УДК 613.16:614.71:632.934.1:510.6

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПЕСТИЦИДІВ У ПОВІТРІ ПОЛЯ І ЗА ЙОГО МЕЖАМИ ПРИ НАЗЕМНОМУ ШТАНГОВОМУ ОБПРИСКУВАННІ СІЛЬГОСПКУЛЬТУР (ЧАСТИНА 1)

В.А.Закордонець, д.мед.н., А.І.Юрченко, О.М.Багацька, к.с-г.н. Т.В.Юрченко, к.с-г.н.
Інститут екогігієни і токсикології ім.Л.І.Медведя

РЕЗЮМЕ. *У статті подано послідовність використання математичних моделей для визначення концентрацій пестицидів в повітрі агроценозів при наземному штанговому обприскуванні.*
Ключові слова: наземне штангове обприскування, пестициди, аерозолі, повітря, концентрації, математичні моделі.

РЕЗЮМЕ: *В статье представлена последовательность использования математических моделей для определения концентраций пестицидов в воздухе агроценозов при наземном штанговом опрыскивании.*
Ключевые слова: наземное штанговое опрыскивание, пестициды, аэрозоли, воздух, концентрации, математические модели.

SUMMARY: *The sequence of mathematical models used for determination of pesticides concentration in the air of agrocenosis during ground bar spraying is discussed in the article.*
Key words: ground bar spraying, pesticides, air, concentration, aerosol, mathematical models.

.

Розрахункове визначення концентрації пестицидів у повітрі відноситься до групи альтернативних методів дослідження в біології та медицині [1]. Атмосферне повітря є одним із шляхів міграційної системи кругообігу речовин у природі, в тому числі й пестицидів, а також основним транспортним середовищем, що переносить пестициди від засобів і місць застосування до організму людини під час хімічного захисту сільськогосподарських культур.

Атмосферне повітря є елементом біоценозів, які, як правило, є відкриті природні системи. Як більшість відкритих природних систем агроценози характеризуються різноманітністю складових елементів та їх надзвичайною лабільністю. Мікроклімат агроценозу значною мірою залежить від рельєфу поля, характеристики грунту, погодних умов, а також від сільськогосподарської культури та фази її розвитку. Наведені складові формування мікроклімату суттєво впливають на поведінку пестициду в тому чи іншому агроценозі.

Приземний шар атмосферного повітря є найбільш мінливим елементом агроценозів і їх мікроклімату. При проходженні повітряних потоків над територією поля відбувається зміна фізичних характеристик повітря (температури, вологості, швидкості і напрямку вітру, інтенсивності турбулентного обміну та інше). Так, при середній швидкості вітру 6 м/с у приземному шарі повітря може відбуватись близько 800 змін напрямку вітру за годину [2].

Наведені особливості повітряного середовища агроценозу створюють значні труднощі при вивченні вмісту пестицидів у повітрі поля та в різних точках за його межами. При оптимальній кількості приладів для відбору проб повітря значно зростають матеріальні витрати на одну пробу, а при їх мінімальній кількості знижується достовірність отриманих результатів.

У наведених ситуаціях доцільно користуватись математичними моделями визначення концентрації пестицидів у повітрі. Попередні розрахунки дають можливість найбільш адекватно розмістити прилади для відбору проб повітря. Крім того, математичні моделі можуть бути корисними для самоконтролю проведення польових досліджень, для обґрунтування ступеня ризику застосування пестицидів для здоров'я населення (в тому числі і для працюючих на полях), при розслідуванні випадків групових отруєнь сільгоспробітників, при оптимізації необхідних обсягів досліджень у польових випробуваннях нових пестицидних препаратів.

Поведінка пестициду в агроценозі значною мірою залежить від технології його застосування. Цей факт враховується при розробці алгоритму визначення концентрації хімікату в повітрі.

Мета даної роботи — розробити алгоритм розрахунку концентрації пестициду в повітрі поля та за його межами в фіксованих точках санітарно-захисної зони при наземному штанговому обприскуванні.

Для спрощення розрахунків прийняті наступні допуски:
- густина водних робочих розчинів близьких до 2 % ± 0,5% прийнята нами за 1;
- параметр миттєвості (миттєва швидкість, площа покриття, витрати робочого розчину, та інше) визначаються при t=1 секунда;
- щоб виключити бокове розмиття токсичної хмари аерозолю (парів) пестициду за координатою "у" умовний об'єм повітря розміщений нами в середній точці робочого гону обприскувача;
- розрахунки проводяться для поодинокої хвилі токсичної хмари.

Алгоритм розрахунку починається з блоку загальної інформації щодо хімічного захисту сільськогосподарських культур.

Масив загальної інформації включає наступні основні складові:

адресу господарства, дані стосовно сільськогосподарської культури, площу та її конфігурацію, характеристику ґрунту, шкодочинний фактор (шкідник, хвороба, бур'яни), характеристику препаративної форми пестициду, норми витрати пестициду, характеристику технічного засобу застосування, технологію застосування, погодні умови.

Для кращого сприйняття наведемо умовний приклад:

- сільськогосподарська культура: озима пшениця, фаза розвитку — вихід у трубку, висота 0,8 м;
- шкодочинний фактор: попелиця;
- площа обприскування: 27 га, конфігурація 600·450 м;
- препарат: фуфанон, 57% к.е. (діюча речовина малатіон — 570 г/л), норма витрати 1,2 л/га, робочого розчину 50 л/га. Концентрація діючої речовини в одиниці робочого розчину С р.р.= 13,68 мг/см^3. Обприскувач: ОП-2000-2-01, штанга 18 м, розміщення над рівнем землі — 1,2 м, крок встановлення розпилювачів РЩ-110-1,0 — 1 м, кількість -17 штук.
- витрати робочого розчину через один розпилювач 0,87 л/хв або 14,5 см^3/с. Погодні умови о 6 годині ранку (початок обприскування): температура повітря на рівні рослинного покриву (0,8 м) — 14,2 ˚С і на висоті 2 м від землі — 13,6 ˚С; швидкість вітру на висоті 2 м — 1,5 м/с, в рослинному покрові — 0,2 м/с відносна вологість повітря — 60 %; атмосферний тиск 750 мм рт.ст.

У наведеному прикладі відсутня інформація щодо цілого ряду характеристик: швидкості агрегата, витрати часу на обприскування, дисперсної характеристики розпилювачів та інше. Як відомо, повнота інформації значно впливає на обсяг обчислювальних операцій.

Визначення концентрації пестициду в повітрі доцільно починати з визначення миттєвого імпульсу концентрації в початковому умовному об'ємі повітря. Цей імпульс концентрації тісно пов'язаний з миттєвою витратою робочого розчину пестициду і свідчить про максимально можливі рівні концентрації хімікату за даної технології обприскування. За наявної інформації алгоритм визначення початкового імпульсу концентрації може мати наступний порядок (табл. 1).

Дані, наведені в табл. 1, свідчать, що для розрахунку початкового імпульсу концентрації пестициду в повітрі необхідно знати миттєву витрату робочого розчину, концентрацію діючої речовини в робочому розчині, площу миттєвого покриття робочим розчином та початковий умовний об'єм повітря. Щодо тези про вплив повноти інформації стосовно обприскування на обсяги обчислювальних операцій при визначенні концентрації пестициду в повітрі, то у нашому випадку при наявності попередніх даних відносно робочої швидкості обприскувача можна було б уникнути розрахункових операцій пп. 3, 4 і 6, замінивши їх на операції за формулами:

$$\upsilon_{покр}=\upsilon_{опр}\cdot L_m; \quad (5)$$

$$\text{та } S_{мит} = \upsilon_{покр}\cdot t \quad (6)$$

Для визначення концентрації пестициду у повітрі фіксованих точок санітарно-захисної зони необхідно мати інформацію стосовно вертикальної швидкості атмосферного повітря під час обприскування сільськогосподарської культури. При малих вертикальних температурних градієнтах можна користуватись залежністю висхідної швидкості підйому повітря від швидкості вітру.

Відомо, що вона дорівнює приблизно 10-15 % від горизонтальної швидкості повітря [3]. Наближені значення висхідної швидкості повітря в межах швидкості вітру, дозволеної для обприскування пестицидами, подані в табл. 2.

Таблиця 1

Алгоритм визначення імпульсу концентрації пестициду в початковому, миттєвому умовному об'ємі повітря

№	Назва	формула	розмірність	обчислення
1	Швидкість витрати РР, υр - швидкість витрати РР з одного розпилювача, (см^3/с), n — кількість розпилювачів, (шт)	$\upsilon_{рр}=\upsilon_{р*n}$	см^3/с	$\upsilon_{рр}$=14,5*17=246,5
2	Миттєва витрата робочого розчину (об'єм РР, що витрачається за секунду)	Vмит=$\upsilon_{рр}$*t , t=1 с	см^3	Vt=1=246,5*1=246,5
3	Час витрати гектарної норми РР, Nрр - норма витрати РР, см^3/га	Tга=S*Nрр/υрр, S=1 га	с	Tга=1*50000/246,5=202,84
4	Швидкість покриття площі РР	$\upsilon_{покр}$=S/Tга, S = 10000 м^2	м2/с	$\upsilon_{покр}$=10000/202,84=49,3
5	Площа миттєвого покриття (площа покриття за 1с)	Sмит=$\upsilon_{покр}$*t, t=1 с	м^2	St=1=49,3*1=49,3
6	Оптимальна робота швидкість обприскувача, Lш - довжина штанги обприскувача, м	$\upsilon_{опр}=\upsilon_{покр}$/Lш	м/с	υопр=49,3/18=2,74
7	Початковий миттєвий умовний об'єм повітря (об'єм, що утворюється в першу секунду розпилювання), Нш — висота штанги над поверхнею землі, м	Ωмит=Sмит*Нш	м^3	Ωмит=49.3*1,2=59,16
8	Імпульс концентрації пестициду в початковому миттєвому об'ємі повітря, Срр — концентрація пестициду в РР, мг/см^3	C_0=Vмит*Срр/Ωмит	мг/м^3	C_0=246,5*13,68/59,16=57

Висхідні потоки повітря, обумовлені вертикальним градієнтом температури, суттєво впливають на рух практично всього робочого діапазону діаметрів крапель. Визначення швидкості конвективних течій проводиться за формулою [4].

$$V_z(z) = \pm\left(\frac{q}{T_0} * \left(\left|\frac{dT}{dz}\right|_{пов} - \left|\frac{dT}{dz}\right|_{АД}\right)\right)^{0,5} * z$$

υ_z — вертикальна швидкість руху повітря, м/с;

g — прискорення вільного падіння, g =9,8 м/см^2;

To (°C) — температура повітря на поверхні землі;

T (°C) температура повітря на висоті z=2 м;

$\left|\frac{dT}{dz}\right|_{пов}$ — реальний температурний градієнт повітря біля поверхні землі, К/м ;

$\left|\frac{dT}{dz}\right|_{АД}$ - адіабатичний температурний градієнт для атмосферного повітря, що дорівнює ≈ -10 $^{-2}$ К/м.

Дана формула свідчить, що, по-перше, конвективний вертикальний рух повітря можливий тільки за умов, коли модуль вертикального температурного градієнта перевищує його адіабатичне значення. По-друге, може спостерігатись як підняття конвективних потоків догори (їм відповідає знак "+"), так і опускання їх униз (знак "-").

У нашому випадку о шостій годині ранку конвективний потік дорівнює:

$$V_z(z) = \pm\left(\frac{9,8}{287,2} * (|0,3| - |0,01|)\right)^{0,5} * 2 = 0,2 \text{ м/с}$$

Після визначення швидкості висхідного потоку повітря розраховується показник миттєвого приросту умовного об'єму повітря за формулою:

$\Omega\Delta_{t=1c} = S_{t=1c} \cdot \upsilon_2 \cdot 1c$ ($\upsilon_{покр} \cdot 1c$) · ($\upsilon_2 \cdot 1c$) (8)

$\Omega\Delta_{t=1c}$ = 49,3 м^2 · 0,2 м = 9,86 м^3

Поведінка токсичної хмари пестициду значною мірою залежить від алгоритму обприскування у часі, а рівні концентрації від кількості неосідаючих фракцій аерозолю.

Алгоритм часу обприскування складається з часу необхідного для обробки одного гону, часу, що витрачається на розворот агрегату та кількості гонів.

Таблиця 2

Висхідна швидкість повітря в залежності від швидкості вітру

Швидкість вітру, м/с	Висхідна швидкість повітря, см/с	Швидкість вітру, м/с	Висхідна швидкість повітря, см/с
0,5	5-7,5	3,0	30-45
1,0	10-15	3,5	35-52,5
1,5	15-22,5	4,0	40-60,0
2,0	20-30	4,5	45-67,58
2,5	25-37,5	5,0	50-75

Таблиця 3

Швидкість гравітаційного осідання водяних крапель у повітрі при t=20 ºС в залежності від діаметра крапель [4]

Діаметр, мкм	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
V грав. см/с	0.3	1.2	2.7	4.8	7.5	10.8	14.7	19.2	24.3	30.0

Таблиця 4

Швидкість вертикальних потоків повітря в залежності від часу доби [4]

Місцевий час	00	03	06	09	12	15	18	21
Vz, м/с Z=2 м	Конвекція відсутня		0.2	0.76	1.06	0.93	0.65	конв-я відсутня

Витрата часу на проходження одного гону розраховується за формулою:

$$t_{гон} = l : \upsilon_{опр}, \quad (9)$$

де l — довжина гону, м;

У нашому випадку: t гон = 600 м: 2,74 м/с = 219 с

Час необхідний для розвороту агрегате в середньому дорівнює 15 секундам. Час для обприскування поля визначається за формулою:

t поля = (t гон · n) + (t розв · n'), (10)

де n — кількість гонів;

n' — кількість розворотів.

Для обприскування поля площею 27 га (600 м Х 450 м) необхідно:

t поля = (219 · 25) + (15 · 24) = 1,62 години

Концентрації пестициду в повітрі поля, що обробляється, і за його межами залежить від дисперсної характеристики апаратури для розпилення, особливо від кількості неосідаючих фракцій аерозолю.

Проведене порівняння гравітаційної швидкості осідання крапель із швидкістю обумовленого турбулентним розширенням повітряного потоку свідчить про те, що фракція крапель 0-80 мкм у нашому прикладі відноситься до неосідаючих [4].

Як видно з дисперсної характеристики, наведеної в табл. 5, об'єм неосідаючих крапель V t=1 н.о. в миттєвій витраті робочого розчину дорівнює 7,29 см^3.

Примітка: дефіцит 1 % в стовбці 4 нами заповнено за рахунок фракції 0-80

Вміст діючої речовини в об'ємі неосідаючої фракції розраховується за формулою:

$$M_{0-80} = (V_{t=1\ н.о.} \cdot C\ рр.) \quad (11)$$

M_{0-80} = (7,29 см^3/с · 13,68 мг/ см^3) · 1 с= = 99.727 мг

Результати визначення концентрації пестициду в поодинокій хвилі токсичної хмари на різній відстані від межі поля, що обприскується наземною штанговою апаратурою, подано в табл. 6.

У більшості випадків концентрація пестициду в повітрі формується за рахунок неосідаючого аерозолю та парів. У даному прикладі прийнято, що робочий розчин ма-

Таблиця 5

Дисперсна характеристика розпилювача РЩ 100-1,0 [5]

Діаметр крапель, мкм		Число крапель на 1 см^2 (%), N	Об'єм робочої рідини в кожній фракції крапель миттєвої витрати	
фракції	середній		N di ^{3} (%)	см^3
1	2	3	4	5
0-80	40	44,17	1,96	7,29
80-160	120	35,27	14,06	34,66
160-240	200	13,49	25,14	61,79
240-320	280	4,96	26,03	64,16
320-400	360	1,38	15,49	38,18
400-480	440	0,51	10,44	25,18
480-560	520	0,18	4,70	11,58
560-640	600	0,014	0,81	1,99
> 640	> 600	0,005	0,38	0,94
всього		99,98	99,01	246,5

Таблиця 6

Розрахункові концентрації малатіону в повітрі поля та фіксованих точках санітарно-захисної зони

Показники	Числові параметри					
Фіксовані точки, м	Межа поля	25	50	100	150	300
Умовний об'єм повітря, м^3	69,02	226,82	387,49	716,82	1045,16	2031,16
Час після миттєвої витрати робочого розчину, с	1	16,7	33,3	66,7	100,0	200,0
Концентрація малатіону мг/м^3	1,445	0,445	0,257	0,139	0,095	0,049

латіону готувався із застосуванням антивипаровуючої добавки (50 % водний розчин сечовини і селітри 1:1 + ПАР) [6].

Отримані дані свідчать про те, що за приведених погодних умов та технології обприскування малатіоном вже в 25 метрах від межі поля концентрація пестициду в повітрі нижча за ГДК у повітрі робочої зони та атмосфері (0,5 мг/м^3).

При встановленій довжині робочого гону періодичність проходження токсичної хмари через фіксовані точки санітарно-захисної смуги дорівнює 234 секундам, або 3,4 хвилини. При цьому людина перебуватиме під впливом токсичної хмари всього протягом 12 секунд. За час повного циклу обприскування поля контакт з пестицидом за даних умов може відбутись не більше 5 хвилин.

Таким чином, застосування малатіону з добавкою антивипаровувача при даній технології обприскування можна оцінити позитивно з позицій безпечності для здоров'я населення.

У наступній роботі планується розглянути алгоритм розрахунку концентрації пестициду в повітрі при застосуванні робочого розчину без антивипаровуючої добавки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтернативні методи і тестсистеми. Лікарська токсикологія / [І.М.Трахтенберг, В.М.Коваленко, Н.В.Кокшарева та інш.] під ред. акад. АМН України І.М.Трахтенберга — К.: Авіцена, 2008-272 с.
2. Щербань М.И. Микроклиматология / М.И.Щербань. — К., Главиздат. — Вища школа, 1985. — 224 с.
3. Авиация в сельском хозяйстве: история, техника, технология, экономика / под ред. В.П.Копычко. — Харьков: ТАЛ "Слобожанщина", 2002. — 404 с.
4. Фаиз Абдулла Салим. Влияние вертикального градиента температуры осаждения капель распыляемых веществ / Фаиз Абдулла Салим, В.В.Фоменко // Застосування авіації в народному господарстві: Матеріали конференції — Кіровоград, ДЛАУ.- р. С.120-123.
5. Лысов А.К. Совершенствование механизации опрыскивания растений / А.К.Лысов // Защита растений.- 2003.- №9. — С. 38-39.
6. Никитин Н.В. Эффективная технология применения дифезана и фенфиза / Н.В.Никитин, Ю.Я.Спиридонов, В.А.Абубикеров и др. // Защита растений. — 2003. — №10. — С.40-42.

Надійшла до редакції 30.11.2010 р.