських угідь» даної Колонії – це

<sup>1</sup> *pentagon* ~ (англ.) буквально: п'ятикутник

плантації з медоносними рослинами. Бджолина колонія, що розглядається при поточному дослідженні, то є бджолина сім'я стандартної структури (бджола-цариця, трутні, робочі бджоли, бджоли-няньки, бджоли-розвідники, ...), що складається із заданої кількості комах (запам'ятаємо, що це змінюваний параметр, і за замовчуванням чисельність Колонії налічує 20 тис. бджіл).

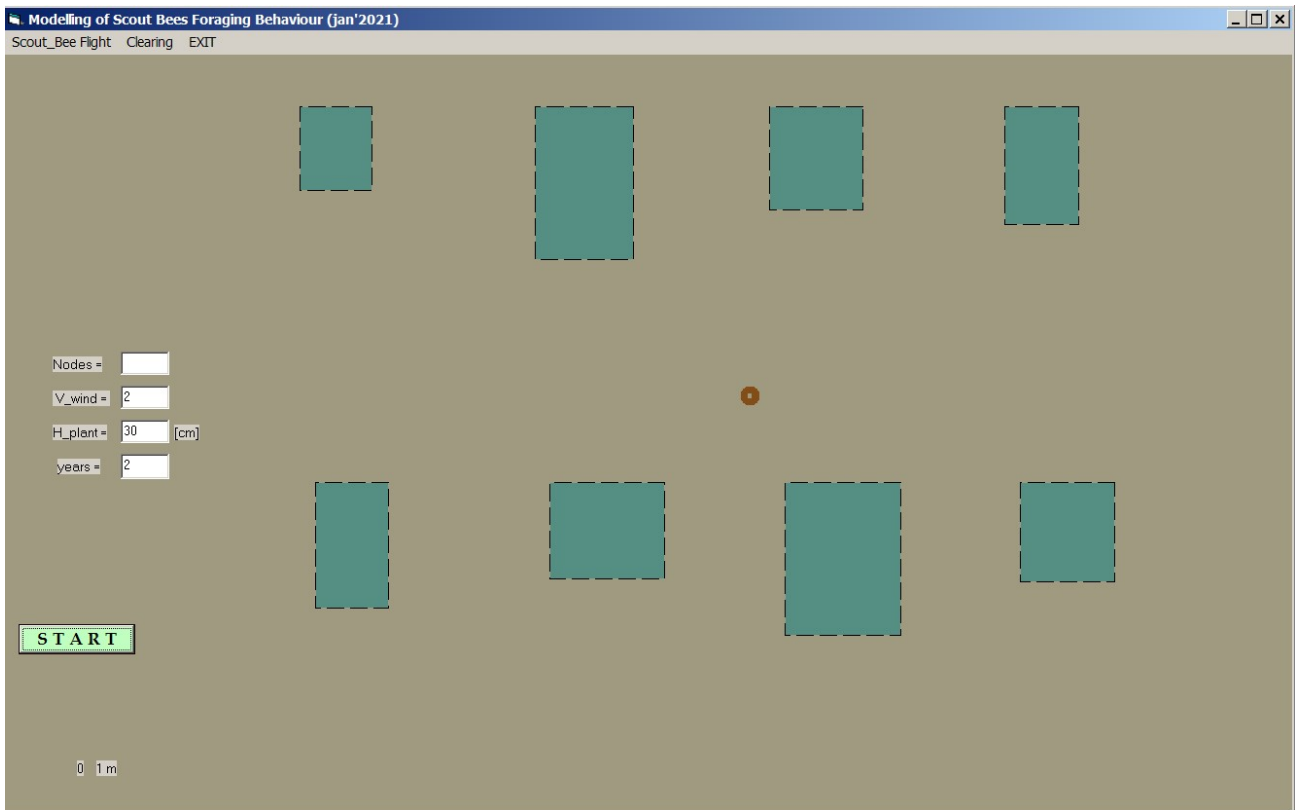


**Fig. 1** : Загальна схема «мисливських угідь» Колонії бджіл

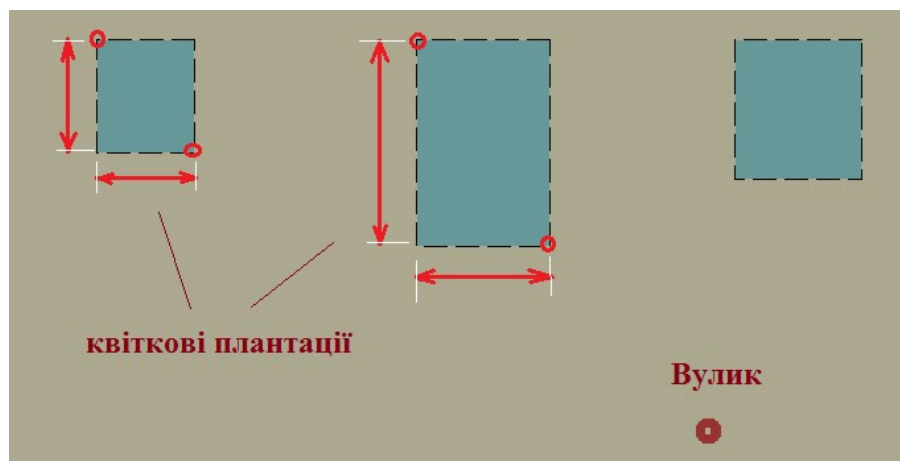
Кожен запуск програми на виконання генерує новий «ландшафт»: змінюється локація та розміри всіх плантацій з медоносними квітами, залишаючи при цьому незмінним положення «головного будиночка» Колонії (Fig. 2).

Обов'язково треба відзначити той факт, що всі геометричні параметри згенерованого ландшафту (точніше, об'єктів або елементів цифрового пейзажу) зберігаються у певних комітках пам'яті – змінних, масивах тощо. О яких геометричних параметрах об'єктів йде мова? – це  $X, Y$ -координати згенерованих об'єктів та точні розміри цих об'єктів: ці значення/величини потрібні для програмного фор-

мування наступних подій серед означених віртуальних об'єктів з плином часу (див. Fig. 3).



**Fig. 2 :** Згенерований віртуальний ландшафт для проведення запланованого чисельного експерименту: з 8 медоносних ділянок – 4 «ближніх» та 4 «дальніх» (умовно)



**Fig. 3:** ілюстрація про змінну локацію та змінні  $X, Y$ -розміри (параметри) квіткових плантацій, що генеруються разом із віртуальним ландшафтом Тепер, коли на дисплеї можна побачити віртуальне «природне» середовище, можна перейти до планування та реалізації *найпростішого варіанту* чисельного експерименту щодо харчової поведінки бджіл-скаутів (= бджіл-розвідників) даної



Колонії. Так, найпростішого, проте максимально реалістичного при всій заявленій простоті.

Що мається на увазі при такому формулюванні? – а повернемося на хвилинку до тієї «дорожньої карти», що була презентована раніше у наших роздумах про чисельний експеримент: відійдемо від «Програмування» та підемо назад до пункту «Природне явище»...



Питання щодо явища: Як саме бджоли-розвідники знаходять джерела їжі для своєї Колонії? Або формулюємо інакше: як вони «знають», що їжа є «десь рядом»? За допомогою яких сенсорів/датчиків? – Відповідь: Якщо «здалеку», то орієнтуються на запах (запахові сенсори), а якщо бджоли підібрались близько до квітів, то вмикають зір (зорові, або оптичні сенсори). ← до речі, бджоли дуже погано бачать! але про це – пізніше.

Квіткову плантацію можна вважати потужним джерелом «запаху» (мається на увазі пилок та інші «ботанічні» сполуки; назвемо це «запахові молекули»). Ці молекули насичують повітря навколо квіткових плантацій (пам’ятаєте таке слово – *дифузія*?). Такі «хмари» запахових молекул є *маркерами* медоносних плантацій. Дифузія молекул може бути «пожвавлена» вітром.

Саме такі потоки запахових молекул є ключовою інформацією для певної реакції бджіл («запахові молекули» можна розглядати як *вхідні дані* для подальшої обробки комахами, в результаті спостерігаємо *реакцію* комах на таке втручання у їх нервову систему). Тобто, якщо блукаюча в пошуках «маркерів їжі» бджола-розвідник раптово проходить «запахову зону», вона відчуває вплив «молекул їжі» на свою нервову систему і швидко змінює свою поведінку, і це сприймається як реакція нервової системи комахи на певний вплив ззовні.



Математично описати дифузійну складову «запахової хмари» (а вона – хмара – є тривимірною!) дуже складно. Але добре відомо, що бджола знаходить квіткову плантацію за її запахом, запам'ятовує її розташування, і прямує туди знов...

Якщо дослідник на цьому етапі піде шляхом спрощення, то цілком розумним буде спроба «обійти» складне питання на кшталт «Як бджола керується своїми запаховими сенсорами під час пошуку квіткових плантацій?», а сходу почати з того, що бджола «знає, де є споживні квіти і як туди летіти». Тобто ми заради спрощення свідомо оминаємо *дуже складні* питання, бо замість залишаються тільки *складні*... От бачите: хоч трохи, але приємніше!

Отже, що ми маємо проаналізувати після такого важливого припущення: у своїх дослідженнях ми стартуємо з того, що бджола-розвідник *знає*, що навколо вулика є декілька *привабливих* квіткових плантацій, і вона знає їх локацію.

Математично локацію гарних та пахучих плантацій з квітами визначити не важко, бо це робить сама програма, коли «вигадує» віртуальний ландшафт і «малює» його на дисплеї. Про розташування споживних квітів «знає» не тільки програма: про це знає віртуальна бджола і знаємо навіть ми, коли уважно розглядаємо дисплей з відтвореним ландшафтом.

Цікавішим буде наступне: а як математично виразити саме *привабливість* квіткових плантацій? Для процесу моделювання то є не зайве питання, а одне з ключових. Квіти мають свою фізіологію: є дуже молоді рослини, зрілі та вмираючі... Це природній процес. Певна концентрація зрілих «споживних» квітів дуже впливає на поведінку бджіл – не всі квіти, і не кожен день приваблюють бджіл. Тут має значення навіть час доби! А квіти з «точки зору родючості» бувають «ранні», «середні» та «пізні»... Отак!

Але вище носа, бо можна знайти вдале вирішення! – Є таке математичне поняття як *вірогідність*<sup>2</sup>: то є певне число від нуля до одиниці, і таке число цілком здатне математично «розповісти» про *привабливість квіткових плантацій*. Так, це не тривіально, але зрозуміти «як працює вірогідність» можна.

<sup>2</sup> Вірогідність звичайно позначається літерою *p*, бо то є скорочення від слова *probability*.



От саме цим і займемось у наступній частині нашої розповіді про задуманий чисельний експеримент з бджолами.

---

*(далі буде...)*

