

## АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПЕСТИЦИДІВ У ПОВІТРІ ПОЛЯ І ЗА ЙОГО МЕЖАМИ ПРИ НАЗЕМНОМУ ШТАНГОВОМУ ОБПРИСКУВАННІ СІЛЬГОСПКУЛЬТУР (частина II)

В.А. Закордонець, д.мед.н., А.І. Юрченко, О.М. Багацька, к.сіль.-госп.н.,  
Т.В. Юрченко, к.сіль.-госп.н.

Інститут екологієни і токсикології ім. Л.І. Медведя

**РЕЗЮМЕ.** У роботі наведено алгоритм розрахунку концентрації пестицидів у повітрі агроценозу. Показана необхідність урахування особливостей технології обприскування сільськогосподарської культури (витрати розчину, характеристика розпилю, фази розвитку культури та інше) при застосуванні основних формул алгоритму. Підкреслено позитивний бік використання моделей для більш аргументованого обґрунтування експертних оцінок з питань безпеки застосування хімічного захисту рослин.

Ключові слова: алгоритм розрахунку, пестициди, концентрація у повітрі, штангове обприскування.

**РЕЗЮМЕ.** В работе приведен алгоритм расчета концентрации пестицидов в воздухе агроценоза. Показана необходимость учитывать особенности технологий опрыскивания сельскохозяйственной культуры (расход раствора, характеристика распыливания, фазы развития культуры и др.) при применении основных формул алгоритма. Подчеркнута позитивная сторона применения моделей для более аргументированного обоснования экспертных оценок в вопросах безопасности применения химической защиты растений.

Ключевые слова: алгоритм расчета, пестициды, концентрация в воздухе, штанговое опрыскивание.

**SUMMARY.** Algorithm of calculation of pesticides concentration in air of agroecosystem was shown in the article. Necessity of taking in consideration the peculiarities of technologies of pesticides application (spraying) on agricultural crops (flow rate of the solution, characteristics of the solution dispersion, stage of the crops development, etc.) during the main formulas of algorithm application was demonstrated. It was emphasized on advantages of the model application for more well-reasoned expert assessment of chemicals application safety.

Key words: algorithm of calculation, pesticides, concentration in air, peculiarities.

Відомо, що хімічний метод захисту рослин в Україні реалізується переважно з застосуванням водних розчинів препаративних форм. Вода як розчинник відносно легка речовина і відіграє суттєву роль у процесах розповсюдження препарату за межі площ, що обприскуються.

Випаровування — складний фізичний процес, тому його математичне моделювання дуже часто стикається із значними методичними та інформаційними труднощами. Стандартних методів розрахунку втрат препаратів внаслідок випаровування крапель водяних робочих розчинів пестицидів, а також відтворення процесів формування їх концентрації в повітрі агроценозів, на жаль, поки що не запропоновано. Широко відома теорія конвективної дифузії осідання домішок ксенобіотиків у приземному шарі атмосфери не дає адекватних результатів, особливо при наземному штанговому обприскуванні [1].

Виходячи з наведеного вище, виникає необхідність у розробці нових моделей або у підборі найбільш адекватних формул розрахунку швидкості випаровування води та хімічних сполук із групи математичних моделей, що тривалий час використовуються в різних технологічних схемах.

**Мета** даної роботи апробувати формули розрахунку процесів випаровування речовин

за різних виробничих технологій для визначення концентрації пестицидів у повітрі агроценозів.

Для кращого сприйняття викладеного матеріалу скористаємося основними інформаційними даними, опублікованими в попередній роботі [2]: сільськогосподарська культура — озима пшениця висотою 0,8 м; площа обприскування — 27 га (600 x 450 м); препарат — фуфанол, 57 %, к.е. (діюча речовина малатіон, 570 г/л); норма витрати — 1,2 л/га; концентрація (С) діючої речовини в одиниці розчину С р.р. = 13,68 мг/см<sup>3</sup>; обприскувач — ОП-2000-2-01; штанга — 18 м; розміщення над рівнем землі — 1,2 м; крок встановлення розпилювачів РЩ-110-1,0 дорівнює 1 м; кількість — 17 штук; витрата робочого розчину через розпилювач — 14,5 см<sup>3</sup>/с; погодно-кліматичні умови (о шостій годині ранку — початок обприскування): температура повітря на рівні рослинного покриву (0,8 м) — 14,2 °С; на висоті 2 м від землі — 13,6 °С, швидкість вітру на висоті 2 м — 1,5 м/с, відносна вологість повітря 60 %, атмосферний тиск 750 мм.рт.ст.

На основі наведених даних у попередній публікації було обчислено наступні параметри: швидкість витрати робочого розчину — 246,5 см<sup>3</sup>/с, швидкість миттєвого покриття площі в одиницю часу — 49,3 м<sup>2</sup>/с; оптимальна робоча швидкість обприскувача — 2,74 м/с;

Об'єми та кількість краплин і-тих діаметрів в одному см<sup>3</sup> робочого розчину

Середній діаметр фракції ( $d_i$ ), мкм	Об'єм краплини і-фракції, мкм ( $V=4/3 \pi R^3$ )	Кількість краплин в 1 см <sup>3</sup> , шт. ( $10^{12}: V_i$ )	Площа краплини у сферичному та осівшому стані, мкм <sup>2</sup> при коефіцієнті розтікання $K=2$ ( $S_{i\phi} = 4\pi R^2$ ) і ( $S_{i\phi} = \pi(2R)^2$ )
40	33493,333	29856985	5024
120	904320,0	1105803	45216
200	4186666,6	238853,5	125600
280	11488213,0	87045,7	246176
360	24416640,0	40955,7	406944
440	44579625,0	22431,8	607904
520	73622533,0	13572,71	849056
600	113040000,0	8846,42	1130400
> 640 (700)	179503330,0	5570,92	1538600

початковий миттєвий умовний об'єм повітря — 59,16 м<sup>3</sup>; імпульс концентрації в початковому миттєвому об'ємі повітря — 57 мг/м<sup>3</sup>; швидкість висхідного конвективного потоку повітря о шостій годині ранку 0,2 м/с; миттєвий приріст умовного об'єму повітря — 9,86 м<sup>3</sup>/с.

Витрата часу на проходження одного гону довжиною 600 м дорівнює 219 с, час розвороту агрегата в кінці гону 15 секунд. Витрата часу для обприскування 27 га (25 гонів) займе 5835 секунд (приблизно 1,62 години).

У попередній публікації [2] для спрощення розрахункових операцій нами були прийняті наступні граничні умови:

- густина водних робочих розчинів близьких до 2 %  $\pm$  0,5% прийнята нами за 1;
- параметр миттєвості (миттєва швидкість, площа покриття, витрати робочого розчину, та інше) визначаються при  $t=1$  секунда;
- коефіцієнт розтікання осівших крапель  $K=2$ ;
- миттєве шосекундне надходження парів пестициду в умовні об'єми повітря проходить у вигляді окремих хмар (клубів), що ведуть себе автономно в системі токсичної хвилі;
- для виключення розрахунків бокового розмиття токсичної хмари пестициду за координатою "у" умовний об'єм повітря розміщений нами в середній точці робочого гону обприскувача, при цьому вважається, що розмиття токсичної хмари відбувається тільки вверх, за координатою "z" (найбільш консервативний варіант розрахунку);
- всі розрахунки проведені для поодинокій хвилі токсичної хмари пестициду;

- не осідаюча фракція  $d_i = 40$  мкм з розрахунків, поданих у таблицях 4-8 виключена, як така, що не бере участі у форсуванні вторинних токсичних хмар.

Алгоритм розрахунку концентрації пестициду в повітрі, що формується паровою фракцією, порівняно з алгоритмом для пароаерозольної фракції [2] доповнюється рядом математичних моделей обчислення об'ємів і площ крапель робочого розчину та моделей інтенсивності процесів випаровування води і пестициду при обприскуванні сільськогосподарських культур.

Спочатку на основі дисперсної характеристики розпилювачів РЩ 100-1,0 [3], за формулами, приведеними в табл. 1, визначені кількість, об'єми і площі краплин окремих фракцій. При цьому встановлено, що сферична площа краплин  $d_i$  діаметра при коефіцієнті розтікання  $K=2$  дорівнює площі краплі, що осіла на рослинах.

Сумарні параметри миттєвої витрати робочого розчину пестициду подані в табл. 2.

Майже в усіх публікаціях, присвячених питанням удосконалення технологій обприскування сільгоспкультур пестицидами, фахівці підкреслюють важливу роль випаровування води з крапель робочого розчину на наступну поведінку препаратів у плані непродуктивних витрат, забруднення природного середовища і біологічної ефективності. Разом з тим, до цього часу є багато протиріч та до кінця не вивчених питань стосовно швидкості випаровування води з робочих розчинів.

Сумарні площі краплин і-діаметра водного робочого розчину пестициду

Середній діаметр фракції (d <sub>i</sub> ), мкм	Об'єм робочої рідини при миттєвій витраті, см <sup>3</sup>	Кількість крапель в об'ємі фракції, шт	Сумарні площі краплин і-тих фракцій, м <sup>2</sup>
40	7,27	217657421	1,09
120	34,68	38327132	1,73
200	61,97	14801751	1,86
280	64,16	5584852	1,37
360	38,18	1563688,6	0,63
440	25,73	577170,2	0,35
520	11,58	157287,6	0,13
600	1,99	17604,3	0,02
700	0,94	5236,6	0,01
всього	246,5		7,19

Так, в роботі Н.В.Нікітіна і співавторів [1] приведені розрахункові значення діаметрів крапель препарату для різних концентрацій робочого розчину (1-60 %) після повного випаровування з них води. Згідно з цими даними випаровування з крапель води діаметром 40-250 мкм 1 % робочого розчину триває від 1,1 до 44 секунд відповідно, а діаметр крапель зменшується в 4,4 — 4,6 раза. Ці дані співпадають з даними інших авторів [5] щодо повного випаровування крапель води при їх розповсюдженні в приземному шарі. Разом з тим, є багато свідчень того, що на швидкість випаровування води значно впливають різного роду забруднюючі домішки та продукти окислення [4,6,7].

У процесі випаровування робочих розчинів пестицидів значну роль відіграють рецептури препаратів. Так, близькі за леткістю сполуки —

бутиловий ефір 2,4-Д (10<sup>-6</sup> при t 25 °С) і карбофос (10<sup>-5</sup> при t 30 °С) дуже різняться за часом, що витрачається на випаровування крапель однакових розмірів. Для карбофосу час повного випаровування крапель у вісім разів більший, ніж у крапель бутилового ефіру 2,4-Д [4].

Наші розрахунки стосовно 2,4 % робочого розчину фуфанону показали зменшення діаметрів краплин 40-700 мкм у 3,4-3,47 раза відповідно.

Визначені діаметри краплин препаративної форми, що залишились після повного випаровування води, дозволяють за відомими формулами обчислити об'єми краплин води і препаративної форми (табл. 3).

Швидкість випаровування води з поверхні крапель розрахована за двома [6] формулами.

За дифузійним законом час повного випаровування краплин в секундах (t) дорівнює:

Таблиця 3

Параметри крапель робочого розчину фуфанону після повного випаровування з них води

Діаметр крапель робочого розчину, мкм		Початковий об'єм крапель робочого розчину, мкм <sup>3</sup> $Q_{p.p.} = \frac{4}{3}\pi R^3$	Об'єм крапель препарату після випаровування води, мкм <sup>3</sup> $Q_n = \frac{4}{3}\pi R^3$	Об'єм крапель води, що випарувалась, мкм <sup>3</sup> $Q_{води} = Q_{p.p.} - Q_n$	Радіуси (мкм) краплин води, що випарувалась			Площа краплин води, що випарувалась, мкм <sup>2</sup> $S_{сер} = 4\pi R^2$ ; $S_{осів} = \pi(2R)^2$ (при коефіцієнті розтікання, K=2)
Початковий	Після випаровування				$R^3 = \frac{Q_{води}}{\frac{4}{3}\pi}$	R	R <sup>2</sup>	
40	11,8	33493	859,9	32633	7794,7	19,82745	393,1277	4937,7
120	34,2	904320	20933,6	883387	211005,35	59,53392	3544,2876	44516,2
200	57,2	4186666	97938,9	4088728	976631,42	99,2149	9843,5963	123635,6
280	80,2	11488212	269954,5	11218258	2679587,2	138,89586	19292,059	242308,3
360	103,0	24416639	571846,1	23844793	5695554,7	178,58515	31892,655	400571,7
440	126,2	44579624	1051830,1	43527794	10397026,0	218,25777	47636,454	598313,8
520	149,2	73584850	1738096,9	71846753	17161277,0	257,93872	66532,383	835646,7
600	172,2	113039996	2672187,8	110367807	26362360,3	297,61953	88577,384	1112531,9
700	201,2	179503320	4262373,1	175240947	41857960,5	347,21037	120555,04	1514171,3

$$t = \frac{F\rho RT}{8\pi MD(P_k - P)}, \text{ де (1)}$$

F — початкова поверхня краплини, см<sup>2</sup>,  
 ρ — густина речовини, г/см<sup>3</sup>  
 R — універсальна газова постійна, 83,2x10<sup>6</sup>  
 ерг • град<sup>-1</sup> • моль<sup>-1</sup>;  
 T — абсолютна температура, К;  
 M — молекулярна маса;  
 D — коефіцієнт дифузії води, см<sup>2</sup>/с;  
 (P<sub>k</sub>-P) — надлишок тиску водяного пару на по-  
 верхні краплини;  
 P = тиск P<sub>H</sub> пару при t °C • W (відносна вологість  
 повітря), мм рт. ст.;  
 P<sub>k</sub> = тиск P<sub>H</sub> пару t °C • 1,3332 • 10<sup>3</sup> дин/см<sup>2</sup>

Результати розрахунків за даною формулою  
 подані у табл. 4.

Ця формула враховує різницю у швидкості  
 випаровування речовин з крапель різних  
 діаметрів і дозволяє вчасно виключати фракції  
 краплин з процесу випаровування.

Формула (колишнього Всесоюзного тепло-  
 технічного інституту (ВТІ)) для розрахунків  
 швидкості випаровування води зручна тим, що  
 віддзеркалює вплив швидкості вітру на процес.

$$S_{\text{води}} = (22,9 + 17 \cdot v)(P_H - P) \frac{760}{B}, \text{ г/м}^2 \cdot \text{год, де (2)}$$

v — швидкість вітру, м/с  
 B — барометричний тиск, мм рт.ст.  
 P<sub>H</sub> — тиск насиченої пари при температурі волого-  
 го термометра, мм рт. ст.

P<sub>1</sub> — тиск пару води в повітрі при i-тій відносній  
 вологості, мм рт. ст.

Швидкість випаровування води за даною  
 формулою у нашому випадку дорівнює  
 13,5 мг/м<sup>2</sup> • с.

При випаровуванні води робочого розчину  
 пестициду з поверхні крапель різного діаметру  
 одночасно співвипаровується і діюча речовина  
 препарату. Кількісне визначення діючої сполу-  
 ки проводиться за формулою (3) [7,8].

$$\frac{Wd}{W_w} = \frac{Md \cdot Pd}{M_w P_w (1 - P_H)}, \text{ де (3)}$$

W<sub>d</sub>, W<sub>w</sub> — маса пестициду і води в дистилаті  
 відповідно;

M<sub>d</sub>, M<sub>w</sub> — молекулярна маса пестициду і води  
 відповідно;

P<sub>d</sub>, P<sub>w</sub> — тиск насиченої пари пестициду і води,  
 відповідно при t °C;

P<sub>H</sub> — відносна вологість повітря, %.

За нашими розрахунками співвипаровуван-  
 ня у даному випадку реєструється на рівні  
 0,629 мг/см<sup>3</sup>. Цей рівень враховано в табл. 4, 5.

Швидкість випаровування малатіону з  
 поверхні осівших обезводнених крапель  
 препарату визначилась за формулою (4) [6,7]:

$$S = (5,38 + 4,1 \cdot v) \cdot P_H \cdot \sqrt{M}, \text{ мг/м}^2 \cdot \text{год, де (4)}$$

v — швидкість вітру, м/с;  
 P<sub>H</sub> — тиск насиченої пари речовини, мм.рт.ст.  
 M — молекулярна маса речовини.

Таблиця 4

Розрахункові дані надходження пестициду в атмосферне повітря за формулою (1)

$$t = \frac{F\rho RT}{8\pi MD(P_k - P)}, \text{ (1)}$$

Фракції робочого розчину d <sub>i</sub> , мкм	Об'єм води у робочому розчині, d <sub>i</sub> , см <sup>3</sup>	Час повного випарову- вання води з крапель d <sub>i</sub> , с	Інтенсив- ність випаровуван- ня води крапель d <sub>i</sub> , см <sup>3</sup> /с	Динаміка надходження парів робочого розчину (см <sup>3</sup> ) і діючої речовини пестициду (мг) в результаті випаровування									
				Часові (секундні) фрагменти випаровування води і пестициду									
				40,5	72	108	144,1	180,1	216,1	252	365,8		
120	33,858	40,5	0,836	33858									
200	60,520	112,5	0,538	21789	38736								
280	62,652	220,5	0,284	11502	20448	30672							
360	37,286	364,6	0,102	4131	7344	11016	14689						
440	25,123	544,7	0,046	1863	3312	4968	6628	8285					
520	11,301	760,8	0,015	607	1080	1620	2161	2701	3241				
600	1,943	1012,8	0,002	81	144	216	288	360	432	504			
700	0,918	1378,6	0,0007	28	50	75	101	126	151	176	256		
Всього	233,6			73,859	71,114	48,567	23,876	11,472	3,824	0,680	0,256		
Діюча речовина,		мг		46,4	44,7	30,6	15,0	7,2	2,4	0,4	0,2		
Миттєве надходження в умовний об'єм		мг/с		1,15	0,621	0,2833	0,1041	0,04	0,0111	0,0016	0,0005		



За нашими розрахунками швидкість випаровування малатіону в даних умовах дорівнює 0,0039 мг/м<sup>2</sup>•с. Ця величина врахована при обчисленнях, приведених у табл. 6.

Крім наведених вище моделей (1-4) для розрахунків вмісту парів пестициду в повітрі агроценозу, необхідно скористатися кількома допоміжними математичними операціями, що стосуються формування токсичної хмари. При цьому слід зауважити, що моделювання поширення клубу забруднювача, приведене у роботі Ю.І. Посудіна [9] для промислових викидів, не завжди може бути використане для польових досліджень через те, що воно розраховане на відстані, що перевищує 100 м.

Прийняті нами умови формування і розповсюдження токсичної хмари подібні за характеристиками до методики, використаної Ц.І. Бобовниковою із співавторами [10].

Щосекундне надходження парів пестициду до вторинного умовного об'єму відбувається тільки над обробленою площею. За межами її відбувається лише збільшення умовного об'єму.

Розрахунок початкового первинного умовного об'єму повітря приведено у публікації [2]. Він дорівнює 59,16 м<sup>3</sup>. Там же подано визначення приросту ( $\Omega\Delta t=1c$ ) умовного об'єму. У нашому випадку величина приросту становить 9,86 м<sup>3</sup>/с.

Початковий вторинний умовний об'єм повітря визначено за формулою:

$$\Omega_{n.o.вт.} = S_{мит.пок.} \cdot h_{росл.}, \text{ де (5)}$$

$S_{мит.пок.}$  — площа миттєвого покриття робочим розчином, м<sup>2</sup>;

$h$  — висота рослинного покриву, що обприскується, м.

За нашими даними  $\Omega_{n.o.вт.} = 49,3 \cdot 0,8 \text{ м} = 39,44 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Даний умовний об'єм заповнюється парами пестицидів, що надходять у повітря з поверхонь осівших крапель робочого розчину.

Наша модель передбачає, що після обприскування над обробленою площею кожної секунди і утворюється токсична хмара №  $i$  об'ємом  $\Omega_i$ , в яку випаровується  $m_i$  діючої речовини.

Об'єм хмари №  $i$  на  $j$ -ій секунді її існування розраховуємо за формулою:

$$\Omega_{ij} = j \cdot \Omega_{\Delta_{emi}} + \Omega_{n.o.вт.}, \text{ де (6)}$$

$j$  — час існування (міграції) токсичної хмари, с;

$\Omega_{п.о.вт.}$  — початковий вторинний умовний об'єм повітря  $i$ -тої секунди утворення, м<sup>3</sup>/с;

$\Omega_{\Delta_{emi}}$  — щосекундний приріст умовного об'єму повітря, м<sup>3</sup>/с.

Висота стовпа вторинного умовного об'єму

повітря на  $j$ -ій секунді існування розрахована за формулою:

$$H_{вт.о.} = v_{z1} \cdot j + h_{росл.}, \text{ де (7)}$$

$v_{z1}$  — швидкість вертикального підйому повітря, м/с;  
 $j$  — час міграції токсичної хмари в умовному об'ємі повітря, с;

$h$  — висота рослинного покриву.

За наших умов для віддалі 150 м:

$$H_{вт.о.} = 0,2 \cdot \frac{150}{1,5} + 0,8 = 20,8 \text{ м}$$

Визначення концентрації діючої речовини в токсичній хмарі №  $i$  на  $j$ -ій секунді її існування здійснюється за формулою:

$$C_{ij} = m_i / \Omega_{ij}, \text{ де (8)}$$

$m_i$  — кількість діючої речовини, що надійшла в умовний об'єм  $i$ , мг;

$\Omega_{ij}$  — умовний об'єм токсичної хмари №  $i$  на  $j$ -ій секунді її існування.

Концентрація пестициду в точці  $X$  простору є сумою концентрацій пестициду токсичних хмар, які містять цю точку  $X$ .

Концентрацію діючої речовини в точці  $X$ , на відстані  $l$  від межі поля, через час  $T$  після обприскування розраховуємо за формулою:  
 $K=0$  — рахунок ведеться від точки 0;

$$C(T, l) = \sum_{k=0}^{\min\{t_{L_{iu}}-1, T-t_i\}} C_{T-t_i-k+1, t_i+k}, \text{ де (9)}$$

$t_{L_{iu}} = \left[ \frac{L_{iu}}{v_e} \right]$  — час, за який вітер знесе токсичну хмару на відстань  $L_{iu}$ , що дорівнює довжині штанги обприскувача, с;

$t_i = \left[ \frac{l}{v_e} \right]$  — час, за який вітер знесе токсичну хмару на відстань  $l$  від обробленої площі до точки розрахунку, с;

$\min\{t_{L_{iu}}-1, T-t_i\}$  — мінімальний час з урахуванням нульової точки, с;

$T-t_i-k+1$  —  $i$  номер токсичної хмари;

$t_i+k$  —  $j$ -та секунда існування токсичної хмари, взятої для розрахунку концентрації;

$T$  — час після обприскування, с.

Для  $T > t_{L_{iu}} + t_i$  формулу (9) можна спростити:

$$C(T, l) \cong N_{L_{iu}} \cdot C_{T-t_i-t_{L_{iu}}/2, t_i+t_{L_{iu}}/2}, \text{ де}$$

— кількість умовних токсичних хмар в ширині захвату при даній швидкості вітру.

$N_{L_{iu}} = \frac{t_{L_{iu}}}{lc}$  Наприклад,

1) Концентрація діючої речовини на

## Розрахункові дані надходження пестициду в атмосферне повітря за формулою (2)

$$S_{води} = (22,9 + 17 \cdot v)(P_H - P) \frac{760}{B}$$

Фракції робочого розчину $d_i$ , мкм	Сума площ крапель робочого розчину, $d_i$ , м <sup>2</sup>	Інтенсив- ність випаровува ння води крапель, мг/с	Час повного випаровуван ня води з крапель, с	Динаміка надходження парів робочого розчину (см <sup>3</sup> ) і діючої речовини пестициду (мг) в результаті випаровування									
				Часові (секундні) фрагменти випаровування води і пестициду									
				1470,8	979,4	980,9	981,4	978,7	993,5	1088,4	1706,9		
120	1,705	23,02	1470,8	33858									
200	1,830	24,70	2450,2	36329	24191								
280	1,353	18,26	3431,1	26857	17884	17911							
360	0,626	8,45	4412,5	12428	8276	8289	8293						
440	0,345	4,66	5391,2	6854	4564	4571	4573	4561					
520	0,131	1,77	6384,7	2603	1733	1736	1737	1732	1758				
600	0,019	0,26	7473,1	382	256	255	255	254	258	283			
700	0,009	0,10	9180,0	147	98	98	98	98	99	109	171		
Всього	6,018			119,458	57,001	32,860	14,956	6,645	2,115	0,392	0,171		
Діюча речовина,		мг		75,139	35,852	20,669	9,407	4,179	1,33	0,246	0,107		
Миттєве надходження в умовний об'єм		мг/с		0,0511	0,0366	0,0211	0,0096	0,0043	0,0001	0,0002	0,00006		

Таблиця 6

## Розрахункові дані надходження пестициду в атмосферне повітря за формулою:

$$S = (5,38 + 4,1 \cdot 0,2) \cdot 0,00125 \cdot \sqrt{330,35} \text{ мг/м}^2 \text{ год. [6,7]}$$

Параметри крапель препарату після випаровування з них води				Сумарний ( $\Sigma Q_i$ ) об'єм, см <sup>3</sup> [табл. 2]		Сумарна кількість діючої речовини при густині 1,2, г $\Sigma m = \Sigma Q \cdot 1,2$	Сумарна площа крапель препарату, м <sup>2</sup>	Швидкість надходження пестициду в повітря, мг/с, при інтенсивності випаровування $I = \text{мг/м}^2 \cdot \text{с}$ $V_i = \Sigma F_i \cdot I$
Радіус, $R_2 = \frac{d_i}{2}$		Об'єм, мкм <sup>3</sup> $Q_i = \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot 10^{-12}$	Площа, см <sup>2</sup> $F_i = \pi (2R_i)^2 \cdot 10^{-8}$	Кількість крапель $Q_i$ , шт	в т.ч. діючої речовини			
мкм	см							
17,1	0,0017	$2,0933 \cdot 10^{-8}$	$3,67 \cdot 10^{-5}$	0,802	0,457	0,548	0,1406	0,0005483
28,6	0,0028	$9,7938 \cdot 10^{-8}$	$10,27 \cdot 10^{-5}$	1,450	0,826	0,991	0,1520	0,0005928
40,1	0,004	$26,9954 \cdot 10^{-8}$	$20,19 \cdot 10^{-5}$	1,508	0,859	1,031	0,1127	0,0004395
51,6	0,005	$57,51,84 \cdot 10^{-8}$	$33,44 \cdot 10^{-5}$	0,899	0,513	0,616	0,0523	0,0002039
63,1	0,006	$105,1830 \cdot 10^{-8}$	$50,00 \cdot 10^{-5}$	0,607	0,346	0,415	0,0288	0,0001123
74,6	0,007	$173,8096 \cdot 10^{-8}$	$69,89 \cdot 10^{-5}$	0,270	0,154	0,185	0,0110	0,0000429
86,1	0,008	$267,2187 \cdot 10^{-8}$	$93,10 \cdot 10^{-5}$	0,047	0,027	0,032	0,0016	0,0000062
100,6	0,01	$426,2373110^{-8}$	$127,10 \cdot 10^{-5}$	0,022	0,013	0,016	0,0007	0,0000027

відстані 150 м від межі поля через 100 с після обприскування:

$$C(100,150) = \sum_{i=0}^{\min\{11,100-100\}} C_{100-100-i+1,100+i} = C_{1,100} = \frac{99,727}{59,16+100 \cdot 9,86} = 0,095 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

2) Концентрація діючої речовини на відстані 150 м від межі поля через 200 с після обприскування:

$$C_{(200,150)} \cong 12 \cdot C_{200-100-6,100+6} = 12 \cdot C_{94,106} = \frac{0,29}{1084,6} = 0,0032 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

У таблиці 7 приведені розраховані за формулою (1) концентрації малатіону в поодинокій токсичній хмарі на момент закінчення процесу випаровування води з поверхні осівших краплин робочого розчину. Часові фрагменти, надходження пестициду в умовні об'єми повітря з початку їх формування і до

Розрахункові концентрації пестициду (за формулою  $t = \frac{F\rho RT}{8\pi MDP}$ )  
у фрагментах токсичної хмари за часом і відстанню

Фрагменти часу і відстані повного випаровування води з крапель робочого розчину		Фрагменти умовного об'єму і висоти токсичної хмари пестициду		Фрагменти часу і кількості надходження пестициду в умовний об'єм повітря, мг/с				Концентрації пестициду у токсичній хмарі
T, с	L, м	Об'єм, м <sup>3</sup>	Висота, м	Час надходження парів пестициду в повітря, с	При співвипаровуванні з водою	При випаровуванні з обезводнених крапель	сумарне	
1378,6	2067,9	13632,4	276,5	40,5	1,15	—	1,15	$8,43 \cdot 10^{-5}$
1338,1	2007,1	13233,1	268,4	72,0	$6,21 \cdot 10^{-1}$	$54,83 \cdot 10^{-5}$	$621,5483 \cdot 10^{-3}$	$4,69 \cdot 10^{-5}$
1266,1	1899,1	12523,2	254,0	108,0	$2,83 \cdot 10^{-1}$	$114,11 \cdot 10^{-5}$	$284,1411 \cdot 10^{-3}$	$2,27 \cdot 10^{-5}$
1158,1	1737,1	11458,3	232,4	144,1	$1,04 \cdot 10^{-1}$	$158,06 \cdot 10^{-5}$	$105,6806 \cdot 10^{-3}$	$9,2 \cdot 10^{-6}$
1014,0	1521,0	10037,5	203,6	180,1	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$178,45 \cdot 10^{-5}$	$41,7845 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-6}$
833,9	1250,8	8261,7	167,6	216,1	$1,11 \cdot 10^{-2}$	$189,68 \cdot 10^{-5}$	$12,9968 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
617,8	926,7	6130,9	124,3	252,0	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$193,97 \cdot 10^{-5}$	$3,5398 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-7}$
365,8	548,7	3646,2	73,9	365,8	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$194,59 \cdot 10^{-5}$	$2,4459 \cdot 10^{-3}$	$6,7 \cdot 10^{-7}$
1,0	1,5	49,3	1,0			$194,86 \cdot 10^{-5}$	$1,95 \cdot 10^{-3}$	$3,95 \cdot 10^{-5}$

кінця процесу випаровування подані у зворотному порядку, що відповідає реальному стану речей (табл. 4). Найбільший рівень концентрації пестициду відмічається на вістрі токсичної хмари. Коливання концентрації у хмарі в основному реєструються в межах одного порядку.

У нашому випадку максимальна концентрація малатиону ( $8 \cdot 10^{-5}$ ) на три порядки нижча ГДК в атмосферному повітрі ( $0,014 \text{ мг/м}^3$ ), час експозиції на рівні 23-30 хвилин. В такій ситуації негативні прояви дії ксенобіотика можуть реалізуватися на особах хворих на алергію. Слід зауважити, що при обприскуванні значних сільськогосподарських площ рівні концентрації пестицидів і їх експозиція можуть бути набагато вищими порівняно з величинами поодинокі токсичної хвилі.

Результати розрахунків, наведені в табл. 4,5,7 за формулою, що моделює випаровування речовин у стані крапель і за формулою колишнього ВТІ для випаровування води з плоскої поверхні, показали різницю в часовому і дистанційному вимірах майже в 6,7 раза. Ця різниця обумовлена тим, що тиск пари на сферичній випуклій поверхні крапель, більший ніж на плоскій поверхні [6]. Дана різниця вимагає обґрунтування вибору моделі для різних технологій обприскування.

Як відомо за розмірами крапель обприскування ділять на дрібнокрапельне (51-150 мкм), середьокрапельне (151-300 мкм) і крупнокра-

пельне ( $>300 \text{ мкм}$ ). У комплексі з технологією диспергування можна отримати покриття від оптимального крапельного до суцільного змочування. За нормами витрат робочого розчину (л/га) обприскування відносять до високооб'ємного ( $> 400-500$ ), середньооб'ємного (50-400), малооб'ємного (10-50) і ультрамалооб'ємного ( $\leq 10 \text{ л/га}$ ) [4].

Саме у блоці середньооб'ємних витрат виникає необхідність провести розмежування між крапельним і суцільним покриттям поверхні рослин. Для цього слід при мікрокліматичних дослідженнях сільськогосподарських угідь мати на увазі аспекти, пов'язані з технологіями захисту рослин (зміни параметрів мікроклімату під впливом технологій обприскування). Доцільно фіксувати мікрокліматичні особливості в залежності від умов розташування площ за сторонами світу, рози вітрів, характеристики сільськогосподарської культури у різні фази розвитку [11].

Поданий в роботі алгоритм розрахунків дозволяє в залежності від поставлених задач визначити:

- концентрації паро-аерозольної токсичної хмари первинного умовного об'єму, що проходить через фіксовані точки санітарно-захисної зони, (публікація 2)
- часові та дистанційні фрагменти концентрації поодинокі хвилі токсичної хмари, що формується за рахунок вторинних умовних об'ємів парової фази пестицидів, (табл. 7)

- при необхідності, встановити поле концентрацій при конкретних технологічних умовах та можливий час експозиції ксенобіотика на організм людини,
- приведений алгоритм розрахунку концентрацій

пестицидів у повітрі агроценозів дає можливість більш аргументовано і з меншою витратою часу оцінити рівень безпечності застосування хімічного засобу з позицій охорони здоров'я сільгоспробітника і сільського населення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Никитин Н.В. Технические средства и технологические особенности применения гербицидов и арборицидов на объектах несельскохозяйственного пользования / Н.В.Никитин, Ю.Я.Смирнов, В.Г.Шестаков — М.: BASF The Chemical Company. — 2009. — 68 с.
2. Закордонєць В.А. Алгоритм визначення концентрації пестицидів у повітрі поля і за його межами при наземному штанговому обприскуванні сільгоспкультур (частина 1) / В.А.Закордонєць, А.І. Юрченко, О.М.Багацька, Т.В.Юрченко // Современные проблемы токсикологии. — 2010. — № 4. — С. 51—54.
3. Лысов А.К. Совершенствование механизации опрыскивания растений / А.К.Лысов // Защита растений. — 2003. — №9. — С. 38—39.
4. Дунский В.Ф. Пестицидные аэрозоли / В.Ф.Дунский, Н.В.Никитин, М.С.Соколов. — М.: Наука, 1982. — 287 с.
5. Осеннее применение дифезана на озимой пшенице / Ю.Я.Спиридонов, Н.В.Никитин, М.С.Роскин [и др.] // Защита растений. — 2003. — №8. — С.25—26.
6. Мацак В.Г. Гигиеническое значение скорости испарения и давления пара токсических веществ, применяемых в производстве / В.Г.Мацак, Л.К.Хоцянов. — М.: Медгиз, 1959. — 230 с.
7. Гончарук Е.И. Санитарная охрана почвы от загрязнений химическими веществами / Е.И.Гончарук. — Киев, Здоров'я, 1977. — 158 с.
8. Лисенко М.А. Определение остаточных количеств пестицидов / [под ред. акад. АН УССР, чл.-кор. АМН СССР Ю.И.Кундиева] — К.: Здоров'я. — 1983. — С. 15—30.
9. Посудін Ю.І. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища / [Підручник] Ю.І.Посудін — Київ: Світ, 2003. — 288 с.
10. Бобовникова Ц.И. Опыт составления баланса ЛЛТ в полевых условиях / Ц.И.Бобовникова, К.П.Вириченко, В.В.Егоров [и др]. // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах: Труды III Всесоюзного совещания Обнинск, сентябрь, 1971 г. — Ленинград. — 1985. — С.41—47.
11. Щербань М.И. Микроклиматология / М.И.Щербань. — К.: Вища школа, 1985. — 224 с.

Надійшла до редакції 24.03.2011