

Міністерство освіти і науки України  
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Міністерство освіти і науки України  
Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**Бойко Владислав Борисович**

УДК 631.331.85; 631.171

### **ДИСЕРТАЦІЯ**

#### **ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОПНЕВМАТИЧНОГО АПАРАТА ТОЧНОГО ВИСІВУ НАСІННЯ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР**

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

13 – механічна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати досліджень. Використання ідей, результатів і  
текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 В.Б. Бойко

Ідентичність усіх примірників дисертації  
ЗАСВІДЧУЮ

Учений секретар спеціалізованої вченої ради

 О. Ю. Вовк

Науковий керівник – Улексін Василь Олексійович,  
кандидат технічних наук, доцент

Мелітополь – 2021

## АНОТАЦІЯ

**Бойко В.Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідропневматичного апарата точного висіву насіння овочевих культур. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва (13 – механічна інженерія). – Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Мелітополь, 2021.

У дисертації вирішене наукове завдання, яке направлене на підвищення точності висіву та інтенсифікації початку вегетації овочевих культур шляхом розробки конструкції та обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідропневматичного висівного апарата точного висіву.

В першому розділі проведено аналіз способів координації робочих органів в системі точного землеробства та апаратів точного висіву, врахувавши їх переваги і недоліки розроблено схему гідропневматичного апарата точного висіву овочевих культур.

В другому розділі наведено теоретичне обґрунтування конструктивних, технологічних та експлуатаційних параметрів гідропневматичного апарата точного висіву. Теоретично встановлено, що формування псевдозрідженого шару в забірній камері з діаметром насіння 1...5 мм відбувається за підтримання швидкості висхідного потоку в межах 0,02...0,2 м/с, відповідно переріз забірної камери в верхній частині становить 331 мм<sup>2</sup> в нижній частині 67 мм<sup>2</sup>. Висота існування псевдозрідженого шару знаходиться в межах 56...68 мм за ширини забірної камери в межах 15...18 мм та кута між сторонами забірної камери 15°...20°.

Розроблено фізико-математичну модель процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері, яка дозволяє встановлювати кінематичні параметри руху насінин (вектори переміщення, швидкості і прискорення). В результаті чисельного моделювання процесу формування

псевдозрідженого шару в забірній камері встановлено залежність висоти розміщення насіннєпроводу  $h$  від кута між її поверхнями  $\alpha$  і початкової швидкості рідини  $v_0$ . Враховуючи попередньо визначені та прийняті конструктивно-технологічні параметри забірної камери розміщення насіннєпроводу здійснюється на висоті 0,022...0,036 м.

Чисельне моделювання технологічного процесу заряджання насінини в насіннєпровід дозволило отримати значення мінімально допустимої початкової швидкості потоку рідини через гідроклапан  $v_t$  (0,42-1,45 м/с), що гарантує надійне заряджання насіння до насіннєпроводу гідопневматичного апарата точного висіву.

В третьому розділі наведено програму та методику експериментальних досліджень спрямованих на подальше вивчення технологічного процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері, послідуочого заряджання насіння та розподілення його по насіннєпроводу, впливу роботи основних вузлів гідропневматичного апарата точного висіву на якісні показники його роботи (продуктивність, точність висіву). Для цього розроблено лабораторну установку гідропневматичного апарата точного висіву та експериментальну сівалку.

За результатами проведених досліджень в четвертому розділі встановлено, що насіння овочевих культур має різні гідродинамічні властивості (парусність, вологість). Проведена гідросепарація дозволила розподілити насіння на групи з однаковими гідродинамічними властивостями і відділити проросле насіння. За результатами лабораторних досліджень схожість пророслого насіння капусти склала 100 %, томату 100%, перцю 98%, що перевищило показники сухого методу посіву капусти на 12,3 %, томату 16,7 %, перцю на 19,2 %. В результаті замочування сухого насіння овочевих культур відбувається збільшення об'єму в межах 1,45...1,96, що враховано при виборі розміру бака. Порозність шару практично не залежить від набухання насіння і знаходиться в межах  $\varepsilon = 0,39...0,41$ .

За результатами дослідження процесу формування псевдозрідженого шару в збірній камері встановлено, що для забезпечення надійної роботи висівного апарата концентрація насіння повинна знаходитися в межах  $k_n = 0,21 \dots 0,65$  1/мл. Використання регулятора витрати циркуляційного насоса дозволяє забезпечити підтримання заданого значення концентрації насіння не залежно від рівня заповнення ним бака.

За результатами багатофакторного експерименту встановлено раціональні значення технологічних параметрів гідропневматичного апарата точного висіву: частота висівів  $f_v = 4,8$  Гц, тиск наддуву  $P_{над} = 0,348$  МПа, концентрація насіння  $k_n = 0,45$  1/мл за яких отримали найвище значення точності висіву 95,3 %.

Гідропневматичний апарат точного висіву пророслого насіння овочевих культур, встановлений на рамі базової сівалки Клен-1,8 пройшов виробничу апробацію. Польовими дослідженнями встановлено, що за раціональними конструктивно-технологічними параметрами коефіцієнт варіації розподілення рослин в рядку на посіві томату «Астероїд» зменшився на 10,6% в порівнянні з базовою сівалкою Клен-1,8 і склав 23,6%. Як результат зростання схожості насіння до 93% та приріст врожаю томатів на 66 ц/га. Економічний ефект від використання сівалки з розробленим гідропневматичним апаратом точного висіву на посіві томату «Астероїд» склав 11,3 тис.грн/га.

**Ключові слова:** точне землеробство, гідропневматичний апарат точного висіву, точний висів, координатний висів, псевдозріджений шар, проросле насіння.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Улексін В.О., Бойко В.Б. Сівалка для мостового землеробства. Механізація та автоматизація виробничих процесів. Вісник СНАУ. Суми.

2006. Вип. 9(15). С. 154-158. *(Здобувачем проведено аналіз висівних апаратів та запропоновано схему гідравлічної сівалки для координатного точного землеробства).*

2. Улексін В.О., Бойко В.Б., Брижа М.Р. Дослідження гідропневматичного висівного апарата. Геотехническая механика. Межведомственный сборник научных трудов ИГТМ. Днепропетровск. 2008. Вып.75. С.228-232 *(Здобувачем проведено дослідження основних елементів гідропневматичного апарата точного висіву).*

3. В.Б. Бойко. Дослідна установка гідросепаратора для вивчення гідродинамічних властивостей насіння овочевих культур. Техніка і енергетика АПК. Науковий вісник НУБіП України. Київ. 2010. Вип. 144, ч. 2. С.192-199. *(Здобувачем розроблено гідросепаратор для вивчення гідродинамічних властивостей насіння).*

4. Улексін В.О., Бойко В.Б. Циркуляційний насос для гідропневматичного висівного апарата. Промислова гідравліка і пневматика. Всеукраїнський науково-технічний журнал. Вінниця. 2012. Вип. 3 (37). С. 91-94. *(Здобувачем наведено результати конструювання та дослідження циркуляційного насоса для гідропневматичного висівного апарата)*

5. Бойко В.Б., Улексін В.О. Дозатор для однонасінневого висіву у гідропневматичному висівному апараті. Механізація та електрифікація сільського господарства. Загальнодержавний збірник ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха. 2013. Вип. 98. Т.1. С. 442-446. *(Здобувачем запропоновано конструктивну схему дозатора насіння для реалізації однонасінного точного висіву ГПАТВ)*

6. Бойко В.Б., Алієв Е.Б. Теоретичні дослідження руху рідини в ємності гідропневматичного висівного апарата. Інженерія природокористування. Харків. 2015. № 2 (4). С.78-84. *(Здобувачем за допомогою програмного пакету STAR-CCM+ отримано фізико-математичну модель руху рідини в порожнинах ГПАТВ)*

7. Бойко В.Б. Теоретичні дослідження процесу формування псевдозрідженого шару в гідро-пневматичному висівному апараті. Техніка,

енергетика, транспорт АПК. Всеукр. наук.-техн. журнал ВНАУ. Вінниця. 2015. Вип. 3. С. 10-16. *(Здобувачем проведено теоретичне дослідження процесу формування псевдозрідженого шару та встановлено вплив на нього основних конструктивно-технологічних параметрів)*

8. Бойко В.Б., Улексін В.О., Сергєєв О.П., Сич С.В. Пневмосистема гідропневматичного висівного апарата. Землеробська механіка. Вісник ДДАЕУ. Дніпро. 2016. №2. С. 37-41. *(Здобувачем проведено дослідження роботи агрегатів розробленої пневмосистеми гідропневматичного висівного апарата )*

9. Pastukhov V., Boiko V., Tesliuk H., Ulexin V., Kyrychenko R. Study of seed agitation in the fluid of a hydropneumatic precision seeder. European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol 5, No 1 (107). P 36-43. DOI./10.15587/1729-4061.2020.212517. *(Здобувачем досліджено процес перемішування насіння в рідині гідропневматичної сівалки точного висіву та встановлено основні фактори, які на нього впливають)*

*Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

10. Бойко В.Б. Експериментальне визначення рівномірності висіву насіння гідросівалкою. Технічні науки: Збірник наукових праць ВНАУ. Вінниця. 2012. Вип. 11. Т.1 (65). С. 89-94. *(Здобувачем проведено дослідження рівномірності розподілення насіння по насіннєпроводу гідросівалки).*

11. Бойко В.Б. Процес утворення пульпи в координатному гідропневматичному висівному апараті. Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ. Харків. 2014. Вип. 148. С. 48-55. *(Здобувачем описано теоретичні залежності процесу формування пульпи в забірній камері ГПАТВ).*

12. Улексін В.О., Бойко В.Б. Обґрунтування параметрів дозатора для гідропневматичного висівного апарата. Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ. Харків. 2015. Вип. 156. С. 52-60. *(Здобувачем*

*встановлено та обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри дозатора насіння для реалізації однонасінного точного висіву).*

13. Бойко В.Б. Дослідження процесу заряджання насінини в насіннепровід координатного гідропневматичного висівного апарата. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник КНТУ. Кіровоград. 2015. № 45 (1). С. 291-297. *(Використовуючи чисельне моделювання здобувачем встановлено значення мінімальної швидкості потоку на виході з гідроклапану, за якого відбувається надійне заряджання насіння до насіннепроводу).*

14. Бойко В. Б. Дослідження точності висіву насіння овочевих культур координатним гідро-пневматичним висівним апаратом. Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ. Харків. 2018. Вип. 190. С. 45-52. *(За результатами багатофакторного експерименту здобувачем встановлено бажані значення конструктивно-технологічних параметрів ГПАТВ).*

*Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації:*

15. Спосіб координатного гідропневматичного висіву насіння та пристрій для його реалізації: пат. 90998 Україна: МПК А01С7/04. № а 200601288; заявл. 09.02.2006; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12 *(Здобувачем зроблено опис особливостей способу та пристрою для його реалізації).*

16. Спосіб координатного гідропневматичного висіву насіння та пристрій для його реалізації: пат. 99860 Україна: МПК А01С7/04. № а 201014565; заявл. 06.12.2010; опубл. 10.10.2012, Бюл. № 19. *(Здобувачем зроблено опис особливостей способу та пристрою для його реалізації).*

## ABSTRACT

**Boyko V.B. Substantiation of constructive-technological parameters of the hydropneumatic device of exact sowing of seeds of vegetable cultures. - On the rights of the manuscript.**

The dissertation for competition of the degree of candidate of technical sciences, speciality 05.05.11 - Machines and mechanization of agricultural production (13 – mechanical engineering). – Dnipro State Agrarian and Economic University, Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnologicalical University, Melitopol, 2021.

In the dissertation the scientific problem which is directed on increase of accuracy of seeding and intensification of the beginning of vegetation of vegetable cultures by development of a design and a substantiation of constructive-technological parameters of the hydropneumatic device of exact seeding is solved

In the first section the analysis of ways of coordination of working bodies in system of exact agriculture and devices of exact sowing is carried out, taking into account their advantages and lacks the scheme of the hydropneumatic device of exact sowing of vegetable crops is developed.

In the second section the theoretical substantiation of constructive, technological and operational parameters of the hydropneumatic device of exact seeding is given. It is theoretically established that the formation of a fluidized bed in the intake chamber with a seed diameter of 1... 5 mm occurs while maintaining the upward flow rate within 0,02... 0,2 m / s, respectively, the cross section of the intake chamber in the upper part is 331 mm<sup>2</sup> in the lower part 67 mm<sup>2</sup>. The height of existence of the fluidized bed is in the range of 56... 68 mm with the width of the intake chamber within 15..18 mm and the angle between the sides of the intake chamber 15°... 20 °.

A physical and mathematical model of the process of formation of a fluidized bed in the intake chamber has been developed, which allows to set the kinematic parameters of seed movement (vectors of displacement, velocity and acceleration). As a result of numerical simulation of the process of formation of the fluidized bed

in the intake chamber, the dependence of the height of the seed tube  $h$  on the angle between its surfaces  $\alpha$  and the initial velocity of the liquid  $v_0$  is established. Taking into account the previously determined and accepted design and technological parameters of the intake chamber, the height of the seed line is within 0,022... 0,036 m

Numerical modeling of the technological process of loading seeds into the seed line allowed to obtain the value of the minimum allowable initial flow rate of liquid through the hydraulic valve  $v_t$  (0,42-1,45 m / s), which guarantees reliable loading of seeds to the seed line of hydropneumatic precision seeding.

The third section presents the program and methods of experimental research aimed at further study of the technological process of formation of the fluidized bed in the intake chamber, subsequent charging of seeds and its distribution through the seed line, the impact of the main components of the hydropneumatic apparatus. For this purpose, a laboratory installation of a hydropneumatic precision seeding apparatus and an experimental drill have been developed.

According to the results of the research in the fourth section it is established that the seeds of vegetable crops have different hydrodynamic properties (sail, humidity). The hydroseparation allowed to divide the seeds into groups with the same hydrodynamic properties and to separate the germinated seeds. According to the results of laboratory studies, the germination of germinated cabbage seeds was 100%, tomato 100%, pepper 98%, which exceeded the dry method of sowing cabbage by 12,3%, tomato 16,7%, pepper by 19,2%. As a result of soaking the dry seeds of vegetable crops, the volume increases in the range of 1,45... 1,96, which is taken into account when choosing the size of the tank. The porosity of the layer is almost independent of seed swelling and is in the range of  $\varepsilon = 0,39... 0,41$ .

According to the results of the study of the process of formation of the fluidized bed in the collection chamber, it was found that to ensure reliable operation of the sowing machine, the seed concentration should be within  $k_n = 0,21... 0,65$  1 / ml. Use of the regulator of a expense of the circulating pump allows to provide

maintenance of the set value of concentration of seeds irrespective of level of filling by it of a tank.

According to the results of a multifactorial experiment, rational values of technological parameters of the hydropneumatic apparatus of precision seeding were established: seeding frequency  $f_s = 4,8$  Hz, supercharging pressure  $P_{nad} = 0,348$  MPa, seed concentration  $k_n = 0,45$  1 / ml at which the highest value of seeding accuracy was obtained 95,1 %.

The hydropneumatic device of exact seeding of the germinated seeds of vegetable cultures established on a frame of the basic Klen-1,8 seeder passed production test. Field studies have shown that the rational design and technological parameters of the coefficient of variation of plant distribution in the row on the tomato crop "Asteroid" decreased by 10,6% compared to the base seeder Klen -1,8 and amounted to 23,6%. As a result, the seed germination increased to 93% and the tomato yield increased by 66 c / ha. The economic effect from the use of a seeder with a developed hydropneumatic device for precision seeding on tomato sowing "Asteroid" amounted to 11,3 thousand UAH / ha.

**Key words:** precision farming, hydropneumatic precision seeding device, precision seeding, coordinate seeding, fluidized bed, germinated seeds

## LIST OF PUBLISHED PRACTICES BY THEME DISCERTATION

*List of publications, in which published the main scientific results and dissertations:*

1. Uleksin V.O., Boiko V.B. Seeder for bridge farming. Mechanization and automation of production processes. SNAU Bulletin. Sumy. 2006. Issue. 9 (15). P. 154-158.
2. Uleksin V.O., Boiko V.B., Bryzha M.R. Study of a hydropneumatic seeding apparatus. Geotechnical mechanics. Interdepartmental collection of scientific works of IGTM. Dnepropetrovsk. 2008. Issue 75. P.228-232

3. V. B. Boiko. Pilot installation of a hydroseparator for studying the hydrodynamic properties of vegetable seeds. Agroindustrial complex equipment and energy. Scientific bulletin of NULES of Ukraine. Kiev. 2010. Issue. 144, part 2. P.192-199.
4. Uleksin V.O., Boiko V.B. Circulation pump for hydropneumatic sowing device. Industrial hydraulics and pneumatics. All-Ukrainian scientific and technical journal. Vinnytsia. 2012. Issue. 3 (37). S. 91-94.
5. Boiko V.B., Uleksin V.O. Dispenser for single-seeded sowing with hydropneumatic sowing device. Agricultural mechanization and electrification. National collection of the NSC "IMESG". Glevakha. 2013. Issue. 98.V.1. S. 442-446.
6. Boiko V.B., Aliev E.B. Theoretical studies of fluid movement in the tank of a hydropneumatic seeding apparatus. Environmental Engineering. Kharkov. 2015 No. 2 (4). P.78-84.
7. Boiko V.B. Theoretical studies of the process of formation of a fluidized bed in a hydro-pneumatic seeding device. Engineering, energy, transport of the agro-industrial complex. Vseukr. scientific and technical. VNAU journal. Vinnytsia. 2015 Issue 3. P. 10-16.
8. Boiko V.B., Uleksin V.O., Sergeev A.P., Sych S.V. Pneumatic system of a hydropneumatic sowing device. Agricultural mechanics. Bulletin of DSAEU. Dnipro. 2016. No. 2. P. 37-41.
9. Pastukhov V., Boiko V., Tesliuk H., Ulexin V., Kyrychenko R. Study of seed agitation in the fluid of a hydropneumatic precision seeder. European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol 5, No 1 (107). P 36-43. DOI./10.15587/1729-4061.2020.212517.

*Publications, which will witness the approbation of the materials of the dissertation:*

10. Boiko V.B. Experimental determination of uniformity of sowing of seeds by a hydroseeder. Technical sciences: Collection of scientific works of VNAU. Vinnytsia. 2012. Issue. 11. Vol.1 (65). P. 89-94.

11. Boiko V.B. The process of pulp formation in the coordinate hydropneumatic sowing machine. Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko. Kharkiv. 2014. Issue. 148. P. 48-55.

12. Uleksin V.O, Boiko V.B. Substantiation of the parameters of the batcher for the hydropneumatic sowing device. Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko. Kharkiv. 2015 Issue. 156. P. 52-60.

13. Boiko V.B. Investigation of the process of charging seeds into the vas deferens of a coordinate hydropneumatic sowing machine. Design, production and operation of agricultural machines: National interdepartmental scientific and technical collection of KNTU. Kirovograd. 2015 № 45 (1). P. 291-297.

14. Boiko V.B. Research of accuracy of sowing of seeds of vegetable cultures by the coordinate hydro-pneumatic sowing device. Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko. Kharkiv. 2018. Issue. 190. P. 45-52.

*Publications that additionally reflect the scientific results of the dissertation:*

15. The method of coordinate hydropneumatic seeding and device for its implementation. Pat. 90998 Ukraine: IPC A01C7 / 04. № a 200601288; declared 09.02.2006; publ. 25.06.2010, Bull. № 12

16. The method of coordinate hydropneumatic seeding and device for its implementation. Pat. 99860 Ukraine: IPC A01C7 / 04. № a 201014565; declared 06.12.2010; publ. 10/10/2012, Bull. № 19.

## ЗМІСТ

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Вступ                                                                                    | 16  |
| Розділ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ                                              | 22  |
| 1.1 Сівба в системі точного землеробства                                                 | 22  |
| 1.2 Апарати точного висіву                                                               | 25  |
| 1.2.1 Пневматичні апарати точного висіву                                                 | 26  |
| 1.2.2 Механічні апарати точного висіву                                                   | 32  |
| 1.2.3 Гідравлічні висівні апарати                                                        | 36  |
| 1.2.4 Аналіз розглянутих різновидів висівних апаратів                                    | 40  |
| 1.3 Гідропневматичний апарат точного висіву насіння                                      | 42  |
| 1.4 Критерії якості роботи висівних апаратів точного висіву насіння                      | 46  |
| 1.5 Посівні якості насіння                                                               | 48  |
| 1.6 Висновки до розділу                                                                  | 49  |
| 1.7 Задачі досліджень                                                                    | 50  |
| Розділ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ                                                          |     |
| ГІДРОПНЕВМАТИЧНОГО АПАРАТА ТОЧНОГО ВИСІВУ                                                | 51  |
| 2.1 Постановка задачі теоретичних досліджень                                             | 51  |
| 2.2 Теоретичне обґрунтування параметрів висівного апарата                                | 52  |
| 2.2.1 Вибір форми та розмірів забірної камери висівного апарата                          | 53  |
| 2.2.2 Розрахунок показників формування ПЗШ в забірній камері                             | 62  |
| 2.2.3 Обґрунтування геометричних розмірів насіннєпроводу та висівного ствола             | 66  |
| 2.2.4 Визначення режиму роботи висівного апарату                                         | 71  |
| 2.3 Визначення розподілу швидкості рідини в забірній камері                              | 73  |
| 2.4 Фізико-математична модель процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері | 83  |
| 2.5 Дослідження процесу зарядження насінини в насіннєпровід                              | 97  |
| 2.6 Висновки до розділу                                                                  | 101 |

|                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Розділ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ                                                  | 103 |
| 3.1 Мета завдання та програма експериментальних досліджень                                                 | 103 |
| 3.2 Лабораторна установка гідропневматичного апарата точного висіву                                        | 104 |
| 3.3 Експериментальна гідропневматична сівалка точного висіву                                               | 111 |
| 3.4 Дослідження гідродинамічних властивостей насіння та їх зв'язок з основними параметрами кондиційності   | 112 |
| 3.4.1 Методика дослідження розподілення насіння за допомогою гідросепаратора                               | 115 |
| 3.4.2 Методика дослідження схожості та енергії проростання насіння після гідросепарації                    | 116 |
| 3.4.3 Дослідження зміни параметрів насіння у процесі замочування                                           | 116 |
| 3.5 Методика та дослідження процесу формування псевдозрідженого шару насіння в корпусі висівного апарата   | 117 |
| 3.6 Методика дослідження роботи гідравлічного та пневматичного клапана висівного апарата                   | 119 |
| 3.6.1 Дослідження електрогідравлічного клапана висівного апарата                                           | 120 |
| 3.6.2 Дослідження електропневматичного клапана висівного апарата                                           | 121 |
| 3.7 Лабораторні дослідження можливостей здійснення координатного висіву насіння                            | 122 |
| 3.8 Дослідження процесу розподілення насіння в насіннепроводі                                              | 124 |
| 3.9 Планування експериментів по обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи висівного апарата   | 129 |
| 3.10 Методика виробничих випробувань експериментальної сівалки з гідропневматичним апаратом точного висіву | 131 |
| 3.11 Висновки по розділу                                                                                   | 135 |

|                                                                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|                                                                                                                                                                              | 15  |
| Розділ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ                                                                                                                             | 136 |
| 4.1 Результати досліджень гідродинамічних властивостей насіння та встановлення їх зв'язку з показниками кондиційності насіннєвого матеріалу – схожістю, енергією проростання | 136 |
| 4.1.1 Результати дослідження схожості та енергії проростання насіння капусти, томату та перцю                                                                                | 136 |
| 4.1.2 Результати досліджень параметрів при замочуванні насіння овочевих культур                                                                                              | 138 |
| 4.2 Результати досліджень процесу формування псевдозрідженого шару                                                                                                           | 143 |
| 4.3 Результати досліджень гідравлічного та пневматичного клапанів                                                                                                            | 147 |
| 4.3.1 Дослідження гідравлічного клапана                                                                                                                                      | 147 |
| 4.3.2 Дослідження пневматичного клапана                                                                                                                                      | 148 |
| 4.4 Дослідження процесу розподілення насіння по насіннєпроводу                                                                                                               | 149 |
| 4.5 Результати лабораторних досліджень точного висіву насіння                                                                                                                | 151 |
| 4.6 Результати виробничих випробовувань експериментальної сівалки з ГПАТВ                                                                                                    | 157 |
| 4.7 Висновки по розділу                                                                                                                                                      | 159 |
| Розділ 5. Дослідження основних техніко-економічних показників при використанні гідропневматичного апарата точного висіву                                                     | 162 |
| 5.1 Розрахунок витрат на виготовлення висівного апарата                                                                                                                      | 163 |
| 5.2 Економічна ефективність від використання гідропневматичної сівалки точного висіву                                                                                        | 166 |
| 5.3 Висновки по розділу                                                                                                                                                      | 173 |
| Загальні висновки                                                                                                                                                            | 174 |
| Список використаних джерел                                                                                                                                                   | 177 |
| Додатки                                                                                                                                                                      |     |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Останнім часом в усіх сферах діяльності людини, зокрема в сільськогосподарському виробництві, все гостріше постають взаємопов'язані проблеми енергозбереження та захисту довкілля. Перспективним напрямком розвитку механізації рослинництва, який забезпечує зменшення енерговитрат та покращення екологічності галузі, виступає система точного землеробства.

Відмінною рисою точного землеробства є ощадливе застосування добрив, отрутохімікатів та інших витратних матеріалів у відповідності до потреб рослин, що знаходяться в конкретних умовах конкретної ділянки поля і, за рахунок цього, зменшення техногенного навантаження на ґрунт та покращення екологічності кінцевої продукції. Максимальний ефект від застосування точного землеробства досягається при розміщенні рослин на полі за координатним принципом – у певному порядку, у заздалегідь визначених для цього точках поля з наперед заданими координатами, що дозволяє мінімізувати витрати на виконання операцій по догляду за рослинами. Для повноцінної реалізації точного землеробства необхідні засоби координації всіх застосовуваних робочих органів відносно поля і рослин. У системах точного землеробства на базі існуючих машин для цього застосовують засоби супутникової навігації, доповнені локальними системами місце визначення та системами розпізнавання рослин. Після впровадження перспективного «мостового» землеробства з координатно-транспортною системою, яке по своїй суті є точним, з'явиться можливість здійснення координації робочих органів без використання складних систем навігації [1].

Для реалізації висіву насіння за координатним принципом в точному землеробстві необхідні сівалки, особливість яких полягає у здійсненні висіву за сигналами навігаційної системи або інших засобів місцевизначення машини.

Аналіз наявної посівної техніки вказує на відсутність засобів сівби рослин за координатним принципом. Створення гідропневматичного висівного апарата, здатного реалізувати координатний висів пророслого насіння, дозволить вирішити задачі реалізації точного землеробства та підвищити ефективність рослинництва за рахунок інтенсифікації початку вегетації (проростання) культивованих рослин.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалася в період з 2006 по 2021 рр. у відповідності до щорічних планів наукової роботи кафедри «Тракторів і сільськогосподарських машин» Дніпровського державного аграрно-економічного університету в рамках державної програми «Покращення паливно-економічних та екологічних показників сільськогосподарських енергетичних засобів шляхом удосконалення їх будови, застосування альтернативних матеріалів та впровадження прогресивних технологічних процесів» (номер державної реєстрації 0108U008380, 2008-2016 рр).

**Мета дослідження** – підвищення точності висіву пророслого насіння овочевих культур шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідропневматичного апарата точного висіву

**Завдання дослідження:**

- провести аналіз способів координації робочих органів в системі точного землеробства та апаратів точного висіву з метою вибору прототипів та розробки конструктивної схеми гідропневматичного апарата точного висіву;
- встановити закономірності розмірів та геометричних співвідношень елементів та деталей висівного апарата від розмірів насіння;
- дослідити гідродинамічні властивості насіння та встановити їх зв'язок з показниками кондиційності насіннєвого матеріалу;
- виконати теоретичні та натурні дослідження процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері для встановлення меж варіювання конструктивно-технологічних параметрів, що впливають на точність висіву висівного апарата;

- виконати теоретичні та натурні дослідження заряджання насіння до насіннєпроводу, для підвищення надійності роботи та точності висіву висівного апарату;
- провести лабораторні дослідження та обґрунтувати бажані значення конструктивно-технологічних параметрів, для підвищення точності висіву гідропневматичним апаратом точного висіву;
- розробити та провести порівняльні виробничі випробування експериментальної сівалки з розробленими гідропневматичним апаратом точного висіву з серійною сівалкою Клен-1,8. Визначити техніко-економічну ефективність використання висівного апарата.

**Об'єктом досліджень:** технологічний процес висіву насіння овочевих культур гідропневматичним апаратом точного висіву насіння.

**Предметом досліджень** є закономірності впливу кінематичних, динамічних та конструктивно-технологічних параметрів гідропневматичного висівного апарату на якісні показники його роботи.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження процесів гідравлічного висіву насіння ґрунтуються на основних положеннях гідродинаміки, з використанням методів чисельного моделювання та математичних моделей багатофазної взаємодії. При цьому використовувалися методи диференційного числення.

Експерименти проведені на лабораторній установці з використанням фото і відео фіксації та розробленого вимірювально-реєстраційного комплексу контролю розподілення насіння. Дослідження проводились з використанням математичного методу планування експерименту. Обробка результатів здійснювалася з використанням положень теорії ймовірності та кореляційно-регресійного аналізу з використанням програмних пакетів Qbasic, Statistika-6.0, Star CCM+, Mathcad, Excel.

### **Наукова новизна роботи:**

- вперше розроблено математичну модель процесу формування псевдозрідженого шару, яка дозволяє визначити кінематичні параметри руху насіння в забірній камері гідропневматичного апарату точного висіву [2];
- встановлено вплив: концентрації насіння в забірній камері, частоти висівів, тиску наддуву на точність висіву гідропневматичним апаратом точного висіву;
- розроблено спосіб дозування насіння з псевдозрідженого шару забірної камери в насіннепровід, що дав змогу реалізувати координатний висів насіння гідропневматичним апаратом точного висіву [3];
- використовуючи програмний пакет Qbasic розроблено спосіб реєстрації проходження насіння та його розподілу по насіннепроводу з можливістю обробки результатів для визначення статистичних показників: середньої відстані між насінинами, ступені неоднорідності, широти розподілення, дисперсії [4].

### **Практичне значення одержаних результатів**

Розроблено конструктивну схему гідропневматичного апарата точного висіву нового типу, новизна якої захищена патентами на винахід України №90998, №99860 [5, 6], що дає можливість здійснювати точний (координатний) висів насіння. Результати теоретичних та експериментальних досліджень гідропневматичного апарата точного висіву дають підстави для обґрунтування раціональних конструктивних параметрів конструкції для реалізації точного (координатного) висіву насіння овочевих культур.

Виготовлена експериментальна сівалка на базі ГПАТВ, яка пройшла випробування у виробничих умовах на дослідному полі Дніпропетровської дослідної станції інституту овочівництва і баштанництва НААН України на посівах томату, та перцю. Використання гідросівалки забезпечило точний висів пророслого насіння з одночасним внесенням рідини з засобами захисту та стимуляції росту на початковому етапі вегетації рослин, що дозволило зменшити коефіцієнт варіації розподілення рослин в рядку на посівах томату

на 10,6 %, на посівах перцю на 15,4 % в порівнянні з серійною сівалкою Клен-1,8. Польова схожість при цьому зросла на посівах томату на 12,4 %, перцю на 14,7%.

**Особистий внесок здобувача.** Автором особисто обґрунтовано конструктивну схему [6], розроблено математичні моделі основних технологічних процесів та натурні (фізичні) моделі гідропневматичного висівного апарата. Результати теоретичних і експериментальних досліджень, методики проведення експериментів і оцінки якісних показників опубліковано в вітчизняних фахових виданнях [2, 3, 4, 10, 11, 12, 15] та у виданні, що індексується у Scopus [16].

### **Апробація результатів дисертації**

Результати наукових досліджень були представлені на Міжнародній науково-практичній конференції «Аграрний форум-2006» (Суми СНАУ, 2006 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи застосування технологій точного землеробства» (Київ НАУ, 2006 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Механіка еластомерів-2007» (Дніпропетровськ ІГТМ НАН України, 2007р.); Науково-технічній конференції «Аграрна інженерія в умовах глобалізації» (Київ НАУ, 2008 р.); X міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (Дніпропетровськ ДДАУ, 2009 р.); XI міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (Київ, 2010 р.); XII міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (Луганськ ЛНАУ, 2011 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Технічний прогрес АПК» (Харків ХНТУСГ 2008, 2011, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (Вінниця ВНАУ, 2012 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (Глеваха ІМЕСГ, 2013, 2015 р.).

### **Публікації**

За результатами дисертаційної роботи опубліковано 16 наукових праць, з яких 13 статей в фахових виданнях України, 1 стаття у виданні, що індексується у Scopus, отримано 2 патенти України на винахід.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Обсяг основного тексту дисертації становить 161 сторінку, містить 87 рисунків, 24 таблиці. Список використаних джерел нараховує 122 найменування.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для досягнення високої ефективності рослинництва – максимальної урожайності при мінімальних витратах на вирощування – висів насіння повинен забезпечити не тільки найкращі умови розвитку рослин (зону живлення), але і можливість здійснення наступного догляду з мінімальними витратами. Вивченню та дослідженню даної проблематики [18-22] присвячені роботи Л.В. Погорілого, П.М. Василенка, Н.І. Глазьева, Б.І. Журавльова, Д.Г. Вальянова, С.А. Ма, Г.М. Бузенкова, В.П. Чичкіна, І.І. Синягіна, І.В. Якушкіна, В.Е. Комаристова, В.О.Улексіна, В.В. Тарасенка, В.І. Мельника, В.І. Пастухова, М.В. Бакума, Е.Б. Алієва, М.С. Шведика та ін.

Традиційні засоби механізації сівби забезпечують: висів насіння у стислі агротехнічні терміни; оптимальну заробку насіння у ґрунт по глибині; розташування рослин у відповідності до агротехнічних вимог та з урахуванням вимог засобів механізації наступних технологічних процесів по догляду за рослинами та збору урожаю – гніздовим способом, рядками чи стрічками з заданою густотою.

#### 1.1 Сівба в системі точного землеробства

Основною ідеєю системи точного землеробства є максимальне врахування строкатості поля, що приводить до персоніфікації вирощування рослин, коли кожна рослина на полі розглядається, як окремий біологічний об'єкт. Під час вегетації проводиться контроль (моніторинг) кожної рослини, за даними якого уточнюється зміст операцій по догляду за посівами. Індивідуальний підхід до кожної рослини дає підвищення урожайності при оптимізації механічного впливу на ґрунт та при зниженні агрохімічного навантаження. Підвищити ефективність ТЗ можливо шляхом якісної сівби,

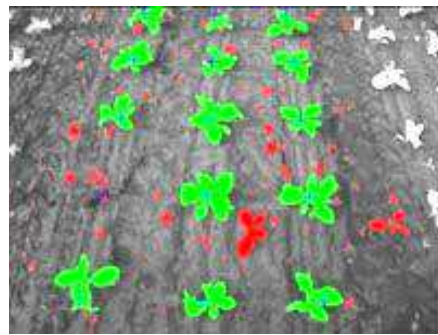
тобто рівномірного розміщення насіння на поверхні поля за попередньо визначеною схемою.

Піонерами в реалізації персоніфікованого вирощування рослин є науковці Данії, Англії, Німеччини та інших європейських країн, роботи яких пов'язані з розробкою автоматизованих машин по догляду за рослинами.

В Англії для впровадження персоніфікованого землеробства ведеться робота по створенню та дослідженню автоматизованих засобів моніторингу вегетації рослин. Представлене на рис. 1.1а [23] автономне шасі обладнано відеокамерою з фільтром «Kalman», яка забезпечує розпізнавання культурних рослин і бур'янів (рис. 1.1б) та використовується для автоматизації водіння між рядками рослин.



а



б

Рис. 1.1. Автономне шасі для проведення моніторингу а – загальний вигляд шасі; б – результат роботи відеокамери «Kalman»

Використовуючи датчики (сенсори) розпізнавання рослин, німецькі та датські науковці розробили автономний робот «Unkrautbekämpfung» (рис 1.2, [24]) з «інтелектуальним» робочим органом для прополювання.

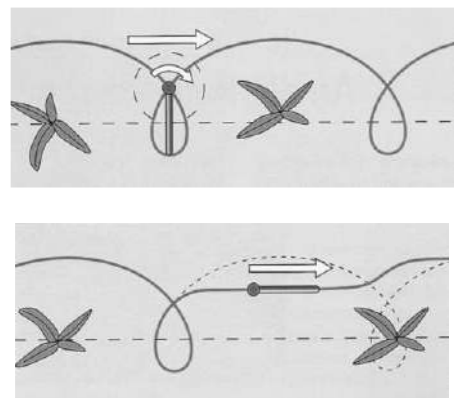


Рис. 1.2. Автономний робот для прополювання «Unkrautbekämpfung»

Основна мета розробки – забезпечення точної координації висіву насіння для здійснення орієнтації робочих органів відносно посівів у наступних операціях по догляду за рослинами, що дозволяє зменшити витрату хімпрепаратів. Орієнтування відносно рядка здійснюється комбіновано: системою GPS та системою OPTOMAIZER.

Дванадцятирічна робота англійської компанії «Garford Farm Machinery» сумісно з компанією «ТНТ» по координації робочих органів сільськогосподарських машин відносно рослин завершилася створенням технології «Roboscor» для міжрядного (рис. 1.3а) та рядкового (рис. 1.3б) обробітку [25].

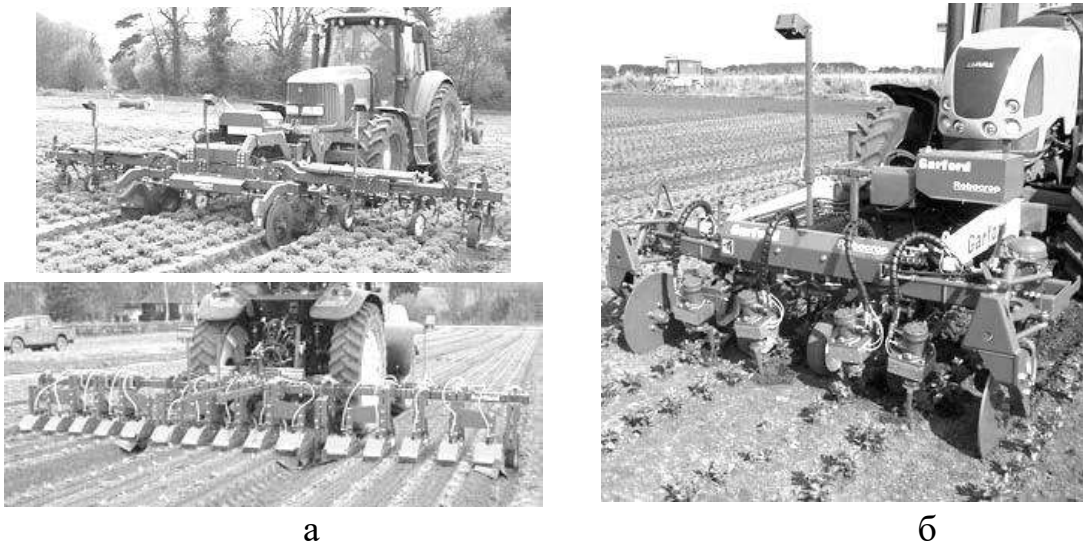


Рис. 1.3. Технологія «Roboscor» для забезпечення координації сільськогосподарських машин а – міжрядний обробіток рослин; б – рядковий обробіток рослин.

Координація робочих органів відбувається за результатами аналізу зображень відеокамер, встановлених на машині. Комп'ютер вираховує положення робочих органів відносно рядків і коригує їх рух за допомогою механізму зміщення робочих органів, який встановлено на навісці трактора. Можливо також відслідковувати розташування рослин в рядках і синхронізувати обертання робочих органів культиватора для рядкового прополювання. Випробування культиваторів з застосуванням технології «Roboscor» були проведені на прополюванні селери з інтервалом розміщення

рослин у рядку 20 см. Швидкодія культиватора становила 2 рослини за секунду з 98 відсотковою обробкою площі ґрунту в рядку, що дозволяє відмовитися від використання ручної праці чи застосування гербіцидів.

Розглянуті розробки завдяки впровадженню новітніх технологій наближають можливість реалізації персоніфікованого підходу до вирощування рослин. Перепоною широкому поширенню даних засобів механізації є їх велика вартість і складність застосування, пов'язані з використанням складних засобів координації.

Як видно з наведених прикладів, розвиток засобів автоматизації рослинництва та впровадження прийомів точного землеробства, відмінною рисою якого є персоніфікація вирощування рослин, викликають появу нових задач що до дії робочих органів. Так, для обробітку посівів у автоматичному режимі доводиться застосовувати складні телеметричні систем розпізнавання рослин [ 23–25].

Більш ефективною в плані автоматизації та персоніфікації вирощування рослин виявляється система координатного рослинництва, у якій для кожної рослини на полі завчасно передбачено своє місце і всі операції при вирощуванні культури виконуються під жорстким просторовим контролем руху робочих органів. Питанню координатного посіву присвячені роботи Тарасенка В.В, М.С. Шведика [26, 27]. Принципи координатного вирощування рослин занадто складні у реалізації при використанні традиційних засобів механізації, але достатньо просто реалізуються в системі мостового землеробства [28–30].

## 1.2 Апарати точного висіву

Точність висіву являється одним із найважливіших критеріїв якості роботи сівалок і в загальноприйнятих технологіях повинна забезпечувати оптимальну густоту посівів, можливість механізації операцій догляду за рослинами і збирання врожаю.

Зазвичай точним називається висів насіння з постійним кроком пунктиру і незначним відхиленням від осі. Бажання поліпшити якість висіву призвело до появи різноманітних конструкцій апаратів точного висіву, класифікація яких наведена на рис. 1.4 [22, 36].

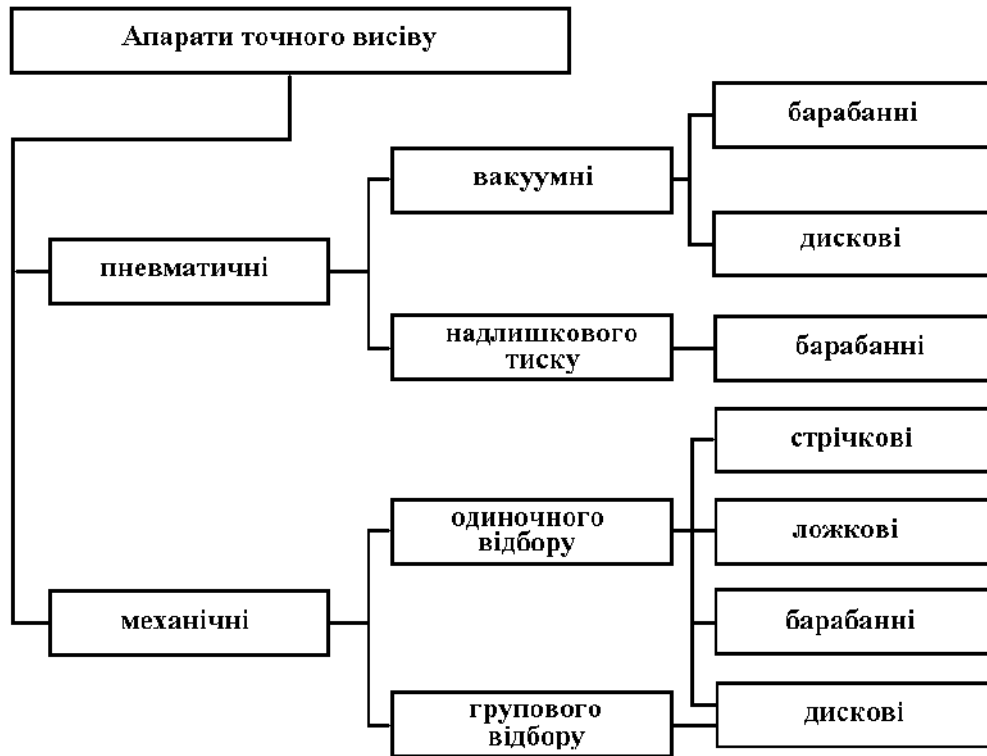


Рис. 1.4. Класифікація апаратів точного висіву

Згідно класифікації за принципом дії апарати точного висіву поділяються на пневматичні і механічні. Розглянемо основні схеми висівних апаратів різних типів для визначення придатності і можливості їх застосування при координатному способі вирощування рослин.

#### 1.2.1 Пневматичні апарати точного висіву

Завдяки високим показникам швидкодії та точності висіву пневматичні апарати точного висіву набули найбільшого поширення. Випуском апаратів точного висіву займаються такі провідні виробництва, як «ПП «Агросервістрактор», «ТОДАК», «Клен» (Україна), «Белинксельмаш», «Ритм» (Росія), «Молдагротехніка» (Молдавія), «Белагромаш» (Білорусь), «Unia» (Польща), «MaterMass», «Maschio Gaspardo» (Італія), «Kuhn»

(Франція), «Джон Дир», «Kinze» (США), Kleine «Akkord», «Becker» (Німеччина).

У пневматичних апаратах для відбору насіння з бункера використовується вакуум або надлишковий тиск. Апарати, що працюють з надлишковим тиском – барабанного типу. Подача насіння здійснюється всередину або зовні на барабан. Вакуумні апарати бувають дискові і барабанні. Всмоктуючі отвори або ніпелі в дискових апаратах розташовані на площині диска, в барабанних – на циліндричній поверхні. Для забезпечення однонасінневого відбору висівні апарати обладнують засобами видалення надлишкового насіння.

Пневматичні висівні апарати для однозернового висіву створювались у 30-ті роки 20-го сторіччя [19, 22]. Відомі розробки апаратів для висіву зернових культур (система І.Л.Слущкого, 1943 р.). Серійно висівний апарат пневмомеханічного висіву вперше було застосовано на французьких сівалках „SOCAM” у 70-х роках.

Робочий процес пневматичного апарату точного висіву розглянемо на прикладі сівалки СТВ-8КУ (Білорусь) (рис. 1.5) [37].

Принципово важливим конструктивним елементом сівалки точного висіву являється висівний центр, до складу якого входять висівний барабан 1, який обертається разом з висівним диском 2. Вентилятором через пустотілу вісь 3 створюється вакуум, який забезпечує присмоктування насіння 4 до висівного диска. Скидачі 5 і 7 корегують можливі двійні прилипання насіння, зубчастий скидач 5 безступінчато встановлюється по шкалі 6 в залежності від розміру насіння. Прозоре оглядове вікно дозволяє візуально слідкувати за процесом заповнення отворів диска насінням. Відсікання насіння відбувається за допомогою преривника 8 в точно визначеному місці. Це забезпечує високу точність укладання насіння при високій швидкості посіву.

Перевагою даного типу апаратів є простота конструкції та відсутність насіннєпроводу: висівний диск розташовується безпосередньо біля дна борозни.

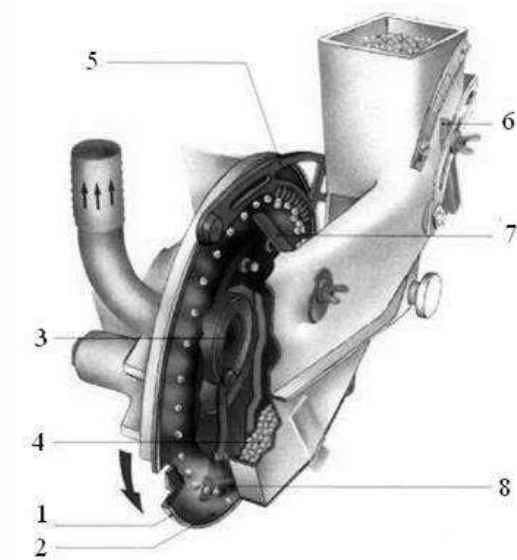


Рис. 1.5. Схема пневматичного висівного апарата з вертикальним диском [37]:

1 – висівний барабан; 2 – висівний диск; 3 – вісь; 4 – насіння;  
5, 7 – скидачі; 6 -шкала скидача; 8 - преривник

Для забезпечення точного висіву зернових колосових культур відомий висівний апарат барабанного типу [20] у якому висівний елемент виконано у вигляді зрізаного конуса, встановленого на вертикальній осі (рис.1.6).

Процес висіву відбувається наступним чином. Насіння самопливом поступає з бункера 11 через осьовий канал цапфи 10 в камеру 9. Під дією вакууму, який з камери 8 через канали 7 поширюється в зону комірчин 6, насіння присмоктується до комірчин і при обертанні висівного елемента 2 виноситься в зону насіннєвловлювачів 4. В момент перекриття присмоктувальних каналів 7 вальцем 3 вакуум в комірчинах 6 зникає і насіння випадає з комірчин в насіннєвловлювачі 4, звідки по насіннєпроводах 5 транспортується до сошників. Привід висівного елемента 2 здійснюється від ходових коліс сівалки за допомогою привідної зірочки 1.

Аналіз показує, що відбір насіння буде однозерниним, але в подальшому при потраплянні насінин до насіннєпровода розподілення насіння в рядку не буде рівномірним, що пов'язано з розташуванням сошників на значній відстані від висівного апарата.

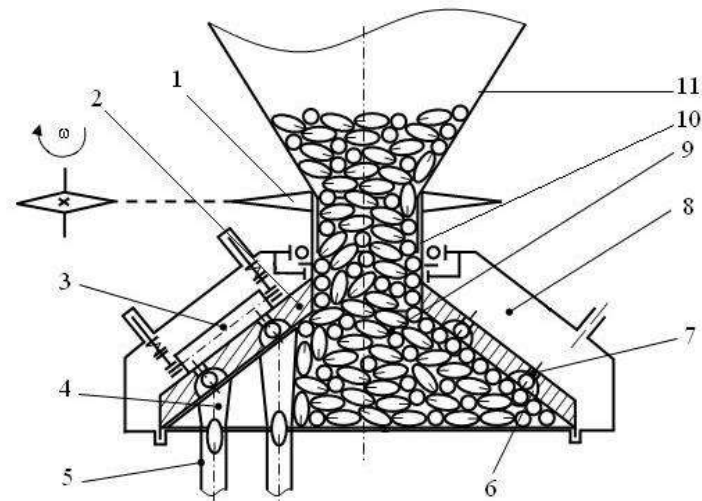


Рис. 1.6. Принципова схема пневмо-механічного висівного апарата для координатно-однзернинного висіву насіння зернових колосових культур [20]: 1 – ланцюгова передача; 2 – висівний елемент; 3 – валець; 4 – насінєвловлювач; 5 – насіннепровід; 6 – комірчина; 7 – наскрізний канал; 8 – вакуумна камера; 9 – забірна камера; 10 – осьовий канал цапфи; 11 – бункер

Певний інтерес викликає запропонований пневмо-імпульсний висівний апарат з електронним регульованим приводом (авторське свідоцтво № 48270, (рис.1.7) [38].

Висівний апарат працює наступним чином. Вентилятор 8 через деку 7 подає сталий потік повітря в робочу камеру 4, піднімальна сила  $R$  повітряного потоку в центральній частині робочої камери дорівнює силі тяжіння насіння  $G$ , що є умовою утворення в камері псевдозрідженого шару насіння. Назовні висхідний потік повітря виходить через решітку 3. З бункера 1 через живильну камеру 2 насіння самопливом потрапляє на деку 7 і за рахунок висхідного потоку повітря подається в робочу камеру 4. Дека 7 служить для утворення рівномірного по площі висхідного потоку повітря і запобігає витіканню насіння.

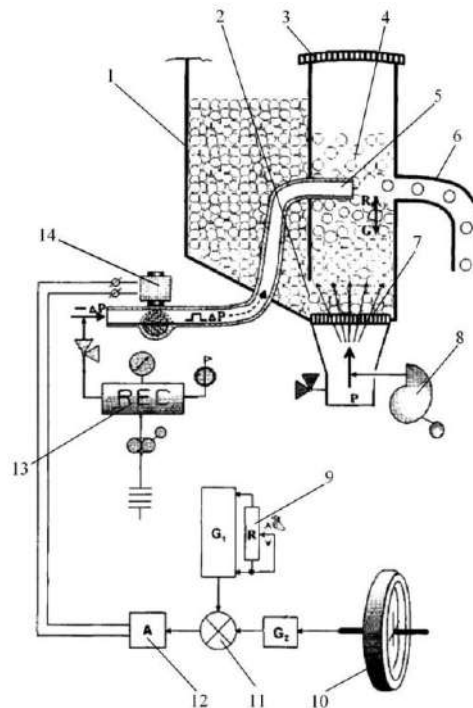


Рис. 1.7. Пневмо-імпульсний висівний апарат [38]: 1 – бункер; 2 – живильна камера; 3 – решітка; 4 – робоча камера; 5 – ежекторний патрубок; 6 – насіннєпровід; 7 – дека; 8 – вентилятор; 9 – регулятор норми висіву; 10 – колесо; 11 – суматор; 12 – підсилювач; 13 – ресивер; 14 – електромагнітний клапан

Під час роботи сівалки колесо 10, що котиться по поверхні ґрунту, приводить у дію генератор  $G_2$ , який на виході формує електричні сигнали з частотою, пропорційною частоті обертання приводного колеса. Ці сигнали подаються на перший вхід суматора 11, на другий вхід якого подається сигнал від генератора імпульсів  $G_1$ , причому частота імпульсів залежить від положення регулятора  $R$  норми висіву 9. На виході суматора 11 утворюється сигнал, частота якого залежить як від швидкості руху сівалки, так і від положення регулятора  $R$  норми висіву. Після підсилення підсилювачем 12 імпульси електричного струму подаються на електромагнітний клапан 14, який відкриває доступ потоку повітря з ресивера 13 під тиском  $\Delta P$  до ежекторного патрубка 5.

В результаті на виході ежекторного патрубка створюється імпульсний потік повітря, який захоплює насінини з робочої камери 4 і виносить їх в

насіннєпровід 6, а керована регулятором 9 частота імпульсного потоку повітря визначає норму висіву насіння.

Відсутність залежності кроку висіву насіння від будови барабанів, дисків, комірчин і т. ін., дозволяє оперативно змінювати норму висіву під час руху сівалки і забезпечувати програмовану норму сівби. Відсутність механічних рухомих робочих органів виключає травмування насіння. До недоліків запропонованої схеми можна віднести відсутність формуючої ланки інтервалів між насінинами, а імовірнісний характер процесу забору насіння з робочої камери 4 призводить до появи нерівномірності розподілу насіння в рядку.

Одним із представників висівних апаратів барабанного типу на ринкові України, являється вакуумна сівалка точного висіву СВТВ-4 [39]. За словами виробника ПП «Агросервістрактор» м. Дніпро апарат не має аналогів. Висівний апарат забезпечує точний багаторядковий висів насіння овочевих культур з одночасним внесенням мінеральних добрив. Загальний вигляд апарату наведено на рис. 1.8.

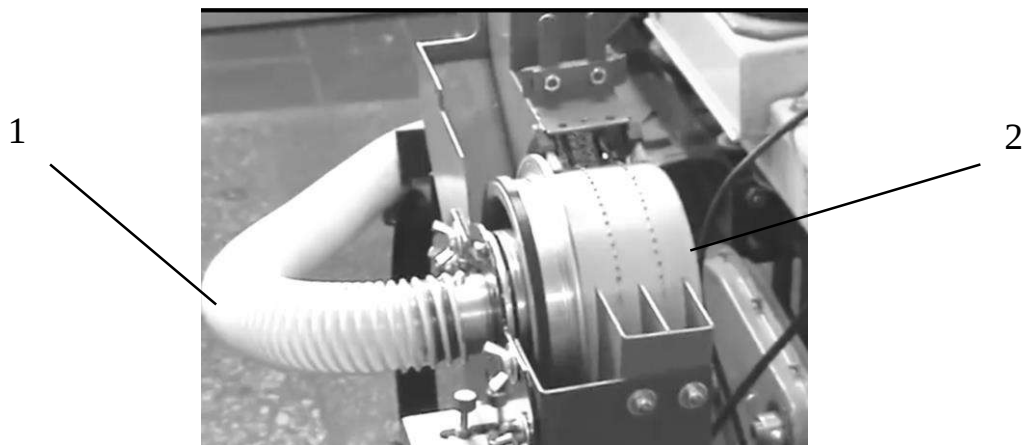


Рис. 1.8. Сівалка вакуумна точного висіву СВТВ-4 «Дніпрянка» [39]:

1 – вакуумопровід; 2 – барабан

Сівалка забезпечує однонасіннєвий відбір насіння та пунктирне вкладання насіння в насіннєве ложе з мінімальним відхиленням від заданого інтервалу між насінням з послідуною заробкою борозни. Виробник гарантує точність висіву 90 %.

### 1.2.2 Механічні апарати точного висіву

Механічні апарати розрізняють по способу відбору насіння з загальної маси: поодиноким та груповим відбір; за конструктивними ознаками поділяють на стрічкові, дискові, барабанні, втулкові, гвинтові та ложкові [19, 22].

Стрічкові апарати встановлюють на сівалках «Стенхей», втулкові застосовуються на сівалках СКР 3/2-50 (НПК «Роста» Україна), барабанні – на сівалах «Монодріл» і «Моноцентр», «Вебб», «Глостер», «Палм Агроматік», «Унісем», «Моносем» (Франція), «Уникорн»; дискові на сівалках типу СКНЖ, СЧХ-4, «Мак-Кормік», «Джон Дір» і ін. Барабанні апарати мають вертикальну і горизонтальну, а дискові – вертикальну і похилу осі обертання висівальних дисків.

Висівні елементи в стрічкових, втулочних і барабанних апаратах рухаються безперервно, а в дискових – як безперервно, так і періодично.

Механічними висівними апаратами втулочного типу, які забезпечують високу точність розташування насіння на полі, обладнуються сівалки координатного висіву СКР науково-виробничої компанії «Роста» (рис.1.9) [40-42].

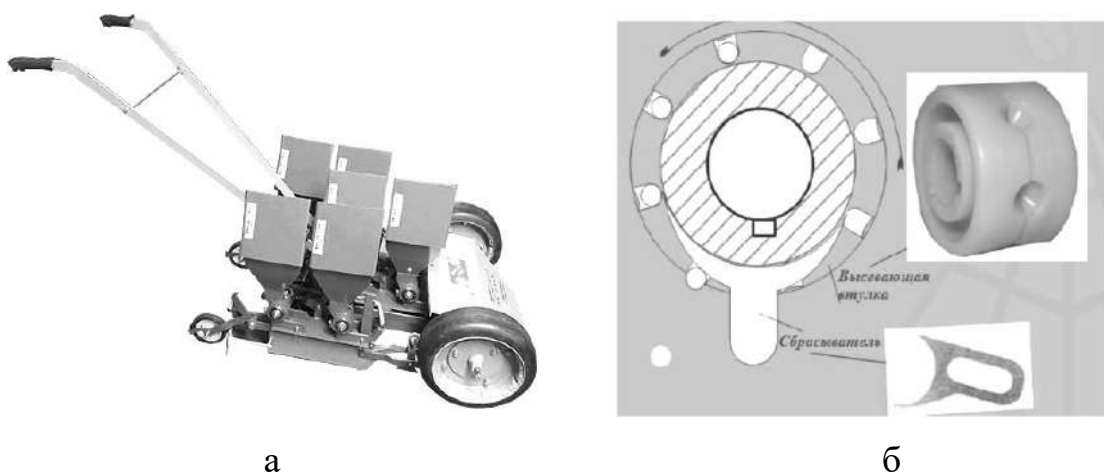


Рис. 1.9. Сівалка СКР для координатного висіву насіння: а – загальний вигляд, б – втулочний висівний апарат [27, 41].

Точність розташування насіння досягається завдяки надійному дозуючому механізму висівного апарата, та використанню відкаліброваного посівного матеріалу.

Використання сівалок для квадратно гніздового посіву СКНК-8 дозволяє реалізувати точне координатне розміщення насіння на полі завдяки використанню мірного сталевго дроту або ланцюга [43], на якому закріплені вузли (напресовані сталеві кульки) з кроком, рівним кроку висіву насіння. Мірний дріт при проходженні повз вузлоуловлювач висівного апарата сівалки керує дозуючим клапаном подачі насіння. За допомогою дозуючого механізму забезпечується регульований висів у одне гніздо від однієї до чотирьох насінин.

Представником стрічкових висівних апаратів точного висіву є апарат англійської сівалки „Стенхей” [19 ] (рис 1.10.).

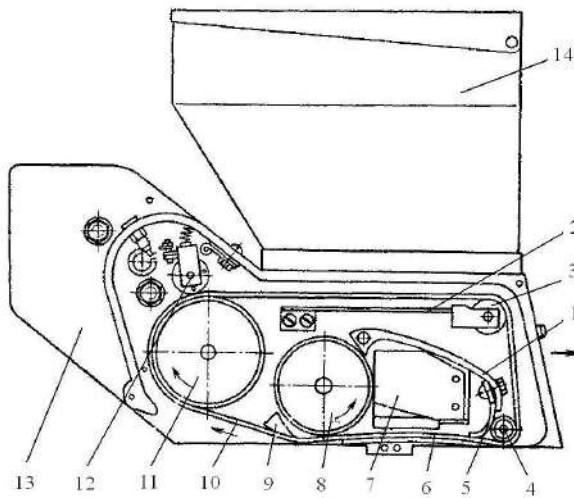


Рис. 1.10. Стрічковий висівний апарат Стенхей: 1 – перегородка; 2, 3 – пружина і натяжний ролик; 4 – ролик; 5 – екран; 6 – денце; 7 – заслінка; 8 – відбиваючий ролик; 9 – упор; 10 – гумовий пас; 11 – ролик привода; 12 – пристрій контролю; 13 – корпус; 14 – бункер

Працює апарат наступним чином. Насіння самопливом крізь вікно, яке регулюється заслінкою 7, надходить до насінневої камери, дном якої є гумовий пас 10 з отворами. Ділянка гумового пасу у насінневій камері лежить на підтискному дінці 6, яке має випуклу форму у бік насінневої камери. Завдяки цьому отвори у гумовому пасі набувають замість циліндричної зрізану конічну

форму з більшою основою у бік насінневої камери, що покращує заповнення отворів насінням. Стрічка паса з насінням рухається до ролика 8, який зчісує насіння з поверхні стрічки назад у насіннєву камеру.

Насіння, яке потрапило у отвори паса, рухається з пасом до упора 9, де пас набуває випуклої форми вже у бік борозни, отвори з заповненим насінням набувають зрізаної конічної форми з більшою основою над борозною і насіння вільно випадає з отворів паса. Процес висіву контролюється за допомогою електронного блоку керування висівним апаратом. Точність висіву апаратом можлива лише за умови попереднього калібрування насіння.

На рис. 1.11 представлено гвинтовий апарат точного висіву за патентом UA № 14591 [44]. Висів таким апаратом здійснюється наступним чином. Насіннєвий бункер 1 наповнюють посівним матеріалом. Диск 4 з еластичними лопатками приводять у дію від опорно-привідного колеса 6. Насінина 2 заповнюють отвори насіннєвловлювача 8 і потрапляють в зону гвинта 7, яким виштовхуються в насіннєспровід і далі через сошник 3 у ґрунт. Пригортання здійснюється загортачем 5, ущільнення – опорно-ущільнюючим колесом 6.

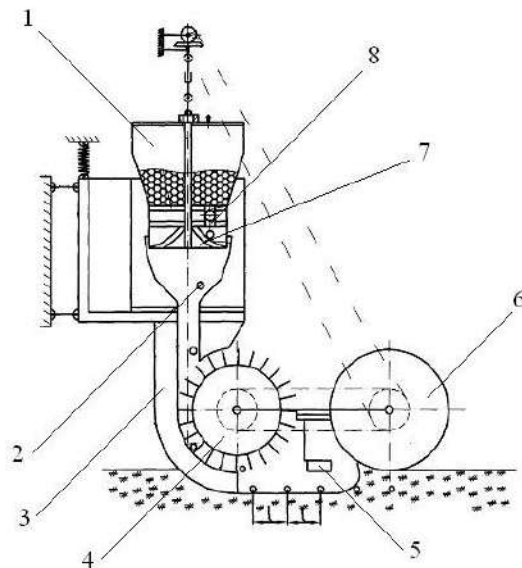


Рис 1.11. Гвинтовий апарат точного висіву: 1 – бункер; 2 – насіння; 3 – сошник; 4 – диск з лопатками; 5 – загортач; 6 – ущільнююче колесо; 7 – гвинт; 8 – насіннєуловлювач

До переваг гвинтового висівного апарату відноситься розширення технологічних можливостей сівалки, що дозволяє висівати різні культури (горох, кукурудзу, буряки столові, цукрові, кормові, боби та інше) однією сівалкою. До недоліків даного апарату можна віднести низьку рівномірність розподілення насіння в рядку, що пов'язано віддаленістю дозуючого пристрою 7 від насінневого ложа. Наявність еластичного диска 4 частково усуває цей недолік.

Вирішенням питання точного розподілу насіння в рядку і по глибині, займалися у ВНИИ росземлеробства. На базі механічної сівалки точного висіву ССТ-12А розроблено і досліджено висівний апарат з пневмоімпульсним розвантаженням комірок (рис. 1.12) [45].

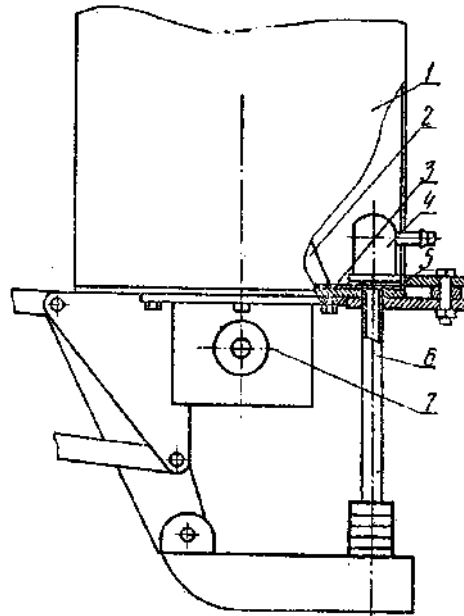


Рис. 1.12. Висівний апарат з пневмо-імпульсним розвантаженням комірок:

- 1 – бункер; 2 – лопатки воружителя; 3 – дозуючий диск;
- 4 – пульсатор; 5 – основа; 6 – ствол; 7 – привод воружителя

При обертанні дозуючого диска 3 насіння потрапляє в його комірки і переміщається до місця розвантаження. При суміщенні вісі комірки і пульсатора 4 відбувається «вистрілювання»: під дією імпульсу стисненого повітря насіння виштовхується в ствол насіннепроводу 6 і розганяється до швидкості, необхідної для проникнення в дно борозни. Польові дослідження довели, що застосування пневмоімпульсних апаратів забезпечило рівномірне

розподілення насіння в рядку, виключило переміщення його вздовж насіннєвого ложа і дозволило на 5,7 % зменшити коефіцієнт варіації глибини заробки насіння.

### 1.2.3 Гідравлічні висівні апарати

Гідравлічні висівні апарати належать до нового перспективного класу, поки що не включеного до системи машин. Дані висівні апарати дають можливість вирішити ряд питань, які неможливо реалізувати іншими висівними машинами: забезпечити висів пророслого насіння, мінімізувати травмування насіння, здійснити одночасне внесення рідин захисної та підживлюючої дії, підвищити польову схожість насіння, зменшити норми висіву, прискорити появу сходів.

Оригінальну конструкцію гідравлічного висівного апарату запропоновано в авторському свідоцтві US № 1660602, (рис. 1.13) [45].

Апарат призначений для однонасіннєвого висіву пророслого насіння. Згідно з описом, приведеним у авторському свідоцтві, апарат працює наступним чином. Насіння, що знаходиться в бункері 2 осідає в нижній його частині. За рахунок розрідження в каналі 4, що створюється переміщенням вправо поршня 15 у циліндрі 14, трубка 6 захоплює одну або декілька насінин. Після цього клапан 13 відкривається і рідина з резервуара 10 по трубопроводу 12 проходить через канали 3 та 5 у бункер 2 з насінням. Насіння, що знаходилося в нижній частині бункера починає підніматися рідиною, одночасно з трубки 6 виноситься зайве насіння і на ній залишається одна насінина.

При зміщенні корпусу 1 вправо і одночасного руху поршня 15 вліво рідина з трубки 6 через кільцевий канал 9 виносить захоплену насінину до вихідного насіннєпроводу 7, розміщеного в нижній частині корпусу 8 висівного апарата. При цьому з бункера 2 у праву порожнину циліндра 14

забирається порція рідини, яка при зворотному ході поршня через клапан 16 повертається в резервуар 10.

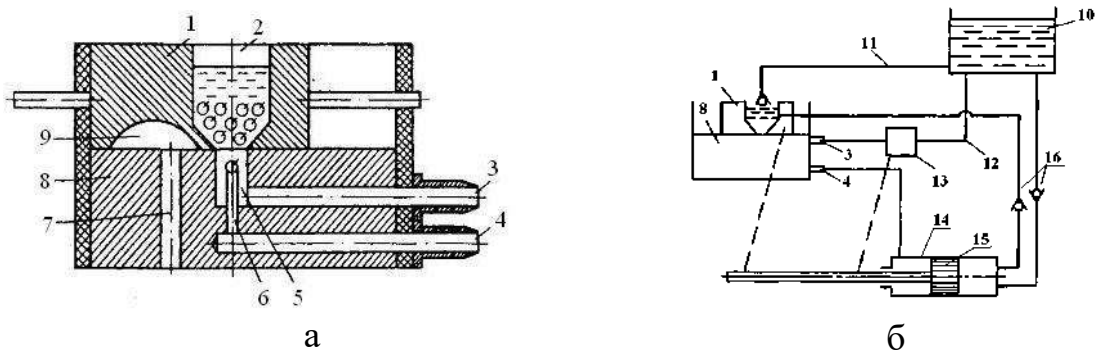


Рис. 1.13. Пристрій для висіву пророслого насіння: а – висівна частина; б – структурна схема пристрою; 1 – верхня частина корпусу; 2 – бункер; 3, 4, 5, 9 – канали висівного апарату; 6 – трубка; 7 – насіннепровід; 8 – нижня частина корпусу; 10 – резервуар; 11, 12 – трубопроводи; 13, 16 – клапани; 14 – циліндр; 15 – поршень;

Попри переваги гідравлічного висіву основним недоліком розглянутого апарата є низька швидкодія, пов'язана з циклічністю і розділенням в часі двох процесів – заряджання (захоплення насіння) та висіву.

Науковцями Національного університету біоресурсів і природокористування України, створено гідравлічну сівалку для висіву пророслого насіння, схема якої представлена на (рис. 1.14) [46].

Процес висіву пророщеного насіння здійснюється наступним чином: бункер 1 розміщений на рамі 20 заповнюється водою і добривами через заливну горловину, потім додаємо пророщене насіння. Для утворення псевдозрідженого шару відкривається повітряний кран 17 для подачі повітря в бункер через форсунку 8 для змішування і запобігання осідання насіння на дно бункера та робочих резервуарів 11. Воду і насіння вносять з бункера 1 через дросельний клапан 18 і патрубки 10 в робочі ємності 11.

Повітря надходить в робочі ємності через перфоровані днища і піднімає насіння до уловлювачів, з'єднаних з насіннепроводами 5 і сошником 6. Змінюючи тиск повітря від 0,5 до 2 атм. та витрату дросельного клапана, можна встановлювати не обхідну норму висіву насіння.

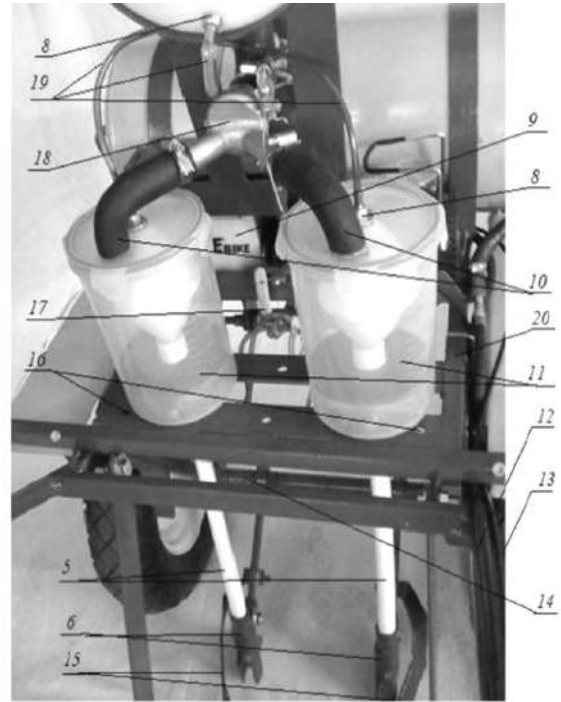
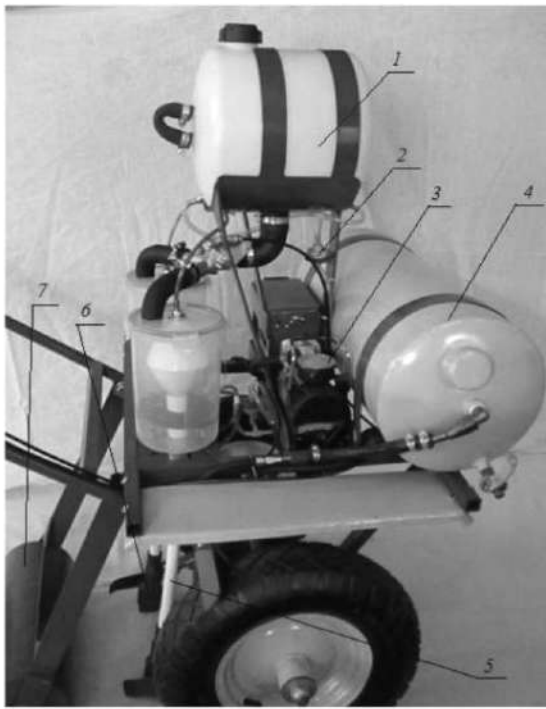


Рис. 1.14. Гідравлічна сівалка: 1 – бункер; 2 – запобіжний клапан; 3 – компресор; 4 – ресивер; 5 – насіннєпроводи; 6 – сошники; 7 – ущільнювальний коток; 8 – форсунки; 9 – акумуляторна батарея; 10 – патрубками; 12 – привод повітряного крана; 11 – робочі ємності; 13 – електроклапан; 14 – вісь ходової частини; 15 – загортачі; 16 – технологічні отвори; 17 – повітряний кран; 18 – дросельний клапан; 19 – повітроводи; 20 – рами;

Як зазначають розробники, запропонована сівалка особливо ефективна при застосуванні на присадибних, дачних ділянках в теплицях при вирощуванні овочевих культур та лікарських рослин. Висів пророщеного насіння скоротить термін від посіву до появи сходів.

До недоліків запропонованої сівалки можна віднести ймовірнісний характер розподілення насіння в рядку, що пов'язано з відсутністю засобів точного дозування та травмування насіння запірними елементами клапанів.

Ще одну цікаву схему гідравлічного висівного апарата (рис. 1.15) [47] запропоновано в Інституті овочівництва і баштанництва НААН. Розроблена гідросівалка СГО-4,2 дозволяє висівати проросле насіння овочевих культур разом з водою

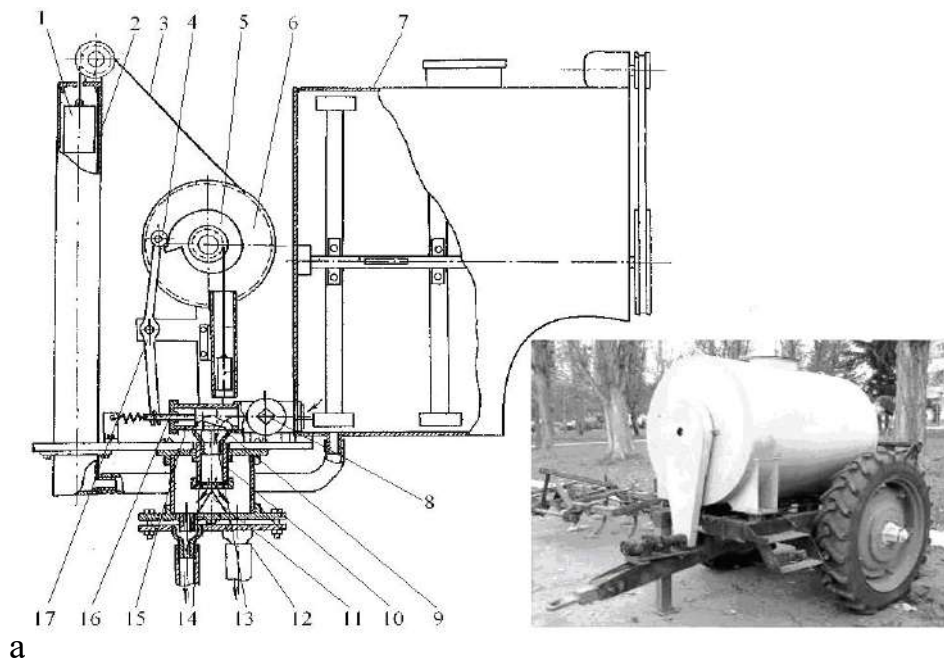


Рис. 1.15. Схема гідравлічного висівного апарата та зовнішній вигляд сівалки СГО-4,2: 1 – поплавок; 2 – місткість; 3 – трос; 4 – ролик; 5 – кулачок; 6 – колесо; 7 – цистерна; 8 – запірний пристрій; 9 – лійка; 10 – патрубок; 11 – розподільний конус; 12 – вихідний патрубок; 13 – отвір; 14 – поршень; 15 – циліндр; 16 – шток; 17 – двоплечевий важіль;

Гідравлічний висівний апарат працює наступним чином. При закритому запірному пристрої 8 цистерна заповнюється водою та насінням. Обертання мішалки в цистерні призводить до утворення зваженого у воді насіння. Оскільки цистерна 7 і місткість 2 є сполученими посудинами, поплавок 1 фіксує рівень рідини в місткості 2 і, завдяки зв'язку через трос 3 з колесом 6, установлює останнє та кулачок 5 в початкове положення. Двоплечий важіль 17, торкаючись роликом 4 робочій поверхні кулачка 5, протилежним кінцем через шток 16 установлює поршень 14 у визначене положення, відкриває отвір 13 в циліндрі 15 на величину, що відповідає початковому оптимальному витіканню робочої суміші.

З початком руху посівного агрегата запірний пристрій 8 переводиться у відкрите положення. При цьому рідина з насінням із цистерни 7 через запірний пристрій 8 заповнює порожнину, утворену внутрішнім об'ємом циліндра 15 і

днищем поршня 14, через відкриту частину вихідного отвору 13 і лійку 9 поступає в патрубок 10, звідки суцільним струменем спрямовується на вершину розподільного конуса 11, розсікаючись, розподіляється через вихідні патрубки 12 по насіннепроводах. При витраті робочої суміші поплавков 1, переміщаючись відповідно рівню рідини в місткості 2, викликає рух поршня 14 в напрямку більшого відкривання робочого отвору 13, що забезпечує сталість витікання рідини з насінням і, відповідно, високу рівномірність висіву. Зупинка висіву здійснюється шляхом закривання запірною пристроєм. Відсутність засобів контролю висіву насіння не забезпечує від збоїв у роботі висівного апарата, що знижує надійність технологічного процесу висіву.

#### 1.2.4 Аналіз розглянутих різновидів висівних апаратів

Проведений вище огляд характерних представників різних типів висівних апаратів дозволяє стверджувати наступне:

1. Робочий процес будь-якої сівалки включає: утворення насіннєвого ложа, забір насіння з бункера, його дозування, транспортування до насіннєвого ложа, вкладання в насіннєве ложе та загортання.

2. Основною відмінністю висівного апарата точного (координатного) висіву є здійснення висіву за сигналами системи позиціювання (системи місцевизначення, системи координації, навігаційної системи). В існуючих сівалках, крім квадратно-гніздових, ця функція відсутня: вони неспроможні забезпечити точний (координатний) висів насіння, що можна пояснити тим, що до останнього часу не стояла задача координатного висіву. Це відображають також відомі системи класифікації висівних апаратів [19, 22, 48], у яких відсутні засоби сівки за координатним принципом.

3. Висівний апарат з пневмоімпульсним розвантаженням комірок (рис. 1.12) може виконувати функції координатного, якщо імпульси розвантаження формувати за допомогою системи місцевизначення, а положення дозуючого диска 3 коригувати у відповідності до надходження імпульсів розвантаження.

Ще одна важлива особливість апарата з пневмоімпульсним розвантаженням – керована подача насіння до насінневого ложа з високою швидкістю (вистрілюванням), що сприяє підвищенню точності висіву.

4. У існуючих сівалок насіннєве ложе утворюється як борозенка, що відкривається сошниками різної будови або створюється вдавлюванням верхнього шару ґрунту. Деякі сівалки мають лункоутворювачі (рис. 1.16 а), які дозволяють впливати на ґрунт лише локально, у зоні розташування гнізда, що дає вагому економії енергії, але призводить до ускладнення будови сівалки. Про енергоощадливість сівалки з лункоутворювачем говорить факт його застосування для ручної кукурудзяної сівалки (рис. 1.16 б) [49].

5. В усіх висівних апаратах для забору насіння з бункера застосовується його перемішування різними способами: механічно, потоком газу (повітря) або потоком рідини. При цьому у деяких випадках у зоні забору насіння створюється псевдозріджений шар, що полегшує роботу дозуючого пристрою.

6. Дозування відбувається за допомогою механічних пристроїв (рис. 1.5-1.6, 1.8, 1.10-1.12), витісненням імпульсним потоком газу (рис. 1.12), захопленням потоком рідини (рис. 1.13-1.15) або комбіновано – механічний втулковий дозатор та витіснювач насіння для точного висіву (рис.1.9).

7. Транспортування насіння від дозатора до насінневого ложа та вкладання його в насіннєве ложе здійснюється переважно насіннєпроводами (рис. 1.7-1.10), вільним падінням (рис. 1.6), виштовхуванням витіснювачем (1.9), потоком повітря (рис. 1.7, 1.12), транспортування рідиною (рис. 1.13-1.15). Особливо цікавим для координатного висівного апарата є спосіб «вистрілювання» рис.1.12.

8. Вкладання насіння в насіннєве ложе здійснюється переважно вільним падінням, лише в деяких випадках застосовується вдавлювання у ґрунт (рис. 1.16) [21].

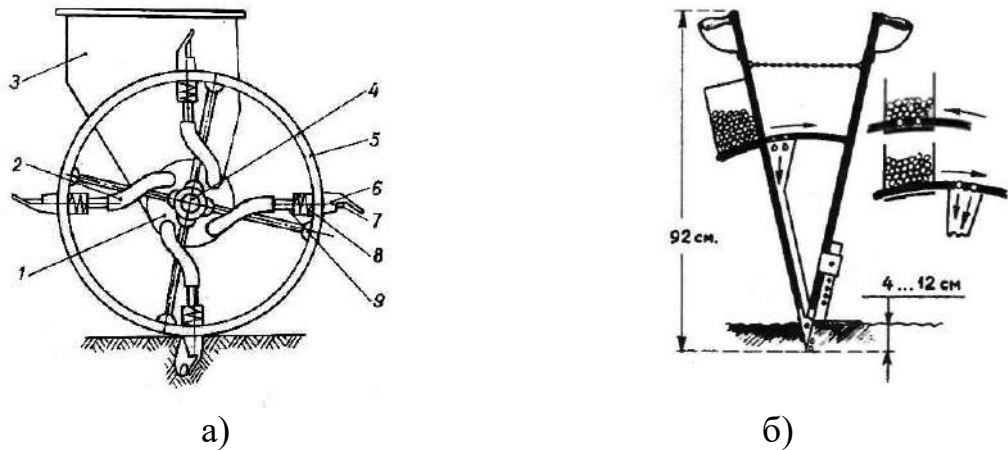


Рис. 1.16. Схема сівалок з лункоутворювачем: а) – пневматична [21], б) – ручна: 1 – висівний апарат; 2 – насіннєпровід; 3 – бункер з насінням; 4 – сниця колеса; 5 – обід; 6 – лункоутворювач; 7 – клапан; 8 – пружина клапана; 9 – штуцер

9. Загортання здійснюють зміщенням верхнього шару ґрунту на борозну за допомогою загортачів, у деяких випадках застосовують мульчування [21]. При наявності лункоутворювача окремий елемент для загортання не передбачають.

### 1.3 Гідропневматичний апарат точного висіву насіння

При розробці конструктивної схеми гідропневматичного висівного апарата [5, 6] було використано попередні напрацювання [50, 51] та окремі наявні технічні рішення, враховано основні вимоги до здійснення точного висіву за координатним принципом (в задані точки на полі):

1 Розроблений апарат повинен забезпечити висів насіння в системі координатного землеробства з максимальною точністю.

2. Висів повинен відбуватися («вистрілюванням») насіння рис.1.12 і лише за сигналами системи місцевизначення, в якості якої виступають датчики положення висівного апарата відносно поля.

3. Для забору насіння з бункера і транспортування його до місця «вистрілювання» використовується робоча рідина (вода з необхідними

добавками), яка у місці забору перемішується потоком до утворення псевдозрідженого шару рис.1.14.

4. Процеси утворення насіннєвого ложа та його загортання, як другорядні для даної роботи, у конструктивній схемі відображення не знайшли. Для зменшення енергоємності цих процесів можуть бути застосовані лункоутворювачі.

Конструктивна схема гідропневматичного апарата точного (координатного) висіву, захищена патентами на винахід UA № 90998 та UA № 99860, приведена на рис. 1.17.

Висівний апарат включає закритий бак 1 з робочою рідиною та насінням, сопло-ствол 2 подачі насіння з рідиною у ґрунт, сполучений за допомогою насіннєпроводу 3 з баком 1, датчик 4 положення сопла-стволу відносно ґрунту, циркуляційний насос 5, вхід якого сполучено з забірним фільтром 6, резервуар 7 для робочої рідини, компресор і ресивер для стиснутого повітря (на схемі не показані), електрогідравлічний 8 та електропневматичний 9 клапани, блок керування 10 та датчик 11 подачі насіння у сопло-ствол.

Бак 1 у нижній частині має клиноподібне звуження забірну камеру 12 до якої у найвужчій частині через захисну сітку 13 приєднано вихід циркуляційного насоса 5 з регульованим електроприводом 14, сполученим з регулятором 15. В середній частині забірної камери 12 розміщено вхідний отвір насіннєпроводу 3 а з протилежної сторони – вихідний отвір 16 трубопроводу подачі робочої рідини, який через електрогідравлічний клапан 8 з'єднано з резервуаром 7. У зоні розташування вхідного отвору насіннєпроводу 3 розміщено фотодатчик оптичної щільності псевдозрідженого шару з фотоприймачем 17 та освітлювачем 18, який просвічує шар насіння в рідині. У кришці бака встановлено дренажний канал 19.

Резервуар 7 та сопло-ствол 2 через електропневматичний клапан 9 сполучені з ресивером для стиснутого повітря. Датчик 11 подачі насіння у сопло-ствол 2 сполучено з першим входом V1, а датчик 4 положення сопла-

ствола 2 відносно ґрунту – з другим входом V2 блока керування 10. Виходи W1 та W2 блока керування 10 сполучено з електрогідравлічним 8 і електропневматичним 9 клапанами, відповідно.

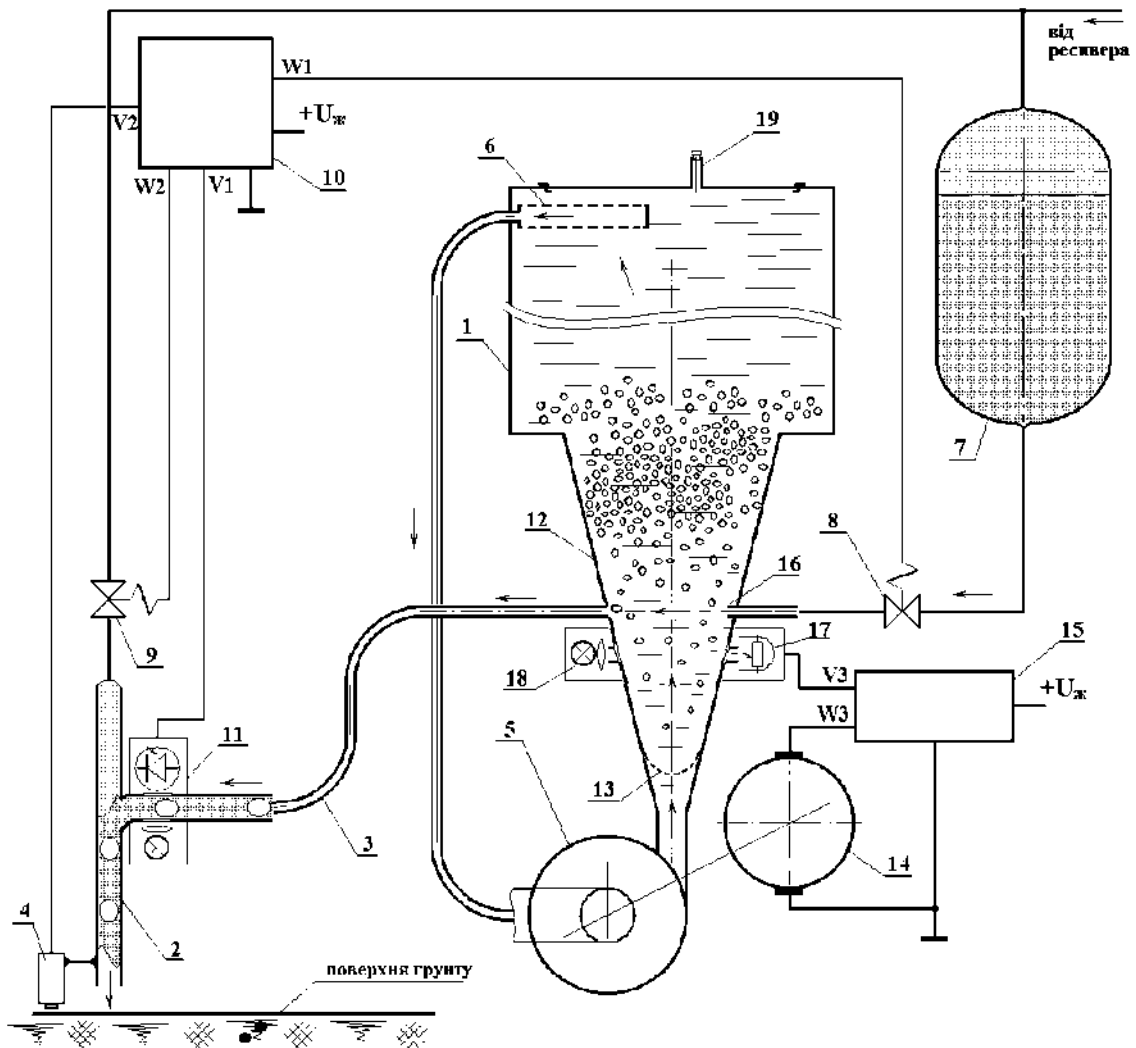


Рис. 1.17. Гідропневматичний апарат точного (координатного) висіву (за патентом UA № 99860): 1 – бак; 2 – сопло-ствол; 3 – насіннєпровід; 4 – датчик положення сопло-ствола відносно ґрунту; 5 – циркуляційний насос; 6 – фільтр; 7 – резервуар для рідини; 8 – електрогідравлічний клапан; 9 – електропневматичний клапан; 10 – блок керування; 11 – датчик подачі насіння у сопло-ствол; 12 – забірна камера; 13 – захисна сітка; 14 – регульований електропривод насоса; 15 – регулятор роботи циркуляційного насоса; 16 – трубопровід подачі робочої рідини; 17, 18 – датчик оптичної щільності; 19 – дренажний канал.

Фотоприймач 17 з'єднано з входом V3 регулятора 15, а вихід W3 регулятора 15 – з регульованим електроприводом 14. Блок керування 10 та регулятор 15 живляться від джерела електричного струму напругою  $U_{\text{ж}}$ .

Висівний апарат працює наступним чином. Після заповнення бака 1 насінням та робочою рідиною через дренажний канал 19 видаляють повітря з бака і дренажний канал закривають. Це запобігає самовільному витіканню робочої рідини з насінням через відкриті насіннепровід 3 і сопло-ствол 2.

Циркуляційний насос 5 приводиться в дію регульованим електроприводом 14 і створює циркуляцію робочої рідини, забираючи її через фільтр 6 з верхньої частини бака 1 і подаючи у нижню частину клиноподібного звуження 12 через захисну сітку 13 назустріч насінню, яке опускається в робочій рідині під власною вагою. Розширення потоку робочої рідини при її русі вгору по забірній камері 12 спричиняє зменшення швидкості, що на певних ділянках створює умови для підтримання насіння у зваженому стані. Нижче цієї зони щільність насіння у псевдозрідженому шарі зменшується, вище – поступово збільшується аж до максимального значення, коли рух насіння одна відносно іншої припиняється. Інтенсивність циркуляції рідини регулюється зміною частоти обертання приводу насоса в залежності від оптичної щільності псевдозрідженого шару в зоні розташування фотодатчика: при збільшенні щільності насіння в псевдозрідженому шарі фотоприймач 17 освітлюється менш інтенсивно і частота обертання електроприводу 14 збільшується, зона зваженого стану насіння підіймається, при зменшенні щільності – фотоприймач 17 освітлюється більш інтенсивно і регулятор 15 зменшує частоту обертання електроприводу 14, швидкість циркуляції робочої рідини зменшується і зона зваженого стану насіння опускається.

У першому такті блок керування 10 подає струм на електрогідравлічний клапан 8, який в результаті цього відкривається і пропускає робочу рідину під тиском з резервуара 7 у бак 1. Робоча рідина витісняє насіння з рідиною через насіннепровід 3 у сопло-ствол 2. Насіння, проходячи повз датчик 11 викликає

появу імпульсів, які подаються на перший вхід V1 блока керування 10. При подачі заданої програмою кількості імпульсів блок керування 10 вимикає струм через електрогідравлічний клапан 8, який в результаті цього закривається і подача робочої рідини в бак 1 припиняється, припиняючи витіснення насіння з рідиною та подачу його до сопла-стволо 2, в якому вже знаходиться задана кількість насінин.

В заданому положенні висівного апарата відносно ґрунту датчик положення 4 формує сигнал, який подається на другий вхід V2 блока керування 10 і викликає подачу короткого імпульсу струму на електропневматичний клапан 9, внаслідок чого він на короткий час відкривається і пропускає повітря під тиском від ресивера до сопла-стволо 2. Повітря в соплі-стволі розширюється і виштовхує насіння з рідиною в напрямку ґрунту. Після закінчення імпульсу струму на електропневматичний клапан 9 подається струм на електрогідравлічний клапан 8 і цикл повторюється.

#### 1.4 Критерії якості роботи висівних апаратів точного висіву насіння

Зазвичай точним називають рядковий висів насіння з постійним кроком і незначним відхиленням від осі рядка. При цьому основними показниками точності висіву вважають рівномірність розподілення насіння по площі та стабільність його заробки по глибині, що не є повною характеристикою якості сівби. Зважаючи, що мета рослинництва – одержання максимального урожаю при мінімальних затратах, а сівба безпосередньо впливає на урожайність, слід детальніше розглянути критерії якості та точності сівби.

На величину урожайності культивованих рослин впливають:

1. Якість насіння (схожість, енергія проростання), від якого залежить перший період вегетації і величина майбутнього урожаю. При цьому заробка насіння у ґрунт повинна сприяти найактивнішому розвитку посівів. Зокрема

необхідне дотримання: глибини заробки, щільності ґрунту в зоні насіннєвого ложа, вологості насіннєвого ложа.

2. Точність розташування рослин на площі таким способом, який забезпечує їх достатнє живлення (забезпечення вологою, поживними речовинами, світлом, повітрям), що досягається відповідною роботою сівалки. При оцінках точності розташування рослин враховують: дотримання норми висіву – кількості рослин на одиниці площі, відхилення від раціонального відносного місцезнаходження рослин, точність розкладки насіння або сингуляція – наявність пропусків чи «двійників», що безпосередньо відображається на урожайності.

Затрати на одержання високого урожаю залежать від:

- метеоумов, при зміні яких доводиться коригувати роботу по догляду за рослинами;
- прийнятої технології вирощування (культивації при догляді за рослинами, підживлення, боротьба з бур'янами та шкідниками);
- різноманітних витрат (добрива, хімпрепарати, паливо і супутні матеріали для приводу техніки, витрати робочого часу та ін.);

В нашому випадку для оцінки роботи розробленого апарату точного висіву принципово нової конструкції слід проаналізувати деякі основні фактори:

- зв'язок гідродинамічних особливостей насіння з показниками схожості і енергії проростання та їх вплив на показники роботи висівного апарату;
- оцінка точності висіву та відповідність реальних координат висіву заданим від системи місцевизначення;
- оцінка сингуляції при роботі апарата – наявність пропусків та «двійників»;
- для визначення конструктивних та технологічних параметрів слід провести дослідження окремих процесів, які здійснюються у висівному апараті (псевдозрідження, заряджання, вистрілювання насіння).

### 1.5 Посівні якості насіння

Координатний, особливо однонасіннєвий, висів насіння вимагає високих якісних показників насіннєвого матеріалу. Досвід і розрахунки молдавських науковців свідчать про можливість точного висіву лише за умови 80 % польової схожості насіння [52, 53]. Польова схожість насіння являється одним із основних показників посівної якості насіннєвого матеріалу. Даний показник залежить від низки факторів – життєздатності насіння, вологості і температури ґрунту, зараженістю шкідниками і збудниками хвороб. Для підвищення польової схожості в залежності від способу посіву насіння проходить передпосівну підготовку: шліфування, калібрування, замочування, барботування, гартування, протруювання, дражування, опромінення.

У передових країнах на 90 % посівних площ застосовується дражоване насіння [52]. Польова схожість дражованого насіння становить близько 60 %. Низька схожість насіння пов'язана з недостатньою кількістю вологи в зоні розміщення насінини в ґрунті. Підвищити даний показник можливо за рахунок застосування посівних машин нового типу. Запропонований гідропневматичний координатно-висівний апарат в поєднанні з мостовою машиною дозволяє здійснювати координатний висів поключеного насіння одночасно з стимуляторами росту та засобами захисту, що прискорить появу сходів та захистить їх на початковому етапі вегетації. Використання замочування і барботування насіння [52, 53] дозволяє наблизити польову схожість до 87-98 %.

При проектуванні посівних машин необхідно крім посівних якостей враховувати фізико-механічних властивості насіння [54]. В нашому випадку насіння знаходиться у воді і транспортується із бака до місця висіву по насіннєпроводу, при проектуванні необхідно врахувати такі показники, як форма насіння, геометричні розміри, щільність, гідрофобність, твердість, пружність та парусність. Відомо, що вологість ґрунту навесні інтенсивно знижується з кожним наступним днем, особливо в південній частині України.

Дрібне насіння овочевих культур під час висіву може опинитися в сухому шарі ґрунту раніше ніж воно встигне пустити корінець. Внаслідок цього затримується поява сходів збільшується кількість непророслого насіння. Виконавши перед посівом зволоження насіння ми скоротимо час від сівби до появи сходів і тим самим забезпечимо необхідною вологою насіння під час проростання. Зволоження насіння з твердою оболонкою виконують за 4 дні, а з тонкою за 2 дні до сівби. Замочування насіння супроводжується зміною його характеристик.

Насіння має різну питому вагу і парусність, які змінюються у процесі замочування, що буде впливати на роботу гідравлічного висівного апарата. Для стабілізації процесу висіву може знадобитися попередня гідравлічна сепарація.

## 1.6 Висновки до розділу

За результатами проведеного аналізу стану питання можна зробити наступні висновки:

1. Для підвищення ефективності точного (координатного) рослинництва та інтенсифікації початку вегетації овочевих культур необхідні сівалки, відмінні від наявних, які можуть здійснювати координатний посів пророслого насіння – за сигналами системи місцевизначення.

2. Як одне з можливих технічних рішень запропоновано гідропневматичний висівний апарат, новизна конструктивної схеми якого підтверджена двома патентами України.

Через відсутність достатньої кількості аналогів параметри окремих елементів гідропневматичного висівного апарата та характеристики режимів роботи (швидкості, витрати, тиску робочої рідини, перерізу та форми каналів і т. ін.) не можуть бути визначені без спеціальних досліджень. Зважаючи на це, сформульовані задачі досліджень.

### 1.7 Задачі досліджень

Метою дисертаційних досліджень є підвищення точності висіву пророслого насіння овочевих культур шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідропневматичного апарата точного висіву. Перед проведенням досліджень була висунута наукова гіпотеза, сутність якої полягає в підвищенні точності висіву та інтенсифікації початку вегетації овочевих культур шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідропневматичного апарата точного висіву та реалізації посіву наключеного насіння за сигналами датчика положення висівного апарата у заздалегіть визначені для цього точки на полі з наперед заданими координатами.

Для досягнення поставленої мети необхідно рішення наступних **задач**:

- встановити закономірності розмірів та геометричних співвідношень елементів та деталей висівного апарата від розмірів насіння;
- дослідити гідродинамічні властивості насіння та встановити їх зв'язок з показниками кондиційності насіннєвого матеріалу;
- виконати теоретичні та натурні дослідження процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері для встановлення меж варіювання конструктивно-технологічних параметрів, що впливають на точність висіву висівного апарата;
- виконати теоретичні та натурні дослідження заряджання насіння до насіннєпроводу, для підвищення надійності роботи та точності висіву висівного апарату;
- провести лабораторні дослідження та обґрунтувати бажані значення конструктивно-технологічних параметрів, для підвищення точності висіву гідропневматичним апаратом точного висіву;
- розробити та провести порівняльні виробничі випробування експериментальної сівалки з розробленими гідропневматичним апаратом точного висіву з серійною сівалкою Клен-1,8. Визначити техніко-економічну ефективність використання висівного апарата.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОПНЕВМАТИЧНОГО АПАРАТА ТОЧНОГО ВИСІВУ

#### 2.1 Постановка задачі теоретичних досліджень

Як показав аналіз літературних джерел та фахових наукових публікацій, дослідження робочого процесу координатного гідропневматичного висівного апарату не проводились, відсутні теорія та методики розрахунку апаратаів такого типу, в основу роботи яких покладено принцип вистрілювання насіння із ствола та його зарядження потоком робочої рідини з псевдозрідженого шару. У такого апарата насіння до ствола подається разом з водою чи з розчином хімпрепаратів (засобів захисту чи стимуляції росту), що вирішує проблему з травмуванням від прискорень і ударів пророслого насіння, зволоження насінневого ложа, локального внесення необхідних хімпрепаратів.

Основними вимогами до роботи координатного висівного апарата є достатня швидкодія та точність висіву в наперед задані точки поля. Аналізуючи технологічний процес роботи запропонованої конструктивно-технологічної схеми гідропневматичного висівного апарата, розроблено наступну програму теоретичних досліджень:

1. Провести теоретичне обґрунтування параметрів висівного апарата
2. Визначити розподіл швидкості рідини в забірній камері
3. Розробити фізико-математичну модель процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері
4. Дослідити процес заряджання насіння в насіннепровід

## 2.2 Теоретичне обґрунтування параметрів висівного апарата

Ключовими якісними показниками в роботі ГПАТВ є точність висіву яка оцінюється за коефіцієнтом варіації розподілення насіння в рядку та швидкодія робочого циклу висівного апарату. Приведені показники мають пряму залежність від злагодженої роботи всіх вузлів і елементів висівного апарата, на роботу яких впливає правильність вибору конструктивно-технологічних параметрів останнього.

Врахувавши робочий цикл ГПАТВ рис.2.1, швидкодію висівного апарата можна визначити за формулою:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{в}} + t_{\text{з}} + t_{\text{о}} , \quad (2.1)$$

де  $t_{\text{ц}}$  – час циклу, с;

$t_{\text{в}}$  – час висіву, с;

$t_{\text{з}}$  – час заряджання, с;

$t_{\text{о}}$  – час очікування, с.

З рівняння 2.1 видно, що швидкодія висівного апарату визначається часом висіву (вистрілювання)  $t_{\text{в}}$  – і часом «заряджання»  $t_{\text{з}}$ , тривалість яких в сумі повинна бути меншою, ніж час циклу  $t_{\text{ц}}$ , тобто час проходу між суміжними висівами. При цьому час очікування  $t_{\text{о}} > 0$ .

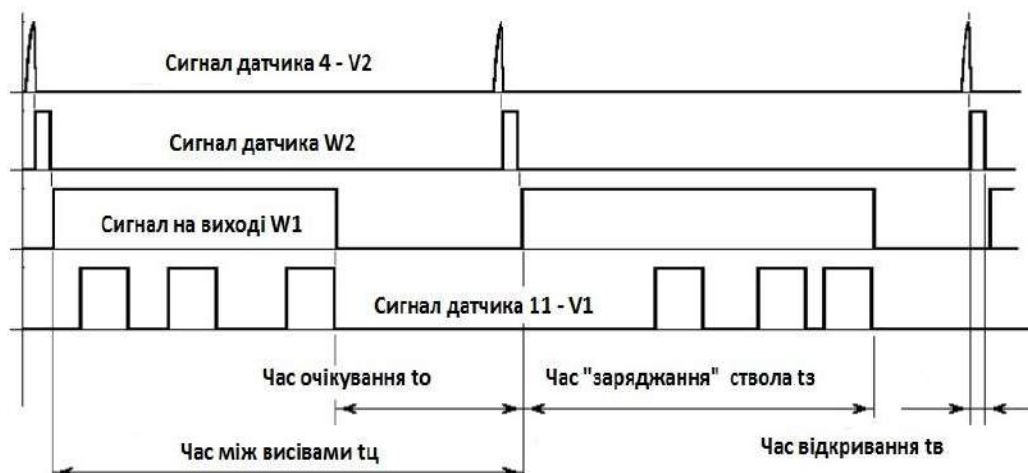


Рис. 2.1. Діаграма робочого циклу ГПАТВ

Врахувавши вище наведене, визначимося з геометричними формами, розмірами та технологічними параметрами основних елементів конструкції, які в подальшому впливатимуть на якісні показники роботи ГПАТВ.

### 2.2.1 Вибір форми та розмірів забірної камери висівного апарата

В забірній камері висівного апарата насіння повинно підніматися потоком рідини, утворюючи псевдозріджений шар з заданою концентрацією насіння. Процеси утворення псевдозрідженого шару з різноманітних за властивостями твердих частинок детально розглядаються у теорії гравітаційних методів збагачення природних копалин [55, 56]. Для інтенсифікації тепло- і масообміну, змішування сипких матеріалів, агломерації, гранулювання та інших процесів широко використовуються апарати із псевдозрідженим шаром (ПЗШ) зернистого матеріалу (в нашому випадку насіння).

Розглянемо модель ПЗШ [55, 56, 57]. Якщо через нерухомий шар насіння, що лежить на ґратках апарата (рис. 2.2), пропустити знизу вгору потік зріджуючого агента (в нашому випадку рідини), то стан шару буде визначатися швидкістю потоку рідини  $v_o$ :

$$v_o = \frac{Q_p}{S}, \quad (2.2)$$

де  $Q_p$  – об’ємна витрата потоку рідини, м<sup>3</sup>/с;

$S$  – площа поперечного перерізу циліндра, м<sup>2</sup>.

Всі розрахунки по визначенню параметрів псевдозрідженого шару базуються на врахуванні швидкості потоку рідини, визначеної за формулою (2.2). Це пов'язано з тим, що виміряти дійсну швидкість потоку у проміжках між насінням практично неможливо.

При швидкостях потоку нижче першої критичної  $v_{кр1}$  (швидкість початку псевдозрідження, рис. 2.2а) шар висотою  $H_0$  залишається нерухомим, рідина рухається через шар у режимі фільтрації.

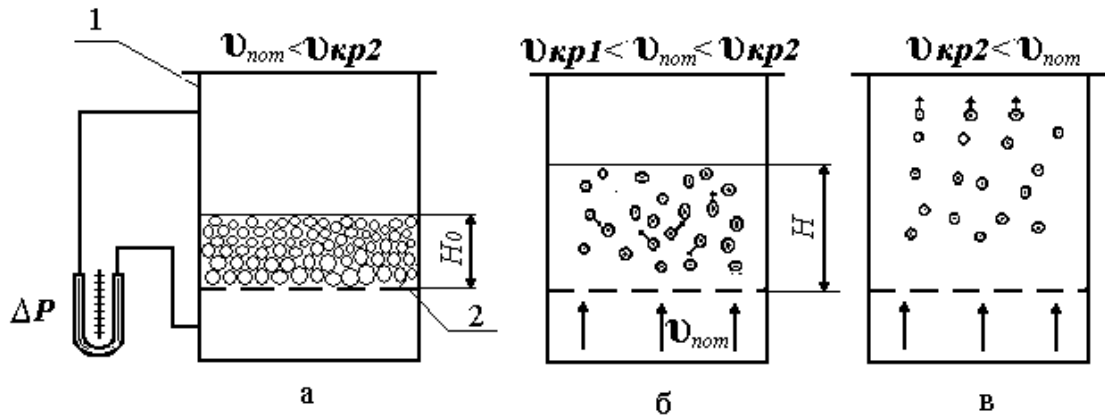


Рис. 2.2. Зміна структури ПЗШ залежно від швидкості потоку рідини :  
 а) – нерухомий шар; б) – псевдозріджений шар; в) – винесення насіння за межі забірної камери

При досягненні потоку рідини першої критичної швидкості  $v_{kp1}$  шар насіння переходить у псевдозріджений стан (рис. 2.2б). При цьому його висота збільшується ( $H > H_0$ ), а насіння починає переміщуватися. Подальше збільшення швидкості приводить до збільшення висоти шару (псевдозріджений шар розширюється).

При перевищенні потоком рідини другої критичної швидкості  $v_{kp2}$  (швидкість винесення, рис. 2.2, в) шар руйнується, зникає його верхня межа, а насіння в режимі транспортування виноситься за межі забірної камери.

Розширення шару у псевдозрідженому стані характеризується збільшенням порозності  $\varepsilon$ , яка визначається як відношення об'єму порожнин  $V_{\pi}$  у шарі насіння до об'єму всього шару  $V_{\text{ш}}$  :

$$\varepsilon = \frac{V_{\pi}}{V_{\text{ш}}} = \frac{(V_{\text{ш}} - V_H)}{V_{\text{ш}}} = 1 - \frac{V_H}{V_{\text{ш}}}, \quad (2.3)$$

де  $V_H$  – об'єм насіння в шарі,  $\text{м}^3$ ;

$V_{\text{ш}} = S \cdot H$  – загальний об'єм шару,  $\text{м}^3$ ;

$H$  – висота шару, м.

Відомо, що порозність нерухомого шару  $\varepsilon_0$  твердих кулеподібних часток однакового діаметра становить 0,4. З деяким наближенням це значення рекомендують приймати і для часток неправильної форми [55]. Простими експериментами з точністю  $\pm 5\%$  нами підтверджено, що  $\varepsilon_0 = 0,4$  для насіння

цибулі, капусти, ріпаку, для моделі насіння (вуглепластикових часток циліндричної форми з діаметром  $d = 2$  мм та з відношенням довжини  $l$  до діаметра  $l/d = 1,5 \dots 2,5$ ).

При швидкостях потоку нижче першої критичної  $v_{kp1}$  маємо:

$$V_H = S \cdot H_o \cdot (1 - \varepsilon_o) = 0,6 \cdot S \cdot H_o, \quad (2.4)$$

де  $V_H$  – об'єм насіння, м<sup>3</sup>;

$H_o$  – висота нерухомого шару насіння, м.

У процесі псевдозрідження об'єм насіння залишається величиною постійною, отже, поточну порозність можна визначати за поточною висотою шару  $H$  – параметром, який піддається простому вимірюванню і контролю:

$$V_H = 1 - S \cdot H_o \cdot (1 - \varepsilon_o) / (S \cdot H) = 1 - (1 - \varepsilon_o) \cdot \frac{H_o}{H} = 1 - 0,6 \cdot \frac{H_o}{H}. \quad (2.5)$$

З формули (2.4) видно, що зі збільшенням швидкості потоку рідини, що веде до збільшення висоти  $H$ , порозність шару збільшується. При швидкості винесення, граничної для псевдозрідженого шару, можна вважати, що  $V_{III} \gg V_H$ , отже,  $\varepsilon \approx 1$ . Таким чином, псевдозріджений шар може існувати в межах:

$$\text{від } \varepsilon = \varepsilon_0 \mid v_o < v_{kp1} \mid \text{ до } \varepsilon \approx 1 \mid v_o \geq v_{kp2} \mid.$$

Шар насіння для потоку рідини є гідравлічним опором, отже, диференціальним манометром (рис. 2.2, а) можна виміряти перепад тиску, що виникає при русі рідини через цей шар. На рисунку 2.3 показані експериментальні графіки типових змін гідравлічного опору шару  $\Delta P$  і порозності  $\varepsilon$  в залежності від швидкості потоку псевдозрідженого шару [55].

Врахувавши все вище наведене, опір ПЗШ  $\Delta P$  визначимо через вагу шару насіння та силу Архімеда, що діятиме на насіння:

$$\Delta P_{III} = \frac{G_{III} - A_{III}}{S}, \quad (2.6)$$

де  $G_{III}$  – вага шару насіння, Н;  $A_{III}$  – сила Архімеда, Н.

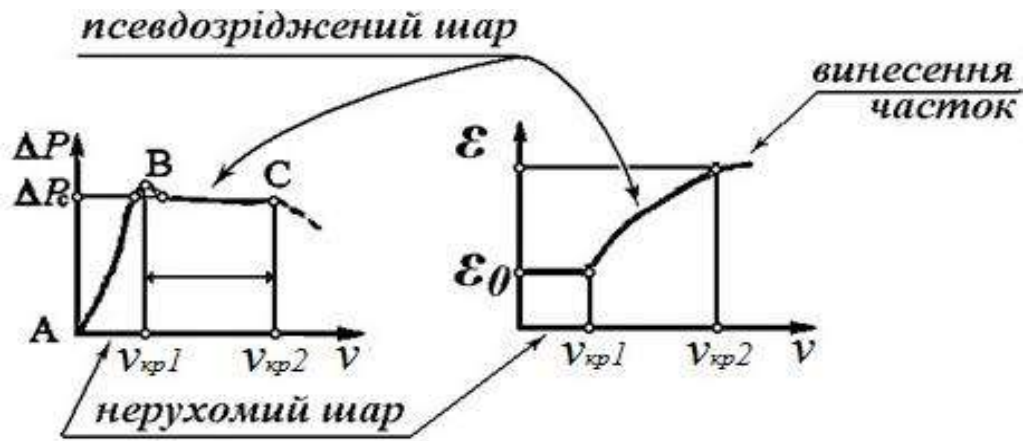


Рис. 2.3. Залежності  $\Delta P = f(v)$  та  $\varepsilon = f(v)$  [60]

Визначити вагу шару насіння та діючу на нього силу Архімеда можливо наступним чином:

$$G_{ш} = \rho_n \cdot g \cdot V_H = \rho_n \cdot g \cdot V_{ш} \cdot (1 - \varepsilon) = \rho_n \cdot g \cdot H \cdot S \cdot (1 - \varepsilon), \quad (2.7)$$

$$A_{ш} = \rho_p \cdot g \cdot V_H = \rho_p \cdot g \cdot V_{ш} \cdot (1 - \varepsilon) = \rho_p \cdot g \cdot H \cdot S \cdot (1 - \varepsilon), \quad (2.8)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\rho_n$  – щільність насіння, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_p$  – щільність рідини, кг/м<sup>3</sup>.

Виконавши перетворення рівнянь (2.6-2.8), отримаємо:

$$\Delta P_{ш} = (\rho_n - \rho_p) \cdot H(1 - \varepsilon_0) \cdot g. \quad (2.9)$$

Врахувавши (2.3), опір  $\Delta P_{ш}$  нерухомого шару насіння визначимо за формулою:

$$\Delta P_{ш} = (\rho_n - \rho_p) \cdot H_0(1 - \varepsilon_0) \cdot g. \quad (2.10)$$

Всі наведені вище закономірності поведінки шару насіння у потоці рідини наведені відносно циліндричного апарата, для якого зберігається сталість значення швидкості потоку  $v_0$  по висоті.

Врахувавши теоретичні положення формування псевдозріженого шару, обираємо форму забірної камери у вигляді тригранної призми, поставленої на ребро з змінним перерізом по всій довжині (рис. 2.4, а). Запропоноване конструктивне рішення забезпечить формування ПЗШ з

насіння, яке має різні гідродинамічні властивості на висоті  $H$  забірної камери за рахунок різного значення швидкості висхідного потоку  $v_{ho}$ :

$$H = h_1 - h_2, \quad (2.11)$$

де  $h_1$  та  $h_2$  – вища та нижня висоти існування ПЗШ, м.

Потік рідини спрямовується з нижньої звуженої частини і, піднімаючись, розширюється і втрачає швидкість.

При збільшенні висоти  $h$  від мінімального значення  $h_o$  (рівень вхідного отвору) переріз  $S$  лінійно збільшується як

$$S_h = a_n \cdot B_n = 2 \cdot B_n \cdot h \cdot \operatorname{tg}(\alpha / 2) = k \cdot h, \quad (2.12)$$

$$k = 2 \cdot B_n \cdot \operatorname{tg}(\alpha / 2) = \operatorname{const}, \quad (2.13)$$

де  $a_n$  – довжина забірної камери  $a_n = 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg}(\alpha / 2)$ , м ;

$\alpha$  - кут між поверхнями забірної камери, град;

$B_n$  – ширина забірної камери, м.

Якщо на вході швидкість потоку дорівнює  $v_o$ , то із збільшенням висоти  $h$  середня швидкість потоку  $v_{ho}$  буде змінюватися за залежністю

$$v_{ho} = v_o \cdot \left( \frac{S_{ho}}{S_h} \right) = v_o \cdot \left( \frac{h_o}{h} \right), \quad (2.14)$$

де  $S_{ho}$  – переріз забірної камери на висоті  $h_o$ , м<sup>2</sup>;

$S_h$  – переріз забірної камери на висоті  $h$ , м<sup>2</sup>.

тобто, збільшення висоти потоку супроводжується зменшенням його швидкості.

Це означає, що якщо вхідна швидкість потоку  $v_o$  буде перевищувати швидкість виносу часток  $v_o > v_{kp2}$ , то на деякому рівні  $h$  вона зменшиться до значення  $v_{kp1} < v_{ho} < v_{kp2}$ , при якому існує псевдозріджений шар, а ще вище швидкість зменшиться до швидкості фільтрації  $v_{ho} < v_{kp1}$ . Висота зони існування псевдозрідженого шару  $H$  повинна залежати від інтенсивності зміни швидкості, тобто, від кута між гранями призми  $\alpha$ : зі зменшенням цього кута зона ПЗШ розширюється. Крім того, згідно експериментальних даних (рис.

2.3), пропорційно зменшенню швидкості практично лінійно зменшується порозність, що приводить до зміни концентрації насіння (рис. 2.4, б).

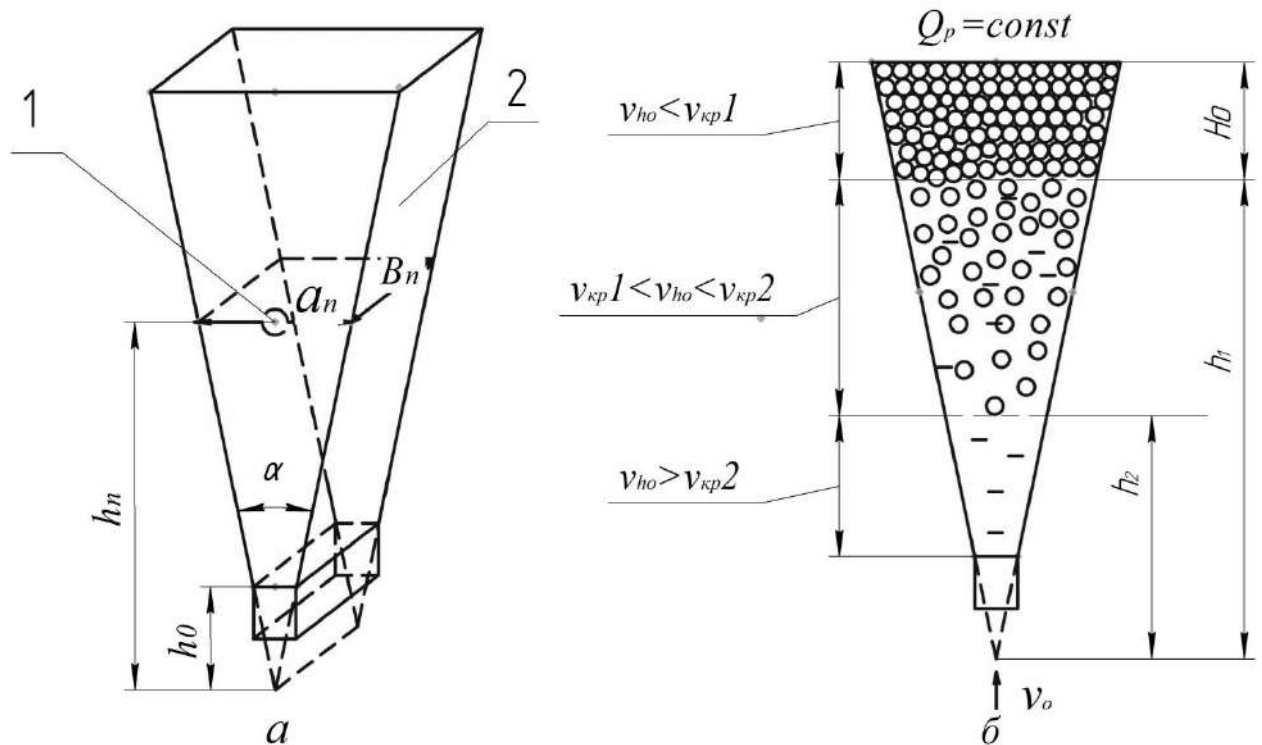


Рис. 2.4. Забірна камера висівного апарата: *а* – геометричні співвідношення забірної камери; *б* – розподіл насіння; 1 – вхід в насіннепровід; 2 – забірна камера висівного апарата.

Отже, по висоті ПЗШ забірної камери порозність буде лінійно зменшуватися від  $\varepsilon=1$  при  $v_{ho} > v_{kp2}$  та  $h < h_2$ , до  $\varepsilon=\varepsilon_0=0,4$  при  $v_{ho} < v_{kp1}$  та  $h > h_1$ :

$$\varepsilon = h \cdot (1 - 0,4) / (h_1 - h_2) = 0,6 \cdot h / (h_1 - h_2), \quad (2.15)$$

де  $h$  – поточна висота, при цьому,  $h_2 < h < h_1$ .

Концентрація насіння  $k_n$  у ПЗШ можна визначити, як кількість насінин  $n_1$  у одиниці об'єму ПЗШ, шт/м<sup>3</sup>:

$$k_n = n_1 / V_{ш}, \quad (2.16)$$

Зміну концентрації насіння  $k_n$  у ПЗШ по висоті забірної камери визначимо наступним чином.

Виділимо псевдозрідений шар висотою  $\Delta h$ , яка дорівнює діаметру насінини  $d_n$  (слід зауважити, що  $\Delta h < h_I - h_{II}$ ). Об'єм цього шару  $V_{III}$  залежить від висоти  $h$ , у забірній камері:

$$V_{III} = S_h \cdot \Delta h = 2 \cdot B_n \cdot h \cdot \operatorname{tg} \cdot \left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot d_n. \quad (2.17)$$

Об'єм насіння  $V_n$ , що міститься у виділеному шарі  $V_{III}$ , знаходиться як:

$$V_n = (1 - \varepsilon) \cdot V_{III}. \quad (2.18)$$

Зважаючи, що форма насіння наближена до форми кулі діаметром  $d_n$  і об'єм однієї насінини становить  $V_{nac} = \pi \cdot (d_n)^3 / 6$ , знаходимо кількість насінин у виділеному шарі, шт.:

$$n_1 = \frac{(1 - \varepsilon) \cdot V_{III}}{\pi \cdot (d_n)^3 / 6}, \quad (2.19)$$

де  $d_n$  – діаметр насінини, м.

Тоді концентрація насіння у об'ємі виділеного шару, шт/м<sup>3</sup>:

$$k_n = \frac{n_1}{V_{III}} = \left( \frac{(1 - \varepsilon) \cdot V_{III}}{\pi \cdot (d_n)^3 / 6} \right) / V_{III} = \frac{(1 - \varepsilon)}{\pi \cdot (d_n)^3 / 6}. \quad (2.20)$$

Враховуючи (2.5), можна очікувати, що у межах ПЗШ  $h_{II} < h < h_I$ , за умови лінійної зміни швидкості і порозності по висоті ПЗШ концентрація  $k_n$  змінюється як:

$$k_n = \frac{0,6 \cdot (h - h_2) / (h_1 - h_2)}{\pi \cdot (d_n)^3 / 6}, \quad (2.21)$$

тобто, на висоті  $h \leq h_{II}$  насіння відсутнє ( $k_n \leq 0$ ), а при  $h \geq h_I$  насіння максимально заповнює виділений шар з порозністю 0,4 (при  $h > h_I$ , та при  $h < h_{II}$  має місце вихід за межі ПЗШ).

Шар насіння, який знаходиться вище рівня  $h_I$ , буде створювати опір потоку рідини  $\Delta P_{ш}$  (опір фільтрації), який можна оцінити за залежністю (2.10). Зі збільшенням висоти, особливо при виході за межі забірної камери і переходу до об'єму бака (див. рис. 1.21), різко збільшується площа фільтрації і зменшується швидкість рідини у просторі між насінням, тому при досягненні

деякої відстані від рівня  $h_l$  насіння, яке знаходиться вище, незалежно від його кількості, мало впливатиме на загальний гідравлічний опір  $\Delta P_{ш}$ .

Можна припустити, що забір насіння на рівні  $h_n$  забірної камери (рис. 2.4) дасть змогу одержати у насіннєпроводі концентрацію  $k_{nn}$ , характерну для шару на висоті  $h_n$ , яка і визначає відстань у «черзі» між насінинами у насіннєпроводі. Але через імовірнісний характер розподілу насіння у виділеному шарі виникає питання про рівномірність входження насіння до насіннєпроводу.

Основним чинником існування ПЗШ і підтримання заданої концентрації насіння є підтримання швидкості потоку  $v_o$  в межах першої  $v_{kp1}$  та другої критичних швидкостей  $v_{kp2}$  існування ПЗШ.

Розрахунок критичних швидкостей для псевдозрідженого шару виконаємо з врахуванням залежності між критеріями Лященко і Архімеда [60]: критерій Лященко;

$$L_y = \frac{v_o^3 \cdot \rho_p^2}{\mu_l \cdot (\rho_n - \rho_p) \cdot g}, \quad (2.22)$$

де  $\mu_l$  – динамічний коефіцієнт в'язкості рідини Па · с;

критерій Архімеда;

$$A_r = \frac{d_n^3 \cdot \rho_p \cdot (\rho_n - \rho_p) \cdot g}{\mu_l^2}, \quad (2.23)$$

Для розрахунку критичних швидкостей скористаємося науковими працями О.М. Тодеса. Так для визначення першої критичної швидкості, швидкості витання насіння приймаємо умову, що порозність ПЗШ дорівнює  $\varepsilon=0,4$  тоді:

$$R_e = \frac{A_r}{1400 + 5,22\sqrt{A_r}}, \quad (2.24)$$

де  $R_e$  – критерій Рейнольдса,  $R_e = \frac{v_{kp} \cdot d_n \cdot \rho_p}{\mu_l}$ .

Прирівняємо критерій Рейнольдса і рівняння (2.24) і визначимо першу критичну швидкість  $v_{kp1}$

$$v_{kp1} = \frac{A_r \cdot \mu_l}{d_n \cdot \rho_p \cdot (1400 + 5,22\sqrt{A_r})} \quad (2.25)$$

Визначимо швидкість виносу насіння за умови, що порозність ПЗШ  $\varepsilon=1$ :

$$R_e = \frac{A_r}{18 + 0,61\sqrt{A_r}} \quad (2.26)$$

Порівнюємо критерій Рейнольдса і рівняння (2.26) і визначимо другу критичну швидкість  $v_{kp2}$

$$v_{kp2} = \frac{A_r \cdot \mu_l}{d_n \cdot \rho_p \cdot (18 + 0,61\sqrt{A_r})} \quad (2.27)$$

Проміжне значення критичної швидкості  $v_{kp}$  за умови порозності ПЗШ в межах від  $\varepsilon=0,4$  до  $\varepsilon=1$  визначимо за формулою:

$$R_e = \frac{A_r \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,61\sqrt{A_r \cdot \varepsilon^{4,75}}} \quad (2.28)$$

тоді

$$v_{kp} = \frac{A_r \cdot \mu_l \cdot \varepsilon^{4,75}}{d_n \cdot \rho_p \cdot (18 + 0,61\sqrt{A_r \cdot \varepsilon^{4,75}})} \quad (2.29)$$

Провівши перетворення рівняння (2.29), визначимо проміжне значення порозності  $\varepsilon$  насіння:

$$\varepsilon = \left( \frac{18 \cdot \left( \frac{v_{kp} \cdot d_n \cdot \rho_p}{\mu_l} \right) + 0,36 \cdot \left( \frac{v_{kp} \cdot d_n \cdot \rho_p}{\mu_l} \right)^2}{A_r} \right)^{0,21} \quad (2.30)$$

Аналіз отриманих виразів (2.25, 2.27) показує, що критичні швидкості залежать від геометричних ( $d_n$ ) параметрів насіння та гідродинамічних ( $\rho_p$ ,  $\rho_n$ ,  $\mu_c$ ) параметрів зріджувача (рідини), кожен з яких має вплив на проміжне значення критичної швидкості  $v_{kp}$ .

### 2.2.2 Розрахунок показників формування ПЗШ в забірній камері

Для виконання розрахунків приймаємо наступні вихідні дані: щільність рідини (води)  $\rho_p=1000 \text{ кг/м}^3$ , коефіцієнт динамічної в'язкості води при температурі  $15^\circ\text{C}$  становить  $\mu_l=0,00114 \text{ Па} \cdot \text{с}$ , щільність та діаметр насіння овочевих культур відповідно  $\rho_n=1200 \text{ кг/м}^3$ ,  $d_n=1\text{-}5 \text{ мм}$ .

Результати розрахунків наведено в таблиці А1 додатку А

За результатами розрахунку отримаємо графічні залежності критичних швидкостей  $v_{kp1}$  та  $v_{kp2}$  від діаметра насіння  $d_n$  (рис.2.5) та залежність порозності насіння  $\varepsilon$  від швидкості потоку  $v_{ho}$  (рис 2.6).

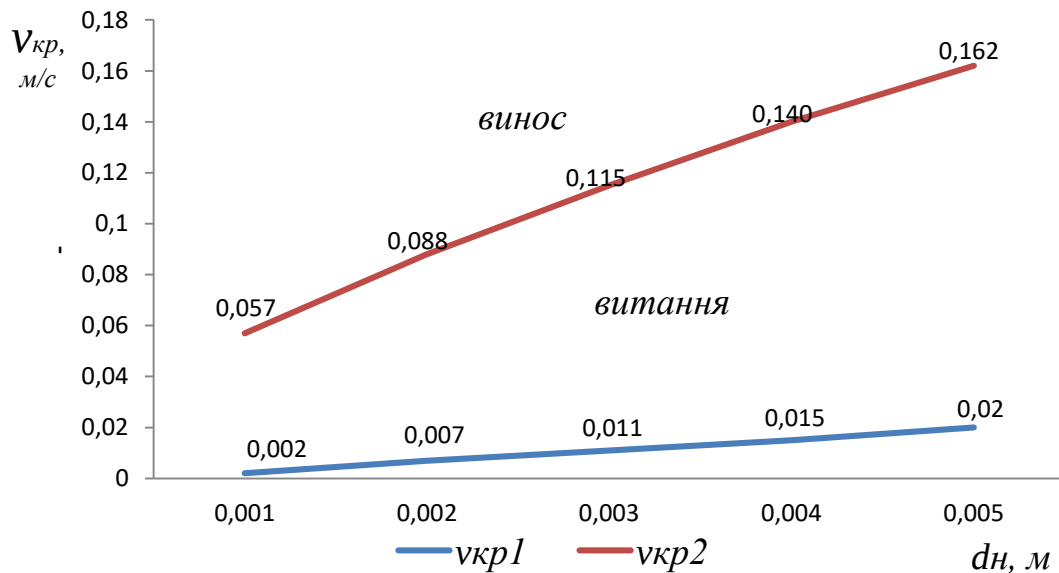


Рис. 2.5. Залежність критичної швидкості  $v_{kp1}$  та  $v_{kp2}$  від розмірів насіння

З графіка 2.5 видно, що значення критичної швидкості виносу насіння  $v_{kp2}$  в залежності від розмірів насіння змінюється в чотири рази, що необхідно врахувати при визначенні розмірів забірної камери для формування ПЗШ з насіння, яке має різні гідродинамічні властивості.

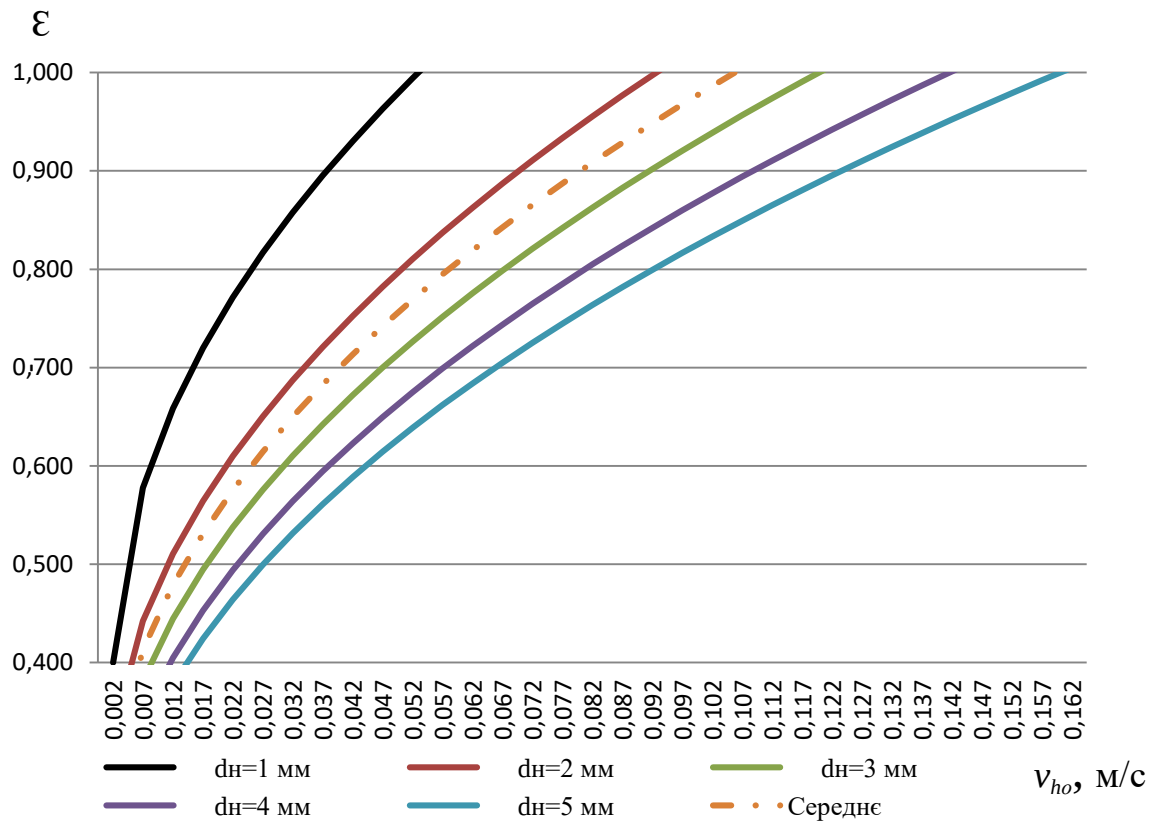


Рис. 2.6. Залежність порозності насіння  $\varepsilon$  від швидкості потоку  $V_{ho}$

Згідно лабораторних досліджень встановлено, що надійне заряджання насіннєпроводу відбувається за порозності  $\varepsilon$  в межах від 0,8 до 0,98. За зниження порозності  $\varepsilon < 0,8$  відбувається закупорювання насіннєпроводу, а за порозності  $\varepsilon > 0,98$  зростає час заряджання  $t_3$  висівного апарата.

Враховуючи попередньо проведені розрахунки критичних швидкостей та порозності визначимо значення перерізу забірної камери відповідно на нижньому  $h_2$  та верхньому  $h_1$  рівнях існування псевдозрідженого шару рис. 2.4 (б). Значення перерізу для нашого випадку за умови постійної витрати рідини  $Q_p$  визначимо за рівнянням 2.2.

Для проведення розрахунку приймаємо наступні вихідні данні: середній діаметр насіння  $d_{ncp} = 3$  мм, швидкість потоку на висоті  $h_1$  та  $h_2$  відповідно  $V_{h1o} = 0,03$  м/с та  $V_{h2o} = 0,15$  м/с, витрата рідини  $Q_p = 1 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/с, ширина перерізу забірної камери  $B_n = 15$  мм, кут між сторонами забірної камери  $\alpha = 15^\circ$ .

За результатами проведених розрахунків, наведених в таблиці А.2 додатку А, побудовано графічну залежність рис 2.7.

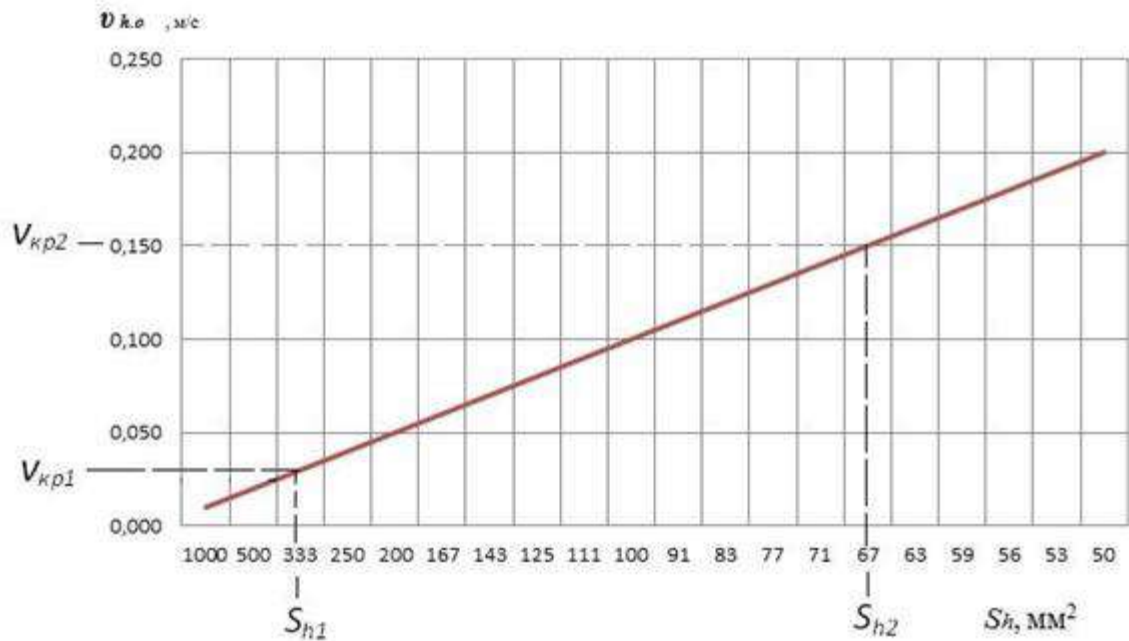


Рис. 2.7. Залежність швидкості потоку  $v_{ho}$  від перерізу забірної камери  $S_h$

На основі аналізу графіка (рис. 2.7) можна зробити висновок, що в нижній частині з мінімальним перерізом забірної камери рис. 2.4 (б) швидкість потоку  $v_{ho}$  перевищує другу критичну швидкість  $v_{kp2}$ , що зумовить підйом насіння з утворенням псевдозрідженого шару. Висоту існування псевдозрідженого шару  $H$ , на рівні  $h_1$  та  $h_2$  визначимо з умови підтримання критичних швидкостей  $v_{kp1}$ ,  $v_{kp2}$  та порозності насіння в межах 0,8-0,98, які безпосередньо залежать від величини перерізу забірної камери для цього скористаємося рівняннями 2.10 та 2.11.

Тоді

$$h_1 = \frac{S_{h1}}{2 \cdot B_n \cdot \operatorname{tg}(\alpha / 2)}, \quad (2.31)$$

$$h_2 = \frac{S_{h2}}{2 \cdot B_n \cdot \operatorname{tg}(\alpha / 2)}, \quad (2.32)$$

де  $S_{h1}$ ,  $S_{h2}$  перерізи забірної камери відповідно на вищому та нижчому рівнях існування псевдозрідженого шару,  $\text{м}^2$ .

Згідно проведених розрахунків нижній рівень ПЗШ знаходитиметься на висоті  $h_2=0,014$  м, а верхній рівень – на висоті  $h_1=0,07$  м, висота існування псевдозрідженого шару згідно 2.11 становитиме  $H=0,056$  м.

Враховавши отримане значення висоти існування псевдозрідженого шару, визначимо концентрацію насіння в ньому згідно рівняння 2.21.

Результати розрахунків наведені в таблиці А3 додатку А. На рис. 2.8 представлено графічну залежність концентрації насіння від діаметра насіння та поточного значення висоти  $h$ .

Аналізуючи отримані результати теоретичних досліджень концентрації насіння, можна зробити наступні висновки, розміщення насіннєпроводу, враховуючи виконання умови  $0,8 \leq \epsilon \leq 0,98$ , відповідно концентрація насіння  $0,2 \leq k_n \leq 0,65$  повинно здійснюватися на висоті  $h_n=0,02$  м.

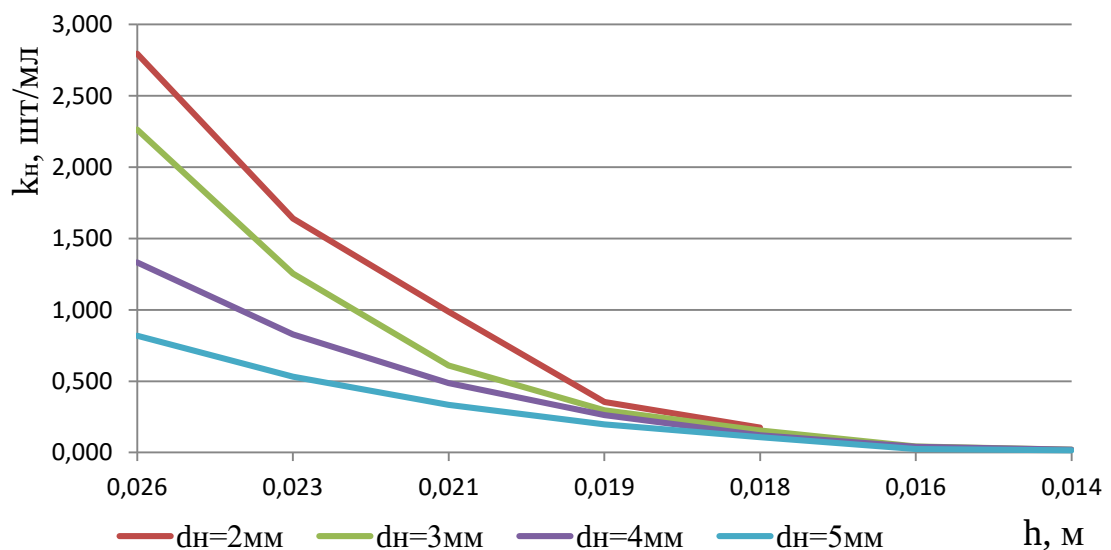


Рис. 2.8. Залежність концентрації насіння від поточної висоти в забірній камері

Як видно з графіка 2.8, на концентрацію насіння впливає його геометричний розмір. Для поліпшення процесу псевдозрідження необхідно попередньо підготувати насіння, тобто забезпечити його калібрування. Згідно ДСТУ 7160:2010 відхилення за розмірами не повинно перевищувати 10% .

Попередньо проведені дослідження процесу псевдозрідження доводять ймовірнісний характер формування необхідної кількості насіння в зоні розміщення насіннєпроводу. Це пов'язано з турбулентними вихрами, які утворюються в висхідному потоці, що мають вплив на процес перемішування насіння і рідини. Для підтримання необхідної кількості насіння в зоні його забору необхідно встановити зворотній зв'язок між його концентрацією і витратою рідини, що забезпечує циркуляційний насос висівного апарату. Для реалізації зворотного зв'язку використаємо датчики оптичної щільності.

### 2.2.3 Обґрунтування геометричних розмірів насіннєпроводу та висівного ствола

Розглянемо співвідношення розмірів окремих елементів для забезпечення вільного руху насіння у каналах висівного апарату (рис. 2.9). Висівний ствол 2 виконано у вигляді трубки діаметром  $d_c$ , до якої примикає трубчастий насіннєпровід 3 діаметром  $d_{nn}$ . Для виключення заклинювання насіння 20 діаметри насіннєпроводу  $d_{nn}$  та ствола  $d_c$  не повинні бути меншими двох максимальних габаритних розмірів насіння  $2d_n$ , а їх сполучення повинно виконуватись плавно, щоб виключити вірогідність заклинювання насінин.

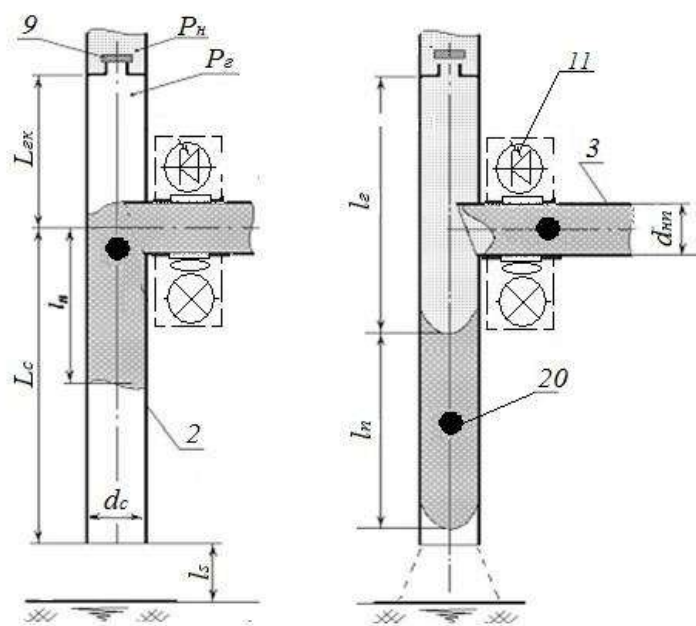


Рис. 2.9. Розрахункова схема насіннєпроводу та висівного ствола

Ствол складається з двох характерних частин. Простір між насіннєпроводом 3 і пневматичним клапаном 9 довжиною  $L_{зк}$  будемо називати простором газової камери, куди рідина практично не потрапляє. Простір між насіннєпроводом і вільним кінцем ствола довжиною  $L_c$ , по якому буде рухатись насіння з рідиною, буде власне стволом. Після потрапляння в ствол задана кількість насіння з рідиною буде займати довжину ствола  $l_n < L_c$ .

Як правило, сівалки точного висіву повинні забезпечувати висів однієї насінини в одне гніздо. Проте, в деяких випадках, наприклад при висіванні некондиційного насіння, може знадобитися висів декількох насінин  $n_z$  в одне місце. Тому такий випадок має бути розглянутий.

Довжина ствола повинна бути достатньою для розміщення об'єму з заданою кількістю насінин та гарантованими проміжками між ними. Ці проміжки повинні забезпечувати чіткість спрацьовування датчика 11 та гарантувати відокремлення потоку з заданою кількістю насінин при переході з насіннєпроводу 3 в ствол 2. Для ідеального випадку з абсолютно рівномірним розподілом насіння по довжині насіннєпроводу, можна прийняти мінімально допустиму відстань між осями насінин у насіннєпроводі  $b_{min}$  рівною трьом максимальним габаритним розмірам насіння  $3d_H$ , що відповідає гарантованому зазору між насінинами величиною  $2d_H$ . Реальна відстань між насінинами буде відрізнятися від ідеальної, внаслідок чого буде виникати нерівномірність розподілу насіння по довжині насіннєпроводу і ствола. Середнє значення відстані між насінинами в насіннєпроводі потрібно встановлювати тим більшим, чим більша нерівномірність розташування насіння в псевдозрідженому шарі. Назвемо ступенем нерівномірності ПЗШ  $\delta_H$  відношення максимальної відстані  $b_{max}$  між насінинами по їх осях у насіннєпроводі до мінімальної  $b_{min}$ :

$$\delta_H = \frac{b_{max}}{b_{min}} = \frac{(b_{cp} + \Delta)}{(b_{cp} - \Delta)}, \quad (2.33)$$

де  $b_{cp} = \frac{b_{max} + b_{min}}{2}$  – середнє значення відстані між насінинами, м;

$b_{max}$  – максимальна відстань між насінинами в насіннєпроводі, м;

$b_{min}$  – мінімальна відстань між насінинами в насіннєпроводі  
 $b_{min} \geq 3d_n$ , м;

$\Delta$  - абсолютне відхилення відстані між насінинами від середнього значення:

$$\Delta = \frac{b_{max} - b_{min}}{2}. \quad (2.34)$$

Враховуючи, що  $b_{min} \geq 3d_n$ , знаходимо, що  $b_{max} \leq \delta_n \cdot 3d_n$ . Тоді середнє значення відстані між насінинами в насіннєпроводі повинно становити:

$$b_{cp} = \frac{b_{max} + b_{min}}{2} = \frac{(\delta_n \cdot 3d_n + 3d_n)}{2} = 1,5 \cdot d_n \cdot (\delta_n + 1). \quad (2.35)$$

Перехід насінин з забірної камери 12 до насіннєпроводу 4, навіть при абсолютно рівномірному розподілі насіння по об'єму ПЗШ, є процесом випадковим. Через це визначення інтервалу між насінинами у насіннєпроводі може здійснюватися з певною вірогідністю з урахуванням законів розподілу випадкової величини. Характер цього розподілу може залежати від властивостей насіння (форма, щільність, парусність, характер поверхні і т.д.) та геометричної форми і режиму течії насіння з рідиною між баком та насіннєпроводом і повинен вивчатися експериментально. Для попередніх розрахунків можна задатися  $\delta_n = 3$ , яке досягається при  $\delta_0 = 0,5$ . Тоді середнє значення відстані між насінинами у насіннєпроводі буде становити  $b_{cp} = 6d_n$ .

Якщо ствол і насіннєпровід мають різні діаметри, то при переході насіння з насіннєпровода в ствол відстань між насінинами змінюється з  $b_{cp}$  до  $b_{cpc}$ . Цю зміну визначимо за умови нерозривності потоку як відношення висот двох циліндрів однакового об'єму і різних діаметрів:

$$\frac{b_{cpc}}{b_{cp}} = \left( \frac{d_c}{d_{nn}} \right)^2, \quad (2.36)$$

звідки:

$$b_{cpc} = b_{cp} \left( \frac{d_c}{d_{nn}} \right)^2. \quad (2.37)$$

Тоді мінімальний простір між насіннепроводом і вільним кінцем ствола  $L_c$  повинен призначатися з розрахунку:

$$L_C \geq (1 + \delta_o) \cdot l_n = (1 + \delta_o) \cdot n_z \cdot 6 \cdot d_n \cdot \left( \frac{d_c}{d_{nn}} \right)^2, \quad (2.38)$$

де  $l_n$  – довжина ствола заповненого насінням з рідиною, м;

$n_z$  – кількість насінин, які необхідно висіяти в одне гніздо, шт.;

$\delta_o = \Delta / b_{cp}$  – відносне відхилення відстані між насінинами від середнього значення.

При вимірюванні лінійних розмірів у мм, об'єм насіння з рідиною, яке в середньому буде виштовхувати висівний апарат на висівання одного гнізда – (середня циклова подача  $V_{uc}$ ), буде дорівнювати:

$$V_{uc} = l_n \cdot \frac{\pi \cdot d_c^2}{4}, \text{ мм}^3/\text{цикл} \quad (2.39)$$

що приблизно дорівнює об'єму витраченої води за один висів  $V_{el} \approx V_{uc}$ .

Тоді при частоті висіву  $f_s$  (Гц) годинна витрата води становитиме:

$$G_B = V_{B1} \cdot f_B \cdot 3,6 \cdot 10^{-6}, \text{ м}^3/\text{год}. \quad (2.40)$$

При відомій ширині міжрядь  $B_m$  (м) на одиницю площі витратиметься об'єм води  $G_s$ :

$$G_s = \frac{V_{el} \cdot 10^{-5}}{B_m \cdot L_1}, \text{ (м}^3/\text{га)}, \quad (2.41)$$

де  $L_1$  - відстань між рослинами в рядку, м;

$V_{el}$  - об'єм витраченої води за один висів, мм<sup>3</sup>.

Виштовхування насіння з рідиною з ствола відбувається за рахунок стиснутого повітря, яке подається через клапан 9 при його відкритті. Заповнення простору газової камери відбувається одночасно з розширенням повітря і виштовхуванням води з ствола. Цей процес можна описати за допомогою рівнянь термодинаміки змінної кількості газу [61] як адіабатний

для випадку приєднання маси  $J$  газу до термодинамічної системи при обміні енергією з зовнішнім середовищем у вигляді роботи  $L$ :

$$dL \neq 0; dQ = 0; dJ \neq 0; dJ_K = 0,$$

де  $dL$  – диференціал роботи газу по витісненню води з ствола;

$dQ$  – диференціал теплообміну газу з навколишнім середовищем;

$dJ$  – диференціал приєднання маси при впуску газу через клапан;

$dJ_K$  – диференціал від'єднання маси газу (якщо витоки газу відсутні, то  $dJ_K = 0$ ).

Якщо на протязі процесу подачі газу через пневмоклапан 9 перепад тиску до клапана  $P_n$  (Па) і за клапаном  $P_z$  (Па) буде забезпечувати надкритичний витік, то масова витрата газу  $m$  через клапан 9 не залежатиме від тиску  $P_z$ .

Умовою надкритичного витоку є  $P_z/P_n < \beta_{кр}$ ,

де  $\beta_{кр} = (2/(k+1))^{k/(k-1)}$  – критичне відношення тисків;

$k$  – показник адіабати газу. Для повітря  $k = 1,4$ , а  $\beta_{кр} = 0,528$ ,

отже  $P_n > 1,893 \cdot P_z$ .

Якщо на протязі всього процесу подачі ця умова витримується, то масова витрата повітря  $m$  (кг/с) може знаходитися за рівнянням [62, 63]:

$$m = \mu \cdot F_x \cdot P_n \cdot \sqrt{k \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}} \cdot \frac{1}{R \cdot T_n}}, \quad (2.42)$$

де  $T_n$  – температура повітря перед клапаном, К;

$\mu$  та  $F_x$  – коефіцієнт витрати та площа перерізу пневмоклапана.

Для визначення складової  $dL$  необхідно описати процес розширення газу при виштовхуванні насіння з рідиною з ствола.

Величина тиску  $P_z$  визначає швидкість руху насіння з рідиною в стволі під дією сили тиску газу:

$$P_z = (\rho_n \cdot l_n) \cdot \left(\frac{d^2 s}{dt^2}\right), \quad (2.43)$$

де  $\rho_n$  – щільність рідини з насінням, кг/м<sup>3</sup>;

$d^2 s/dt^2$  – прискорення насіння з рідиною під дією сили тиску газу, м/с<sup>2</sup>.

При переміщенні насіння з рідиною до виходу з ствола відбувається розширення газу та виконується робота:

$$dL = P_z \cdot dv, \quad (2.44)$$

де  $dv = dl_z \cdot \frac{\pi \cdot d_c^2}{4}$ , – зміна об'єму газу при розширенні.

Закінчення процесу виштовхування насіння з ствола відбувається при змінній масі рідини з насінням, яка починає покидати ствол при умові:

$$l_n + l_z > L_c + L_{зк} \quad (2.45)$$

де  $l_z$  – довжина ствола, заповненого газом, м;

$L_c + L_{зк} = L_{зс}$  – загальна довжина ствола (рис. 2.9).

Для кінця процесу виштовхування насіння з рідиною рівняння (2.43) набуває вигляду:

$$P_z = \rho_n (L_c + L_{зк} - l_z) \cdot \left( \frac{d^2 s}{dt^2} \right) \quad (2.46)$$

Остаточно процес висіву буде закінченим при умові:

$$l_z \geq L_c + L_{зк}. \quad (2.47)$$

#### 2.2.4 Визначення режиму роботи висівного апарату

Врахувавши технічні можливості пневмоклапанів визначимо час висіву.

$$t_B = t_C + \frac{L_C}{v_{нс}}, c \quad (2.48)$$

де  $t_c$  – час спрацювання клапана, с;

$v_{нс}$  – швидкість руху насіння з рідиною в стволі, м/с.

$$v_{нс} = \frac{P_z}{S_C} \quad (2.49)$$

де  $S_c$  – переріз насіннепроводу, м.

Друга складова циклу  $t_3$  у може бути знайдена наступним чином. Після відкриття клапана 8 тиск води  $P_{над}$  передається в бак 12 і починається рух

насіння з рідиною по насіннєпроводу 3 у ствол, вільний кінець якого сполучений з атмосферою. Протидіяти рухові рідини з насінням будуть гідравлічний опір насіннєпроводу та сили інерції:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{(P_{над} - \Delta P)}{\rho_n \cdot (L_{III} + l_{II})} \quad (2.50)$$

де  $\Delta P = \xi \cdot L_{III} \cdot \left(\frac{dx}{dt}\right)^2$  – втрати тиску у насіннєпроводі з питомим опором  $\xi$  [64];

$dx/dt$  та  $d^2x/dt^2$  – швидкість та прискорення рідини з насінням у насіннєпроводі;

$L_{III}$  - довжина насіннєпроводу від бака до ствола;

$l_n = f(t)$  - довжина ствола, заповненого насінням з рідиною.

Якщо довжина насіннєпроводу суттєво перевищує довжину ствола, заповнену, насінням з рідиною  $L_{III} \gg l_{II}$ , що має місце в реальній конструкції висівного апарата, то (2.50) можна переписати як

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{(P_{над} - \Delta P)}{\rho_n \cdot L_{III}}. \quad (2.51)$$

Тоді з урахуванням різниці діаметрів насіннєпроводу та ствола поточне значення  $l_n$  може бути знайдене як:

$$l_{II} = \left( \frac{d^2x}{dt^2} \cdot \frac{(t_n)^2}{2} \right) \cdot \left( \frac{d_c}{d_{nn}} \right)^2, \quad (2.52)$$

де  $t_n$  – час з моменту початку подачі насіння з рідиною, с.

З іншого боку, середнє значення довжини ствола, заповненого насінням по закінченню заряду, тобто при  $t_n = t_3$ , визначено у (2.38) як  $l_n = n_z \cdot 6 \cdot d_n \cdot (d_c/d_{nn})^2$  підставляючи це значення у (2.52) отримаємо:

$$\left( \frac{d^2x}{dt^2} \right) \cdot \frac{(t_3)^2}{2} = n_z \cdot 12 \cdot d_n \cdot (t_3)^2. \quad (2.53)$$

Враховуючи (2.53), остаточно можемо записати:

$$t_3 = \left( \frac{n_z \cdot 12 \cdot d_n \cdot \rho_n \cdot L_{III}}{(P_B - \Delta P)} \right)^{0,5}. \quad (2.54)$$

Тобто, на час заряду ствола можна впливати, змінюючи тиск води, що витісняє насіння з рідиною.

При швидкості руху висівного апарату  $v_B$  (м/с) та відстані між суміжними висівами в рядку  $L_r$  (м), тривалість циклу становитиме:

$$t_u = \frac{L_r}{v_B}, c. \quad (2.55)$$

Для висівного апарата, який працює на швидкості 1 м/с і повинен висівати насіння з інтервалом 0,05 м тривалість циклу становить  $0,05 \text{ с} = 50 \text{ мс}$  (частота «вистрілювання» 20 Гц).

За результатами попередніх випробувань час «вистрілювання»  $t_b$  не перевищує 10...12 мілісекунд [65], що становить 20% від тривалості циклу при частоті 20 Гц. Цей час можна суттєво зменшити, підвищуючи робочий тиск наддуву повітря  $P_{над}$  та, оптимізуючи параметри пневмоклапана.

### 2.3 Визначення розподілу швидкості рідини в забірній камері

Визначення швидкісного режиму течії робочої рідини в забірній камері дозволить в подальшому дослідити процес утворення та підтримання псевдозрідженого шару з насіння заданої концентрації з врахуванням турбулентних течій що виникають в висхідному потоці забірної камери.

Для визначення векторного поля швидкостей в ємності гідропневматичного висівного апарата, в якій формується псевдозріджений шар насінневого матеріалу, розглянемо гідродинамічний процес руху рідини по об'єму ємності.

Математичну модель течії рідини в ємності гідропневматичного висівного апарата для координатного висіву отримаємо при наступних припущеннях.

1. Рідина є нестисливою та в'язкою, тобто виконується умова [66-68]:

$$\nabla \bar{v}_l = 0, \quad (2.56)$$

де  $\bar{v}_l$  – векторне поле швидкостей рідини, м/с;

$\bar{\nabla}$  – векторний диференціальний оператор Гамільтона:

$$\bar{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x} \bar{i} + \frac{\partial}{\partial y} \bar{j} + \frac{\partial}{\partial z} \bar{k}; \quad (2.57)$$

$x, y, z (x_i)$  – Декартові координати, м;

$\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}$  – одиничні вектори по осях  $x, y, z$  відповідно.

2. Рух рідини підпорядковується системі диференціальних рівнянь в частинних похідних Нав'є-Стокса [66-68]:

$$\rho_p \frac{d\bar{v}_l}{dt} = -\rho_p (\bar{v}_l \cdot \bar{\nabla}) \bar{v}_l + \mu_l \Delta \bar{v}_l - \bar{\nabla} P_l - \rho_p \bar{g}, \quad (2.58)$$

де  $t$  – час, с;

$\bar{g}$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$P_l$  – тиск, що діє на рідину, Па;

$\mu_l$  – коефіцієнт динамічної молекулярної в'язкості рідини, Па·с;

$\Delta$  – векторний оператор Лапласа

$$\Delta = \bar{\nabla} \cdot \bar{\nabla}. \quad (2.59)$$

3. Для першого наближення вважаємо, що потік рідини є стаціонарним (сталим) [1-3]:

$$\frac{d\bar{v}_l}{dt} = 0. \quad (2.60)$$

4. Рух рідини є турбулентним, що підпорядковується к-ε моделі, в якій реалізовано вплив флуктуації середньої швидкості (у вигляді турбулентної кінетичної енергії) і процесу зменшення цієї флуктуації за рахунок в'язкості

(дисипації). У даній моделі вирішується два додаткових рівняння для переносу кінетичної енергії турбулентності і переносу дисипації турбулентності [66-69]:

$$\rho_p \frac{dk_l}{dt} + \rho_p \bar{v}_l \frac{\partial k_l}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \frac{\mu_{lt}}{\sigma_k} \frac{\partial k_l}{\partial x_i} \right] + 2\mu_{lt} E_{ij} E_{ij} - \rho_p \varepsilon_l, \quad (2.61)$$

$$\rho_p \frac{d\varepsilon_l}{dt} + \rho_p \bar{v}_l \frac{\partial \varepsilon_l}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \frac{\mu_{lt}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon_l}{\partial x_i} \right] + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon_l}{k_l} 2\mu_{lt} E_{ij} E_{ij} - C_{\varepsilon 2} \rho_p \frac{\varepsilon_l^2}{k_l}, \quad (2.62)$$

де  $k_l$  – кінетична енергія турбулентності,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2$ ;

$\varepsilon_l$  – швидкість дисипації кінетичної енергії турбулентності,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^3$ ;

$\mu_{lt}$  – коефіцієнт динамічної турбулентної в'язкості рідини,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ ;

$E_{ij}$  – тензор швидкостей деформації,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\sigma_k, \sigma_\varepsilon$  – турбулентні числа Прандтля для  $k$  і  $\varepsilon$  відповідно;

$C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}$  – емпіричні постійні моделі.

6. Згідно досліджень Chen N.H. коефіцієнт тертя рідини об стінки ємності можна розрахувати за формулою [70]:

$$f_M = \begin{cases} \frac{16}{Re}, Re_l \leq 2000, \\ \left[ -4 \lg \left( \frac{\varepsilon_s / D_G}{3,7065} - \frac{5,0452}{Re_l} \lg \left( \frac{(\varepsilon_s / D_G)^{1,1098}}{2,8257} + \left( \frac{7,149}{Re_l} \right)^{0,8981} \right) \right) \right]^{-2}, Re_l \geq 4000, \end{cases} \quad (2.63)$$

де  $\varepsilon_s$  – абсолютна шорсткість стінки;

$Re_l$  – число Рейнольдса

$$Re_l = \frac{v_l \cdot D_G \cdot \rho_p}{\mu_l}, \quad (2.64)$$

$D_G$  – гідравлічний діаметр, м.

Графічна інтерпретація залежності (2.64) представлено на рис. 2.10 [70].

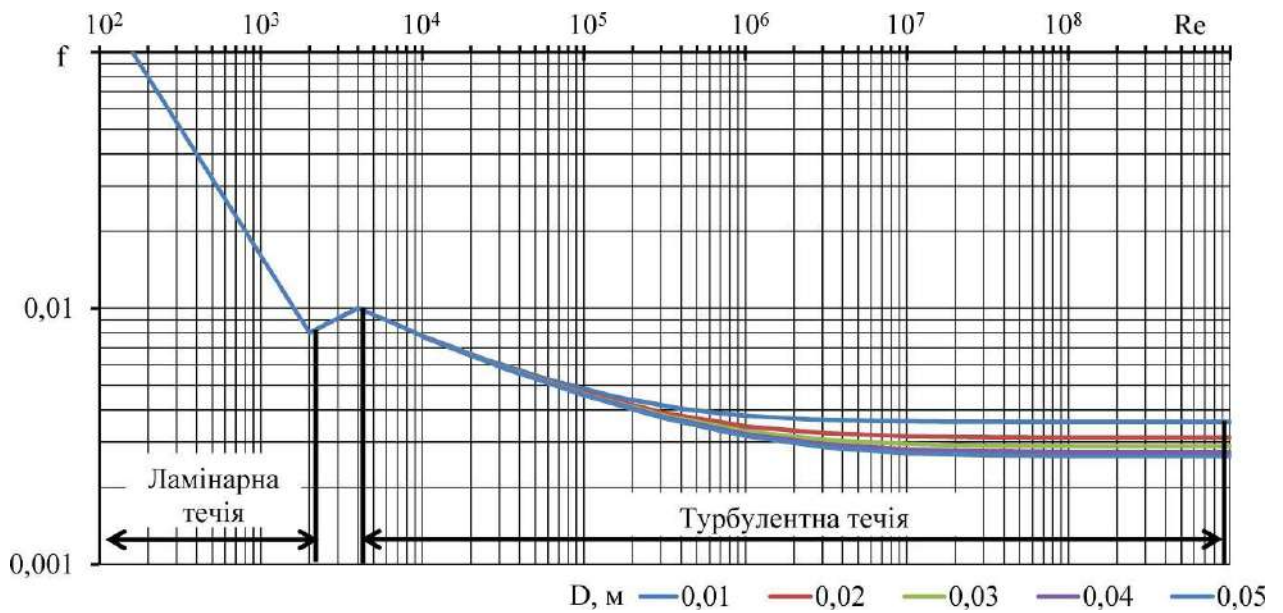


Рис. 2.10. Залежність коефіцієнта тертя від числа Рейнольдса і діаметра трубопроводу [70]

Врахувавши наведені припущення, вирішимо плоску задачу для поперечного перерізу ємності гідропневматичного висівного апарата (рис. 2.11). Для цього проведемо перетворення рівнянь (2.58), (2.61) і (2.62):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dv_{1x}}{dt} + v_{1x} \frac{\partial v_{1x}}{\partial x} + v_{1y} \frac{\partial v_{1x}}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_p} \frac{\partial P_1}{\partial x} + \mu_1 \Delta v_{1x}, \\ \frac{dv_{1y}}{dt} + v_{1x} \frac{\partial v_{1y}}{\partial x} + v_{1y} \frac{\partial v_{1y}}{\partial y} = -g - \frac{1}{\rho_p} \frac{\partial P_1}{\partial y} + \mu_1 \Delta v_{1y}, \\ \rho_p \frac{dk_1}{dt} + \rho_p v_{1x} \frac{\partial k_1}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \frac{\mu_{1t}}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k_1}{\partial x} \right] + 2\mu_{1t} E_{ij} E_{ij} - \rho_p \varepsilon_1, \\ \rho_p \frac{dk_1}{dt} + \rho_p v_{1y} \frac{\partial k_1}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( \frac{\mu_{1t}}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k_1}{\partial y} \right] + 2\mu_{1t} E_{ij} E_{ij} - \rho_p \varepsilon_1, \\ \rho_p \frac{d\varepsilon_1}{dt} + \rho_p v_{1x} \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \frac{\mu_{1t}}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial x} \right] + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon_1}{k_1} 2\mu_{1t} E_{ij} E_{ij} - C_{\varepsilon 2} \rho_p \frac{\varepsilon_1^2}{k_1}, \\ \rho_p \frac{d\varepsilon_1}{dt} + \rho_p v_{1y} \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( \frac{\mu_{1t}}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial y} \right] + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon_1}{k_1} 2\mu_{1t} E_{ij} E_{ij} - C_{\varepsilon 2} \rho_p \frac{\varepsilon_1^2}{k_1}. \end{array} \right. \quad (2.65)$$

де  $v_{1x}$ ,  $v_{1y}$  проекції швидкості відповідно на вісь  $x$  та  $y$ .



$$\overline{v_{DA}} = v_0, \quad (2.70)$$

де  $v_0$  – швидкість рідини на вході забірної камери, м/с.

3. На верхній границі – тиск на виході:

$$BC : y = H_\alpha, \quad (2.71)$$

$$P_{BC} = 0, \quad (2.72)$$

де  $H_\alpha$  – висота забірної камери, м.

Так як система диференційних рівнянь є досить складною для аналітичного розрахунку, тому дослідження течії рідини проводилося з використанням програмного пакету STAR-CCM+, який реалізовано на основі методу кінцевих елементів [71-78]. При цьому використовувалися адаптивні регулярні розрахункові сітки із змінним розміром комірки. Розрахункова сітка наведена на рисунку 2.12. Базовий розмір комірки прийнятий 0,001 м. Розмір наступної комірки збільшуються в 1,2 рази в порівнянні з попередньою. В якості моделі сітки було обрано генератор призматичного шару, генератор багатограничних комірок та генератор поверхневої сітки.

Через те, що результати чисельного моделювання течії в'язкої рідини істотно залежать від використовуваної моделі турбулентності, вибору розрахункової сітки, числа її вузлів, граничних умов і обчислювального алгоритму, тому було проведено верифікацію, яка забезпечила збіжність результатів. В якості фізичних моделей для чисельного моделювання були обрані наступні: k-ε модель турбулентності розділеної течії, поле сили тяжіння, постійна густина рідини [71-78].

Для чисельного моделювання процесу переміщення рідини в ємності гідропневматичного висівного апарата були прийняті конструктивно-технологічні параметри, які наведені в таблиці 2.1. За фактори чисельного моделювання були прийняті наступні конструктивно-технологічні параметри: кут між поверхнями забірної камери  $\alpha$  і швидкість на вході забірної камери  $v_0$  (межі варіювання представлені в таблиці 2.2).

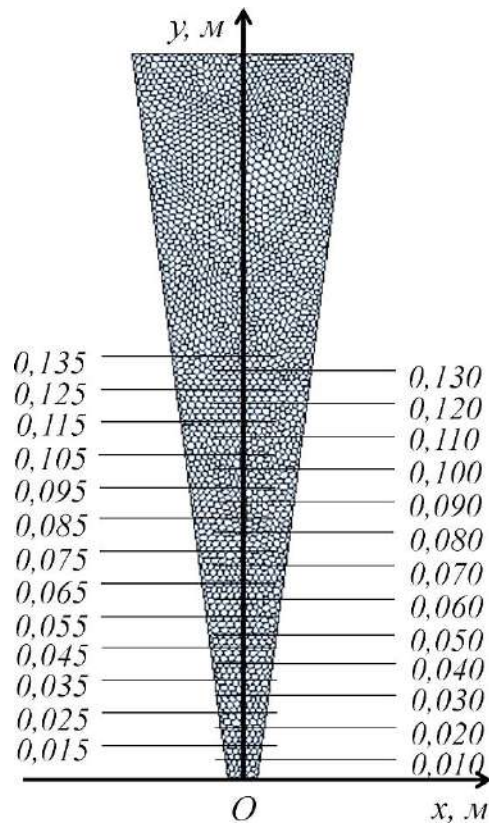


Рис. 2.12. Розрахункова сітка забірної камери гідропневматичного висівного апарата в STAR-CCM+

Таблиця 2.1 – Конструктивно-технологічні параметри забірної камери

| Величина                                   | Позначення | Значення |
|--------------------------------------------|------------|----------|
| Кут між поверхнями забірної камери, град   | $\alpha$   | 10-20    |
| Діаметр вхідного отвору забірної камери, м | $d_{вх}$   | 0,008    |
| Діаметр вихідного отвору, м                | $d_{вих}$  | 0,008    |
| Висота забірної камери, м                  | $H_a$      | 0,25     |
| Ширина забірної камери, м                  | $B_a$      | 0,015    |
| Швидкість на вході забірної камери, м/с    | $v_0$      | 0,4-0,6  |

Таблиця 2.2 – Рівні варіацій факторами чисельного моделювання

| Рівні варіацій факторів    | Фактори                                            |                                                |
|----------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                            | Кут між поверхнями забірної камери $\alpha$ , град | Швидкість на вході забірної камери $v_0$ , м/с |
| Верхній рівень (+)         | 20                                                 | 0,6                                            |
| Основний рівень (0)        | 15                                                 | 0,5                                            |
| Нижній рівень (-)          | 10                                                 | 0,4                                            |
| Інтервал варіацій факторів | 5                                                  | 0,1                                            |

На першому етапі чисельного моделювання було визначено векторне поле швидкостей рідини при різному розташуванні вихідного отвору забірної камери гідропневматичного висівного апарата (рис. 2.13).

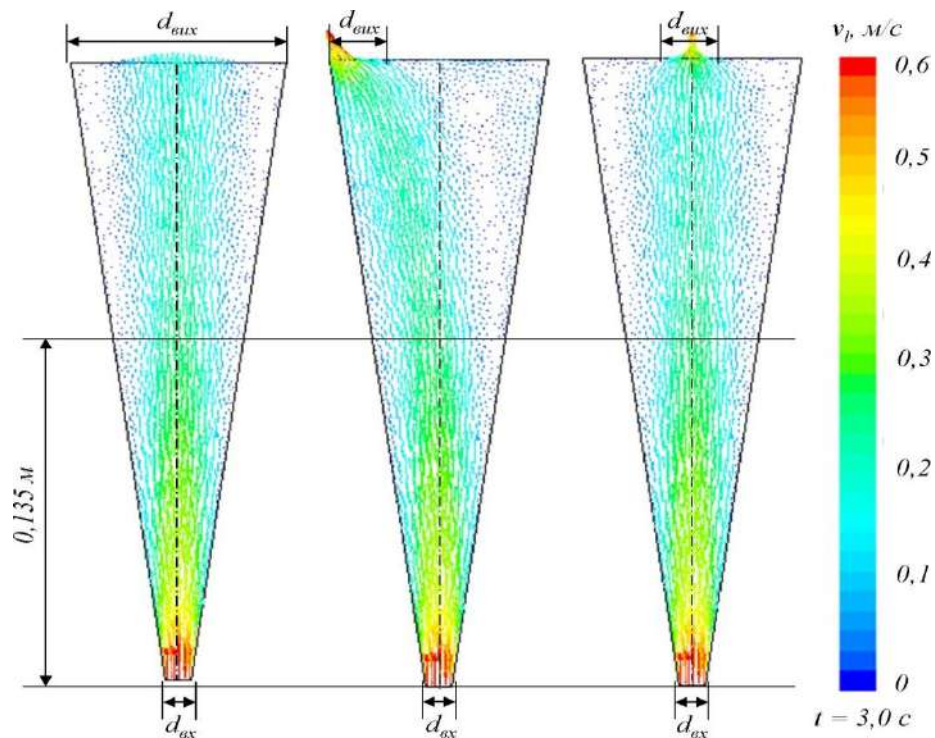


Рис. 2.13. Векторне поле швидкості рідини при різному розташуванні вихідного отвору в забірній камері

Як видно з рисунку 2.13, векторне поле швидкостей рідини є однаковим у збірній камері гідропневматичного висівного апарата (на висоті 0,135 м) і відрізняється лише у верхній його частині. Можна стверджувати, що на висоті 0,135 м забірної камери розташування і розмір вихідного отвору не впливають на векторне поле швидкостей.

Другий етап чисельного моделювання було проведено за повним факторним дослідом із загальною кількістю дослідів –  $3^2 = 9$ . За результатами моделювання було отримано розподіл швидкостей рідини в забірній камері в залежності від кута між поверхнями забірної камери і швидкості на її вході (рис. 2.14). Результати моделювання наведені в додатку Б.

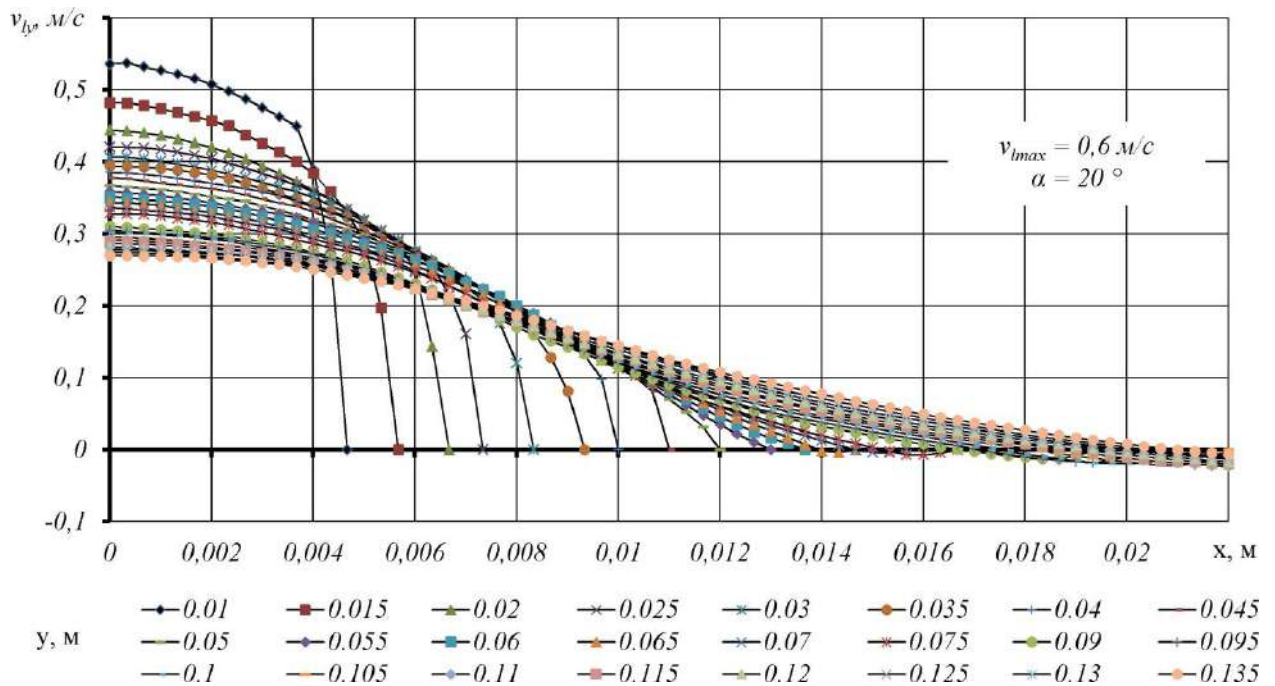


Рис. 2.14. Розподіл проекції швидкостей рідини на вісь Оу в забірній камері гідропневматичного висівного апарата

З використанням програмного пакету Mathematica проведено апроксимацію отриманих даних, в результаті якої встановлено рівняння проекції швидкості рідини на вісь Оу для кожної точки забірної камери гідропневматичного висівного апарата, які наведені в додатку Б. Узагальнюючи, отримані рівняння, можна представити у вигляді:

$$v_{ly} = a_0 + a_1 x^2 + a_2 x^4 + a_3 y + a_4 x^2 y + a_5 x^4 y, \quad (2.73)$$

де  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  – коефіцієнти регресії.

Для кожного дослідження коефіцієнти регресії представлені в таблиці 2.3. Аналізуючи таблицю 2.3 і апроксимуючи коефіцієнти регресії  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  для кожного дослідження було виявлено, що вони залежать від факторів чисельного моделювання:

$$\begin{cases} a_0 = v_0, \\ a_i = v_0 \left( b_{i1} + b_{i2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + b_{i3} \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} \right), \end{cases} \quad (2.74)$$

де  $b_{i1}, b_{i2}, b_{i3}$  – коефіцієнти регресії.

Таблиця 2.3 – Коефіцієнти регресії  $a_i$  рівняння (2.73)

| № | $\alpha$ | $v_{hy}$ | $a_0$ | $a_1$               | $a_2$              | $a_3$ | $a_4$              | $a_5$               |
|---|----------|----------|-------|---------------------|--------------------|-------|--------------------|---------------------|
| 1 | 10       | 0,4      | 0,40  | $-1,17 \times 10^4$ | $6,17 \times 10^7$ | -1,72 | $8,26 \times 10^4$ | $-4,66 \times 10^8$ |
| 2 | 10       | 0,5      | 0,50  | $-1,47 \times 10^4$ | $7,76 \times 10^7$ | -2,14 | $1,03 \times 10^5$ | $-5,85 \times 10^8$ |
| 3 | 10       | 0,6      | 0,60  | $-1,77 \times 10^4$ | $9,33 \times 10^7$ | -2,56 | $1,24 \times 10^5$ | $-7,05 \times 10^8$ |
| 4 | 15       | 0,4      | 0,40  | $-5,99 \times 10^3$ | $1,27 \times 10^7$ | -1,87 | $4,32 \times 10^4$ | $-9,77 \times 10^7$ |
| 5 | 15       | 0,5      | 0,50  | $-7,50 \times 10^3$ | $1,60 \times 10^7$ | -2,30 | $5,37 \times 10^4$ | $-1,23 \times 10^8$ |
| 6 | 15       | 0,6      | 0,60  | $-8,83 \times 10^3$ | $1,89 \times 10^7$ | -2,76 | $6,28 \times 10^4$ | $-1,44 \times 10^8$ |
| 7 | 20       | 0,4      | 0,40  | $-3,97 \times 10^3$ | $5,46 \times 10^6$ | -1,98 | $2,67 \times 10^4$ | $-3,87 \times 10^7$ |
| 8 | 20       | 0,5      | 0,50  | $-4,96 \times 10^3$ | $6,88 \times 10^6$ | -2,45 | $3,36 \times 10^4$ | $-4,84 \times 10^7$ |
| 9 | 20       | 0,6      | 0,60  | $-6,04 \times 10^3$ | $8,48 \times 10^6$ | -2,91 | $4,07 \times 10^4$ | $-5,93 \times 10^7$ |

Всі коефіцієнти регресії  $b_{ij}$  представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Коефіцієнти регресії  $b_{ij}$  рівняння (2.74)

| $\begin{matrix} i \\ j \end{matrix}$ | 1                   | 2                     | 3      | 4                   | 5                      |
|--------------------------------------|---------------------|-----------------------|--------|---------------------|------------------------|
| 1                                    | $-8,61 \times 10^4$ | $7,09 \times 10^8$    | -3,39  | $5,84 \times 10^5$  | $-5,31 \times 10^9$    |
| 2                                    | $8,62 \times 10^5$  | $-8,68 \times 10^9$   | -11,74 | $-5,68 \times 10^6$ | $6,47 \times 10^{10}$  |
| 3                                    | $-2,44 \times 10^6$ | $2,69 \times 10^{10}$ | 18,16  | $1,56 \times 10^7$  | $-2,00 \times 10^{11}$ |

Підставляючи (2.73) в (2.74), отримали узагальнене рівняння проекції швидкості рідини на вісь  $Oy$  для кожної точки забірної камери гідропневматичного висівного апарата:

$$v_{ly} = v_0 \left[ 1 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 \left( b_{ij} \cdot \operatorname{tg}^{j-1} \frac{\alpha}{2} \right) x^{2i} + y \sum_{i=0}^2 \sum_{j=1}^3 \left( b_{(i+3)j} \cdot \operatorname{tg}^{j-1} \frac{\alpha}{2} \right) x^{2i} \right]. \quad (2.75)$$

Аналіз результатів розрахунку швидкості  $v_l$  (рис. 2.13), додатка Б і рівняння (2.75) показує, що із поступовим розширенням забірної камери ближче до поверхні стінок забірної камери виникає від’ємне значення проекції швидкості на вертикальну вісь, що свідчить про наявність турбулентної течії пов’язаної з опором рідини, що створюють стінки забірної камери. За умови незначного відхилення щільності насіння і робочої рідини можна припустити, що насіння в псевдозрідженому шарі буде рухатися за лініями току рідини – підніматися з центру і опускатися по обмежуючих поверхнях камери.

## 2.4 Фізико-математична модель процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері

В забірній камері висівного апарата насіння повинно підніматися потоком рідини, утворюючи псевдозріджений шар з заданою концентрацією насіння. Для дослідження процесу утворення псевдозрідженого шару необхідно визначити математичний апарат, який дозволить отримати траєкторії, діаграми сил і величини ковзання при русі насіння в потоці рідини з градієнтом швидкості.

Диференціальне рівняння руху однієї сферичної насінини в заданій області швидкостей потоку рідини [79] має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{4}{3} \pi a^3 \rho_n \frac{d \overline{v_p}}{dt} = \overline{F}, \\ \frac{d \overline{S_p}}{dt} = \overline{v_p}, \\ \frac{d \overline{p}}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \overline{v_p} \cdot \overline{\nabla}, \end{array} \right. \quad (2.76)$$

де  $a$  – радіус сферичної насінини, м;

$\rho_n$  – густина насінини, кг/м<sup>3</sup>;

$\overline{v_p}$  – вектор швидкості руху насінини, м/с;

$\overline{S_p}$  – вектор переміщення насінини, м;

$\overline{F}$  – вектор результуючої сили, що діє на насінину, Н.

Спроби вирішувати систему рівнянь (2.76) пов'язані з рядом труднощів, суть яких зводиться до наступного:

а) загальне число сил, що діють на насінину в потоці рідини, є невизначеним, оскільки не до кінця описані процеси, що визначають поведінку насінини в потоці.

б) строгі аналітичні вирази для деяких виразів правої частини рівняння (2.76) невідомі (наприклад, вираз для гідродинамічної сили).

Сили, що діють на насінину при її русі в турбулентному потоці рідини, на підставі причин, що викликають їх появу, можна розділити на наступні групи:

1. Сили, що виникають під дією зовнішніх силових полів (сила ваги) [80]:

$$\overline{F_g} = \frac{4}{3} \pi a^3 \rho_n \overline{g}, \quad (2.77)$$

де  $\overline{F_g}$  – вектор сили тяжіння, Н.

2. Сили, що виникають від нерівномірного розподілу тиску по поверхні насінини при її русі в потоці рідини.

- 2.1. Сила Архімеда [80]:

$$\overline{F_A} = \frac{4}{3} \pi a^3 \rho_p \overline{g}, \quad (2.78)$$

де  $\overline{F_A}$  – вектор сила Архімеда, Н.

- 2.2. Сила, що зумовлена зміною тиску в напрямку руху несучого потоку за рахунок його прискорення [79]:

$$\begin{aligned} \overline{F_{ac}} &= \frac{4}{3} \pi a^3 \rho_p \frac{d_l \overline{v_l}}{dt}, \\ \frac{d_l}{dt} &= \frac{\partial}{\partial t} + \overline{v_l} \cdot \overline{\nabla}, \end{aligned} \quad (2.79)$$

де  $\overline{F_{ac}}$  – сила, що зумовлена зміною тиску в напрямку руху несучого потоку, Н.

- 2.3. Гідродинамічна сила Магнуса виникає в результаті нерівномірного обтікання насінини потоком, що набігає. Різниця в швидкостях потоку в різних точках периметра насінини, що обтікає, призводить до появи перепаду статичного тиску. Причиною нерівномірного обтікання насінини може бути або її обертання в потоці, або перебування частинки в зонах, де швидкість потоку має поперечний градієнт. Величина сили Магнуса пропорційна відносній поступальній швидкості насінини і її абсолютній кутовій швидкості, тобто [81]:

$$\overline{F_{Mag}} = \frac{1}{2} \pi a^2 \rho_p v_l^2 C_M \frac{|\overline{\omega} \times \overline{v_l}|}{|\overline{\omega} \times \overline{v_l}|}, \quad (2.80)$$

де  $\overline{F_{Mag}}$  – сила Магнуса, Н;

$C_M$  – емпіричний коефіцієнт Магнуса;

$\overline{\omega}$  – вектор кутової швидкості обертання,  $\text{с}^{-1}$ .

3. Сила в'язкого опору, що виникає при русі насінини з деякою відносною швидкістю в потоці рідини. Для сферичної насінини сила опору може бути представлена наступним чином [82]:

$$\overline{F_D} = \frac{1}{2} \pi a^2 \rho_p f_M(Re) (\overline{v_l} - \overline{v_p}) |\overline{v_l} - \overline{v_p}|, \quad (2.81)$$

де  $\overline{F_D}$  – сила в'язкого опору, Н;

$f_M(Re)$  – коефіцієнт в'язкого опору.

До цієї групи сил можна також віднести силу Бассе, яка об'єднує в'язкісний і інерційний вплив потоку на насінину в умовах нестационарного руху.

4. Інерційні сили, що виникають в результаті нестационарного руху насінини в середовищі:

4.1. Сила, еквівалентна впливу приєднаної маси представляється як:

$$\overline{F_m} = \frac{2}{3} \pi a^3 \rho_n \frac{d}{dt} (\overline{v_l} - \overline{v_p}), \quad (2.82)$$

і визначає зростаючу інерційність насінини при нестационарному її русі [82]. Удаване збільшення маси насінини відбувається від інерційності елементів середовища, яким насіння під час свого руху повинне повідомити додаткове прискорення. Цей додатковий рух середовища еквівалентний руху деякої фіктивної маси (приєднаної маси), яка рухається з тією ж відносною швидкістю, що і насіння.

4.2. Сила Бассе [83]:

$$\overline{F_B} = \frac{6 \pi \mu_l a^2}{\sqrt{\pi \Theta}} \int_{\tau} \frac{d}{d\tau} (\overline{v_l} - \overline{v_p}) \frac{d\tau}{\sqrt{t - \tau}}, \quad (2.83)$$

де  $\overline{F_B}$  – сила Бассе, Н;

$\Theta$  – кінематична в'язкість, м<sup>2</sup>/с;

$\tau$  – зміна часу, с.

Сила Бассе враховує додатковий опір руху насінини з боку потоку, викликаного конфігурацією відносної швидкості насінини. Сила Бассе проявляється як миттєве збільшення опору руху насінини за рахунок зростання її інерційності.

5. Сили, що виникають при зміні маси частинки (сила Мещерського) [84]:

$$\overline{F_M} = \overline{v_p} \frac{dm_p}{dt}, \quad (2.84)$$

де  $\overline{F_M}$  – сила Мещерського, Н;

$m_p$  – маса насінини, кг.

6. Якщо розглядати переміщення насінини за час, що перевищує часовий масштаб турбулентних пульсацій, то шлях, пройдений насіниною тільки за рахунок дифузійного дрейфу, можна представити як відстань, на яку перемістилася насінина під дією деякої залежної від координати сили [85]:

$$\overline{F_{Dif}} = \beta_p \overline{V_p}, \quad (2.85)$$

де  $\overline{F_{Dif}}$  – сила дифузійного дрейфу, Н;

$\beta_p$  – рухливість насінини, кг/с.

7. Сумарна сила контактної взаємодії насінин між собою і стінкою забірної камери, яка базується на пружино-демпферній контактній моделі Герца-Міндліна [86, 87]. Згідно прийнятих припущень стосовно сферичності насінин сили, що діють між двома насінинами А і В, описуються наступним набором рівнянь [86, 87]:

$$\overline{F_{contact}} = \overline{F_n} + \overline{F_t}, \quad (2.86)$$

де  $\overline{F_{contact}}$  – сила взаємодії між насінинами і границею, Н;

$$\overline{F_{contact}} = \overline{F_n} + \overline{F_t}; \quad (2.87)$$

$\overline{F}_n$  – нормальна складова сили, Н;

$\overline{F}_t$  – тангенціальна складова сили, Н.

Нормальна складова сили визначається наступним рівнянням:

$$\overline{F}_n = -K_n \overline{d}_n - N_n \overline{v}_n; \quad (2.88)$$

де  $K_n$  – нормальний коефіцієнт жорсткості пружної складової, Н/м;

$$K_n = \frac{4}{3} E_{eq} \sqrt{d_n R_{eq}}; \quad (2.89)$$

$N_n$  – нормальний коефіцієнт згасання демпферної складової, Н/м;

$$N_n = \sqrt{(5K_n M_{eq})} N_{n \text{ damp}}. \quad (2.90)$$

Згідно досліджень [86, 87] тангенціальна складова сили визначається, як

$$\overline{F}_t = -K_t \overline{d}_t - N_t \overline{v}_t, \quad (2.91)$$

якщо  $|K_t \overline{d}_t| < |K_n \overline{d}_n| C_{fs}$ , де  $C_{fs}$  – статистичний коефіцієнт тертя між насінинами, або стінкою. В противному випадку тангенціальна складова сили визначається наступним рівнянням:

$$\overline{F}_t = \frac{|K_n \overline{d}_n| C_{fs} \overline{d}_t}{|\overline{d}_t|}, \quad (2.92)$$

де  $K_t$  – тангенціальний коефіцієнт жорсткості пружної складової, Н/м;

$$K_t = 8G_{eq} \sqrt{d_t R_{eq}}; \quad (2.93)$$

$N_t$  – тангенціальний коефіцієнт згасання демпферної складової, Н/м;

$$N_t = \sqrt{(5K_t M_{eq})} N_{t \text{ damp}}; \quad (2.94)$$

$N_{tdamp}$  – коефіцієнт згасання

$$N_{t \text{ damp}} = \frac{-\ln(C_{n \text{ rest}})}{\sqrt{\pi^2 + \ln(C_{n \text{ rest}})^2}}; \quad (2.95)$$

$R_{eq}$  – еквівалентний радіус двох насінин А і В, м;

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B}}; \quad (2.96)$$

$M_{eq}$  – еквівалентна маса двох насінин А і В, кг;

$$M_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}; \quad (2.97)$$

$E_{eq}$  – еквівалентний модуль Юнга двох насінин А і В, Па;

$$E_{eq} = \frac{1}{\frac{1 - \lambda_A^2}{E_A} + \frac{1 - \lambda_B^2}{E_B}}; \quad (2.98)$$

$G_{eq}$  – еквівалентний модуль зсуву двох насінин А і В, Па;

$$G_{eq} = \frac{1}{\frac{2(2 - \lambda_A)(1 + \lambda_A)}{E_A} + \frac{2(2 - \lambda_B)(1 + \lambda_B)}{E_B}}; \quad (2.99)$$

$M_A, M_B$  – маси насінин А і В, кг;

$d_n, d_t$  – коефіцієнт дублювання в нормальному і тангенціальному напрямках в точці контакту [87];

$R_A, R_B$  – радіуси насінин А і В, м;

$E_A, E_B$  – модулі Юнга насінин А і В, Па;

$\lambda_A, \lambda_B$  – коефіцієнти Пуассона часток А і В;

$\overline{v_n}, \overline{v_t}$  – нормальний і тангенціальний компонент відносної швидкості поверхні насінини в точці контакту, м/с;

Для процесу взаємодії насінин зі стінкою забірної камери залежності (2.76)-(2.99) є адекватними, однак для стінки приймається радіус  $R_{wall} = \infty$  і маса стінки  $M_{wall} = \infty$ . В результаті вирази (2.96)-(2.97) перетворюються в

$$\begin{aligned} R_{eq} &= R_p, \\ M_{eq} &= M_p. \end{aligned} \quad (2.100)$$

Для подальших досліджень кінематичних і динамічних характеристик насінини при русі її в потоці рідини приймаємо наступні припущення.

1. Насіння – жорсткі сфери радіусом 0,003 м, які не відрізняються одне від одного.
2. Відсутній теплообмін між насінням і середовищем.
3. Сила Бассе  $\overline{F}_B$  дорівнює нулю.
4. Так як діаметр насінини складає 0,001-0,005 м, а градієнта швидкості потоку на зазначеній відстані практично немає, то силою Магнуса  $\overline{F}_{Mag}$  можна знехтувати.
5. Приймаючи, що насіння рухаються в абсолютно однорідній рідині і злипання між ними відсутнє можна стверджувати про відсутність сили Мещерського  $\overline{F}_M$ .
6. У зв'язку із великою швидкістю потоку рідини  $v_l = 0,4-0,6$  м/с дифузійний дрейф насіння відсутній, сила дифузійного дрейфу  $\overline{F}_{Dif} = 0$ .
7. За несучий потік приймається потік рідини, що стаціонарно рухається у вертикальній забірній камері при ізотермічних умовах.

На основі зроблених припущень в рівнянні руху насінини (2.76) будуть враховані тільки наступні сили (рис. 2.15): сила тяжіння  $\overline{F}_g$ ; сила Архімеда  $\overline{F}_A$ ; сила, що зумовлена зміною тиску  $\overline{F}_{ac}$ ; сила, еквівалентна впливу приєднаної маси  $\overline{F}_m$ ; сила в'язкого опору  $\overline{F}_D$  і сумарна сила контактної взаємодії насінин між собою і стінкою забірної камери  $\overline{F}_{contact}$  (тільки при умові зіткнення насінин):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{4}{3} \pi a^3 \rho_n \frac{d \overline{v}_p}{dt} = \overline{F}_g + \overline{F}_A + \overline{F}_{ac} + \overline{F}_m + \overline{F}_D + \overline{F}_{contact}, \\ \frac{d \overline{S}_p}{dt} = \overline{v}_p, \\ \frac{d \overline{p}}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \overline{v}_p \cdot \nabla. \end{array} \right. \quad (2.101)$$

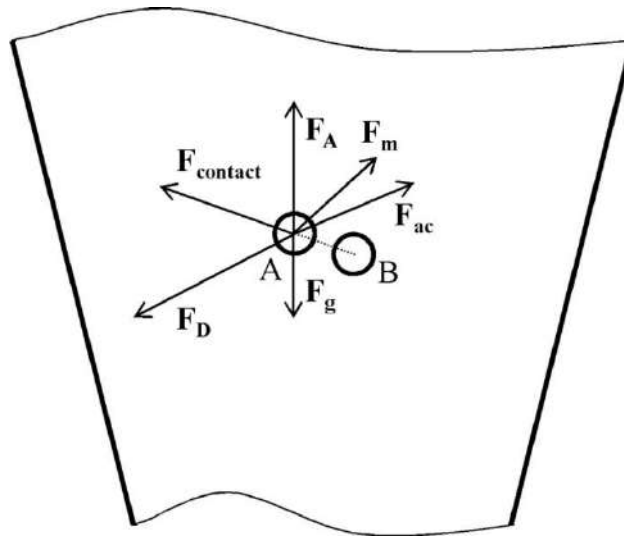


Рис. 2.15. Схема сил, що діють на насініну в забірній камері

Підставляючи (2.77)-(2.100) в (2.101), маємо систему диференціальних рівнянь руху насінини в потоці рідини:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d}{dt} \overline{v_p} &= \frac{2(\rho_n - \rho_p)}{2\rho_n + \rho_p} \overline{g} + \frac{3\rho_p}{2\rho_n + \rho_p} \frac{d}{dt} \overline{v_l} + \\ &+ \frac{3\rho_l f_M(\text{Re})}{4a(2\rho_n + \rho_p)} \left( \overline{v_p} - \overline{v_n} \right) \cdot \left| \overline{v_p} - \overline{v_n} \right| + \overline{F_{contact}}, \\ \overline{F_{contact}} &= \begin{cases} \overline{F_n} + \overline{F_t}, & \overline{S_{pA}} = \overline{S_{pB}}, \\ 0, & \overline{S_{pA}} \neq \overline{S_{pB}}, \end{cases} \\ \frac{d}{dt} \overline{S_p} &= \overline{v_p}, \\ \frac{d}{dt} \overline{p} &= \frac{\partial}{\partial t} + \overline{v_p} \cdot \overline{\nabla}. \end{aligned} \right. \quad (2.102)$$

Система диференціальних рівнянь (2.102) в загальному вигляді не вирішується аналітичними методами. Дослідженнями [88-90] запропоновано вирішення подібних систем методом кінцевих елементів, який реалізовано в програмному пакеті STAR-CCM+. При моделюванні процесу зазначеним методом задаються початкові положення, швидкості насінин і потоку рідини.

Потім, виходячи з цих початкових даних заданих фізичних законів контактної взаємодії, обчислюються сили, що діють на кожен насінину в кожному інтервал часу. Для кожної насінини обчислюється результуюча сила і також вирішується задача Коші на вибраному відрізку часу, результатом якої є початкові дані для наступного кроку. В якості фізичних моделей для чисельного моделювання були обрані наступні: k-ε модель турбулентності розділеної течії, поле сили тяжіння, постійна густина рідини, модель дискретних елементів, лагранжева багатофазність, модель багатофазної взаємодії [85-90].

Для проведення чисельного моделювання в програмному пакеті STAR-CCM+ було використано вже створену розрахункову сітку в розділі 2.3 (рисунок 2.12, таблиця 2.1). За фактори чисельного моделювання були прийняті наступні конструктивно-технологічні параметри: об'ємна концентрація насіння в забірній камері  $n$ , кут між поверхнями забірної камери  $\alpha$  і швидкість на вході забірної камери  $v_0$  (межі варіювання представлені в таблиці 2.5). Час проведення чисельного моделювання складав 10 с.

Таблиця 2.5 – Рівні варіацій факторами чисельного моделювання

| Рівні варіацій факторів    | Фактори                                            |                                                    |                                                |
|----------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                            | Об'ємна концентрація насіння в забірній камері $n$ | Кут між поверхнями забірної камери $\alpha$ , град | Швидкість на вході забірної камери $v_0$ , м/с |
| Верхній рівень (+)         | 0,48                                               | 20                                                 | 0,6                                            |
| Основний рівень (0)        | 0,32                                               | 15                                                 | 0,5                                            |
| Нижній рівень (-)          | 0,16                                               | 10                                                 | 0,4                                            |
| Інтервал варіацій факторів | 0,16                                               | 5                                                  | 0,1                                            |

Об'ємна концентрація насіння в забірній камері розраховується за формулою:

$$n = \frac{4N\pi a^3}{3v_k}, \quad (2.103)$$

де  $N$  – кількість насінин в забірній камері;

$a$  – радіус насінин, м;

$v_k$  – об'єм забірної камери (згідно рисунку 2.11), м<sup>3</sup>:

$$v_k = B \cdot (H^2 - h^2) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad (2.104)$$

$B_\alpha$  – ширина забірної камери, м;

$H_\alpha$  – висота забірної камери, м;

$h_0$  – висота усічення забірної камери, м;

$\alpha$  – кут між поверхнями забірної камери, °.

Чисельне моделювання було проведено за повним факторним дослідом із загальною кількістю дослідів –  $3^3 = 27$ . В результаті були отримані графічні інтерпретації динамічного розподілу (рис. 2.16) насінин в об'ємі забірної камери для кожного дослідів, які представлені в додатку В.

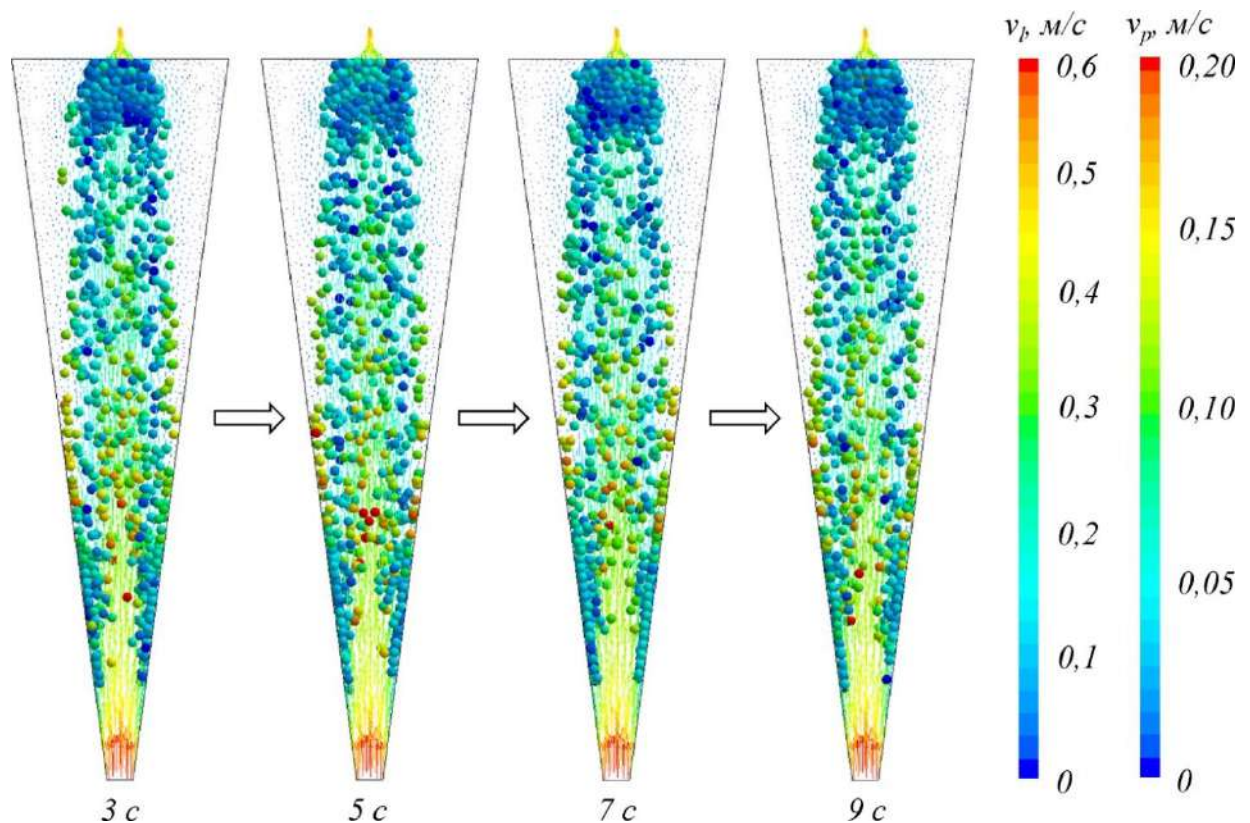


Рис. 2.16. Динаміка розподілу насінин в об'ємі забірної камери для дослідів:  $n = 0,32$ ,  $\alpha = 15^\circ$ ,  $v_0 = 0,6$  м/с

З рисунку 2.16 видно, що насінини в об'ємі забірної камери переміщуються за лініями току рідини, як передбачалося в розділі 2.2.

Узагальнюючі, траєкторії руху насінин представлені на рисунку 2.17. Із збільшенням кута між поверхнями забірної камери  $\alpha$  збільшується асиметричність розподілу насінин, так при куті більше  $15^\circ$  спостерігається поява незначної асиметрії. Однак, навіть при появі асиметрії розподілу насінин, з рисунків 2.16-2.17 видно, що на осі симетрії забірної камери спостерігається найменша концентрація псевдозрідженого шару. Тому насіннепровід слід розміщувати безпосередньо на вісі симетрії забірної камери, висота розміщення якого визначається з умови однорідності концентрації псевдозрідженого шару.

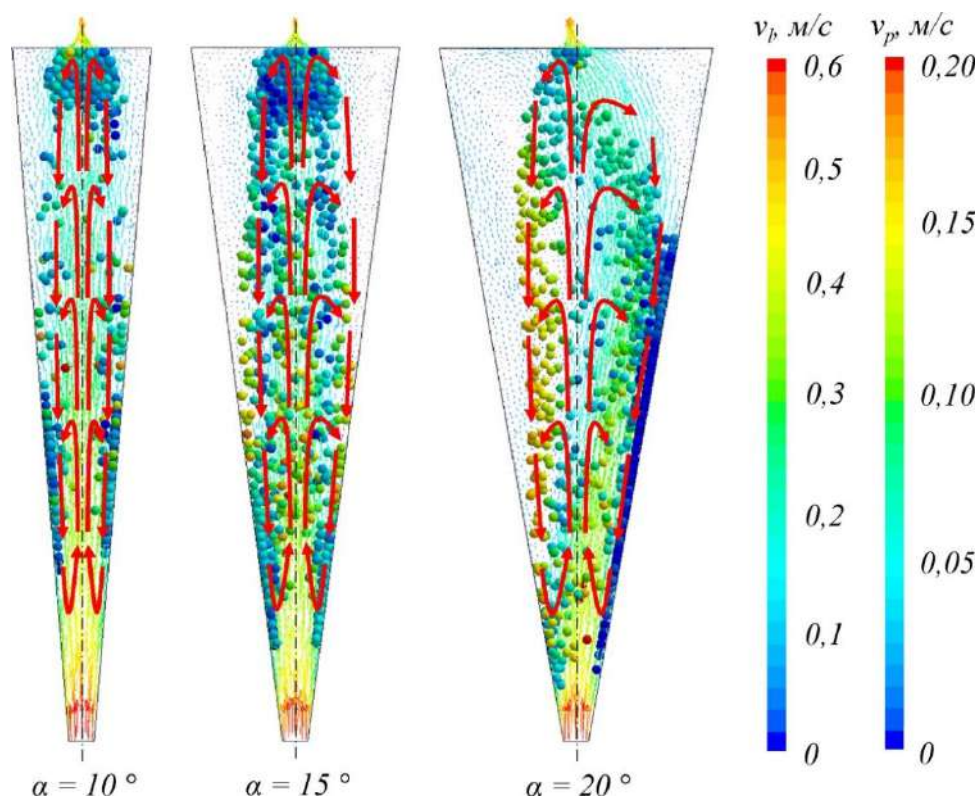


Рис. 2.17. Траєкторії руху насінин в об'ємі забірної камери для дослідів:  $n = 0,32$ ,  $v_0 = 0,6$  м/с

В якості критерію оцінки процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері гідропневматичного висівного апарата було обрано ймовірність появи двох і більше насінин на вісі симетрії забірної камери, яка визначається за формулою:

$$p = \frac{N_{>1}}{N_1 + N_{>1}}, \quad (2.105)$$

де  $N_{>1}$  – кількість моментів часу, коли в заданій області спостерігаються більше 1 насінини;

$N_1$  – кількість моментів часу, коли в заданій області спостерігається 1 насінина;

$N_n$  – кількість моментів часу, коли в заданій області спостерігається  $n$  насінин.

На вісі забірної камери виділено 11 циліндричних областей із геометричними розмірами:  $D_{area} = 0,003$  м,  $B_{area} = 0,015$  м, які розташовані на відстані  $L_{area} = 0,005$  м одна від одної (рисунок 2.18).

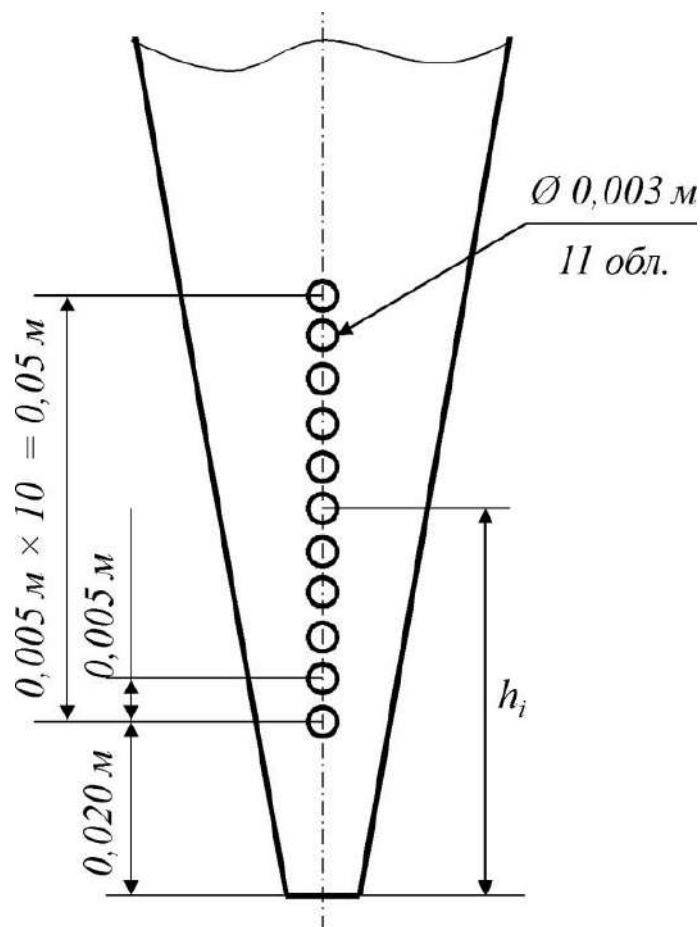


Рис. 2.18. Схема розташування циліндричних областей в забірній камері

При кожному розрахунку фіксувалися значення кількостей моментів часу, коли в заданій циліндричній області спостерігається 1 і більше насінин (див. гістограма рисунка 2.18). За формулою (2.105) розраховано ймовірність появи двох і більше насінин для заданої циліндричної області (див. графік рисунка 2.19).

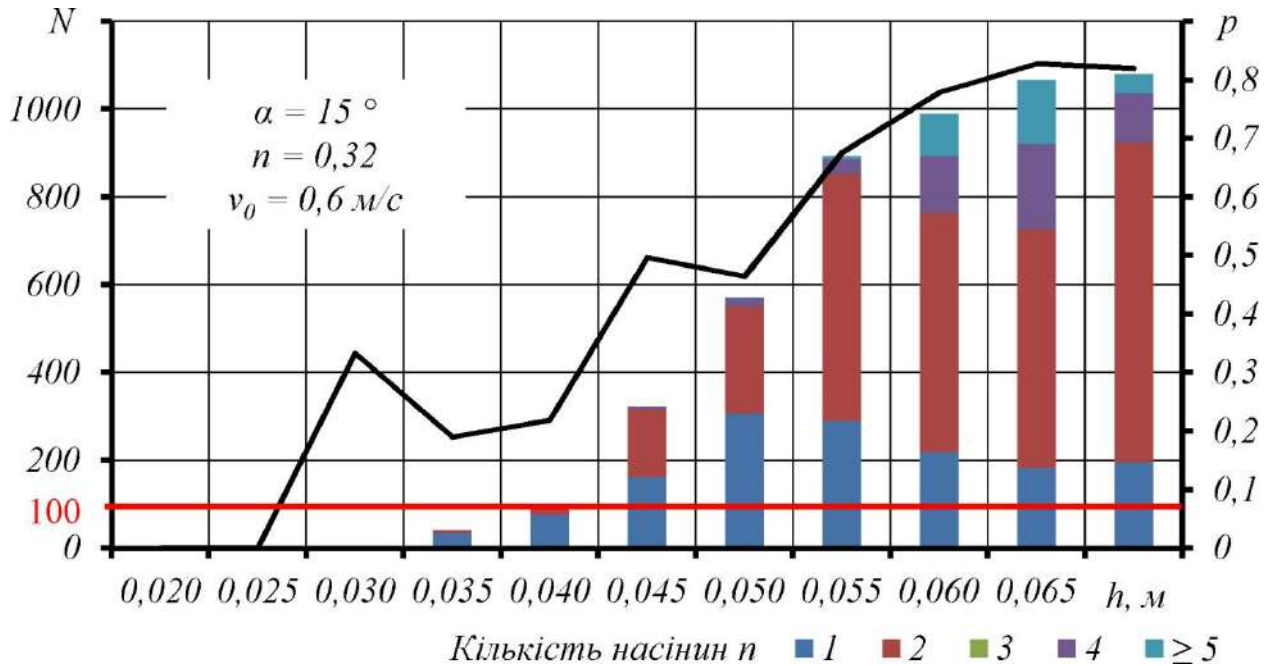


Рис. 2.19. Залежність кількості моментів часу  $N$  та ймовірності появи двох і більше насінин  $p$  від висоти розміщення насіннєпроводу  $h_n$

Основними вимогами до роботи координатного висівного апарата є достатня швидкодія та точність висіву в наперед задані точки поля. Згідно з принципом роботи швидкодія висівного апарата визначається часом «вистрілювання»  $t_e$  та часом «заряджання»  $t_z$ , які в сумі повинні бути меншими, ніж час циклу  $t_{\text{ц}}$ , тобто час проходу між суміжними висівами рівняння 2.1. При швидкості руху висівного апарату  $v_e$  та відстані між суміжними висівами  $L_e$ , тривалість циклу визначимо за рівнянням (2.55).

Згідно з технологічними вимогами для висівного апарата, який працює на швидкості 0,5 м/с і повинен висівати насіння з інтервалом 0,05 м тривалість циклу становить 0,1 с (частота «вистрілювання» 10 Гц). Тоді мінімальна кількість насінин, які можуть бути внесені у ґрунт за час моделювання 10 с – 100 шт.

За умовою виконання згаданих технологічних вимог і мінімізації ймовірності появи двох і більше насінин для кожного дослідів встановлено найбільш раціональна висота розміщення насіннєпроводу (таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 – Результати чисельного моделювання

| №  | $\alpha$ | $n$  | $v_0, \text{м/с}$ | $h, \text{м}$ |
|----|----------|------|-------------------|---------------|
| 1  | 10       | 0,16 | 0,4               | 0,050         |
| 2  | 10       | 0,16 | 0,5               | 0,065         |
| 3  | 10       | 0,16 | 0,6               | 0,080         |
| 4  | 10       | 0,32 | 0,4               | 0,050         |
| 5  | 10       | 0,32 | 0,5               | 0,065         |
| 6  | 10       | 0,32 | 0,6               | 0,080         |
| 7  | 10       | 0,48 | 0,4               | 0,050         |
| 8  | 10       | 0,48 | 0,5               | 0,065         |
| 9  | 10       | 0,48 | 0,6               | 0,080         |
| 10 | 15       | 0,16 | 0,4               | 0,030         |
| 11 | 15       | 0,16 | 0,5               | 0,035         |
| 12 | 15       | 0,16 | 0,6               | 0,040         |
| 13 | 15       | 0,32 | 0,4               | 0,030         |
| 14 | 15       | 0,32 | 0,5               | 0,035         |

| №  | $\alpha$ | $n$  | $v_0, \text{м/с}$ | $h, \text{м}$ |
|----|----------|------|-------------------|---------------|
| 15 | 15       | 0,32 | 0,6               | 0,040         |
| 16 | 15       | 0,48 | 0,4               | 0,030         |
| 17 | 15       | 0,48 | 0,5               | 0,035         |
| 18 | 15       | 0,48 | 0,6               | 0,040         |
| 19 | 20       | 0,16 | 0,4               | 0,020         |
| 20 | 20       | 0,16 | 0,5               | 0,030         |
| 21 | 20       | 0,16 | 0,6               | 0,020         |
| 22 | 20       | 0,32 | 0,4               | 0,020         |
| 23 | 20       | 0,32 | 0,5               | 0,030         |
| 24 | 20       | 0,32 | 0,6               | 0,020         |
| 25 | 20       | 0,48 | 0,4               | 0,020         |
| 26 | 20       | 0,48 | 0,5               | 0,030         |
| 27 | 20       | 0,48 | 0,6               | 0,020         |

З використанням програмного пакету Mathematica проведено апроксимацію отриманих даних (таблиця 2.6) у вигляді рівняння регресії, в результаті якої встановлено залежність висоти розміщення насіннєпроводу від факторів чисельного моделювання:

$$\begin{aligned}
 h = & -0,0469444 - 3,61627 \times 10^{-4} n + 8,39661 \times 10^{-4} n^2 + 0,625 v_0 + \\
 & + 3,64526 \times 10^{-4} n v_0 - 0,333333 v_0^2 - 0,00766667 \alpha + \\
 & + 6,26292 \times 10^{-4} n \alpha - 0,015 v_0 \alpha + 0,000366667 \alpha^2.
 \end{aligned}
 \quad (2.106)$$

За розрахованими значеннями коефіцієнтів кореляції та критерію Стюдента незначущими на рівні довірчої ймовірності більше 95 % є коефіцієнти при таких членах рівняння:  $n$ ,  $n^2$ ,  $n \cdot \alpha$ ,  $n \cdot v_0$ . На основі цього рівняння регресії (2.106) прийме вигляд (рис. 2.20):

$$\begin{aligned}
 h_n = & -0,04694 + 0,625 v_0 - 0,3333 v_0^2 - \\
 & - 0,007667 \alpha - 0,015 v_0 \alpha + 0,0003667 \alpha^2.
 \end{aligned}
 \quad (2.107)$$

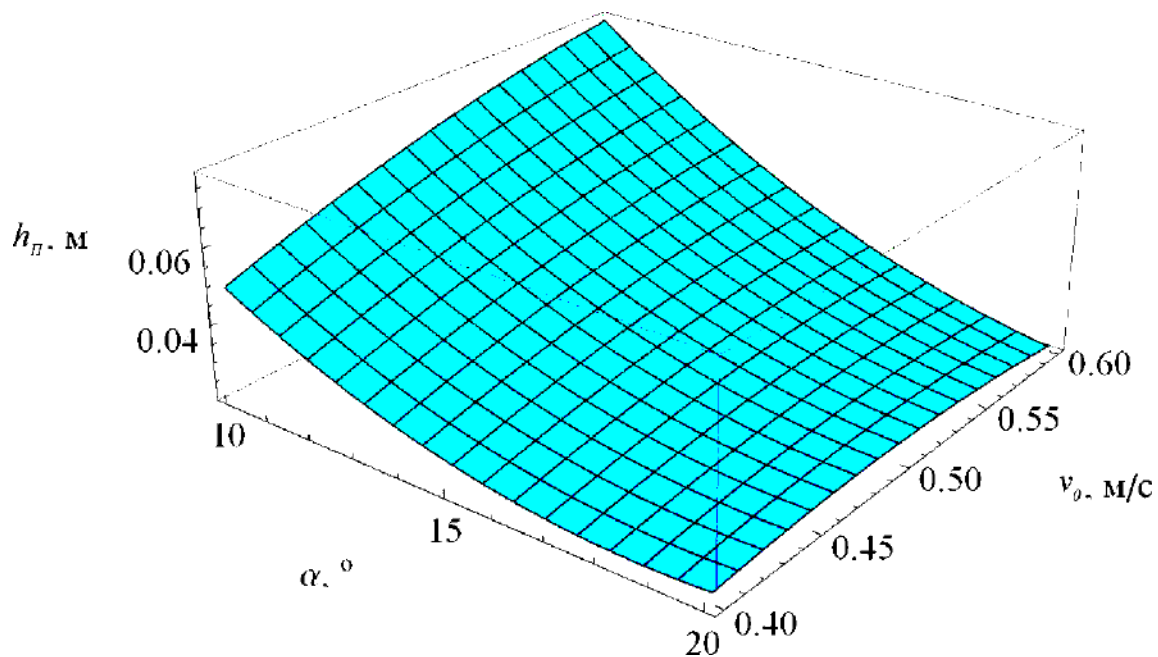


Рис. 2.20. Залежність висоти розміщення насіннєпроводу  $h_n$  від кута між поверхнями забірної камери  $\alpha$  і швидкості на її вході  $v_0$

Аналізуючи залежність рис. 2.20 можна стверджувати, що зі зміною кута між поверхнями забірної камери і швидкості на її вході необхідно проводити коригування висоти розміщення насіннєпроводу. Це необхідно для виконання поставлених технологічних вимог і мінімізації ймовірності потрапляння двох і більше насінин в насіннєпровід гідропневматичного висівного апарата.

## 2.5 Дослідження процесу заряджання насінини в насіннєпровід

Процес заряджання насіння відбувається в момент відкриття гідроклапана 8 (рис.1.21). Через відкритий клапан з'являється потік рідини, що витікає в забірну камеру одночасно захоплюючи насінину і транспортуючи її по насіннєпроводу до висівної частини апарату. Насінина може знаходитися в будь якій точці лінії симетрії насіннєпроводу (згідно розділу 2.3). Тому розглянемо крайовий варіант розташування насінини біля початку потоку рідини (рис. 2.21).

Система диференційних рівнянь руху насінини в потоці рідини (2.102)

для поставленої задачі перетворюється в наступний вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d_p \bar{v}_p}{dt} &= \frac{2(\rho_n - \rho_p)}{2\rho_n + \rho_p} \bar{g} + \frac{3\rho_p}{2\rho_n + \rho_p} \frac{d_l(\bar{v}_l + \bar{v}_t)}{dt} + \\ &+ \frac{3\rho_p f_M(Re)}{4a(2\rho_n + \rho_p)} (\bar{v}_l + \bar{v}_t - \bar{v}_p) \cdot |\bar{v}_l + \bar{v}_t - \bar{v}_p| + \bar{F}_{contact}, \\ \bar{F}_{contact} &= \begin{cases} \bar{F}_n + \bar{F}_t, & \bar{S}_{pA} = \bar{S}_{pB}, \\ 0, & \bar{S}_{pA} \neq \bar{S}_{pB}, \end{cases} \\ \frac{d_p \bar{S}_p}{dt} &= \bar{v}_p, \\ \frac{d_p}{dt} &= \frac{\partial}{\partial t} + \bar{v}_p \cdot \bar{\nabla}, \end{aligned} \right. \quad (2.108)$$

де  $\bar{v}_p$  – векторне поле швидкостей рідини в насіннєпроводі, м/с.

Система диференційних рівнянь (2.108) в загальному вигляді не вирішується аналітичними методами, тому вирішення поставленої задачі проведемо в програмному пакеті STAR-CCM+. Фізичні моделі і розрахункова сітка аналогічні розділу 2.3.

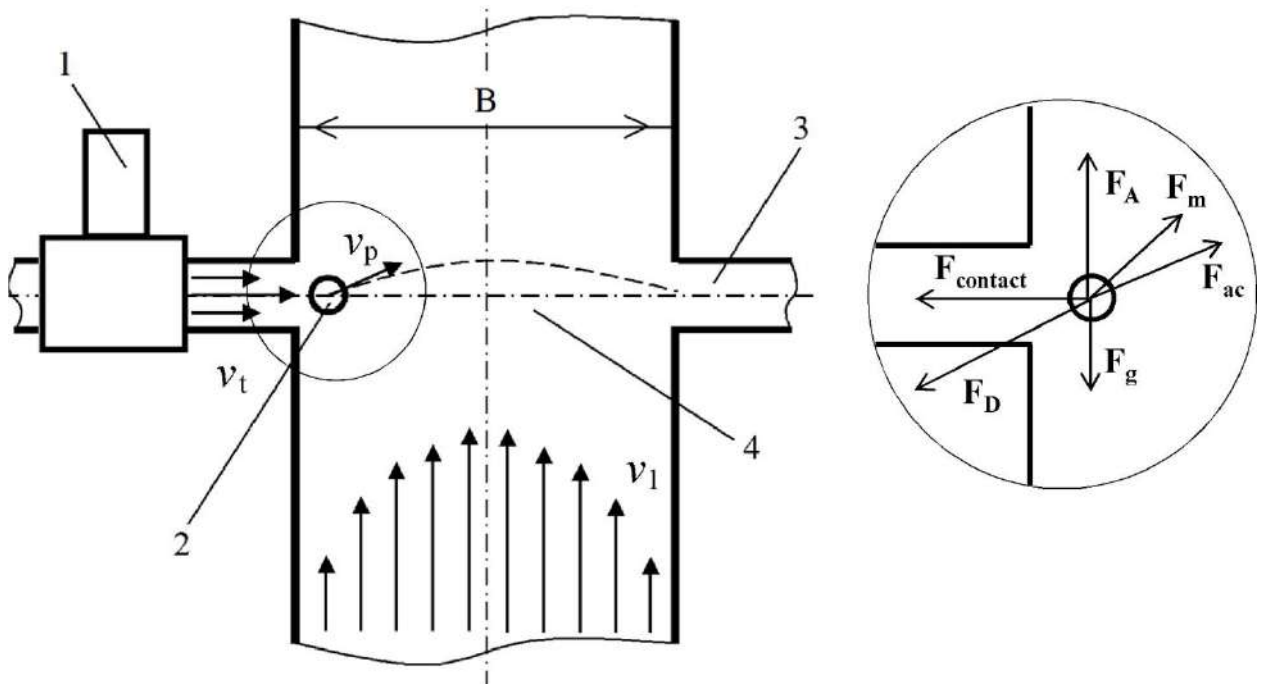


Рис. 2.21. Розрахункова схема процесу зарядження насінини в насіннєпровід

За фактори чисельного моделювання були прийняті наступні конструктивно-технологічні параметри: ширина забірної камери  $V_{\Pi}$  (змінюється в межах від 0,010-0,025 м, шаг варіювання – 0,005) і швидкість на вході забірної камери  $v_o$  (змінюється в межах від 0,4-0,6 м/с, крок варіювання – 0,05). Час проведення чисельного моделювання складав 0,15 с. Чисельне моделювання було проведено за повним факторним дослідом із загальною кількістю дослідів –  $4 \times 5 = 20$ . В результаті була отримана графічна інтерпретації процесу переміщення насінини з об'єму псевдозрідженого шару забірної камери в насіннепровід (рис. 2.22).

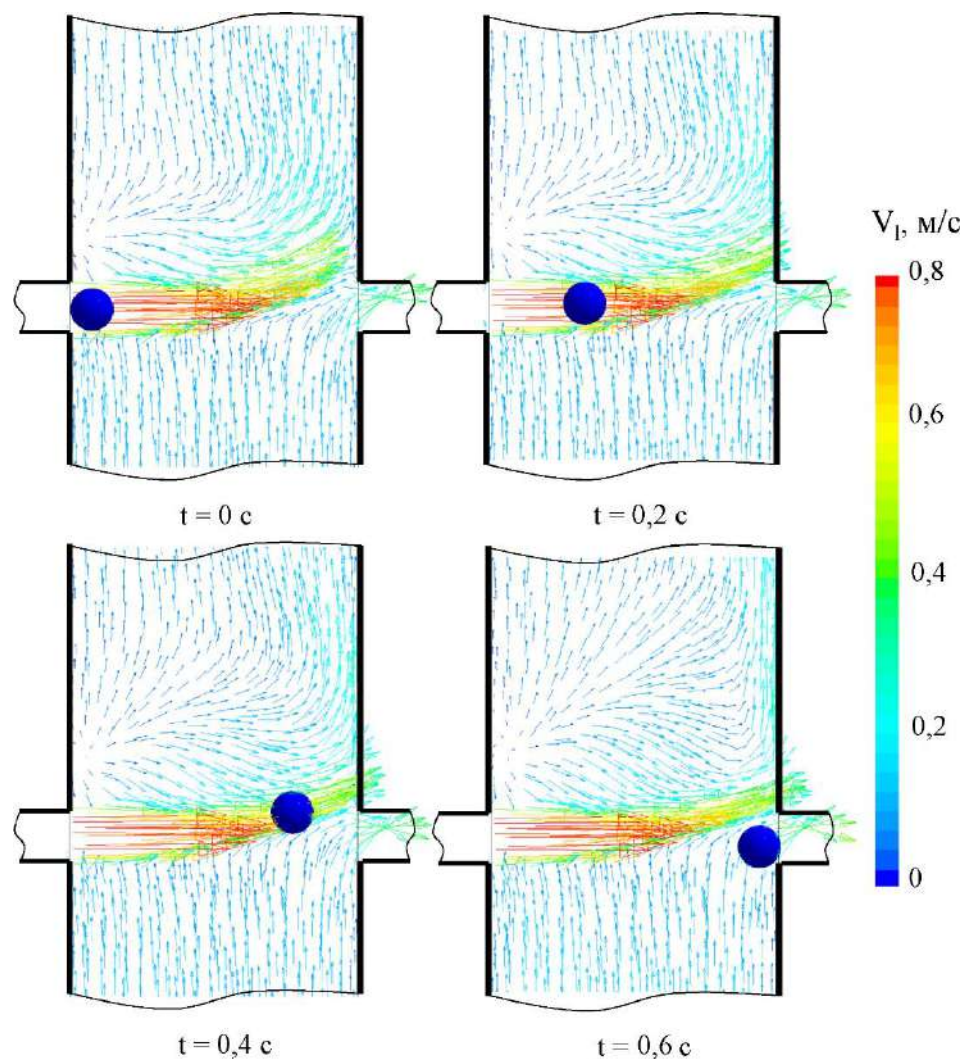


Рис. 2.22. Процес переміщення насінини з об'єму забірної камери в насіннепровід:  $n = 0,32$ ,  $\alpha = 15^\circ$ ,  $v_o = 0,6 \text{ м/с}$

В розробленій моделі в програмному пакеті STAR-CCM+ була задана кінцева точка шляху насінини (на вході в насіннепровід), яку вона повинна

досягти згідно із поставленою технологічною задачею. Для кожного дослідю проведено чисельний перебір початкової швидкості потоку рідини через гідроклапан  $v_t$  і встановлено її мінімальне значення, при якому насінина досягає заданої кінцевої точки (таблиця 2.7).

Таблиця 2.7 – Результати чисельного моделювання процесу зарядження насінини в насіннепровід

| №  | $B_{\Pi}$ , м | $v_o$ , м/с | $v_t$ , м/с |
|----|---------------|-------------|-------------|
| 1  | 0,010         | 0,40        | 0,42        |
| 2  | 0,010         | 0,45        | 0,53        |
| 3  | 0,010         | 0,50        | 0,62        |
| 4  | 0,010         | 0,55        | 0,73        |
| 5  | 0,010         | 0,60        | 0,82        |
| 6  | 0,015         | 0,40        | 0,61        |
| 7  | 0,015         | 0,45        | 0,73        |
| 8  | 0,015         | 0,50        | 0,82        |
| 9  | 0,015         | 0,55        | 0,93        |
| 10 | 0,015         | 0,60        | 1,04        |
| 11 | 0,020         | 0,40        | 0,76        |
| 12 | 0,020         | 0,45        | 0,87        |
| 13 | 0,020         | 0,50        | 0,99        |
| 14 | 0,020         | 0,55        | 1,10        |
| 15 | 0,020         | 0,60        | 1,21        |
| 16 | 0,025         | 0,40        | 1,01        |
| 17 | 0,025         | 0,45        | 1,11        |
| 18 | 0,025         | 0,50        | 1,23        |
| 19 | 0,025         | 0,55        | 1,35        |
| 20 | 0,025         | 0,60        | 1,45        |

З використанням програмного пакету Mathematica проведено апроксимацію отриманих даних (таблиця 2.7) у вигляді рівняння регресії, в результаті якої встановлено залежність мінімальної початкової швидкості потоку рідини через гідроклапан  $v_t$  від факторів чисельного моделювання:

$$v_t = -0,6398 + 16,26B_{\Pi} + 420B_{\Pi}^2 + 2,06829v_o + 17,2B_{\Pi}v_o - 0,214286v_o^2. \quad (2.109)$$

За розрахованими значеннями коефіцієнтів кореляції та критерію Стюдента незначущими на рівні довірчої ймовірності більше 95% є

коефіцієнти при таких членах рівняння:  $B_{\Pi}^2$ ,  $v_o^2$ . На основі цього рівняння регресії (2.109) прийме вигляд (рисунок 2.23):

$$v_t = -0,6398 + 16,26 B_{\Pi} + 2,06829 v_o + 17,2 B_{\Pi} v_o \quad (2.110)$$

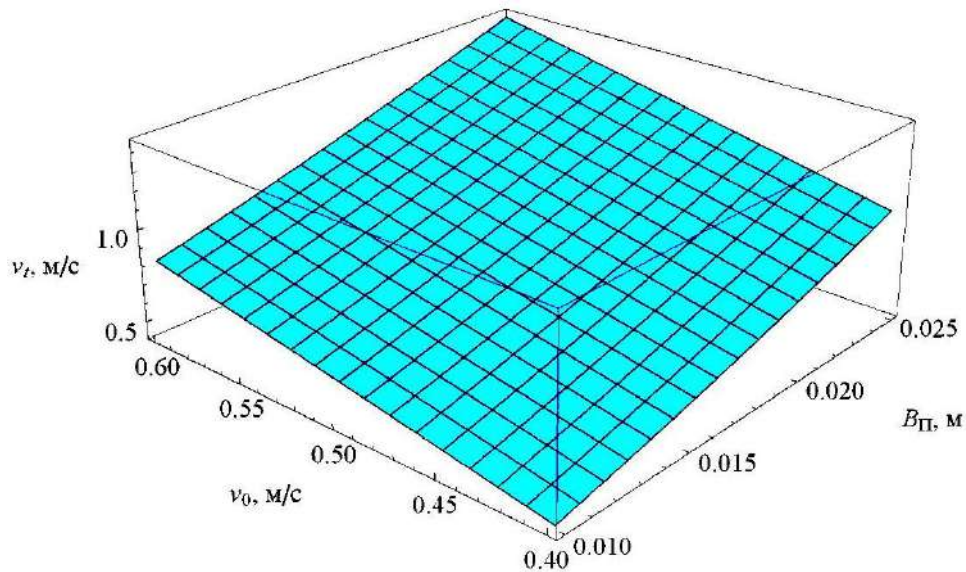


Рис. 2.23. Залежність мінімальної початкової швидкості потоку рідини через гідроклапан  $v_t$  від ширини забірної камери  $B_{\Pi}$  і швидкості на її вході  $v_o$

Аналізуючи рисунок 2.23 можна стверджувати, що із збільшенням ширини забірної камери і швидкості на її вході необхідно збільшувати і початкову швидкість потоку рідини через гідроклапан. Це необхідно для виконання поставленої технологічної вимоги щодо виконання процесу зарядження насінини в насіннєпровід.

## 2.6 Висновки по розділу

1. В результаті теоретичних досліджень встановлено, що формування псевдозрідженого шару в забірній камері з діаметром насіння 1...5 мм відбувається за підтримання швидкості висхідного потоку в межах 0,02...0,2 м/с, відповідно переріз забірної камери в верхній частині становить 331 мм<sup>2</sup> в нижній частині 67 мм<sup>2</sup>. Висота існування псевдозрідженого шару знаходиться в межах 56...68 мм за ширини забірної камери в межах 15..18 мм та кута між сторонами забірної камери 15°...20°.

2. В ході теоретичних досліджень встановлено узагальнене рівняння проекції швидкості рідини на вісь  $Oy$  для кожної точки забірної камери гідропневматичного висівного апарата в залежності від кута між її поверхнями  $\alpha$  і початковою швидкістю рідини  $v_0$ . Виявлено, що із поступовим розширенням забірної камери ближче до границі виникає від'ємне значення проекції швидкості на вертикальну вісь – це свідчить про наявність турбулентної течії пов'язаної з опором рідини, що створюють стінки забірної камери.

4. Розроблено фізико-математичну модель процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері, яка дозволяє встановлювати кінематичні параметри руху насінин (вектори переміщення, швидкості і прискорення).

5. Використовуючи програмний пакет STAR-CCM+ розроблено фізико-математичну модель процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері, яка дозволяє встановлювати кінематичні параметри руху насінин (вектори переміщення, швидкості і прискорення). В результаті чисельного моделювання процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері встановлено залежність висоти розміщення насіннєпроводу  $h$  від кута між її поверхнями  $\alpha$  і початкової швидкості рідини  $v_0$ . Враховуючи попередньо визначені та прийняті конструктивно-технологічні параметри забірної камери розміщення насіннєпроводу може здійснюватися на висоті 0,022...0,036 м.

6. Чисельне моделювання технологічного процесу заряджання насінини в насіннєпровід дозволило отримати значення мінімально допустимої початкової швидкості потоку рідини через гідроклапан  $v_t$  (0,42-1,45 м/с), що гарантує надійне заряджання насіння до насіннєпроводу гідопневматичного апарата точного висіву.

## РОЗДІЛ 3

### ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### Мета завдання та програма експериментальних досліджень

Запропонований гідропневматичний апарат точного висіву являється новим в своєму класі [24]. Виникає необхідність в дослідженні основних технологічних процесів висіву апаратом.

Мета наступних досліджень встановити зв'язок теоретичних висновків і аналітичних залежностей з дослідними даними, а також уточнення і обґрунтування технологічних та конструктивних параметрів.

Для досягнення поставленої мети поставлено наступні завдання:

- 1) Розробити дослідний зразок гідропневматичного апарата точного (координатного) висіву для проведення лабораторних та польових досліджень.
- 2) Розробити вимірювальний комплекс для дослідження процесу транспортування насіння потоком рідини до зони висіву.
- 3) Розробити дослідний зразок установки для вивчення гідродинамічних властивостей насіння.

Згідно поставлених завдань експериментальна програма містить такі пункти:

1. Дослідження гідродинамічних властивостей насіння та встановлення їх зв'язку з показниками кондиційності насіннєвого матеріалу – схожістю, енергією проростання.
2. Дослідження процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері
3. Дослідження швидкодії, пропускної здатності основних вузлів гідропневматичного апарата точного (координатного) висіву.
4. Дослідження процесу розподілення насіння по насіннепроводу.
5. Дослідження можливості здійснення точного (координатного) висіву в лабораторних та виробничих умовах.

### 3.2 Лабораторна установка гідропневматичного апарата точного висіву

Для дослідження основних показників роботи ГПАТВ і порівняння їх значення з результатами теоретичних досліджень та встановлення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів висівного апарата виготовлено експериментальний зразок установки принципова схема якої наведена на (рис. 3.1) [15, 91], а загальний вигляд на (рис. 3.2).

У схему лабораторної установки включено необхідні контрольно-вимірювальні прилади, які дозволяють визначити функціональну придатність окремих оригінальних вузлів і агрегатів, уточнення їх конструктивних параметрів.

Для зручності візуального спостереження та фотофіксації процесів, що відбуваються при роботі висівного апарата, корпус дослідного зразка (рис. 3.2) виготовлений із прозорого оргскла.

Нижня частина корпусу 1 виконана у вигляді клиноподібного заглиблення в подальшому забірна камера 12, у яку падає насіння, а назустріч потоку насіння насосом 5 подається потік рідини. Рухомі стінки камери 20 дозволяють змінювати кут забірної камери за допомогою ручок 19 ущільнених прокладками 18, що в подальших дослідженнях дозволить визначитися з оптимальним його значенням.

Швидкість потоку води регулюється таким чином, щоб насіння в зоні вивантажувального отвору 21, до якого приєднаний насіннєпровід 3, знаходилося в стані „витання”. Для цього насос обертається за допомогою колекторного електродвигуна, підключеного до виходу регулятора напруги.

Регулятор напруги керується за допомогою пари фотодатчиків. Фотодатчики складаються з освітлювачів 27 і фотоприймачів 28. Насос 5 захищений від потрапляння в нього насіння двома сітчастими фільтрами 6 і 13.

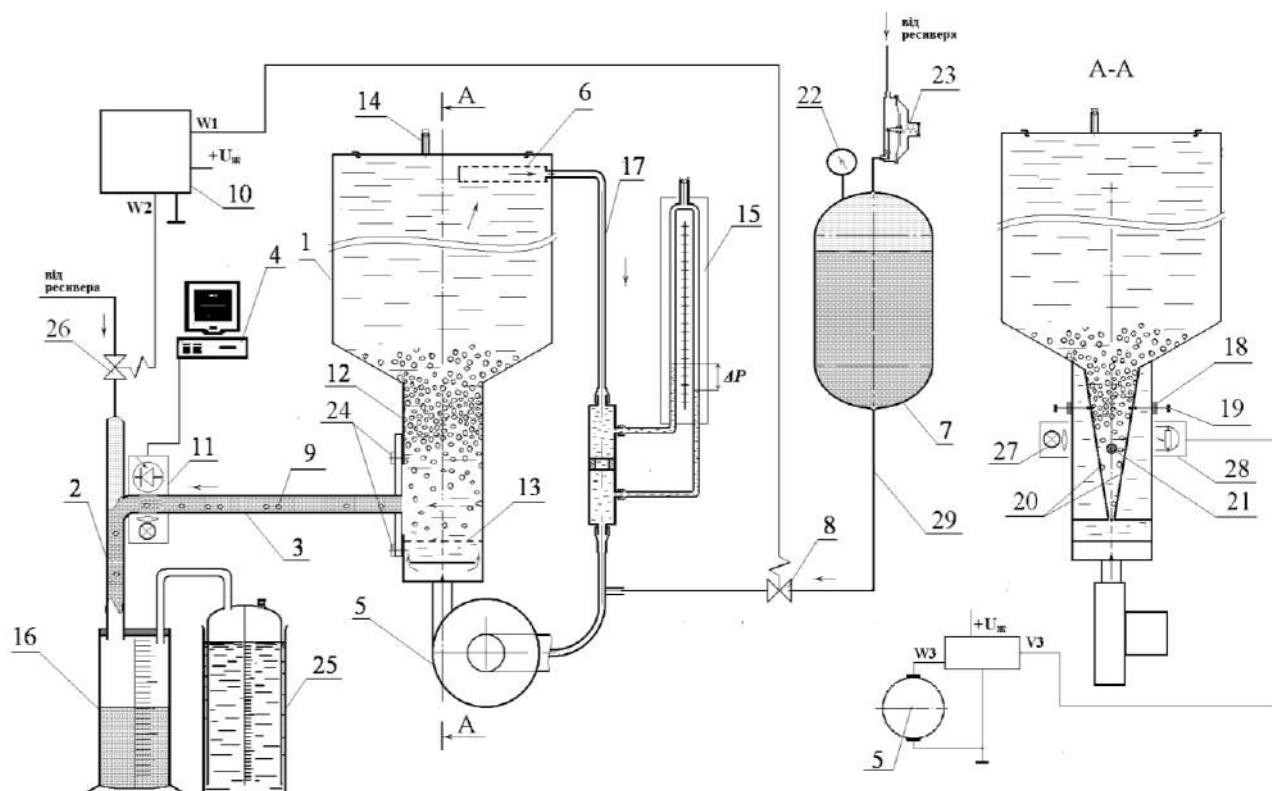


Рис. 3.1. Принципова схема лабораторної установки для перевірки роботи ГПАТВ: 1 – корпус висівного апарата; 2 – сопло-ствол; 3 – насіннепровід; 4 – вимірювально-реєстраційний комплекс; 5 – насос; 6 – фільтр; 7 – резервуар для рідини; 8 – гідравлічний клапан; 9 – насіння; 10 – блок керування; 11 – фотодатчик; 12 – забірна камера; 13 – захисна сітка (фільтр); 14 – дренажний канал; 15 – ротаметр; 16 – мірний стакан; 17 – обвідна магістраль; 18 – ущільнювач; 19 – ручка; 20 – рухомі стінки; 21 – вхід в насіннепровід; 22 – манометр; 23 – редуктор; 24 – кріплення насіннепроводу; 25 – спірометр; 26 – пневматичний клапан; 27 – освітлювач; 28 – фотоприймач; 29 – трубопровід.



Рис. 3.2. Загальний вигляд лабораторної установки для дослідження конструктивно-технологічних параметрів ГПАТВ.

Нормальна робота пристрою можлива тільки при відсутності повітря усередині корпусу. Для видалення повітря після заправлення корпусу насінням і водою служить канал 14. Кришка корпусу при роботі повинна забезпечувати його повну герметичність. насіння до „пістолета” (сопла-ствола) 2 подається при відкритому електрогідроклапані 8 за рахунок подачі води з ємності 7 по трубопроводу 29 під дією тиску наддуву.

Тиск наддуву в ємності 7 регулюється за допомогою редуктора тиску газу 23 і контролюється манометром 22. Редуктор 23 виготовлений доробкою серійного газового редуктора РДСГ 1-1,2 9504 [92]. Доробка полягала в заміні серійної пружини пружиною підвищеної жорсткості й установці в кришку редуктора гвинта для регулювання попереднього затягування пружини. Дороблений редуктор дозволяє регулювати тиск від 0,05 до 0,5 атм (0,5...5 м водяного стовпа). Для стабільності підтримки тиску встановлено дросель 31,

що з'єднує порожнину ємності 5 з атмосферою. Повітря до редуктора надходить від енергетичної установки (на схемі не вказана), що складається з компресора ресивера та манометра контролю тиску.

Запропонована конструкція кріплення насіннєпроводу дозволяє забезпечити розміщення входу до насіннєпроводу на різній висоті в межах від 5 до 25 мм відносно нижньої частини забірної камери 12.

Для вимірювання витрати води та повітря через „пістолет” використовуються мензурка 16 та спірометр 25, які разом з секундоміром та лічильником циклів СБ-1М/100 [93] дозволяють визначати годинну та циклову подачі і води, і повітря.

Для керування робочим процесом висівного апарата виготовлено електронний блок, який дозволяє здійснювати:

- ручне керування пневматичним та гідравлічним клапанами у незалежному та блокованому режимах;
- автоматичне керування клапанами з частотою 3...20 Гц від автономного генератора;
- незалежне регулювання тривалості відкриття пневматичного та гідравлічного клапанів на 10...40 та 10...150 мс, відповідно;
- керування клапанами від датчиків положення та „заряджання” згідно принципу роботи.

Схема керування електромагнітними клапанами приведена на рис 3.3.

Схема містить ключ (VT4, VT5) для включення електропневматичного клапана (ЕПК) і ключ (VT6) з вхідним інвертором (VT7) для включення електрогідравлічного клапана (ЕГК).

ЕПК і ЕГК живляться форсованою напругою 30 В, що дозволяє зменшити тривалість перехідного процесу при включення. Паралельно ЕПК включена обмотка електромеханічного лічильника СБ-1М/100, напругою 12 В. По живленню ЕПК і СБ-1М розв'язані діодами VD4 і VD5. Захист ключів від комутаційних ЕРС здійснюється конденсаторами C5...C7 і діодом VD6.

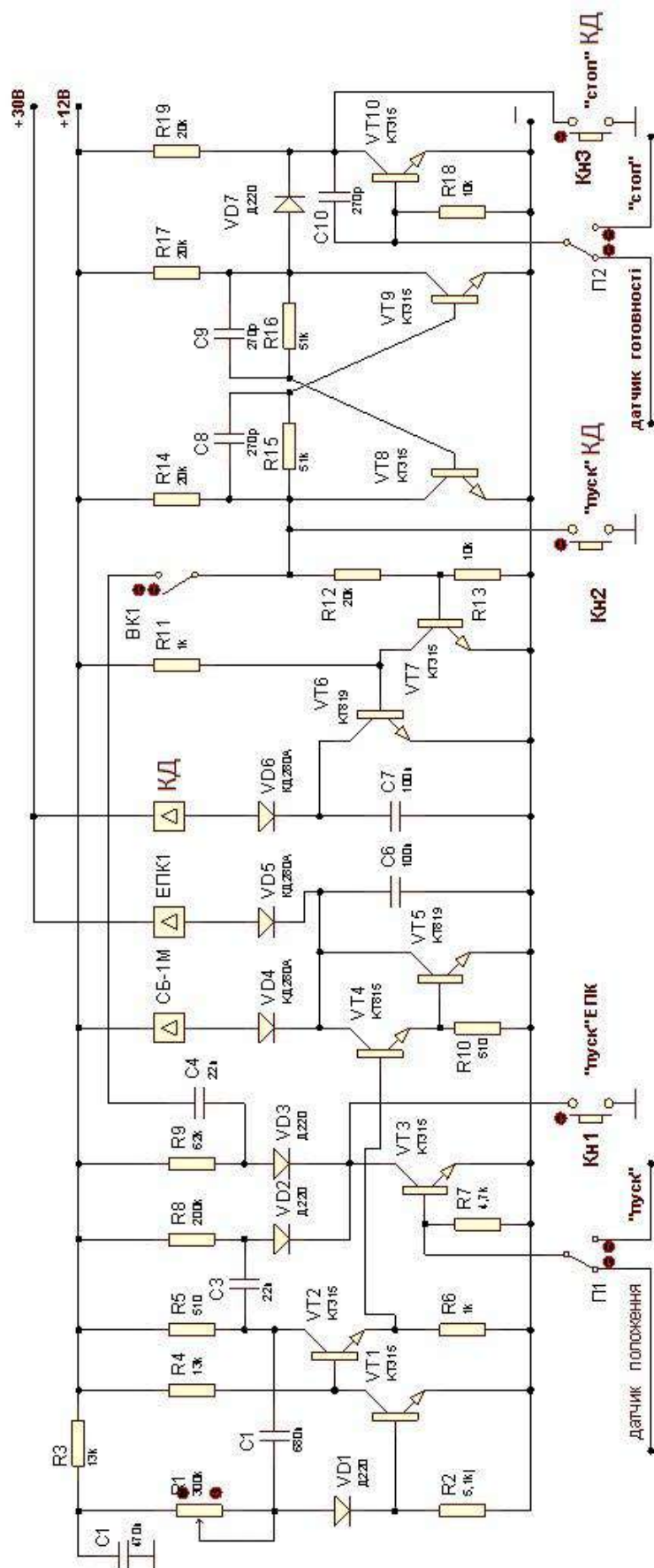


Рис. 3.3. Принципова електрична схема блока керування клапанами ГПАТВ

Ключ ЕГК управляється тригером (VT8, VT9) з незалежною установкою, яка може здійснюватися вручну (Кн2 і Кн3, «пуск» і «стоп», відповідно), або від датчиків висівного апарату – датчика положення (момент висіву) і датчика готовності (після зарядки ствола). Ці датчики включаються перемикачами П1 і П2, що дозволяє при налаштуванні використовувати замість датчиків імітатори – генератори імпульсів «пуск» і «стоп». Інвертор VT10 служить для узгодження полярності керуючих імпульсів (VT10 відкривається фронтом позитивного імпульсу).

Ключ ЕПК керується одновібратором (VT1, VT2) з керованою тривалістю вихідного імпульсу (резистор R1, конденсатор C2), що дозволяє регулювати тривалість відкриття клапана. Вихідний сигнал знімається з резистора R6 і подається безпосередньо на вхід ключа (VT4, VT5). Запуск одновібратора може здійснюватися вручну (кнопка Кн1) або від датчика положення (при налаштуванні – від генератора «пуск», наведено вище) через узгоджувальний інвертор VT3 і конденсатор C3. Одночасно з включенням ЕПК при замкнутому вимикачі Вк1 через конденсатор C4 включається і ЕГК, який залишається включеним до приходу імпульсу управління «стоп». Діоди VD2 і VD3 служать для «розв'язки» входів одновібратора (VT1, VT2) і тригера (VT8, VT9).

В якості генератора для пуску використаний блокінг-генератор (рис. 3.4а) у автоколивальному режимі. Частота вихідних імпульсів регулюється змінним резистором R2. Наявність автономного генератора та незалежне регулювання тривалості імпульсів, що подаються на клапани, дозволяє визначати частотні характеристики окремих елементів та висівного апарату в цілому.

Регулятор приводу електронасоса (рис.3.4 б) включає дві оптопари DA1 та DA2, які складаються зі світлодіодів – джерел світла, і фоторезисторів – фотоприймачів, встановлених по обидві сторони забірної камери. При пуску, коли насіння заповнює весь об'єм забірної камери, фотоприймачі затінені, транзистор VT1 закритий, транзистор VT2, VT3 – відкритий і двигун Д1 розвиває максимальну частоту обертання відцентрового насоса, що створює

максимальну інтенсивність циркуляції води. Насінини підхоплюються потоком і виносяться до верхньої частини забірної камери, відкриваючи оптичний канал. При цьому струм через фоторезистори збільшується і транзистор VT1 відкривається, що приводить до запирання транзистора VT2, VT3 і зменшенню частоти обертання двигуна. Підсилювач напруги DA3, підключений до діагоналі вимірювального моста, встановлює напругу на виході, пропорційну розбалансуванню моста, що забезпечує регулювання напруги живлення і частоту обертання двигуна.

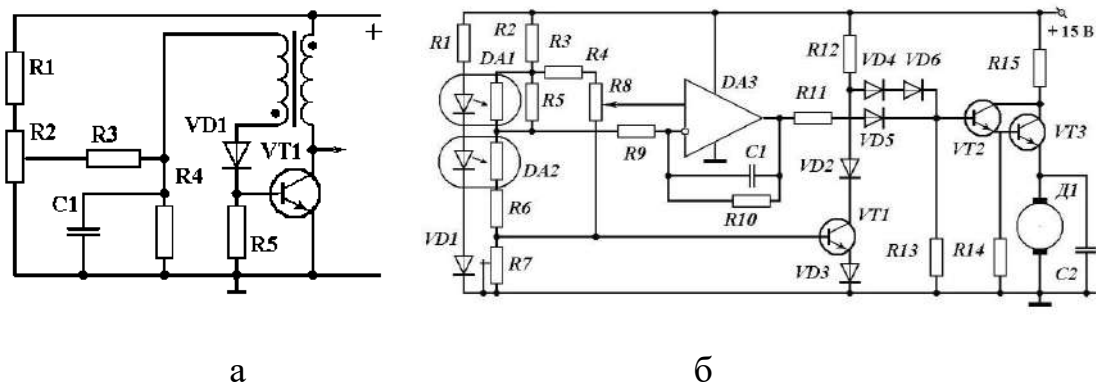


Рис. 3.4. Схема блокінг-генератора (а) та регулятора приводу електронасоса (б)

Основні технологічні та конструктивні параметри висівного апарата наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні технологічні та конструктивні параметри висівного апарата

| Параметр                         | Одиниці вимірювання | Значення   |
|----------------------------------|---------------------|------------|
| Продуктивність насоса            | л/хв                | 0....5     |
| Кут між стінками забірної камери | град                | 16....22   |
| Ширина забірної камери           | мм                  | 8-20       |
| Значення тиску наддуву           | МПа                 | 0.....0,05 |
| Висота розміщення насіннепроводу | мм                  | 5...30     |

У процесі лабораторних досліджень використовувалося обладнання та вимірювальні прилади наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Обладнання та вимірювальні прилади

| Назва                               | Марка              | Примітки              |
|-------------------------------------|--------------------|-----------------------|
| Компресор                           | Forte FL-24        | 200 л/хв, до 0,8 МПа  |
| Редуктор тиску газу                 | РДСГ 1-1,2<br>9504 | 0-0,05 МПа            |
| Мультиметр                          | ХВ-868             | -                     |
| Самописець                          | Н-311              | -                     |
| Авометр                             | Ц-4313             | -                     |
| Осцилограф електронно-променевий    | Н-313              | -                     |
| Частотомір-хронометр                | Ф-599              | -                     |
| Секундомір механічний               | СОСпр-26           | від 0,2с до 60хв      |
| Манометр                            | МП-63              | 0...0,1 МПа, Кл. 2,5. |
| Манометр                            | МП-63              | 0...1,0 МПа, Кл. 2,5  |
| Вимірювально-реєстраційний комплекс | ВРК-1              | фотодатчики           |

### 3.3 Експериментальна гідропневматична сівалка точного висіву

Для виконання дослідження ГПАТВ в польових умовах розроблено експериментальну гідропневматичну сівалку точного висіву загальний вигляд якої представлено на рис. 3.5. До складу сівалки входить гідропневматичний апарат точного висіву та енергетична частина (ресивер для стисненого повітря, акумуляторна батарея 12 В та резервуар для рідини об'ємом 6 л). Енергетична частина сівалки дозволяє здійснювати висів насіння овочевих культур протягом 4 годин після чого виконується дозаправка рідини, повітря, зарядка або заміна батареї і процес висіву продовжується.

Розміщений поруч з оператором блок керування дозволяє забезпечити надійне керування всіма виконавчими пристроями, що входять до складу гідропневматичної сівалки точного висіву.



Рис. 3.5. Загальний вигляд експериментальної гідропневматичної сівалки точного висіву

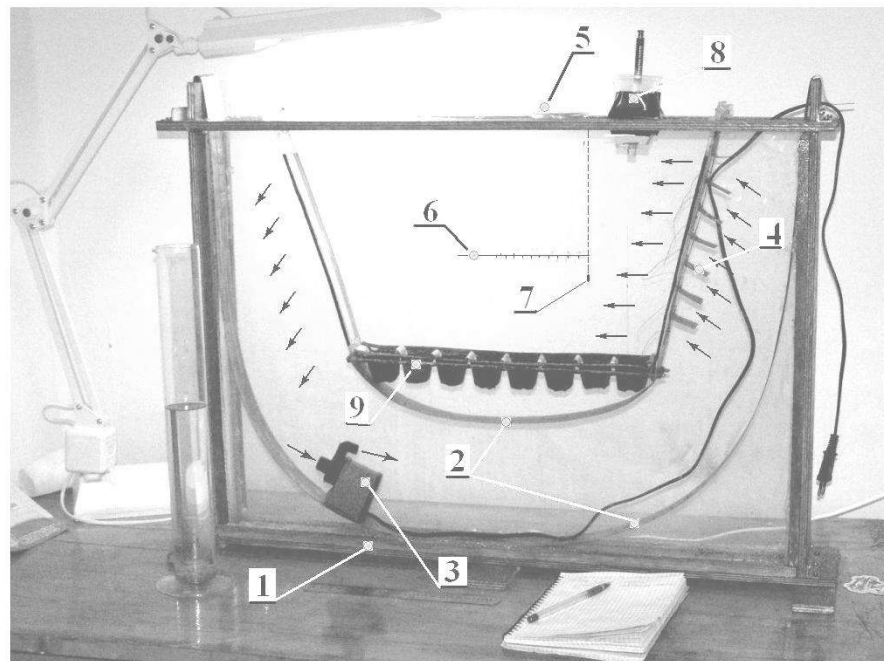
#### 3.4 Дослідження гідродинамічних властивостей насіння та їх зв'язок з основними параметрами кондиційності

Відбір насіння з псевдозрідженого шару носить ймовірний характер навіть при повній ідентичності окремих насінин. Відмінність гідродинамічних властивостей насінин може впливати на показники роботи висівного апарата в цілому та ускладнювати аналіз процесу [94].

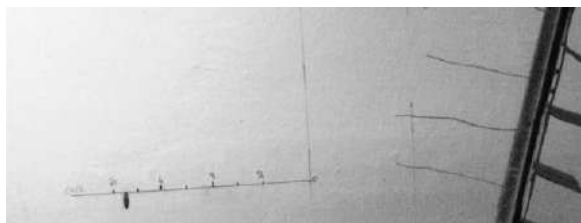
З метою усунення небажаного впливу відмінності гідродинамічних властивостей окремих насінин на здійснення процесу висіву проведемо сортування насіння на гідросепараторі [95, 96] з наступним визначенням показників кондиційності (схожості та енергії проростання).

Дослідження проводили в два етапи [97]. Перший полягав в розподіленні насіння на групи за допомогою гідросепаратора. На другому етапі насіння окремих груп висівали і пророщували з визначенням показників кондиційності – схожості та енергії проростання.

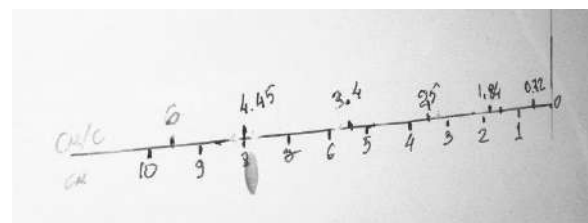
Для проведення дослідів була створена установка – гідросепаратор (рис. 3.6, а). Гідросепаратор являє собою корпус 1, розміром 700х600х60 мм, виготовлений з листового скла, поміщений у дерев'яну раму-підставку і заповнений робочою рідиною – водою. Корпус розділений фігурними перегородками 2, які мають плавні обводи для запобігання турбулізації потоку, на два відсіки – нижній і верхній.



а



б



в

Рис. 3.6. Дослідна установка – гідросепаратор насіння (а), індикатор швидкості потоку у роботі (б) та шкала індикатора після тарування (в)

У нижньому відсіку встановлено відцентровий електронасос 3, який забезпечує напор рідини близько 1 м при витраті  $0...0,1 \text{ м}^3/\text{хв}$ . Регулювання витрати здійснюється дроселюванням потоку на виході. Напрямний апарат у вигляді жалюзі 4 забезпечує рівномірну витрату рідини по висоті верхнього відсіка, напрямок руху рідини при роботі насоса контролюється відрізками бавовняних ниток (рис. 3.6, б), закріплених на пелюстках жалюзі. При роботі насоса встановлюється циркуляція рідини, як показано стрілками.

Швидкість руху рідини у верхньому відсіку з достатньою точністю вимірюється індикатором, який складається з тягарця 7, підвішеного у потокові рідини на волосіні діаметром 0,05 мм. Відхилення тягарця потоком контролюється по шкалі 6, нанесеній безпосередньо на передню стінку.

У нижній частині верхнього відсіку встановлена касета насінне-уловлювача 9, яка має вісім комірок, розташованих по осі потоку з кроком 4 см. При роботі гідросепаратора насіння подається з бункера 8, вихідний отвір якого розташований над першою коміркою. В залежності від щільності та парусності насінини падають з різною швидкістю і розподіляються по комірках насінне-приймача: найлегші з них відносяться у найвіддаленішу комірку (рис. 3.7).

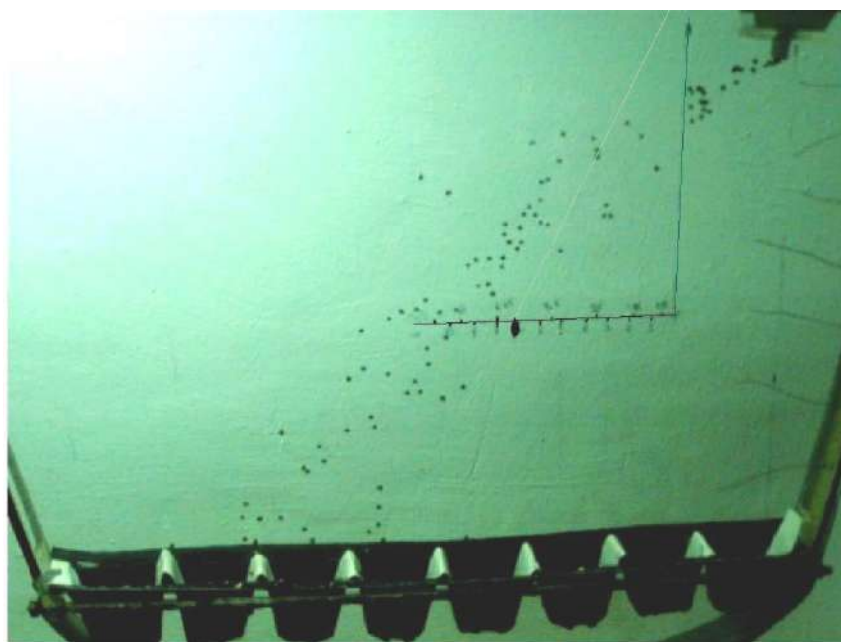


Рис. 3.7. Робота гідросепаратора насіння

Тарування шкали індикатора виконували наступним чином. У потік рідини опускалася пластмасова кулька діаметром 4 мм з щільністю 1,4 г/см<sup>3</sup>, яка занурювалася у вільному падінні і одночасно відносилася потоком у горизонтальному напрямку. При цьому фіксували час  $t$  (с) її падіння та відхилення місця падіння від вертикалі  $S$  (см). Вважаючи, що занурення відбувалося з усталеною швидкістю, а горизонтальний рух кульки спричинявся лише потоком рідини з швидкістю  $V_{\pi}$ :

$$V_{\pi} = S/t, \text{ см/с.} \quad (3.1)$$

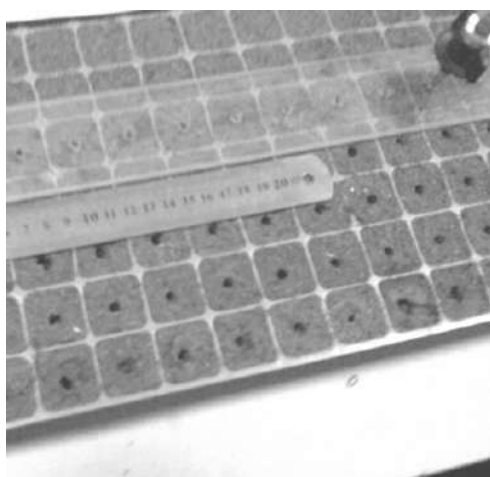
Знайдене значення швидкості потоку у см/с відмічалось на шкалі 6 індикатора (рис. 3.6, в).

#### 3.4.1 Методика дослідження розподілення насіння за допомогою гідросепаратора

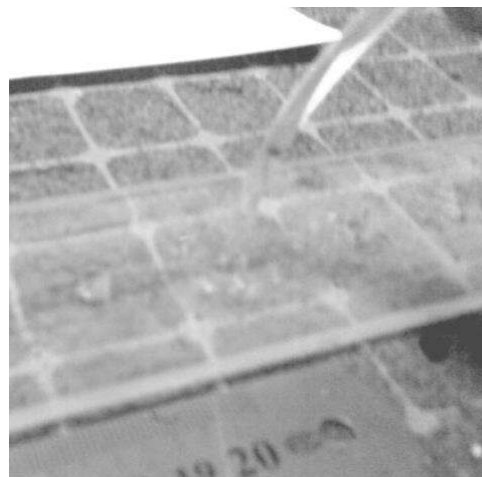
Використовуючи дослідну установку проводимо розподілення за гідродинамічними властивостями насіння трьох овочевих культур: капусти «Топарані», томату «Астероїд», перцю «Богатир», що попередньо пройшли очищення та сортування згідно вимог до насіннєвого матеріалу. Для проведення досліджень використовували по 1000 насінин кожної культури. Згідно попередньо проведених досліджень перед початком сепарації насіння повинно бути замоченим протягом двох годин з метою видалення повітря. Процес розподілення починається з встановлення необхідного режиму циркуляції рідини: підбором такої її швидкості у верхньому відсіку, щоб насіння розподілялось по комірках насіннеуловлювача і не виносилось за його межі. Швидкість потоку контролювали за допомогою індикатора 7. Після встановлення необхідного режиму відкривали подачу насіння з бункера 8 у потік рідини. Відповідно до кількості комірок насіннеуловлювача можливо розподілити насіння з схожими гідродинамічними властивостями на вісім груп.

### 3.4.2 Методика дослідження схожості та енергії проростання насіння після гідросепарації

Посівний матеріал після сепарації перевіряли за такими показниками, як енергія проростання та схожість насіння [97, 98, 99]. Для створення ідентичних умов проростання кожної насінини в лабораторних умовах висівали окремо кожну групу насіння в касети з піском (рис. 3.8).



а



б

Рис. 3.8. Висів насіння у касети:

а – формування насіннєвого ложе; б – «гідровисів»

За допомогою штампку формували насіннєве ложе на глибині 1,5 см, чітко по центру комірки (рис. 3.8, а) і піпеткою висівали одну насінину з однаковою кількістю води (рис. 3.8, б).

Касети з висіяним насінням тримали при температурі 18 °С до появи сходів. Після появи сходів з інтервалом 12 годин проводили підрахунок енергії проростання та контроль схожості насіння.

### 3.4.3 Дослідження зміни параметрів насіння у процесі замочування

Спосіб висіву насіння разом з рідиною, недостатньо вивчений. Насіння в бакові висівного апарата постійно контактує з рідиною задача даного дослідження виявити залежність зміни об'єму шару насіння від часу контакту

з рідиною та зміну його порозності в сухому та замоченому стані . Для визначення зміни об'єму обираємо прозорий стакан бажано циліндричної форми рис. 3.9 з мірною лінійкою заливали рідину і через кожні 30 хв замочування визначали висоту зміни положення шару насіння в процесі його набухання. Визначивши висоту та площу перерізу стакана, визначали об'єм шару насіння.

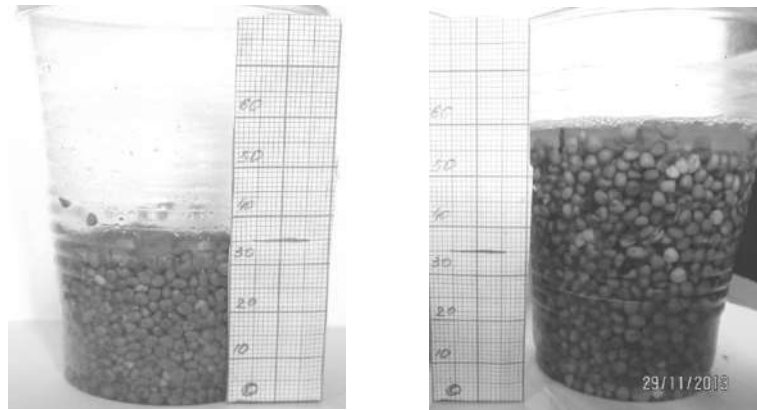


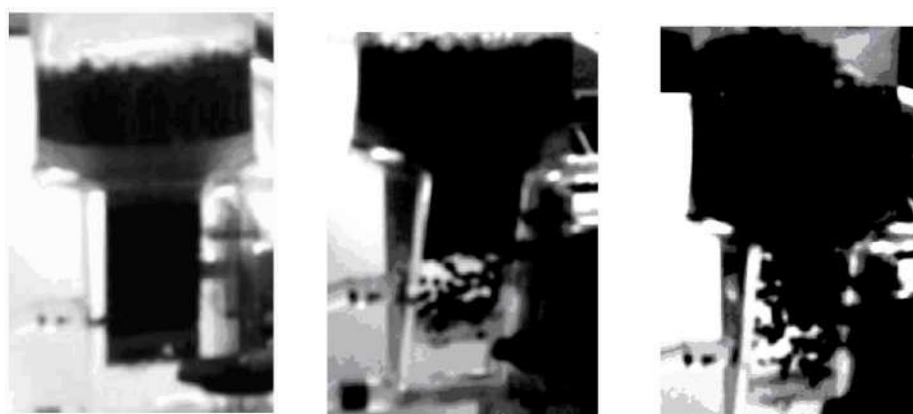
Рис. 3.9. Зміна об'єму насіння при набуханні

Результати досліджень наведені в наступному розділі та враховані при проектуванні основних вузлів висівного апарату.

### 3.5 Методика та дослідження процесу формування псевдозрідженого шару насіння в корпусі висівного апарата

Ефективність роботи ГПАТВ залежить від багатьох факторів одним із яких являється концентрації насіння в зоні забору насінини до насіннепроводу в нижній частині корпусу висівного апарата. Концентрація насіння в свою чергу залежить від процесу формування псевдозрідженого шару насіння в корпусі висівного апарата.

Процес формування псевдозрідженого шару в ГПАТВ рис. 3.10, а, відбувається за рахунок насоса 1 рис. 3.10, б. При забезпеченні швидкості потоку  $v_0 > v_{kp2}$ , що створює насос, насіння починає відриватися від захисної сітки 2 і підніматися до рівня Н при якому швидкість насіння  $v_{нас} \leq v_{kp1}$ .

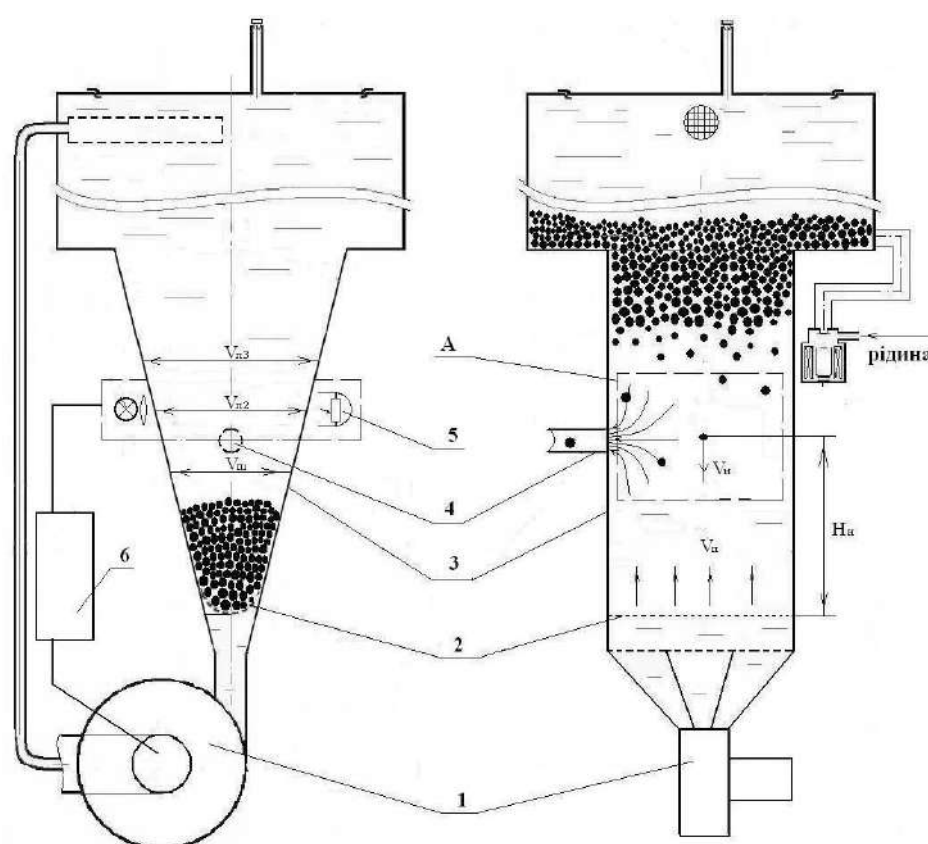


0с

8с

16с

а



б)

Рис. 3.10. Утворення псевдозрідженого шару насіння: а) фази процесу формування псевдозрідженого шару насіння; б) висівний апарат; 1 – насос; 2 – сітка; 3 – забірна камера; 4 – насіннепровід; 5 оптичний датчик; 6 – регулятор витрати насоса

Виконання забірної камери 3 клиноподібної форми дозволяє за рахунок зміни подачі насоса встановлювати необхідний рівень  $H$  розташування насіння

в забірній камері. Необхідну концентрацію при цьому потрібно підтримувати не по всьому об'єму бака висівного апарата, а лише в зоні забору насіння до насіннєпроводу 4, що дозволяє зменшити енерговитрати.

Стабілізувати процес формування необхідної кількості насіння в зоні забору до насіннєпроводу можливо за рахунок регулювання насоса 1. За допомогою оптичної пари 5, регулятор 6 контролює оптичну щільність (концентрацію) насіння в зоні А та підтримує необхідну її величину, регулюючи витрату насоса.

З метою виявлення впливу витрати насоса та рівня заповнення бака насінням на концентрацію насіння в зоні А використавши лабораторну установку гідропневматичного висівного апарата рис. 3.2 проведемо двох факторний експеримент [99]. План досліджень, вихідні дані про рівні факторів і результати досліджень будуть наведені в наступному розділі. Кожний дослід матиме трикратне повторювання. Досліди проводяться для двох випадків при роботі насоса з регулятором і без регулятора.

### 3.6 Методика дослідження роботи гідравлічного та пневматичного клапана висівного апарата

Швидкодія роботи висівного апарата залежить в основному від швидкодії гідроклапана 8 та пневмоклапана 9 (рис. 1.21). З метою перевірки їх функціональної відповідності проведена серія експериментів по дослідженню роботи гідропневматичного висівного апарата.

Для проведення експериментальних досліджень використовували лабораторну установку рис. 3.2. У схему лабораторної установки включено необхідні контрольно-вимірювальні прилади (рис. 3.1), які дозволили визначити функціональну придатність окремих оригінальних вузлів і агрегатів, уточнення їх конструктивних параметрів.

### 3.6.1 Дослідження електрогідравлічного клапана висівного апарата

Для визначення впливу технологічних параметрів – тиску наддуву  $P_{над}$  в ємності 7 (рис. 3.1) та тривалості імпульсу відкриття клапана  $\tau_{имп}$  на циклову подачу електрогідравлічного клапана  $q_{ц}$  проведено серію дослідів [97, 99]. Значення параметрів, що впливають на циклову подачу, наведено в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Параметри роботи електрогідравлічного клапана

| Параметри               | Значення | Крок |
|-------------------------|----------|------|
| Тривалість імпульсу, мс | 20-70    | 10   |
| Тиск наддуву, МПа.      | 0-0,35   | 0,05 |

Порядок проведення дослідів. За допомогою редуктора 23 рис. 3.1 встановлювали необхідне значення тиску наддуву  $P_{над}$ , тривалість імпульсу  $\tau_{имп}$  задавали блоком керування 10 і використовуючи мірну склянку 16, проливали через електрогідроклапан 50 мл рідини. Фіксували значення часу досліду  $T_{\delta}$  (с) та кількість циклів  $n_{ц}$ . Значення циклової подачі  $q_{ц}$ , скважність імпульсів  $Q$ , витрату рідини  $Q_m$  та частоту спрацювання клапана  $f_z$  визначали за формулами [64], відповідно:

$$q_{ц} = \frac{50}{n_{ц}}, \text{ мл/цикл}, \quad (3.2)$$

$$Q = \frac{\tau_{имп}}{10 \cdot \frac{T_{\delta}}{n_{ц}}}, \text{ \%} \quad (3.3)$$

$$Q_m = \frac{180}{T_{\delta}}, \text{ л/год} \quad (3.4)$$

та

$$f_z = \frac{n_{ц}}{T_{\delta}}, \text{ Гц}. \quad (3.5)$$

Результати досліджень наведено в наступному розділі та додатку Г таблиця Г.1. та Г.2.

### 3.6.2 Дослідження електропневматичного клапана висівного апарата

Головна мета дослідження електропневматичного клапана це встановлення залежності циклової подачі повітря  $q_{ци}$  від тривалості імпульсу відкриття клапана  $\tau_{имн}$  при різному значенні тиску  $P_n$ . Значення параметрів під час досліджень наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Параметри роботи електропневматичного клапана

| Параметри               | Значення | Крок |
|-------------------------|----------|------|
| Тривалість імпульсу, мс | 15-35    | 5    |
| Тиск повітря, атм       | 1-3      | 0,5  |

Порядок проведення дослідів. За допомогою редуктора компресора енергетичної установки встановлювали необхідне значення тиску. Тривалість імпульсу відкриття електропневматичного клапана 26 рис. 3.1 задавали блоком керування 10 і наповнювали спірометр 19, до об'єму 500 мл.

Фіксували час досліду  $T_{\partial}$  (с) та кількість циклів  $n_{\text{ци}}$ . Значення циклової подачі повітря  $q_{\text{ци}}$ , скважність імпульсів  $Q_n$ , витрату повітря  $Q_{mn}$  та частоту  $f_n$  спрацювання ЕПК визначали за формулами [61], відповідно:

$$q_{\text{ци}} = \frac{50}{n_{\text{ци}}}, \text{ мл/цикл}, \quad (3.6)$$

$$Q_n = \frac{\tau_{\text{имн}}}{10 \cdot \frac{T_{\partial}}{n_{\text{ци}}}}, \% \quad (3.7)$$

$$Q_{mn} = \frac{1800}{T_{\partial}}, \text{ л/год} \quad (3.8)$$

та

$$f_n = \frac{n_{\text{ци}}}{T_{\partial}}, \text{ Гц}. \quad (3.9)$$

Результати досліджень представлено в четвертому розділі та додатку Г таблиці Г.3.

### 3.7 Лабораторні дослідження можливостей здійснення координатного висіву насіння

Гідропневматичний апарат точного висіву в агрегаті з мостовою машиною повинен забезпечити адресне, заздалегідь заплановане розміщення рослин на полі, що підвищить ефективність виконання операцій по догляду за рослинами.

Для дослідження процесу висіву насіння в задані точки розроблено лабораторну установку загальний вигляд якої наведено на рис 3.11.

Дослідна установка складається з барабана 1, який обертається на осі, приводиться в дію колекторним електродвигуном МЭ-241 через фрикційний ролик, і має дванадцять гнізд 2 для насінне-уловлювачів. В якості насінне-уловлювачів використовували полістирольні стаканчики на 200 та 80 мл з діаметром 70 та 50 мм, відповідно (рис. 3.12, б). Проти кожного гнізда (рис. 3.12, а) встановлені постійні магніти 3, які викликають спрацювання герконового датчика 11 положення барабана, що керує відкриванням пневмоклапана і призводить до висіву (вистрілюванням) сопло-ствола 4. Частота обертання барабана регулюється в межах від 1 до 60 с<sup>-1</sup> шляхом зміни напруги живлення приводного двигуна, що забезпечує частоту висівів 0,2...12 Гц. Фактична частота висівів  $f_{\epsilon}$  та відносна лінійна швидкість руху  $V_{\text{в}}$  насінне-уловлювачів і висівного апарата підраховували за результатами вимірювання часу досліду  $T_{\text{д}}$  (с) та кількості «висівів» за час досліду  $n_{\epsilon}$ . При відомому крокові між насінне-уловлювачами  $S_{\text{н}} = 0,145$  м одержуємо:

$$f_{\epsilon} = \frac{n_{\epsilon}}{T_{\text{д}}}, \text{ Гц} \quad (3.10)$$

та

$$V_{\epsilon} = S_{\text{н}} \frac{n_{\epsilon}}{T_{\text{д}}}, \text{ м/с} \quad (3.11)$$

Час досліду вимірювали секундоміром, кількість «висівів» за час досліду – цифровим лічильником на базі програмованого мікроконтролера PIC16F84 [101].

Роботу установки під час дослідів розпочинали з встановлення необхідної кількості висівів та швидкісного режиму барабана висівного апарата.

Після встановлення необхідної швидкості барабана подавали команду «висів» з блока керування висівним апаратом 9 і в момент проходження магніта 3 повз датчик положення 11 блок керування формував сигнал на відкриття електропневмоклапана для висіву насіння і гідроклапана для підготування висівного апарату до наступного висіву. Аналіз точності, якості та швидкодії висівного апарата проводили, порівнюючи задану кількість висівів насіння і дійсне число насінин, висіяних у насінне-уловлювачі 2.

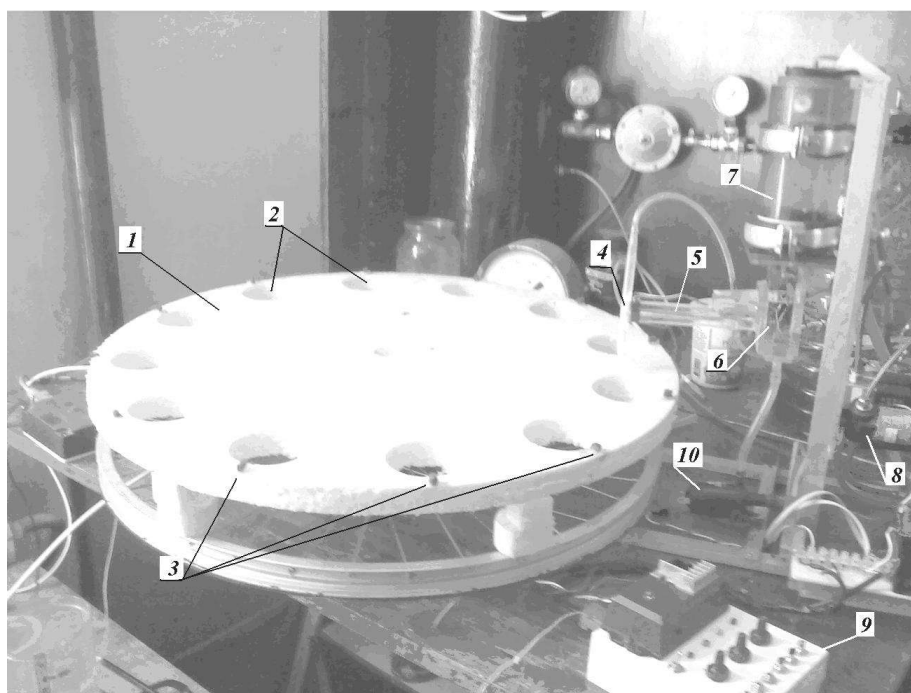


Рис. 3.11. Загальний вигляд лабораторної установки для дослідження координатного висіву насіння: 1 – барабан; 2 – гнізда для насінне-уловлювачів; 3 – магніти-мітки положення барабана; 4 – сопло-ствол; 5 – насіннепровід; 6 – забірна камера; 7 – корпус висівного апарата; 8 – блок електроклапанів; 9 – блок керування; 10 – циркуляційний насос.

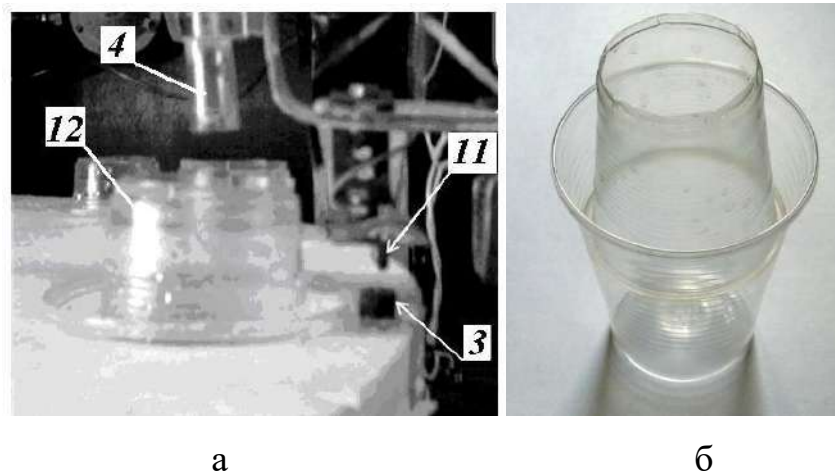


Рис. 3.12. Взаємне розташування елементів під час висіву (а) та вигляд насіннеуловлювача (б): 11 – датчик положення; 12 – насіннеуловлювач (решта позицій відповідають рис. 3.11).

Дослідження проводилися з трикратною повторністю з частотою висівів 1, 3, 6, 9 Гц, кількість висівів за один дослід встановлювали 600 після чого лічильник автоматично вимикав висівний апарат. Основний із показників ефективності роботи висівного апарата точність висіву  $\tau_v$  в задані точки визначали за формулою:

$$\tau_v = \left( \frac{N_z - N_n}{N_z} \right) \cdot 100\% \quad (3.12)$$

де  $N_z$  – задана кількість висівів;

$N_n$  – кількість пропусків.

### 3.8 Дослідження процесу розподілення насіння в насіннепроводі

Враховуючи ймовірнісний характер утворення псевдозрідженого шару насіння в корпусі висівного апарата для дослідження та обґрунтування параметрів і режимів роботи висівного апарата розроблено вимірювально-реєстраційний комплекс на базі ПЕОМ з використанням оптичних датчиків. Структурна схема комплексу наведена на рис.3.14, а загальний вигляд на рис 3.15. До складу вимірювального комплексу входять фотодатчик, підсилювач сигналу, АЦП та ПЕОМ.

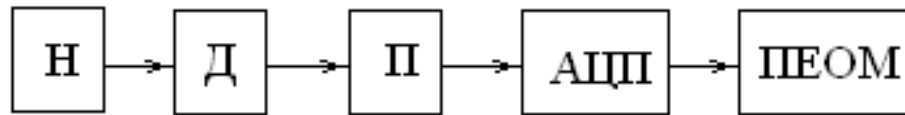


Рис. 3.14. Структурна схема вимірювального комплексу реєстрації насіння: Н – насіння, що проходить по насіннєпроводу; Д – фотодатчик; П – підсилювач сигналу; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; ПЕОМ – персональна електронно-обчислювальна машина.

Працює вимірювальний комплекс наступним чином. Насіннєпровід має прозорий мірний канал 6 з встановленим на ньому фотодатчиком 5, який фіксує проходження насіння 2, виробляючи на виході прямокутні підсилені електричні сигнали.

З підсилювача сигнали надходять на вхід АЦП (ігровий порт ПОЕМ) і далі обробляються за допомогою розробленої програми «Реєстрація насіння» (додаток Д). Накопичені за час дослідів дані (до 2000 пар точок) в кінці дослідів записуються у заданий файл у вигляді масиву пар чисел – час початку-кінця (фронту – зрізу) імпульсів фотодатчика. Похибка визначення моменту часу фронту та зрізу імпульсів не перевищує періоду опитування ігрового порту – близько 0,0001 с.

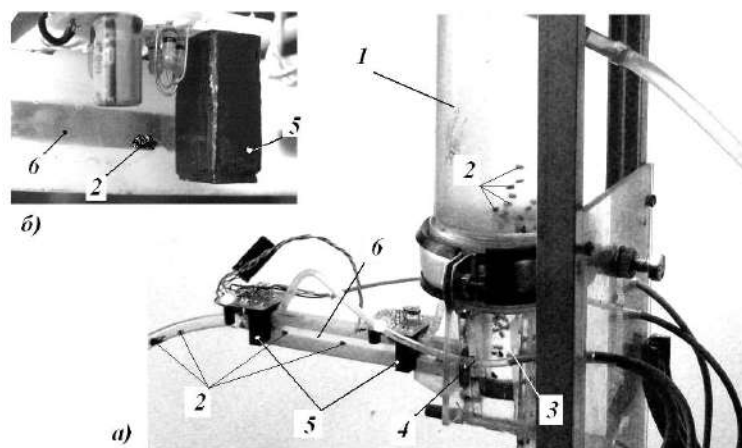


Рис. 3.15. Реєстрація руху насіння у насіннєпроводі: а) – загальний вигляд моделі ГПАТВ (фрагмент); б) – проходження насіння повз фотодатчик; 1 – прозорий бак; 2 – насіння у потоці води; 3 – забірна камера; 4 – вхід до насіннєпроводу; 5 – фотодатчики; 6 – прозорий мірний канал насіннєпроводу

Такий підхід до форми збереження результатів дозволяє оперативно накопичувати первинну інформацію, яку потім можна обробляти за будь-яким алгоритмом.

При пошукових дослідженнях виявилось, що фотодатчик, утворений освітлювальним світлодіодом VD1 та приймачем – фототранзистором VT1 (рис. 3.16, *д*), деякі насінини пропускає, «не бачить».

Дослідження роботи фотодатчика виявили, що при ширині насіннепроводу, більшого двох діаметрів насінини, насіння, що проходить біля стінки, не перетинає оптичного каналу (пучка світла, що сприймається фотоприймачем) і не дає вихідного імпульсу (рис. 3.16, *а*). При частковому перетині оптичного каналу на виході фотодатчика виникає імпульс пониженої напруги 6, величина якої пропорційна частці затінення. Лише при повному затіненні оптичного каналу на виході формується імпульс 7, достатній для спрацювання наступних каскадів.

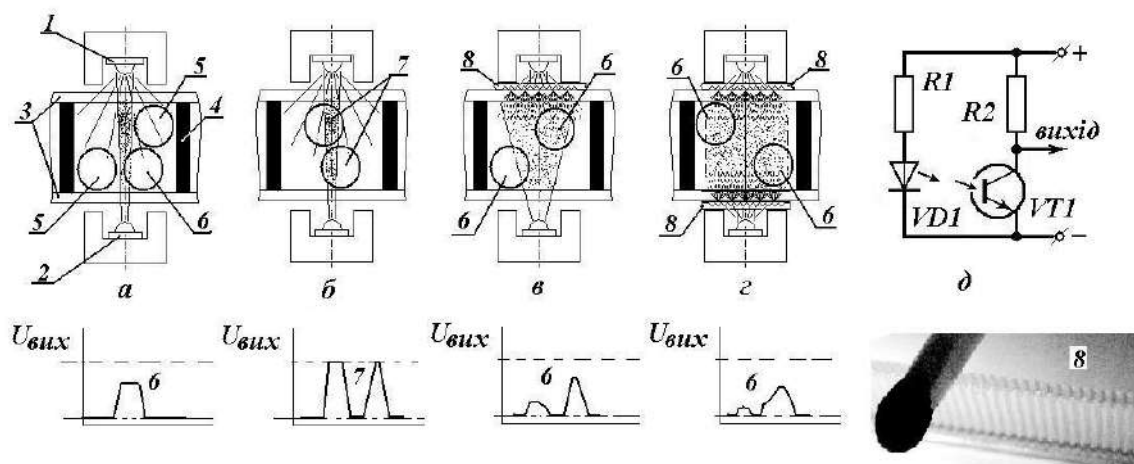


Рис. 3.16. Варіанти розташування насіння у зоні фотодатчика: 1 – світлодіод-освітлювач (VD1); 2 – фототранзистор-приймач (VT1); 3 та 4 – прозорі та непрозорі стінки насіннепроводу, відповідно; 5 – насінина у стані «невидимості»; 6 – насінина при частковому затемненні оптичного каналу (на рисунку затінений); 7 – насінина у положенні повного затемнення оптичного каналу; 8 – розсіювач (фото – на фоні сірника)

Для розширення оптичного каналу між освітлювачем та приймачем довелось встановити розсіювачі 8 (рис. 3.16, *в* та *г*), що виключає пропуски, але суттєво ослаблює вихідний сигнал і потребує застосування додаткового підсилювача. Схема підсилювача-формуєвача імпульсів представлена на рис 3.17.

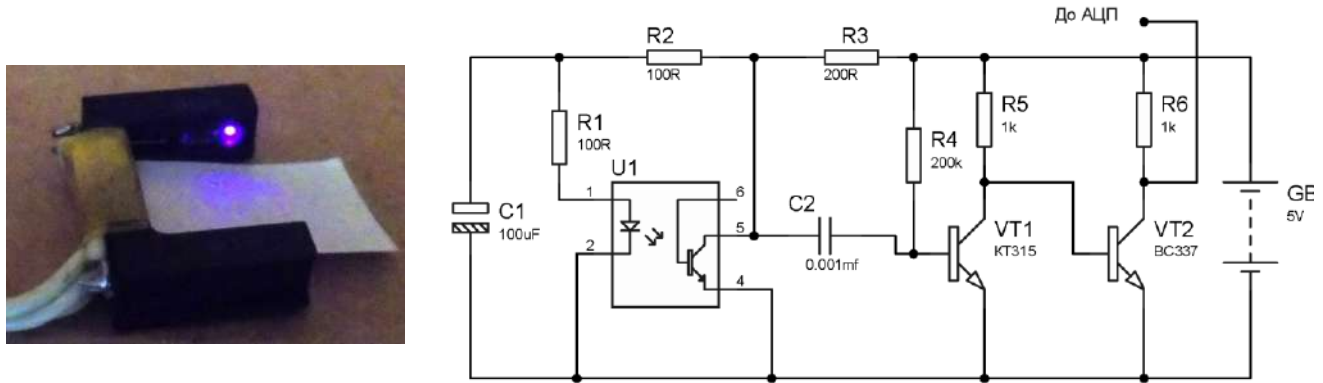


Рис. 3.17. Загальний вигляд фотодатчика та принципова електрична схема підсилювача сигналів фотодатчика

З метою оптимізації роботи фотодатчика проведено дослідження його сумісної роботи з узгоджувачем підсилювачем та розсіювачем, який забезпечує контроль всього перерізу насіннепровода. Для цього було виготовлено пристосування, що складалося з прозорого диска 1 (рис. 3.18), встановленого на валу колекторного мікродвигуна. На периферії диска, охопленої фотодатчиком 3, наклеєні затінювачі *A*, співрозмірні з розмірами насіння.

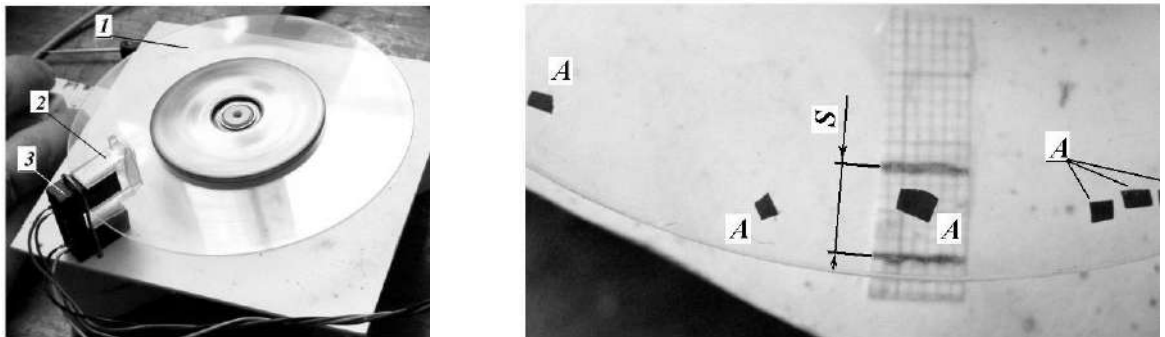


Рис. 3.18. Пристосування для перевірки роботи фотодатчика: 1 – прозорий диск; 2 – розсіювач; 3 – оптопара; *A* – затінювачі на прозорому диску; *S* – ширина оптичного каналу

При обертанні прозорого диска затінювачі проходять через оптичний канал фотодатчика і формують вихідний сигнал, який контролювався за допомогою осцилографа (використовувалась програма для персонального комп'ютера LPTScore 1.2). Вид осцилограми та відповідність вихідних імпульсів проходженню через фотодатчик затінювачів показана на рис. 3.19.

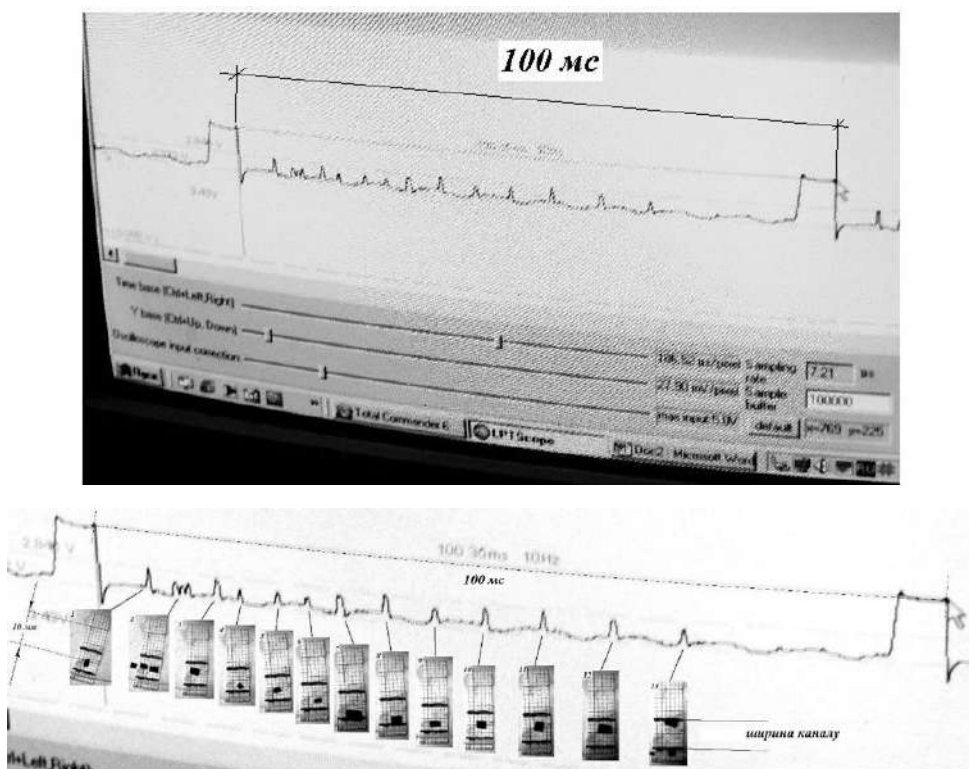


Рис. 3.19. Осцилограма роботи фотодатчика та відповідність імпульсів проходженню затінювачів.

Як видно з рис. 3.19, фотодатчик з розсіювачем дає задовільний чіткий сигнал, достатній для роботи наступних каскадів схеми керування роботою висівного апарата.

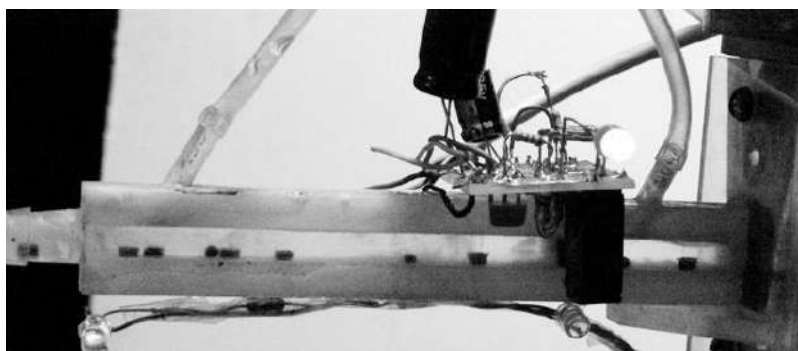


Рис. 3.20. Загальний вигляд фотодатчика з підсилювачем на насіннєпроводі

## Планування експериментів по обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи висівного апарата

Задача проведення даних досліджень – виявити вплив конструктивно-технологічних показників на якісні показники висівного апарату. До якісних показників висівного апарату (критерії оптимізації) можна віднести точність висіву ( $\tau_6$ )  $Y_1$ , відсоток пропусків висіву насіння ( $N_n$ )  $Y_2$  та відсоток висіву насіння з двійниками ( $N_{\partial}$ )  $Y_3$ .

Проаналізувавши роботу експериментальної установки, визначено незалежні змінні, що впливають на процес висіву насіння: кут між твірними конічної частини забірної камери, гідродинамічні властивості насіння, рівень насіння в бакові, висота розміщення насіннєпроводу, в'язкість рідини, тиск наддуву в резервуарі для води, фізико-механічні властивості насіння, довжина насіннєпроводу, діаметр насіннєпроводу.

Попередньо проведеними дослідженнями було встановлено три вагомих конструктивно-технологічних фактори, які найбільше впливають на результат якісних показників роботи висівного апарата. Довжина та діаметр насіннєпроводу обумовлені конструктивною схемою висівного апарата, в числі факторів не враховувалися. Фізико-механічні та гідродинамічні властивості насіння є важливими факторами, але вони мають ймовірний характер керувати, яким не можливо.

Основними конструктивно-технологічними параметрами являються:  $X_1$  – частота висівів  $f_6$ ,  $X_2$  – концентрація насіння  $k_n$ ,  $X_3$  – тиск наддуву  $P_{над.}$ .

Оптимальному рівню роботи розробленого висівного апарата відповідає такий режим, при якому забезпечується висів насіння в задані точки поля з найменшим відсотком двійників та пропусків які в пливатимуть на коефіцієнт варіації розподілення насіння в рядку. Фактично при зменшенні відсотка двійників збільшується відсоток пропусків і навпаки. Задача даних досліджень полягає в оптимізації процесу висіву, тобто в пошуку оптимальної комбінації факторів, які вагомо впливають на якісні показники роботи висівного апарата.

Для отримання математичної моделі процесу була реалізована схема ортогонального планування, що складається з повнофакторного експерименту типу  $2^3$  за планом  $3 \times 2^7$  [97, 99, 102]. Прийнято варіювання факторів на трьох рівнях, яке являється найбільш економічним. Кодування факторів виконано за формулою:

$$x_i = (X_i - X_{i0}) / a, \quad (3.13)$$

де  $x_i$  – кодове значення  $i$ -го фактора;

$X_i$  – натуральне значення  $i$ -го фактора;

$X_{i0}$  – натуральне значення  $i$ -го фактора при його нульовому рівні;

$a$  – натуральне значення інтервалу варіювання  $i$ -го фактора, обчислюємо за формулою:

$$a = (X_i^v - X_i^n) / 2, \quad (3.14)$$

де  $X_i^v$  – значення фактора на верхньому рівні;

$X_i^n$  – значення фактора на нижньому рівні.

Величина рівнів факторів визначалася попередньо проведеними дослідженнями. В таблиці 3.5. наведено кодоване і натуральне значення рівнів факторів та план-матриця повно факторного експерименту.

Таблиця 3.5 – Значення факторів

| Кодоване позначення | Фактори             | Рівні варіювання |      |       | Інтервали варіювання |
|---------------------|---------------------|------------------|------|-------|----------------------|
|                     |                     | 1                | 0    | -1    |                      |
| $x_1$               | Частота висівів, Гц | 2                | 6    | 10    | 4                    |
| $x_2$               | Концентрація, 1/шт  | 0,65             | 0,45 | 0,25  | 0,2                  |
| $x_3$               | Тиск наддуву, МПа   | 0,033            | 0,03 | 0,027 | 0,003                |

Дослідження проводилися за допомогою лабораторної установки наведеної на рис. 3.11. Підтримання необхідної концентрації насіння здійснювалося за рахунок зміни подачі циркуляційного насоса. Зміна частота висівів  $f_v$ , задавалась частотою обертання барабана 1. Тиск наддуву в резервуарі для рідини встановлювали за допомогою переобладнаного

серійного редуктора. Дослідження проводилися з трикратною повторністю. За один дослід здійснювалося 600 висівів. Реєстрація насіння під час досліду виконувалася за допомогою вимірювально-реєстраційного комплексу детально розглянутого в п. 3.6. В якості насіннєвого матеріалу використовувалися полімерні гранули, які за своїми гідродинамічними властивостями не відрізнялися від звичайного насіннєвого матеріалу. Використання замітника пов'язане з змінами які відбуваються з насінням після тривалого перебування в рідині під час досліджень і втратою повторності експерименту. Підтримання заданого рівня насіння в бакові виконувалося шляхом його довантаження. За результатами багатofакторного експерименту будуть побудовані математичні моделі – рівняння регресії у вигляді поліномів другого порядку.

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} x_i x_j + \dots + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2, \quad (3.15)$$

де  $Y$  – критерій оптимізації;

$x_i, x_j$  – незалежні фактори;

$b_i, b_{ij}, b_{ii}, b_0$  – теоретичні коефіцієнти регресії.

Адекватність отриманих моделей перевіряли за критерієм Фішера.

### 3.10 Методика виробничих випробувань експериментальної сівалки з гідропневматичним апаратом точного висіву

Для проведення польових досліджень та виробничих випробувань було розроблено експериментальну сівалку з гідропневматичним апаратом точного висіву пророслого насіння овочевих культур. Експериментальна сівалка розроблена на базі овочевої сівалки Клен-1,8, а саме використано несівну систему (раму) з маркерами та ходовою частиною сівалки. Конструктивну схему експериментальної сівалки наведено на рисунку 3.21. Загальний вигляд сівалки представлено на рисунку 3.22. До складу сівалки входить гідропневматичний апарат точного висіву 1 та енергетична частина: ресивер

для стисненого повітря 3, акумуляторна батарея 10 та резервуар для рідини 4 об'ємом 6 л. Кріплення посівної секції гідропневматичного висівного апарата точного висіву здійснюється до рами 15 з навіскою 16 за допомогою паралелограмного механізму підвіски 17. Енергетична частина сівалки дозволяє здійснювати висів насіння овочевих культур протягом 2 годин після чого виконується дозаправка рідини, повітря зарядка або заміна батареї і процес висіву продовжується.

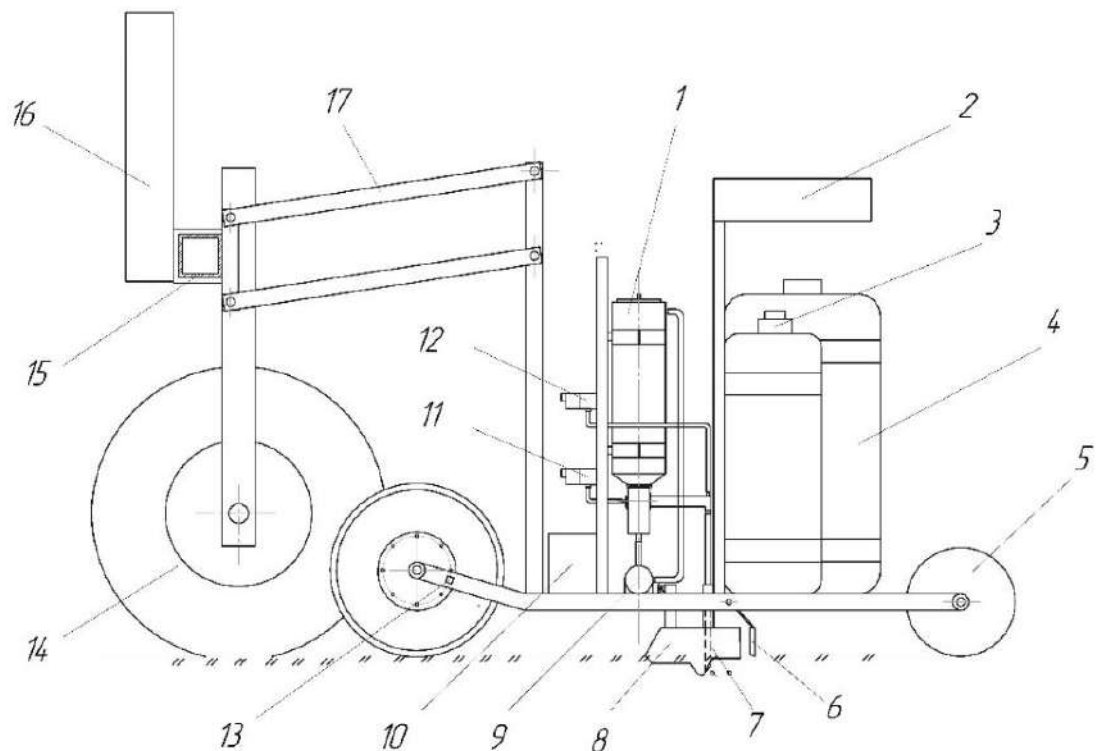


Рис. 3.21. Конструктивна схема експериментальної сівалки з гідропневматичним апаратом точного висіву пророслого насіння овочевих культур: 1 – гідропневматичний апарат точного висіву; 2 – блок керування; 3 – ресивер з редуктором; 4 – резервуар для рідини; 5 – ущільнююче колесо; 6 – загортач; 7 – насіннєпровід; 8 – сошник; 9 – насос; 10 – акумуляторна батарея 12 В; 11 – гідроклапан; 12 – пневмоклапан; 13 – датчик контролю переміщення сівалки; 14 – опорне колесо сівалки; 15 – рама; 16 – навіска агрегування; 17 – паралелограмна підвіска



Рис. 3.22. Експериментальна сівалка з гідропневматичним апаратом точного висіву пророслого насіння овочевих культур

В таблиці 3.6 наведено технічну характеристику експериментальної сівалки з гідропневматичним апаратом точного висіву пророслого насіння.

Таблиця 3.6 – Технічна характеристика сівалки з ГПАТВ

| Показник                                          | Значення  |
|---------------------------------------------------|-----------|
| Тип машини                                        | начіпна   |
| Тиск наддуву, МПа                                 | 0,02-0,04 |
| Тиск висіву насіння, МПа                          | 0,1-0,2   |
| Робоча швидкість, м/с                             | 0,4-1,5   |
| Концентрація насіння, 1/мл                        | 0,21-0,45 |
| Глибина посіву насіння, см                        | 1,5-6     |
| Місткість резервуара для насіння, см <sup>3</sup> | 1500      |
| Місткість резервуара для рідини, см <sup>3</sup>  | 6000      |
| Напруга живлення, В                               | 12        |

Згідно програми випробувань [103] необхідно провести дослідження можливості здійснення точного (координатного) висіву пророслого насіння експериментальною сівалко з гідропневматичним апаратом точного висіву. Дослідження проводимо порівнянням роботи експериментальної сівалки та базової в однакових ґрунтово-кліматичних умовах, з однаковою нормою висіву та швидкістю руху посівних агрегатів на посіві томату. Для цього на одній рамі встановлюємо посівну секцію експериментальної сівалки з ГПАТВ та секцією сівалки Клен-1,8. Висів за схемою 120+50X30 відбувався одночасно експериментальною та базовою посівними секціями сівалок на площі в 2,4 га . Якість посіву оцінюємо за коефіцієнтом варіації розподілення насіння та рослин в рядку за загальноприйнятою методикою.

Для реалізації точного (координатного) посіву томату за допомогою гідропневматичного апарата точного висіву перед початком випробувань необхідно виконати налаштування конструктивно-технологічних параметрів згідно таблиці 3.7.

Концентрація насіння після встановлення необхідної величини підтримується за допомогою регулятора витрати циркуляційного насоса 6 (рис. 3.10) та датчиків оптичної щільності 5.

Таблиця 3.7 – Конструктивно-технологічні параметри ГПАТВ на посіві томату

| Параметр                                                       | Значення |
|----------------------------------------------------------------|----------|
| Концентрація насіння, 1/мл                                     | 0,33     |
| Тиск висіву насіння, МПа                                       | 1,2      |
| Тиск наддуву, МПа                                              | 0,03     |
| Глибина посіву, см                                             | 2        |
| Тривалість імпульсу відкриття електропневматичного клапана, мс | 25       |

### 3.11 Висновки по розділу

1. Програма експериментальних досліджень спрямована на подальше вивчення технологічного процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері послідуєчого забору насіння та розподілення його по насіннепроводу, впливу роботи основних вузлів ГПАТВ на якісні показники його роботи (продуктивність, точність висіву). Для цього розроблено лабораторну установку ГПАТВ та експериментальну гідропневматичну сівалку точного висіву.

2. Дослідження ГПАТВ проводилися з врахуванням загальноприйнятої методики випробувань посівної техніки» наведеної в стандартах України СОУ 74.3-37-129:2004, що прийшли на зміну галузевому стандарту РД 10.5.1-91.

3. Визначення якісних показників насіння сільськогосподарських культур виконувалося згідно ДСТУ 4138-2002 «Методи визначення якості насіння сільськогосподарських культур».

4. Розроблено нову методику дослідження розподілення насіння по насіннепроводу з використанням оптичних датчиків та реєстраційно-вимірювального комплексу на базі ПЕОМ з накопиченням та обробкою масиву інформації досліджень, яку потім можна обробляти за будь-яким алгоритмом.

5. Розроблений стенд лабораторної установки для дослідження координатного висіву насіння дозволяє провести дослідження точності висівного апарата з можливістю регулювання концентрації насіння в забірній камері, тиску наддуву, тиску в сопло-стволі, частоти висівів.

6. Для проведення виробничих випробувань виготовлено секцію експериментальної сівалки з гідропневматичним апаратом точного висіву та розроблено методику проведення польових досліджень. Програму виробничих випробувань експериментальної сівалки виконували згідно ДСТУ ISO 7256-1:2005.

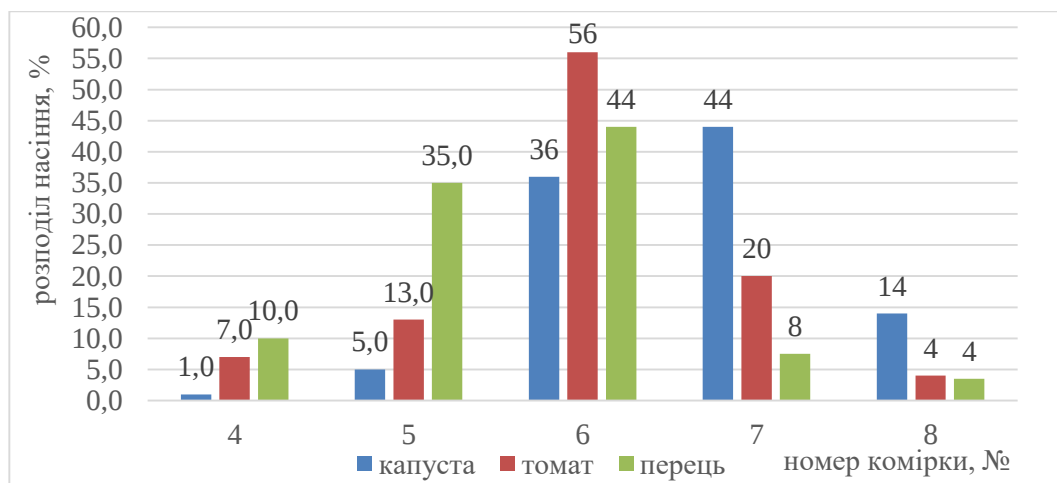
## РОЗДІЛ 4

### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати досліджень гідродинамічних властивостей насіння та встановлення їх зв'язку з показниками кондиційності насіннєвого матеріалу – схожістю, енергією проростання.

4.1.1 Результати дослідження схожості та енергії проростання насіння капусти, томату та перцю.

Використовуючи дослідну установку гідросепаратора рис. 3.6 [95], проведено розподілення по 1000 насінин капусти «Топорані», томату «Астероїд», перцю «Богатир», що попередньо пройшли очищення, сортування згідно вимог до насіннєвого матеріалу.



а



№8

№7

№6

№5

№4

б

Рис. 4.1. Результати розподілу насіння за гідродинамічними властивостями:

а – графік розподілення насіння за гідродинамічними властивостями;

б – розподілення насіння по коміркам.

В результаті проведення гідросепарації виявилось, що насіння має незначні гідродинамічні відмінності і розподіляється з 4 по 8 комірку. Результати цього розподілу представлені на рис. 4.1.

За результатами візуального контролю до найбільш віддалених комірок потрапило проросле насіння – це пов'язано з більшою його парусністю.

Важливим показником якості насіннєвого матеріалу є схожість насіння та енергія проростання насіння  $E_n$  [98]. Остання характеризує дружність проростання насіння і визначається як процентне відношення кількості пророслих за певний період насінин  $N_n$  до загальної їх кількості  $N_3$ :

$$E_n = (N_n/N_3) \cdot 100, \% \quad (4.1)$$

Врахувавши методику досліджень наведену в попередньому розділі проведемо дослідження енергії проростання та схожості насіння, що попередньо пройшло гідросепарацію.

На рис. 4.2 представлено загальний вигляд лабораторних досліджень схожості та енергії проростання висіяних культур.

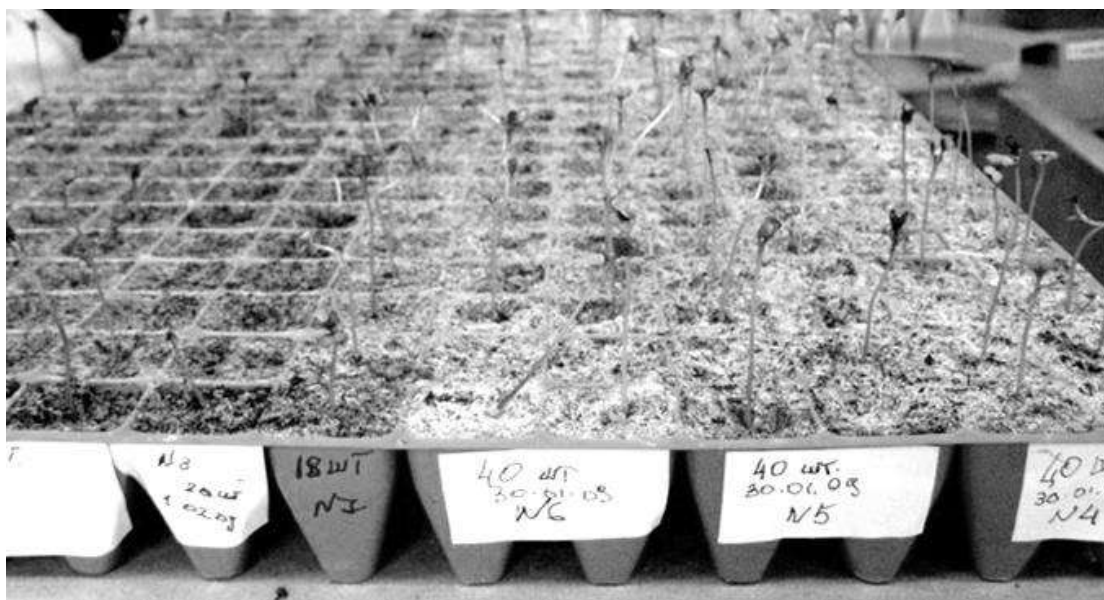


Рис. 4.2. Контроль схожості насіння

Результати досліджень схожості насіння представлено в додатку Ж. На рис. 4.3-4.5 представлено графічні залежності схожості насіння капусти «Топарані», томатів «Астероїд», перцю «Богатир»

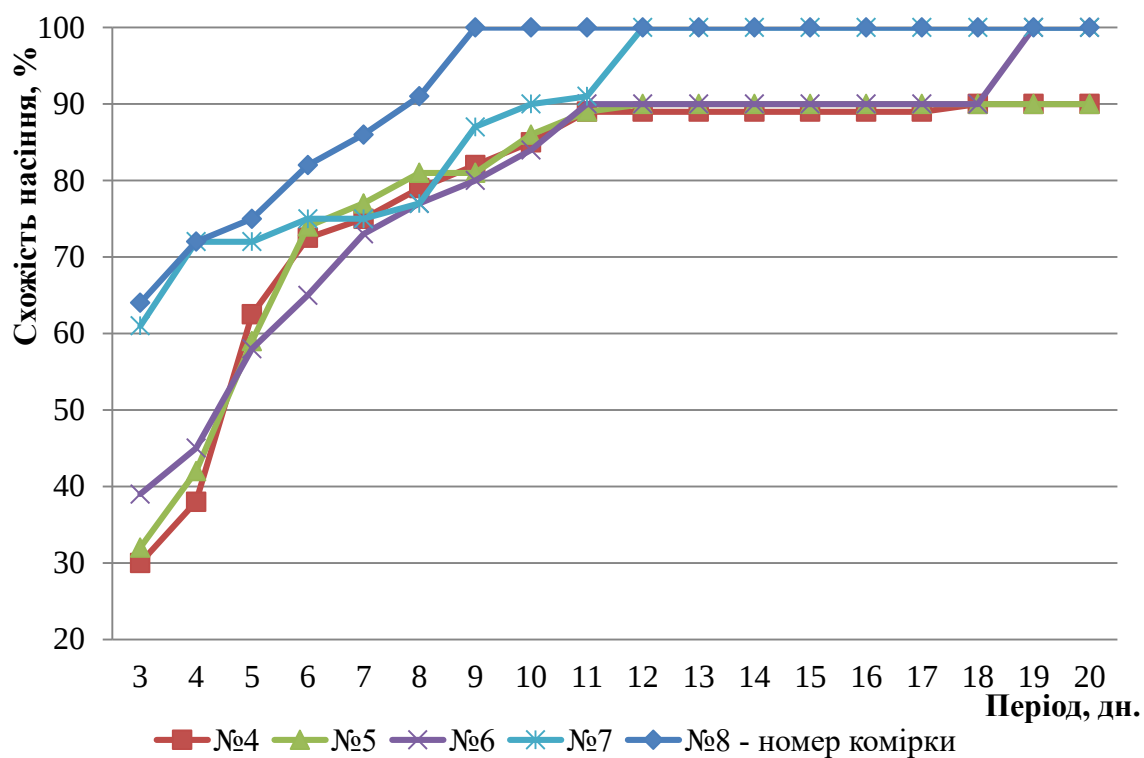


Рис. 4.3. Лабораторна схожість насіння капусти «Топарані»

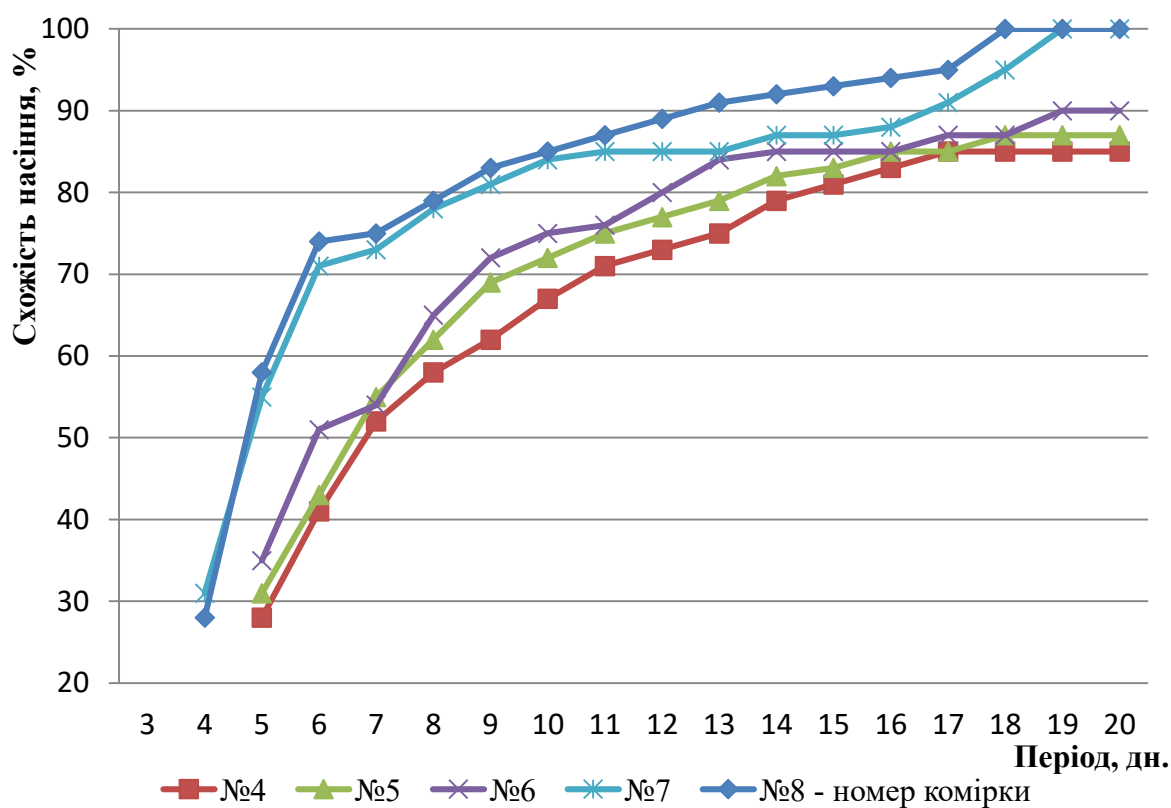


Рис. 4.4. Лабораторна схожість насіння томату «Астероїд»

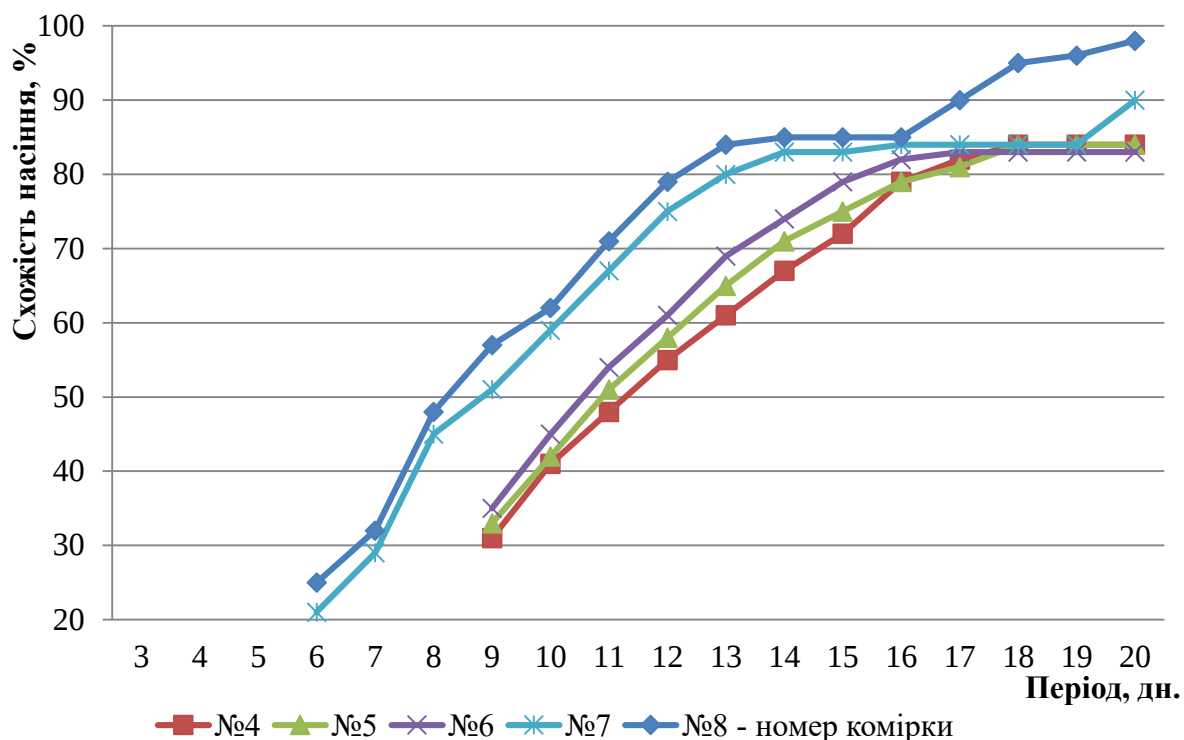


Рис. 4.5. Лабораторна схожість насіння перцю «Богатир»

Енергію проростання капусти «Топарані» визначали на четвертий день після висіву, томату «Астероїд» на сьомий день, перцю «Богатир» на одинадцятий день після висіву. Результати досліджень енергії проростання  $E_n$  наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Енергія проростання насіння, %

| Вид культур        | Номер комірки сепаратора |    |    |    |    |
|--------------------|--------------------------|----|----|----|----|
|                    | 4                        | 5  | 6  | 7  | 8  |
| Капуста «Топарані» | 38                       | 42 | 45 | 72 | 72 |
| Томат «Астероїд»   | 52                       | 55 | 54 | 73 | 75 |
| Перець «Богатир»   | 48                       | 51 | 54 | 67 | 71 |

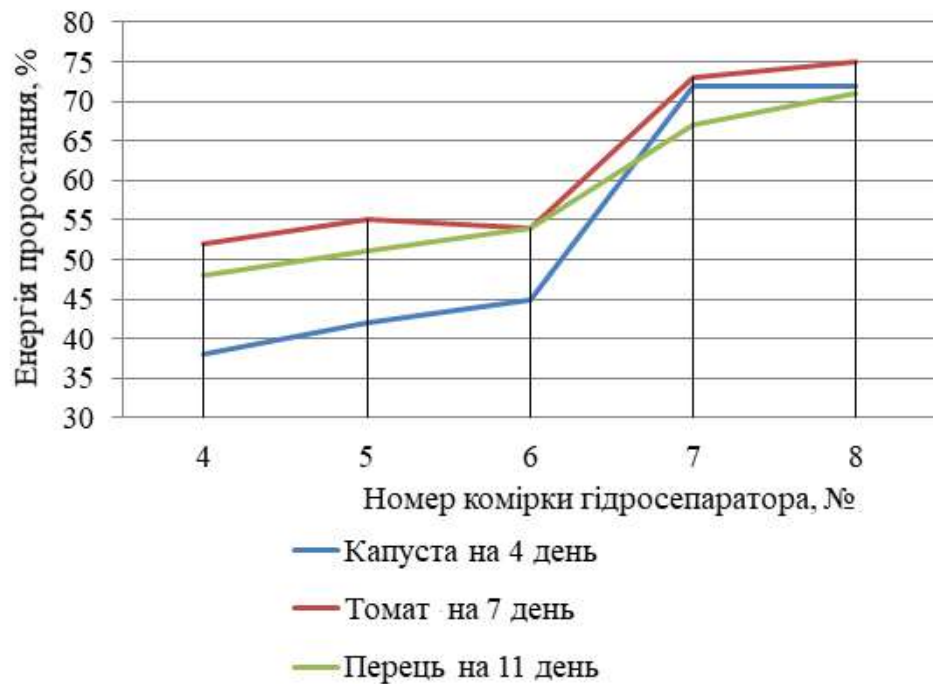


Рис. 4.6. Енергія проростання насіння

Проведені дослідження доводять – сепарація кондиційного насіння практично не впливає на відсоток схожості насіння, і лише енергія проростання суттєво залежить від проведеного розподілення. Проросле насіння в комірках №7 і №8 має максимальне значення енергії проростання, що прискорює появу дружніх сходів. Як результат висів пророслого насіння гідропневматичним апаратом точного висіву прискорить появу рослин на 5-7 днів.

#### 4.1.2 Результати досліджень параметрів при замочуванні насіння овочевих культур

В процесі замочування відбувається набухання насіння зі збільшенням останнього в об'ємі. Задача даного дослідження методика якого наведена в попередньому розділі визначити залежність порозності  $\varepsilon$  нерухомого шару насіння від його набухання тобто збільшення в об'ємі. Використавши рівняння 2.2 та дані досліджень визначимо порозність та об'єм що займає насіння в нерухомому шарі. Дані досліджень та результати розрахунків приведемо в табл. 4.2.



$$\varepsilon = V_p/V_{\text{ш}} = (V_{\text{ш}} - V_{\text{н}})/V_{\text{ш}} = 1 - V_{\text{н}}/V_{\text{ш}}, \quad (4.2)$$

де  $V_{\text{н}}$  – об'єм насіння в нерухомому шарі,  $\text{см}^3$ ;

$V_{\text{р}}$  – об'єм рідини в нерухомому шарі,  $\text{см}^3$ ;

$V_{\text{ш}}$  – загальний об'єм нерухомого шару,  $\text{см}^3$ ;

Об'єм, що займає насіння  $V_{\text{н}}$  визначаємо, як різницю загального об'єму шару  $V_{\text{ш}}$  та об'єму, що займає рідина  $V_{\text{р}}$  в шарі.

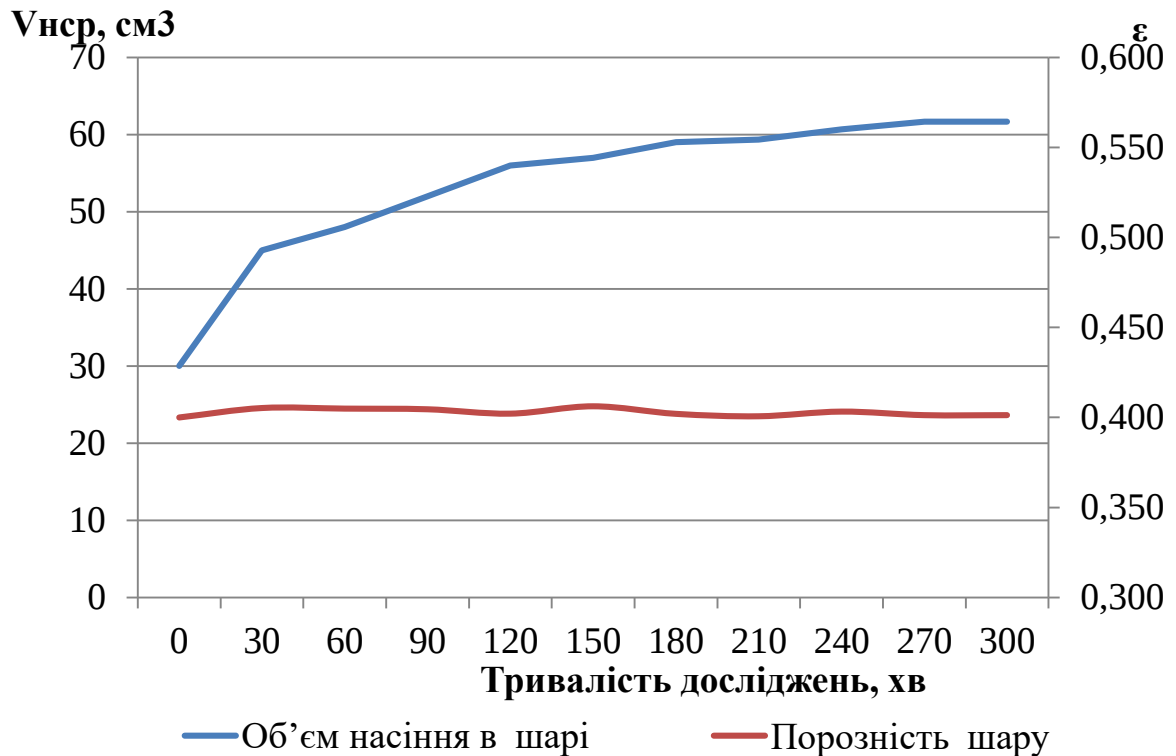


Рис. 4.7. Вплив рідини на насіння капусти

Аналіз даних отриманих та розрахованих в результаті проведеного експерименту табл. 4.2 та рис. 4.7 підтверджує припущення висунуті в другому розділі роботи стосовно зміни фізичних параметрів насіння, що знаходиться в рідині. В якості насіння для досліджень обрано насіння капусти в якій процес набухання відбувається досить швидко в порівнянні з томатами та перцем. Об'єм насіння овочевих культур при замочуванні збільшується в межах 1,45...1,96 рази, що враховано при проектуванні бака висівного апарата. Порозність шару практично не залежить від набухання насіння і знаходиться в межах  $\varepsilon = 0,39...0,41$ .

#### 4.2 Результати досліджень процесу формування псевдозрідженого шару

Основним показником формування псевдозрідженого шару з насіння і рідини, являється порозність  $\varepsilon$  та концентрація насіння на одиницю об'єму  $k_n$ , які залежать від швидкості висхідного потоку рідини  $v$  та в свою чергу від витрати насоса  $Q_n$ , геометричних розмірів корпусу висівного апарата, які характеризуватимуться перерізом  $S_k$  та рівня заповнення бака для насіння  $H$ .

Концентрація насіння в зоні забору його до насіннєпровода впливає на час заряджання та інтервали між насінинами в насіннєпроводі, що в свою чергу в цілому позначається на продуктивності роботи висівного апарата. Врахувавши теоретичні дослідження процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері висівного апарата виконаємо лабораторні дослідження розглянутого процесу [2].

В першому випадку визначимо вплив витрати насоса  $Q_n$  на концентрацію насіння в забірній камері 3 (рис. 3.10). Камера виконана вигляді клина перемінного перерізу. Згідно теоретичних досліджень формування псевдозрідженого шару в забірній камері переріз в нижній частині камери приймаємо  $S_{h2min} = 67 \text{ мм}^2$ , в верхній частині  $S_{h1max} = 333 \text{ мм}^2$  в зоні розміщення насіннєпроводу  $S_A = 125 \text{ мм}^2$ . Результати досліджень представимо в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати досліджень впливу роботи насоса на концентрацію насіння псевдозрідженого шару

| Витрата насоса, л/хв | Швидкість потоку на вході в забірну камеру, м/с | Концентрація насіння, 1/мл |          |          |                    |
|----------------------|-------------------------------------------------|----------------------------|----------|----------|--------------------|
|                      |                                                 | № досліду                  |          |          | Середнє значення   |
|                      |                                                 | 1                          | 2        | 3        |                    |
| $Q_n$                | $v_o$                                           | $K_{n1}$                   | $K_{n2}$ | $K_{n3}$ | $K_{n \text{ ср}}$ |
| 0,5                  | 0,198                                           | 0,91                       | 0,89     | 0,915    | 0,905              |
| 0,6                  | 0,238                                           | 0,68                       | 0,67     | 0,69     | 0,68               |
| 0,7                  | 0,278                                           | 0,45                       | 0,48     | 0,45     | 0,46               |
| 0,8                  | 0,317                                           | 0,19                       | 0,21     | 0,23     | 0,21               |
| 0,9                  | 0,357                                           | 0,03                       | 0,032    | 0,031    | 0,031              |

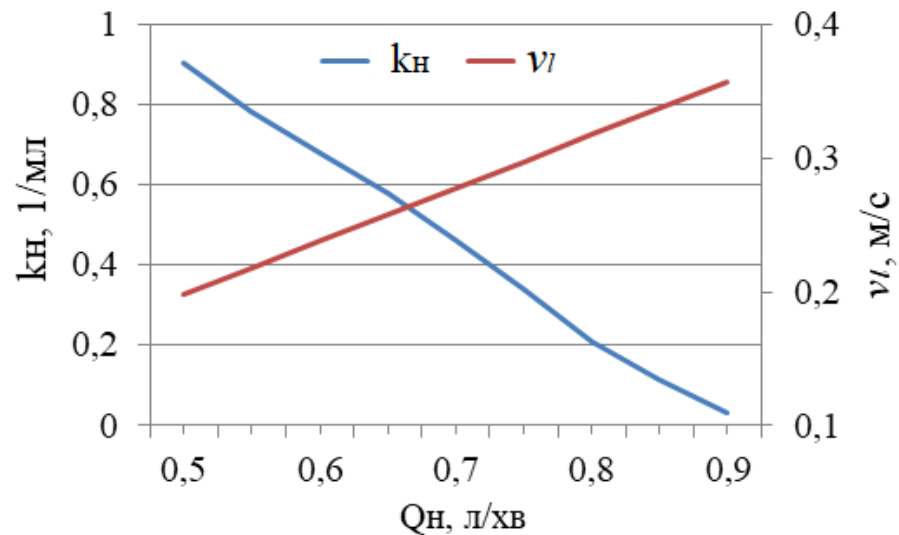


Рис. 4.8. Графік залежності концентрації насіння в псевдозрідженому шарі від витрати насоса

Дослідження проведено за умови максимального заповнення бака насінням. Як видно з графіка рис. 4.8 витрата насоса має суттєвий вплив на концентрацію насіння і являється значимим фактором. Візуальні спостереження за процесом утворення псевдозрідженого шару дозволили визначитися з граничними значеннями концентрації насіння.

Графічна залежність концентрації насіння в псевдозрідженому шарі від витрати насоса представлена на рис. 4.8.

Так для протікання процесу надходження насіння до насіннєпроводу без закупорювання на вході в насіннєпровід висівного апарата концентрація насіння повинна не перевищувати значення  $k_{n\max}=0,65$  л/мл.

Мінімальне значення концентрації насіння при якому ще відбувається процес заряджання насінини до насіннєпроводу становить  $k_{n\max}=0,21$  л/мл, але це значення значно знижує продуктивність висівного апарата.

В другому випадку визначимо вплив рівня заповнення бака насінням  $L$  на концентрацію насіння  $k_n$  в зоні А (рис. 3.10). Дослідження проведемо для двох випадків без використання регулятора роботи насоса та з використанням регулятора при цьому подача насоса  $Q_n$  без регулятора становитиме 0,75 л/хв. Результати досліджень представимо відповідно в табл. 4.4 та табл. 4.5.

Таблиця 4.4 – Результати досліджень впливу рівня заповнення бака насінням на концентрацію насіння псевдозрідженого шару без регулятора

| Рівень заповнення<br>бака, % | Концентрація насіння, 1/мл |          |          |                   |
|------------------------------|----------------------------|----------|----------|-------------------|
|                              | № досліду                  |          |          | середнє           |
|                              | 1                          | 2        | 3        |                   |
| Н                            | $K_{н1}$                   | $K_{н2}$ | $K_{н3}$ | $K_{н\text{ ср}}$ |
| 20                           | 0,19                       | 0,215    | 0,22     | 0,208             |
| 40                           | 0,22                       | 0,24     | 0,24     | 0,233             |
| 60                           | 0,29                       | 0,25     | 0,28     | 0,273             |
| 80                           | 0,38                       | 0,35     | 0,36     | 0,363             |
| 100                          | 0,44                       | 0,49     | 0,46     | 0,463             |

Таблиця 4.5 – Результати досліджень впливу рівня заповнення бака насінням на концентрацію псевдозрідженого шару з використанням регулятора роботи насоса

| Рівень заповнення<br>бака,% | Концентрація насіння, 1/мл |           |           |                   |
|-----------------------------|----------------------------|-----------|-----------|-------------------|
|                             | дослід №1                  | дослід №2 | дослід №3 | середнє           |
| Н                           | $K_{н1}$                   | $K_{н2}$  | $K_{н3}$  | $K_{н\text{ ср}}$ |
| 20                          | 0,301                      | 0,304     | 0,305     | 0,303             |
| 40                          | 0,304                      | 0,308     | 0,31      | 0,307             |
| 60                          | 0,32                       | 0,318     | 0,321     | 0,320             |
| 80                          | 0,322                      | 0,326     | 0,329     | 0,326             |
| 100                         | 0,33                       | 0,3333    | 0,331     | 0,331             |

За результатами проведених досліджень побудуємо графічну залежність рис. 4.9 концентрації насіння від рівня насіння в бакові для двох випадків з використанням регулятора витрати насоса та без нього.

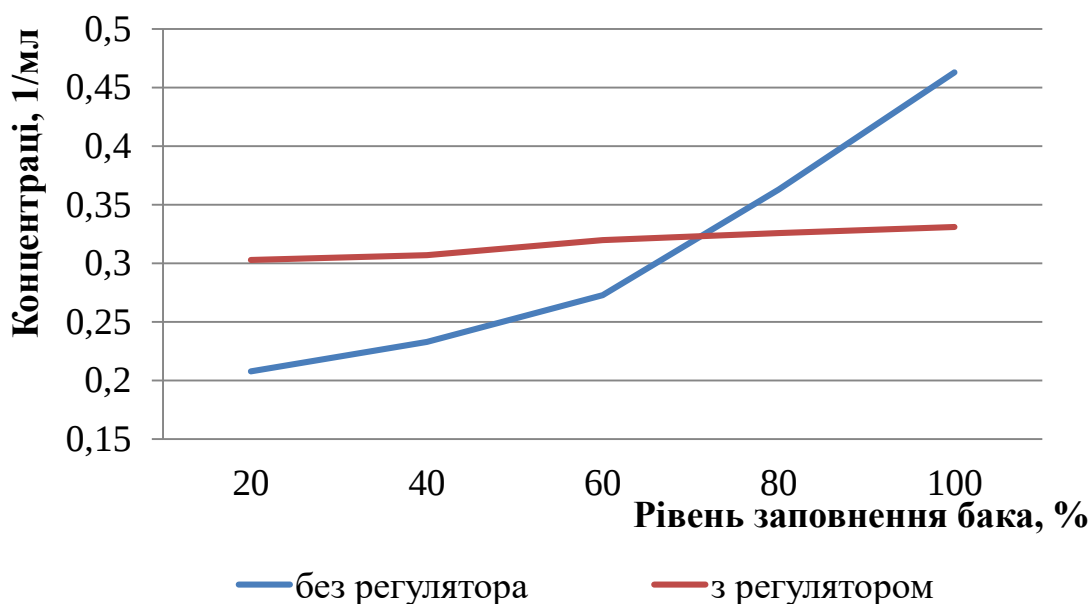


Рис. 4.9. Графік залежності концентрації насіння в псевдозрідженому шарі від рівня заповнення бака насінням

Так при використанні регулятора насоса концентрація практично не залежить від рівня насіння в бакові, про що неможна сказати коли насос працює без регулятора.

Попередньо проведені дослідження рис. 4.10. доводять, що на початковому етапі підйому насіння насос повинен забезпечити максимальну швидкість потоку для підняття ущільненого насіння в нижній частині клина, а потім вийти на робочий режим.

При роботі насоса без регулятора цю функцію оператор повинен виконувати в ручну, що погіршує експлуатаційні показники роботи висівного апарата.

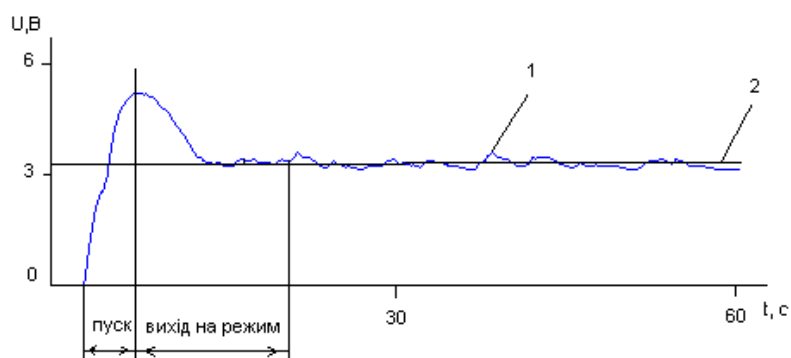


Рис. 4.10. Характеристика зміни напруги живлення двигуна приводу насоса:  
1 – з регулятором; 2 – без регулятора.

### 4.3 Результати досліджень гідравлічного та пневматичного клапанів [65]

#### 4.3.1 Дослідження гідравлічного клапана

На рис. 4.11 представлена залежність циклової подачі води через „пістолет” від тиску наддуву при різній тривалості імпульсів відкриття гідроклапана на частоті 9 Гц. Значення вимірних величин приведено у додатку Г.

Збільшення тиску наддуву в стволі більше 2 м вод.ст. призводить до зменшення циклової подачі, що не узгоджується з теоретичними міркуваннями. Для виявлення причин цього явища була проведена серія дослідів по визначенню залежності циклової подачі води від частоти імпульсів при постійних тиску наддуву і тривалості імпульсу (рис 4.12, додаток Г табл. Г.1 та Г.2). З цих залежностей видно, що в системі подачі води на частоті близько 5 Гц спостерігаються резонансні явища.

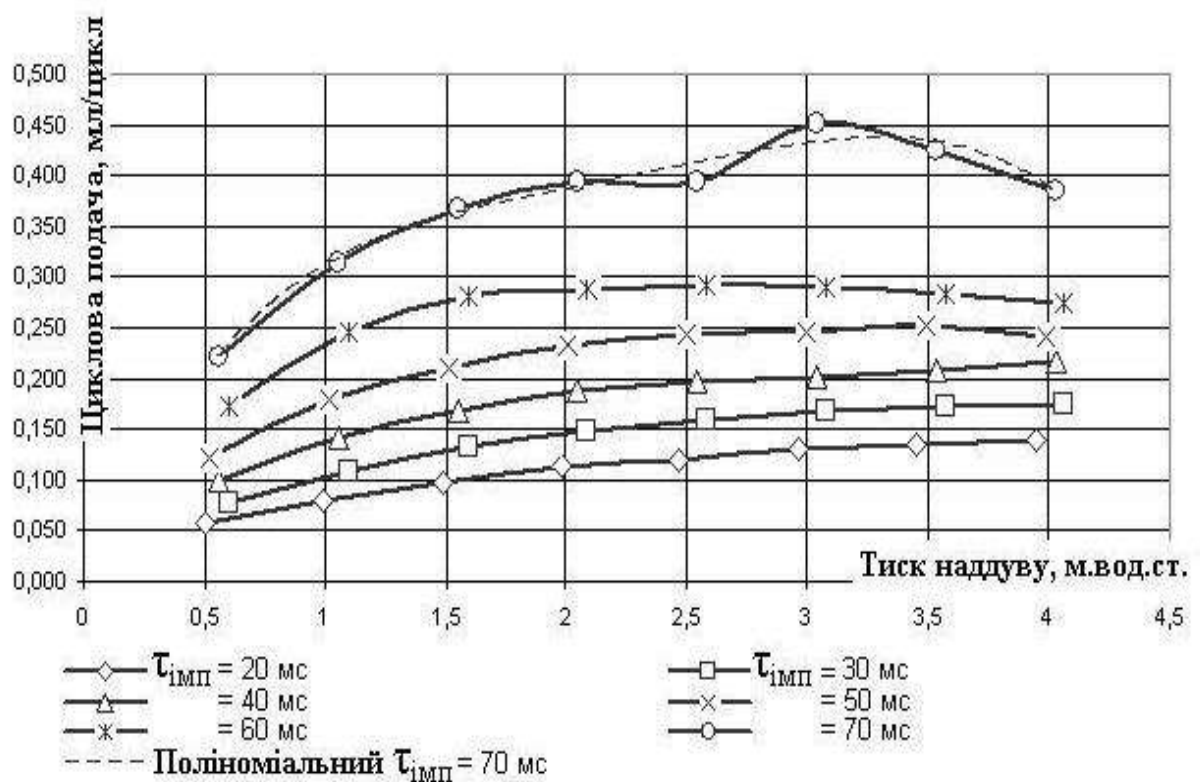


Рис. 4.11. Залежність циклової подачі води від тиску наддуву при різній тривалості імпульсу відкриття гідроклапана

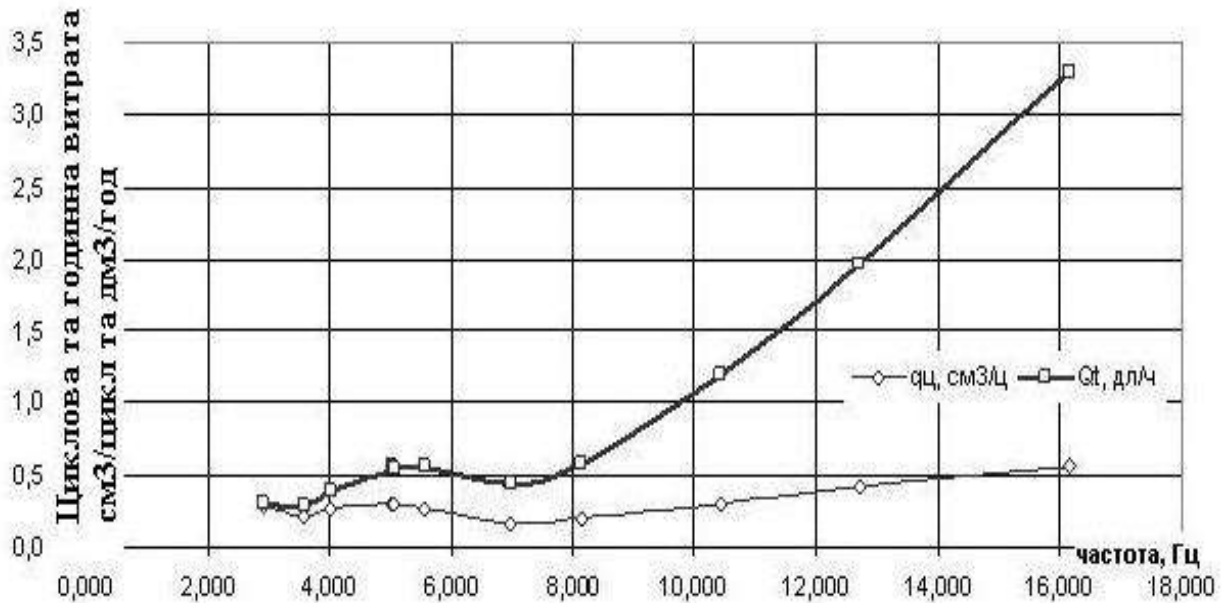


Рис. 4.12. Залежність циклової і годинної витрат води від частоти імпульсів при постійній їх тривалості і постійному тиску наддуву

Візуальними спостереженнями за роботою апарата встановлено, що в системі гнучких трубок, які з'єднують між собою окремі агрегати, спостерігаються інтенсивні механічні коливання, пов'язані з переривистим рухом води. Це і може бути причиною появи резонансу.

#### 4.3.2 Дослідження пневматичного клапана

На рис. 4.13 показана залежність циклової подачі повітря від тривалості електричних імпульсів при частоті 3 Гц. Як видно з графіків, ця залежність при докритичному перепаді тиску  $\Delta P$  на клапані (для повітря  $\Delta P < 2$  атм) практично лінійна. Відсутність „завалів” характеристики при тривалості імпульсів у межах 15...35 мс свідчить про можливість задовільної роботи пневмоклапана з тривалістю циклу 20 мс, тобто з частотою до 50 Гц. Це дає підстави вважати швидкодію клапана достатньою. Значення вимірянних під час дослідів величин приведено у додатку Г таблиця Г.3.

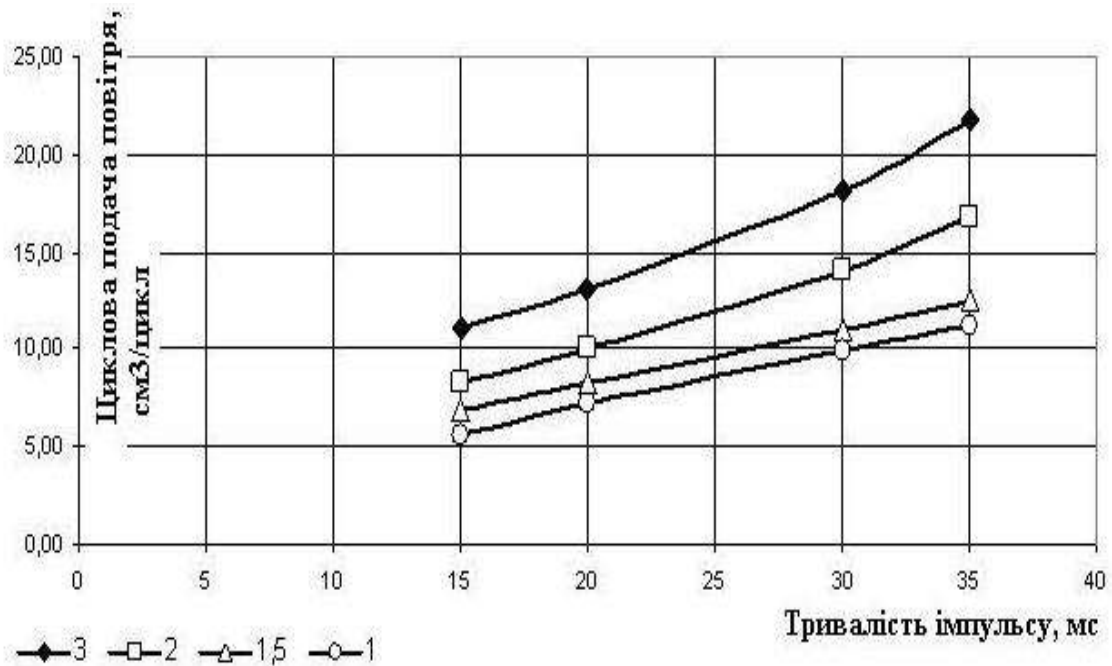


Рис. 4.13. Залежність циклової подачі повітря через „пістолет” від тривалості імпульсу відкриття пневмоклапана при тиску на вході 1, 1,5, 2 та 3 атм.

#### 4.4 Дослідження процесу розподілення насіння по насіннепроводу [4]

Використовуючи вимірювально-реєстраційний комплекс (рис. 3.15) проведено дослідження розподілення насіння в насіннепроводі гідропневматичного апарата точного висіву (рис. 4.14). За допомогою оптичних датчиків встановлених на насіннепроводі відбувається реєстрація проходження кожної насінини з накопиченням даних на ПЕОМ. Час досліду при пропусканні 200 мл рідини з насінням (180...450 насінин) в залежності від режиму роботи висівного апарата становив 25...55 с.

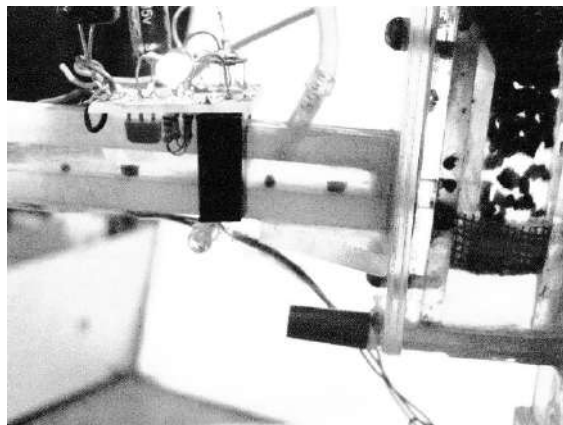


Рис. 4.14. Реєстрація проходження насіння по насіннепроводу ГПАТВ

**Результати досліджень.** Фільтр налаштований на відсів імпульсів, тривалістю менше 0.0005 с. Всього точок – 174; об’єм насіння з рідиною – 200 мл; об’ємна концентрація насіння – 0.47 1/мл; швидкість руху насіння у насіннєпроводі – 0,1959 м/с; середньостатистична відстань між насінинами у насіннєпроводі – 48,1 мм; ступінь неоднорідності псевдозрідженого шару  $\delta_n = 44,71$ ; широта розподілення – 206,6 мм; медіана розподілення – 37,3 мм знаходиться у інтервалі № 32; дисперсія становить 650879, 8 мм<sup>2</sup>. На рисунку 4.15 наведено гістограму розподілення насіння в насіннєпроводі.

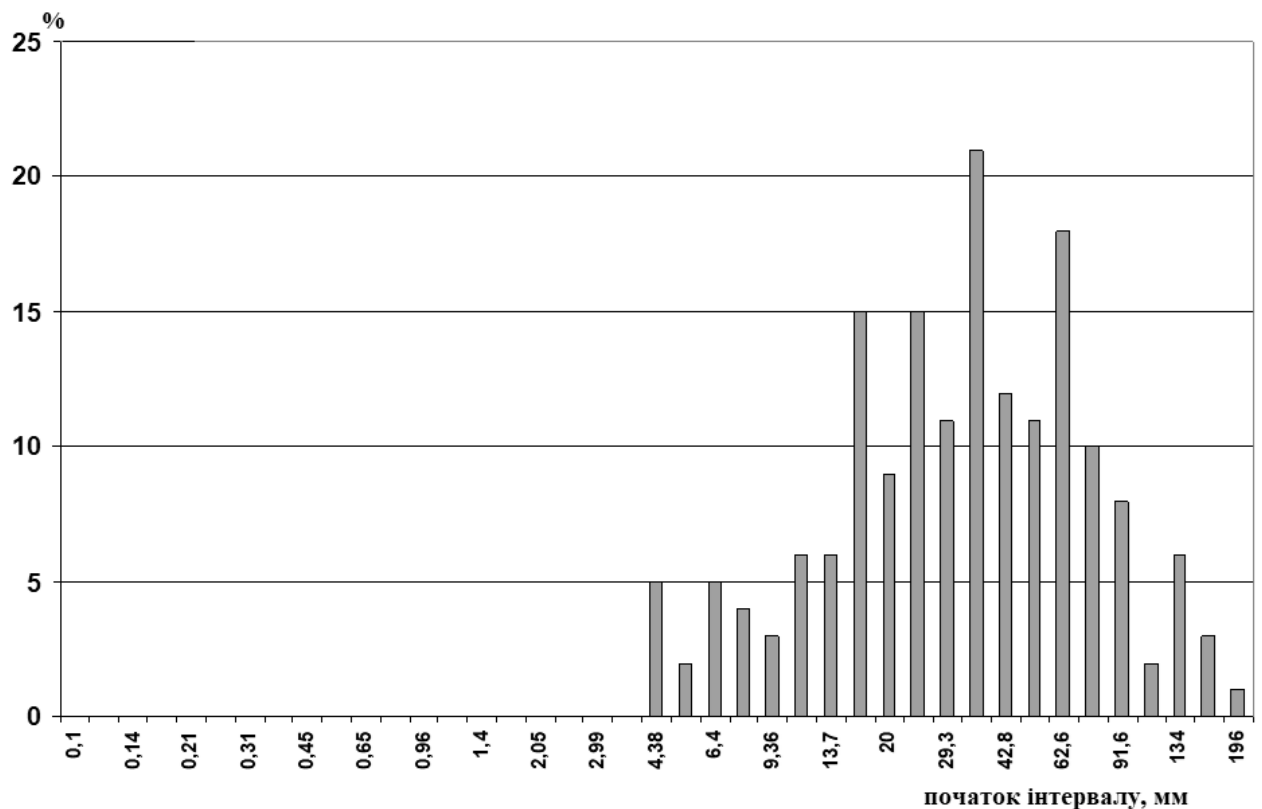


Рис. 4.15. Гістограма розподілення насіння в насіннєпроводі ГПАТВ

За результатами проведеного досліджень встановлено, що розподіл насіння в насіннєпроводі має ймовірний характер. Для реалізації точного висіву гідроневматичний апарат обладнано дозуючим пристроєм з застосуванням оптичних датчиків контролю проходження насіння, робота якого описана в розділі 1.3 «Гідропневматичний апарат точного висіву насіння».

## 4.5 Результати лабораторних досліджень точного (координатного) висіву насіння [15]

### 4.5.1 Повнофакторний експеримент

За запропонованою методикою проведемо дослідження координатного висіву в лабораторних умовах.

Мета досліджень визначення впливу конструктивно-технологічних параметрів на якісні показники висіву насіння гідропневматичним висівним апаратом. Дослідження виконаємо за багатофакторним планом  $3 \times 27$  [97, 104, 105]. Врахувавши попередньо проведені дослідження обираємо входні показниками (фактори), що мають найбільший вплив на критерій оптимізації висівного апарата точність висіву. В таблиці 4.6 наведено основні фактори та рівні їх варіювання

Таблиця 4.6 – Значення факторів

| Кодоване позначення | Фактори             | Рівні варіювання |      |       | Інтервали варіювання |
|---------------------|---------------------|------------------|------|-------|----------------------|
|                     |                     | 1                | 0    | -1    |                      |
| $x_1$               | Частота висівів, Гц | 2                | 6    | 10    | 4                    |
| $x_2$               | Концентрація, 1/шт  | 0,65             | 0,45 | 0,25  | 0,2                  |
| $x_3$               | Тиск наддуву, МПа   | 0,033            | 0,03 | 0,027 | 0,003                |

В таблиці 4.7. наведено основні результати досліджень якісних показників роботи висівного апарата.

Враховуючи попередньо проведені дослідження [2] концентрацію насіння в зоні забірної камери підтримуватимемо в межах 0,25-0,65 1/мл

Використавши математичний пакет Statistika-6.0 [106] проведено обробку даних результатів досліджень багатофакторного експеримента [97, 99, 104, 105] та отримано регресійні рівняння визначення точності висіву висівного апарата в залежності від трьох значимих експлуатаційно-технологічних факторів.

Таблиця 4.7 – Вплив основних факторів на якісні показники роботи  
ГПАТВ

| №<br>дослід | Фактори                |                             |                            | Показники оптимізації          |          |         |                    |                    |
|-------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------|---------|--------------------|--------------------|
|             | Частота висівів, $f_6$ | Концентрація насіння, $k_n$ | Тиск<br>наддуву, $P_{nad}$ | Точність висіву, $\tau_e$<br>% |          |         | Пропуски $N_n$ , % | Двійники $N_o$ , % |
|             |                        |                             |                            | Експер.                        | Теорет.  | Відхил. |                    |                    |
|             | $x_1$                  | $x_2$                       | $x_3$                      | $y_{IE}$                       | $y_{IT}$ | -       | $y_{2E}$           | $y_{3E}$           |
| 1           | -1                     | -1                          | -1                         | 84,66                          | 85,7     | 1,04    | 15,34              | 4,6                |
| 2           | -1                     | -1                          | 0                          | 87,72                          | 87,1     | -0,62   | 12,28              | 5,2                |
| 3           | -1                     | -1                          | 1                          | 86,50                          | 86,2     | -0,30   | 13,5               | 3,5                |
| 4           | -1                     | 0                           | -1                         | 97,39                          | 97,3     | -0,09   | 2,61               | 10,3               |
| 5           | -1                     | 0                           | 0                          | 100,38                         | 100      | -0,38   | -0,38              | 12,2               |
| 6           | -1                     | 0                           | 1                          | 99,09                          | 99,5     | 0,41    | 0,91               | 9,67               |
| 7           | -1                     | 1                           | -1                         | 88,50                          | 87,9     | -0,60   | 11,5               | 19,2               |
| 8           | -1                     | 1                           | 0                          | 91,43                          | 92,4     | 0,97    | 8,57               | 21,7               |
| 9           | -1                     | 1                           | 1                          | 90,07                          | 90,2     | 0,13    | 9,93               | 17,1               |
| 10          | 0                      | -1                          | -1                         | 82,77                          | 82,3     | -0,47   | 17,23              | 4,1                |
| 11          | 0                      | -1                          | 0                          | 85,90                          | 85,5     | -0,40   | 14,1               | 4,8                |
| 12          | 0                      | -1                          | 1                          | 84,74                          | 83,2     | -1,54   | 15,26              | 3,5                |
| 13          | 0                      | 0                           | -1                         | 95,30                          | 95,6     | 0,30    | 4,7                | 8,7                |
| 14          | 0                      | 0                           | 0                          | 98,35                          | 98,7     | 0,35    | 1,65               | 9,83               |
| 15          | 0                      | 0                           | 1                          | 97,13                          | 97,6     | 0,47    | 2,87               | 6,2                |
| 16          | 0                      | 1                           | -1                         | 86,21                          | 85,4     | -0,81   | 13,79              | 14,7               |
| 17          | 0                      | 1                           | 0                          | 89,19                          | 89,2     | 0,01    | 10,81              | 16,8               |
| 18          | 0                      | 1                           | 1                          | 87,90                          | 88,1     | 0,20    | 12,1               | 13,7               |
| 19          | 1                      | -1                          | -1                         | 71,74                          | 71,5     | -0,24   | 28,26              | 1,6                |
| 20          | 1                      | -1                          | 0                          | 74,93                          | 76,3     | 1,37    | 25,07              | 2,5                |
| 21          | 1                      | -1                          | 1                          | 73,83                          | 74,83    | 1,00    | 26,17              | 1,2                |
| 22          | 1                      | 0                           | -1                         | 84,06                          | 83,5     | -0,56   | 15,94              | 5,1                |
| 23          | 1                      | 0                           | 0                          | 87,17                          | 86,5     | -0,67   | 12,83              | 6,1                |
| 24          | 1                      | 0                           | 1                          | 86,01                          | 85,3     | -0,71   | 13,99              | 3,7                |
| 25          | 1                      | 1                           | -1                         | 74,76                          | 75,8     | 1,04    | 25,24              | 8,7                |
| 26          | 1                      | 1                           | 0                          | 77,81                          | 77,9     | 0,09    | 22,19              | 10,7               |
| 27          | 1                      | 1                           | 1                          | 76,57                          | 76,2     | -0,37   | 23,43              | 7,2                |

Рівняння регресії точності висіву  $y$  в кодованому вигляді:

$$y = 98,153 - 6,5816 \cdot x_1 + 1,6928 \cdot x_2 + 0,8961 \cdot x_3 - 0,3525 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,04417 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,05583 \cdot x_2 \cdot x_3 - 4,2817 \cdot x_1^2 - 10,6817 \cdot x_2^2 - 2,2816 \cdot x_3^2 \quad (4.3)$$

де  $x_1, x_2, x_3$  – фактори у кодованому вигляді.

Рівняння регресії в розкодованому вигляді:

$$\tau_{\epsilon} = -195,85 + 1,653 \cdot f_{\epsilon} + 248,65 \cdot k_n + 1544585 \cdot P_{над} - 0,4406 \cdot f_{\epsilon} \cdot k_n + 3,68 \cdot f_{\epsilon} \cdot P_{над} + 93,05 \cdot k_n \cdot P_{над} - 0,26 \cdot f_{\epsilon}^2 - 267,04 \cdot k_n^2 - 2535185 \cdot P_{над}^2 \quad (4.4)$$

Для цього рівняння на 95% рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні, значення критерію Кохрена  $G = 0,1359 < G_{0,05}(2,25) = 0,2292$ .

Дисперсія неадекватності математичної моделі  $SS_{lf} = 33699,4758$ ; дисперсія похибки дослідів  $SS_y = 59625,1733$ ; значення критерію Фішера

$F(f_{lf} = 10, f_y = 50) = 0,5652$ ; модель адекватна на будь-якому рівні довірчої ймовірності; множинний коефіцієнт регресії  $R_{y.r} = 0,9887$ .

#### 4.5.2 Перевірка відтворюваності дослідів [107]

Перевірку відтворюваності дослідів перевіряли за критерієм Кохрена для достовірної ймовірності експерименту  $p = 0,95$

$$G_p = \frac{S_{i\max}^2}{\sum_{i=1}^n S_i^2} \leq G_{таб}(q, f_y, f_n) \quad (4.5)$$

де  $S_i^2$  – дисперсія дослідів;

$S_{i\max}^2$  – найбільша за числовим значенням дисперсія одного з дослідів.

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{n-1} \quad (4.6)$$

де  $y_{ij}$  – значення вихідної величини отримане експериментальним шляхом в  $j$ -му повторюванні  $i$ -го дослідів ( $j=1...n, i=1...N$ );

$N$  – кількість дослідів;

$n$  – кількість повторень дослідів;

$\bar{y}_i$  – середнє значення вихідної величини в  $i$ -му досліді;

$G_{таб}(q, f_y, f_n)$  – табличне значення критерію Кохрена;

$q$  – рівень достовірності приймаємо  $q=0,05$ ;

$f_y$  – кількості незалежних значень дисперсії ( $f_y=N$ );

$f_n = n-1$  – числа свободи кожного значення,

Згідно довідкової літератури [107] табличне значення критерія Кохрена для нашого випадку відсутнє, провівши лінійну інтерполяцію отримали  $G_{таб}(0,05, 27, 2) = 0,2167$

За результатами проведених розрахунків при трикратній повторюваності дослідів  $G_p = 0,098 < G(0,05, 27, 2) = 0,2167$  умова виконується отже ми можемо стверджувати про однорідність отриманих дисперсій проведеного експерименту і можливість відтворення дослідів.

#### 4.5.3 Оцінка адекватності математичної моделі [107]

Отримавши дисперсію дослідів в попередньому пункті проведемо оцінку адекватності математичної моделі за критерієм Фішера, для цього необхідно отримати розрахункове значення даного критерію  $F_p$  та порівняти його з табличним  $F_{таб}$ .

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_i^2} \leq F_{таб} \quad (4.7)$$

де  $S_{ад}^2$  – дисперсія адекватності математичної моделі;

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{im})^2}{N - k} \quad (4.8)$$

де  $y_{ij}$  – значення вихідної величини отримане за регресійним рівнянням;

$k$  – кількість коефіцієнтів математичної моделі.

$F_p = 1,09$       $F_{таб} = 3,19$ , що підтверджує адекватність математичної моделі.

#### 4.5.4 Оптимізація точності висіву гідропневматичного висівного апарата

Оптимізацію точності висіву гідропневматичного висівного апарата виконаємо вирішивши компромісну задачу.

$$\begin{cases} N_n \rightarrow \min \\ N_o \rightarrow \min \Rightarrow \frac{\tau_e}{N_n \cdot N_o} \rightarrow \max \\ \tau_e \rightarrow \max \end{cases} \quad (4.9)$$

Аналізуючи рівняння (4.9) критерій оптимізації точність висіву  $\tau_e$  підвищується за умови зменшення під час висіву кількості пропусків  $N_n$  та кількості двійників  $N_o$ .

Для вирішення компромісної задачі використано математичний пакет Statistika-6. За допомогою якого отримано значення конструктивно-технологічних факторів за яких виконується умова поставленої задачі. Функції та поверхні бажаності факторів, від яких залежить точність висіву ГПАТВ наведені відповідно на (рис. 4.16-4.17).

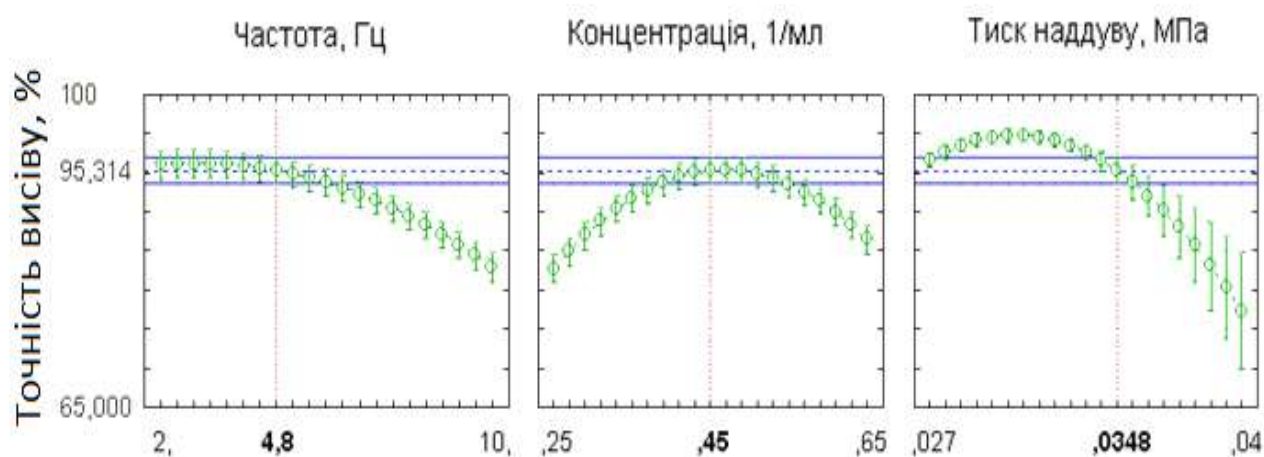


Рис. 4.16. Функції бажаності факторів

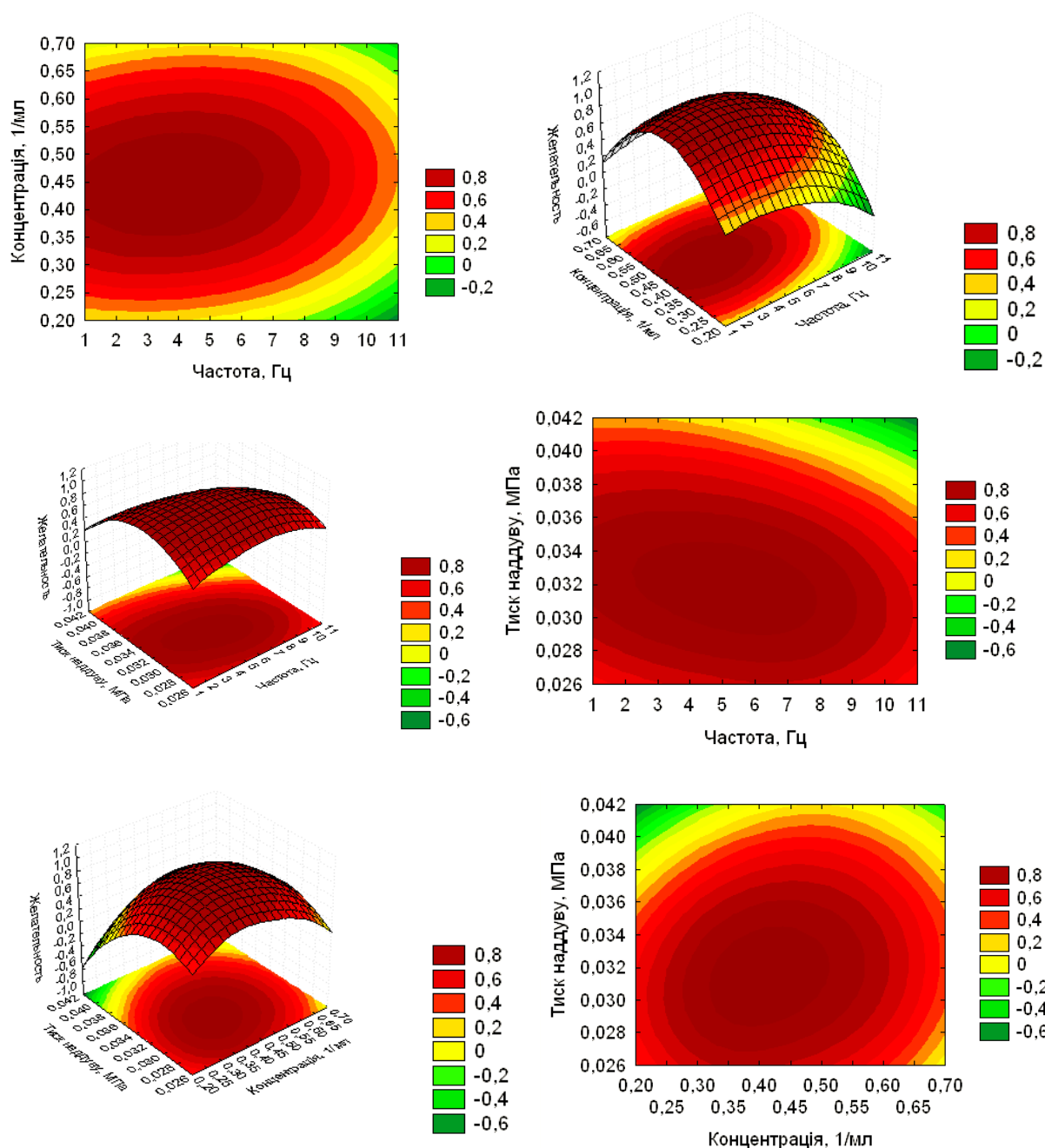


Рис. 4.17. Поверхні та контури бажаності факторів

За результатами вирішення компромісної задачі максимальна точність висіву становить 95,3 % за умови зменшення кількості двійників і пропусків насіння під час висіву ГПАТВ. При цьому конструктивно-технологічні параметри повинні мати наступні значення: частота висівів  $f_e = 4,8$  Гц, тиск наддуву  $P_{\text{над}} = 0,348$  МПа, концентрація насіння  $k_n = 0,45$  1/мл.

#### 4.6 Результати виробничих випробувань експериментальної сівалки з ГПАТВ [97, 103, 108]

Виробничі випробовування експериментальної сівалки з ГПАТВ проводилися на території Дніпропетровської дослідної станції інституту овочівництва і баштанництва НААН України на посіві в відкритий ґрунт насіння томату «Астероїд»

Основним завданням польових досліджень являється перевірка на працездатність експериментальної сівалки з ГПАТВ у виробничих умовах. Встановлення якісних показників посіву ГПАТВ а саме: коефіцієнта варіації розподілення сходів в рядку, польової схожості насіння, енергії проростання, врожайності.

Згідно програми випробувань проведено порівняльні посіви секцією експериментальної сівалки з ГПАТВ та секцією базової сівалки Клен-1,8 на посіві в відкритий ґрунт насіння томату «Астероїд» на дослідному полі ДДС ІОБ НААН України. Висів виконано одночасно експериментальною та базовою посівними секціями сівалок на площі в 2,4 га.

Коефіцієнт варіації розподілення насіння в рядку визначали зразу після посіву, а коефіцієнт варіації розподілу рослин в рядку на 45 день після посіву.

Результати досліджень розподілення томату «Астероїд» наведені в додатку 3. та на рис. 4.18-4.20.



Рис. 4.18. Розподілення томату «Астероїд» при сівбі посівною секцією ГПСТВ з гідропневматичним апаратом точного висіву



Рис. 4.19. Розподілення томату «Астероїд» при сівбі посівною секцією базової сівалки Клен-1,8

Таблиця 4.8 – Результати обробки експериментальних даних статистичним методом

| Показник                             | Позначення       | Посівна секція<br>сівалки ГПСТВ |        | Посівна секція<br>сівалки Клен-<br>1,8 |        |
|--------------------------------------|------------------|---------------------------------|--------|----------------------------------------|--------|
|                                      |                  | Розподілення в рядку            |        |                                        |        |
|                                      |                  | нас.                            | сход.  | нас.                                   | сход.  |
| Середній рівень ряду, м              | $\bar{y}$        | 0,312                           | 0,324  | 0,3116                                 | 0,393  |
| Розмах варіації, м                   | $R$              | 0,26                            | 0,37   | 0,26                                   | 0,58   |
| Коефіцієнт вирівняності              | $k_v$            | 0,53                            | 0,4    | 0,527                                  | 0,183  |
| Середнє лінійне відхилення, м        | $d_{\text{лін}}$ | 0,0185                          | 0,041  | 0,0185                                 | 0,112  |
| Дисперсія, м                         | $\sigma^2$       | 0,002                           | 0,0058 | 0,0056                                 | 0,0186 |
| Середнє квадратичне<br>відхилення, м | $\sigma$         | 0,047                           | 0,076  | 0,075                                  | 0,136  |
| Коефіцієнт варіації, %               | $V$              | 15,2                            | 23,6   | 22,1                                   | 34,2   |

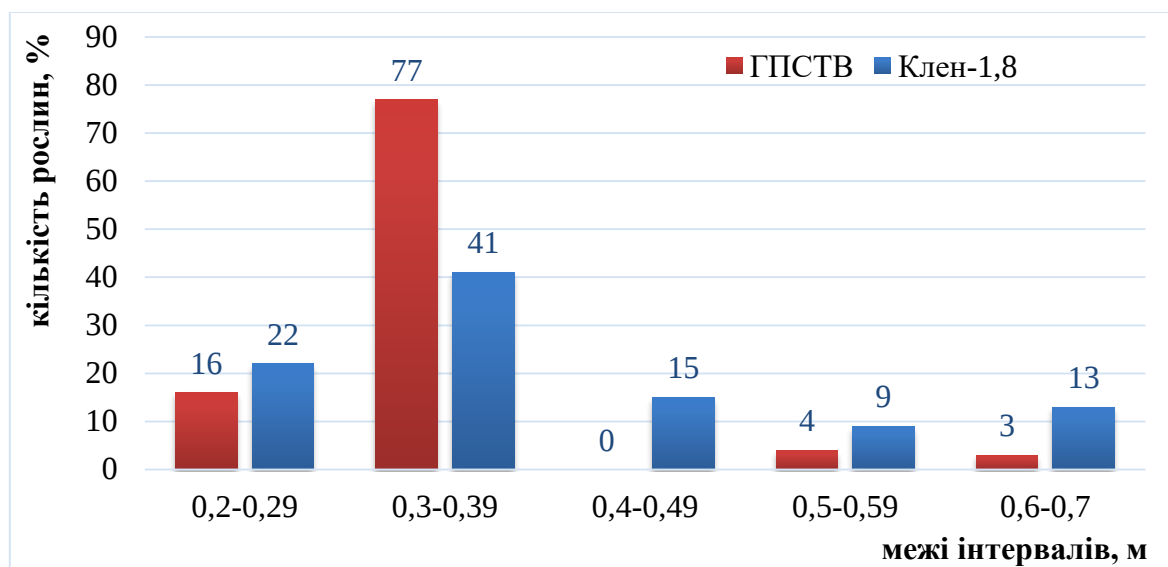


Рис. 4.20. Гістограма розподілу інтервалів між сходами томату Астероїд по довжині рядка

Аналіз результатів дослідження (табл. 4.8, рис. 4.20) розподілу інтервалів між сходами показав, що при висіві експериментальною сівалкою ГПСТВ 77 % сходів розташовані в інтервалі  $0,3 \pm 0,03$  м, що відповідає встановленому значенню 0,3 м згідно з схемою посіву. Зростання значення інтервалів між сходами томатів свідчить про вірогідність пропусків під час висіву та не проросле насіння. Польова схожість за використання експериментальної сівалки склала 93 % , що на 12,4 % перевищило базовий варіант з використанням посівної секції Клен-1,8. Підвищення польової схожості та рівномірності висіву (коефіцієнт варіації розподілення рослин в рядку експериментальної сівалки склав 23,6% в порівнянні з базовою 34,2%) дало змогу отримати приріст врожайності до 66 ц/га.

#### 4.7 Висновки по розділу

1. За результатами проведених досліджень гідродинамічних властивостей насіння встановлено, що насіння капусти, томату, перцю має різні гідродинамічні властивості. Використання гідросепаратора дозволяє виконати розподілення насіння на групи з однаковими гідродинамічними властивостями і відділити проросле насіння в окрему групу. За результатами

лабораторних досліджень схожість пророслого насіння капусти склала 100 %, томату 100%, перцю 98%, що перевищило показники сухого методу посіву відповідно капусти на 12,3 %, томату на 16,7 %, перцю на 19,2 %. В результаті замочування сухого насіння овочевих культур відбувається збільшення об'єму в межах 1,45...1,96, що враховано при виборі розміру бака. Порозність шару практично не залежить від часу замочування насіння і знаходиться в межах  $\varepsilon = 0,39...0,41$ .

2. За результатами дослідження процесу формування псевдозрідженого шару в збірній камері встановлено максимальне та мінімальне значення концентрації насіння. Максимальне значення концентрації насіння не повинно перевищувати  $k_{\text{нmax}} = 0,65 \text{ 1/мл}$  – це забезпечить забір насіння без закупорювань його на вході до насіннєпроводу. Мінімально допустиме значення концентрації насіння при якому ще відбувається процес заряджання насінини до насіннєпроводу становить  $k_{\text{нmax}} = 0,21/\text{мл}$ .

Використання регулятора витрати циркуляційного насоса дозволяє забезпечити підтримання заданого значення концентрації насіння не залежно від рівня заповнення ним бака.

3. При роботі гідравлічного клапану на частоті близько 9 Гц спостерігаються явища, які викликають коливання рідини та насіння в насіннєпроводі, що пов'язано з циклічністю роботи. Це призводить до збільшення інтервалів між насінинами та зменшує вірогідність висіву двійників, що являється позитивним ефектом. Працездатність клапана підтримується в діапазоні тиску наддуву  $P_{\text{над}}$  0,005 до 0,04 МПа, за тривалості імпульсу  $\tau_{\text{имп}}$  від 20 до 70 мс, при цьому циклова витрата рідини  $q_{\text{ц}}$ , становитиме відповідно 0,05....0,4 мл/цикл.

Дослідженнями пневматичного клапана встановлено стабільну його роботу при докритичному перепадові тиску  $\Delta P$  (для повітря  $\Delta P < 2 \text{ атм}$ ). Відсутність «завалів» характеристики при тривалості імпульсів у межах 15...35 мс свідчить про задовільну роботу пневмоклапана з тривалістю циклу

20 мс, тобто з частотою до 50 Гц. Це дає підстави вважати швидкодію клапана достатньою.

4. Процес розподілення насіння в насіннєпроводі гідропневматичного апарата точного висіву носить імовірний характер. Для забезпечення точного (координатного) висіву ГПАТВ обладнано засобами дозування розміщеними на виході з насіннєпроводу, здатними поштучно контролювати подачу насіння.

5. В результаті проведення багатофакторного експерименту по визначенню впливу конструктивно-технологічних параметрів на точність висіву  $\tau_{\epsilon}$  ГПАТВ встановлено раціональні значення конструктивних та технологічних параметрів: частота висівів  $f_{\epsilon}=4,8$  Гц, тиск наддуву  $P_{\text{над}}=0,348$  МПа, концентрація насіння  $k_n=0,45$  л/мл.

За результатами польових дослідженнями на посіві томату «Астероїд», коефіцієнт варіації розподілення насіння в рядку склав 15,2 %, а розподілення рослин в рядку – 23,6%, що менше в порівнянні з базовою сівалкою Клен-1,8 при посів на 6,9% , по сходам на 10,6%. Використання висіву пророслого насіння підвищило польову схожість насіння на 12,4 % в порівнянні з сухим методом посіву та прискорило появу сходів 9...11 днів .

## РОЗДІЛ 5

### ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ГІДРОПНЕПНЕВМАТИЧНОГО АПАРАТУ ТОЧНОГО ВИСІВУ

За результатами попередньо проведених польових досліджень [109, 110] польова схожість пророслого насіння склала 93 % на посівах томату, що на 12,4 % перевищило показники посівів сухим методом. Енергія проростання в середньому зросла в 1,3 рази.

Враховуючи експлуатаційно-технологічні показники отримані в результаті лабораторних та польових досліджень гідропневматичного висівного апарату визначимо економічну ефективність [111, 112, 113, 114] від впровадження висівного апарату на вирощуванні томатів.

Запропонований висівний апарат являється технологічно новим в своєму класі, тому виконаємо економічні розрахунки в два етапи. На першому етапі визначимо витрати на виготовлення гідропневматичної сівалки точного висіву на базі ГПАТВ, а на другому етапі проведемо порівняльні розрахунки експериментальної гідропневматичної сівалки точного висіву ГПСТВ та базової сівалки Клен-1,8 [115].



Рис. 5.1. Посів томату «Астероїд» посівною секцією сівалки ГПСТВ та Клен

### 5.1 Розрахунок витрат на виготовлення секції гідропневматичної сівалки точного висіву

Вартість виготовлення секції ГПСТВ визначалася за наступною формулою [116, 117]:

$$Z_{\text{в}} = Z_{\text{кд}} + Z_{\text{од}} + Z_{\text{ст}} + Z_{\text{н}} + Z_{\text{вс}}, \text{ грн}, \quad (5.1)$$

де  $Z_{\text{кд}}$  – витрати на виготовлення корпусних деталей, грн;

$Z_{\text{од}}$  – витрати на виготовлення оригінальних деталей, грн;

$Z_{\text{ст}}$  – витрати на стандартні деталі, грн приймаємо згідно додатку К;

$Z_{\text{вс}}$  – витрати на заробітну платню на складанні та налагодженні секції ГПСТВ, грн;

$Z_{\text{н}}$  – загальновиробничі накладні витрати, грн.

Витрати на виготовлення корпусних деталей:

$$Z_{\text{кд}} = Z_{\text{ко}} + B_{\text{км}}, \text{ грн}, \quad (5.2)$$

де:  $B_{\text{км}}$  – вартість матеріалу витраченого на виготовлення корпусних деталей, грн приймаємо згідно додатку К;

$Z_{\text{ко}}$  – витрати на заробітну платню працівникам задіяним в виготовленні корпусних деталей, грн;

Витрати на заробітну платню при виготовленні корпусних деталей визначимо за формулою:

$$Z_{\text{ко}} = Z_{\text{к}} + Z_{\text{нод}}, \text{ грн}, \quad (5.4)$$

де  $Z_{\text{к}}$  – заробітна платня працівників задіяних на виготовленні корпусних деталей, грн;  $Z_{\text{нод}}$  – нарахування на фонд оплати праці, грн.

Заробітна платня працівників задіяних на виготовленні корпусних деталей:

$$Z_{\text{к}} = \frac{Z_{\text{с}}}{T_{\text{к}}} \cdot n_{\text{к}} = \frac{62,5}{0,125} \cdot 1 = 500 \text{ грн}, \quad (5.5)$$

де  $T_k$  –трудоємність виготовлення корпусних деталей, люд.-год приймаємо згідно додатку К;

$Z_c$  – годинна ставка робітників, грн/год приймаємо згідно додатку К;

$n_k$  – кількість робітників задіяних на виготовленні корпусних деталей, чол., приймаємо згідно додатку К.

Нарахування на фонд оплати праці включає єдиний соціальний внесок, приймаємо згідно [118] 22%:

$$Z_{pod} = 0,22 \cdot Z_k = 0,22 \cdot 500 = 110 \text{ грн}; \quad (5.7)$$

$$Z_{ko} = 500 + 110 = 610 \text{ грн};$$

$$Z_{kd} = 610 + 932,47 = 1542,47 \text{ грн}.$$

Витрати на виготовлення оригінальних деталей:

$$Z_{od} = Z_{eo} + B_{om}, \text{ грн}, \quad (5.8)$$

де:  $Z_{eo}$  – витрати на заробітну платню працівникам задіяним в виготовленні оригінальних деталей, грн приймаємо згідно додатку К;

$B_{om}$  – вартість матеріалу витраченого на виготовлення оригінальних деталей, грн приймаємо згідно додатку К;

Витрати на заробітну платню при виготовленні оригінальних деталей визначимо за формулою:

$$Z_{eo} = Z_{oz} + Z_{pod}, \text{ грн}, \quad (5.9)$$

де  $Z_{oz}$  – заробітна платня працівників задіяних на виготовленні оригінальних деталей, грн;

Заробітна платня працівників задіяних на виготовленні оригінальних деталей:

$$Z_{oz} = \frac{Z_c}{T_{od}} \cdot n_{od} = \frac{62,5}{0,12} \cdot 2 = 1041,66 \text{ грн}, \quad (5.10)$$

де  $T_{od}$  –трудоємність виготовлення оригінальних деталей, люд.-год приймаємо згідно додатку К;

$Z_c$  – годинна ставка робітників, грн/год приймаємо згідно додатку К;

$n_{od}$  – кількість робітників задіяних на виготовленні оригінальних деталей, чол., приймаємо згідно додатку К.

$$Z_{nod} = 0,22 \cdot 520,83 = 229,16 \text{ грн};$$

$$Z_{eo} = 1041,66 + 229,16 = 1270,16 \text{ грн};$$

$$Z_{od} = 1270,16 + 2845,61 = 4115,77 \text{ грн.}$$

Визначимо витрати на заробітну платню працівників зайнятих на складанні та налагодженні секції ГПСТВ:

$$Z_{ec} = Z_{oc} + Z_{nod}, \text{ грн}, \quad (5.11)$$

де  $Z_{oc}$  – заробітна платня працівників зайнятих на складанні та налагодженні секції ГПСТВ, грн;  $Z_{nod}$  - нарахування податків на заробітну платню.

Заробітну платню працівників задіяних на складанні та налагодженні секції ГПСТВ визначимо за формулою:

$$Z_{oc} = \frac{Z_c}{T_c} \cdot n_c = \frac{62,5}{0,14} \cdot 1 = 446,42 \text{ грн}, \quad (5.12)$$

де  $T_c$  – трудомісткість складання та налагодження секції ГПСТВ, люд.-год, приймаємо згідно додатку К;

$n_c$  – кількість робітників задіяних на складанні та налагодженню секції ГПСТВ, чол., приймаємо згідно додатку К.

$$Z_{nod} = 0,22 \cdot 446,42 = 98,21 \text{ грн},$$

$$Z_{ec} = 446,42 + 98,21 = 544,63 \text{ грн},$$

Загальновиробничі накладні витрати на виготовлення секції ГПСТВ:

$$Z_n = \frac{Z_{np} \cdot K_g}{100}, \text{ грн}, \quad (5.13)$$

де  $K_g$  – відсоток загальновиробничих витрат, % приймаємо згідно додатку К.

$Z_{np}$  – заробітна платня робітників задіяних в виготовленні секції гідропневматичної сівалки точного висіву, грн:

$$Z_{np} = Z_{ko} + Z_{eo} + Z_{ec} = 610 + 1270,16 + 544,63 = 2424,8 \text{ грн}; \quad (5.14)$$

$$Z_n = \frac{24248 \cdot 14}{100} = 339,47 \text{ грн.}$$

Скориставшись рівнянням (5.1) визначимо вартість виготовлення однієї секції гідропневматичної сівалки точного висіву:

$$Z_e = 1542,47 + 4115,77 + 4870,18 + 339,47 + 544,63 = 11412,52 \text{ грн.}$$

З урахуванням націнки на продаж остаточною вартість однієї посівної секції збільшиться на 54 % і становитиме 17574,5 грн, а разом з несівною частиною (остовом) сівалки складе 24244 грн.

## 5.2 Економічна ефективність від використання гідропневматичної сівалки точного висіву

Визначення економічного ефекту від розробленої конструкції гідропневматичного апарату точного висіву визначимо за порівнянням процесу посіву секцією овочевої сівалки Клен-1,8 та розробленої гідропневматичної сівалки точного висіву ГПСТВ на посіві томатів «Астероїд». Для цього виконаємо розрахунки з використанням серійної (базової) та експериментальної сівалок. Вихідні дані для розрахунків наведемо в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані базового і експериментального варіантів

| Показники                               | Варіант             |                   |
|-----------------------------------------|---------------------|-------------------|
|                                         | Базовий             | Експериментальний |
| 1                                       | 2                   | 3                 |
| Склад машино-тракторного агрегату       | МТЗ-80+<br>Клен-1,8 | МТЗ-80+<br>ГПСТВ  |
| Площа посівів, га                       | 1,2                 | 1,2               |
| Балансова вартість посівної секції, грн | 22099               | 17574             |
| Кількість посівних секцій               | 1                   | 1                 |

Продовження таблиці 5.1

| 1                                                   | 2                      | 3                      |
|-----------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Вартість несівної системи сівалки, грн              | 6670                   | 6670                   |
| Вартість сівалки, грн                               | 28769                  | 24244                  |
| Швидкість руху сівалки, км/год                      | 4,4                    | 4,4                    |
| Коефіцієнт використання змінного часу               | 0,75                   | 0,75                   |
| Схема висіву томату                                 | стрічкова<br>120+50X30 | стрічкова<br>120+50X30 |
| Середнє значення робочої ширини захвату агрегату, м | 0,85                   | 0,85                   |
| Середня кількість рослин, тис/га                    | 38                     | 38                     |
| Витрати на паливно-мастильні матеріали, кг/га       | 5,68                   | 5,68                   |
| Вартість пального, грн/кг                           | 28,5                   | 28,5                   |
| Тарифна ставка, грн/год                             | 54,25                  | 54,25                  |
| Річний виробіток сівалки, га                        | 20                     | 20                     |
| Кількість працівників, що обслуговують машину, люд  | 1                      | 1                      |
| Врожайність культури, ц/га                          | 558                    | 624                    |
| Вартість продукції, грн/ц                           | 275                    | 275                    |
| Собівартість продукції, грн/ц                       | 38                     | 45                     |

Розрахунок доцільно починати з визначення продуктивності посівних машин та вартості матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів тобто вартості базових і експериментальних експлуатаційних витрат [119-122].

Експлуатаційні витрати значно залежать від рівня механізації виробничих процесів. Крім загальної суми річних експлуатаційних витрат по кожній операції, розраховуються також їх величина на одиницю виробленої продукції.

Годинна продуктивність машино-тракторного агрегату на посіві томатів:

$$W_{\text{год}} = 0,1 \cdot B_c \cdot V_c \cdot K_{\text{зм}}, \text{ га/год}, \quad (5.15)$$

де  $B_c$  – робоча ширина захвату агрегату, м приймаємо згідно табл.5.1;

$V_c$  – робоча швидкість руху агрегату, км/год приймаємо згідно табл.5.1;

$K_{\text{зм}}$  - коефіцієнт використання робочого часу зміни, приймаємо 0,75.

$$W_{\text{годБ}} = 0,1 \cdot 0,85 \cdot 4,4 \cdot 0,75 = 0,28 \text{ га/год};$$

$$W_{\text{годЕ}} = 0,1 \cdot 0,85 \cdot 4,4 \cdot 0,75 = 0,28 \text{ га/год}.$$

Річне завантаження сівалки:

$$t_p = \frac{W_p}{W_{\text{год}}}, \text{ год}, \quad (5.16)$$

де  $W_p$  – річний виробіток сівалки, га приймаємо згідно табл.5.1.

$$t_{\text{пБ}} = \frac{20}{0,28} = 71,3 \text{ год},$$

$$t_{\text{пЕ}} = \frac{20}{0,28} = 71,3 \text{ год}.$$

Експлуатаційні витрати на одиницю площі:

$$B_{\text{екс}} = B_{\text{оп}} + A + T_p + B_{\text{рес}} + B_{\text{ін}}, \text{ грн/га}, \quad (5.17)$$

де  $B_{\text{оп}}$  – витрати оплати праці на сівбі, грн/га;

$A$  – амортизаційні відрахування, грн/га;

$T_p$  – відрахування на поточний ремонт і техогляди сівалки, грн/га;

$B_{\text{рес}}$  – вартість спожитих на протязі року енергоресурсів, грн/га;

$B_{\text{ін}}$  – інші витрати (вартість миючих засобів, спецодягу і т.д.), грн/га.

Витрати оплати праці на сівбі:

$$B_{\text{оп}} = Z_{\text{мп}} + Z_{\text{под}}, \text{ грн/га}, \quad (5.18)$$

де  $Z_{\text{мп}}$  – фонд оплати праці оператора машино-тракторного агрегату, грн/га.

Фонд оплати праці розрахуємо за наступною формулою:

$$З_{mp} = \frac{H_{mp} \cdot C_{mp}}{W_{год}}, \text{ грн/га} \quad (5.19)$$

де  $H_{mp}$  - кількість людей, які обслуговують машино-тракторний агрегат, чол. згідно табл. 5.1;

$C_{mp}$  - годинна ставка робітників задіяних на посіві, грн/год згідно табл. 5.1.

$$З_{mpБ} = \frac{1 \cdot 54,25}{0,28} = 193,4 \text{ грн/га};$$

$$З_{mpЕ} = \frac{1 \cdot 54,25}{0,28} = 193,4 \text{ грн/га.}$$

Визначимо нарахування на фонд оплати праці, в обох варіантах

$$З_{нод} = 0,22 \cdot З_{mp}, \text{ грн/га}, \quad (5.20)$$

$$З_{нодБ} = 0,22 \cdot 193,4 = 42,55 \text{ грн/га};$$

$$З_{нодЕ} = 0,22 \cdot 193,4 = 42,55 \text{ грн/га.}$$

Тоді

$$B_{онБ} = 193,4 + 42,55 = 235,95 \text{ грн/га};$$

$$B_{онЕ} = 193,4 + 42,55 = 235,95 \text{ грн/га.}$$

Амортизаційні відрахування:

$$A = \frac{B_c \cdot a_c}{100 \cdot W_{год} \cdot t_p}, \text{ грн/га}, \quad (5.21)$$

де:  $B_c$  - балансова вартість технічного засобу, грн згідно табл. 5.1 .;

$a_c$  - річна норма амортизації на технічний засіб, % для посівних машин приймаємо 15 %.

$$A_B = \frac{28769 \cdot 15}{100 \cdot 0,28 \cdot 71,3} = 215,77 \text{ грн/га};$$

$$A_E = \frac{24244 \cdot 15}{100 \cdot 0,28 \cdot 71,3} = 181,83 \text{ грн/га.}$$

Відрахування на поточний ремонт і техогляди технічного засобу:

$$T_p = \frac{B_c \cdot b_c}{100 \cdot W_{\text{зод}} \cdot t_p}, \text{ грн/га}, \quad (5.22)$$

де:  $b_c$  - річна норма відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування, % приймаємо  $b_c = 10 \%$ .

$$T_{pB} = \frac{28769 \cdot 10}{100 \cdot 0,28 \cdot 71,3} = 143,85 \text{ грн/га};$$

$$T_{pE} = \frac{24244 \cdot 10}{100 \cdot 0,28 \cdot 71,3} = 121,22 \text{ грн/га}.$$

Вартість, спожитих на протязі року, енергоресурсів складається з витрат на паливно мастильні матеріали:

$$B_{\text{pec}} = B_{\text{ПММ}} \cdot C_{\text{ПММ}} \cdot K_M \quad (5.23)$$

де  $B_{\text{ПММ}}$  - річні витрати на пальне, кг/га згідно табл. 5.1;

$C_{\text{ПММ}}$  - ціна 1 кг комплексного палива, грн приймаємо 28,5 грн/кг;

$K_M$  - коефіцієнт відрахувань на мастильні матеріали, на посіві приймаємо  $K_M = 1,1$ .

$$B_{\text{pecB}} = 5,68 \cdot 28,5 \cdot 1,1 = 178,07 \text{ грн/га};$$

$$B_{\text{pecE}} = 5,68 \cdot 28,5 \cdot 1,1 = 178,07 \text{ грн/га}.$$

Вартість інших витрат, які складають 5% від загальної суми експлуатаційних витрат:

$$B_{\text{in}} = \frac{B_{\text{on}} + A + T + B_{\text{pec}}}{100} \cdot 5, \text{ грн/га}, \quad (5.24)$$

базовий:

$$B_{\text{inB}} = \frac{235,95 + 215,77 + 143,85 + 178,07}{100} \cdot 5 = 38,68 \text{ грн/га};$$

експериментальний:

$$B_{\text{inE}} = \frac{235,95 + 181,83 + 121,22 + 178,07}{100} \cdot 5 = 35,85 \text{ грн/га}.$$

Провівши розрахунки складових рівняння (5.17) визначимо річні експлуатаційні витрати:

базовий:

$$B_{ексБ} = 235,95 + 215,77 + 143,85 + 178,07 + 38,68 = 812,32 \text{ грн/га}$$

експериментальний:

$$B_{ексЕ} = 235,95 + 181,83 + 121,22 + 178,07 + 35,85 = 752,93 \text{ грн/га}$$

При не змінному обсязі виконання роботи річний економічний ефект від зменшення експлуатаційних витрат запропонованої сівалки можна визначити, як різницю між річними витратами на експлуатацію базового та експериментального варіантів:

$$E_{EP} = B_{ексБ} - B_{ексЕ}, \text{ грн}, \quad (5.25)$$

$$E_{EP} = 812,32 - 752,93 = 59,39 \text{ грн/га}$$

За результатами польових досліджень на посіві томатів сорту «Астероїд» встановлено, що при посіві запропонованою сівалкою ГПСТВ приріст врожайності склав 66 ц/га, що складає 11,82 % від врожайності при посіві серійною (базовою) сівалкою.

Загальний економічний ефект з урахуванням приросту врожайності від реалізації гідравлічного посіву томату визначимо за формулою:

$$E_{зР} = (E_{EP} + E_{Br}), \text{ грн/га}, \quad (5.26)$$

де  $E_{Br}$  – прибуток від приросту врожайності, грн/га;

$$E_{Br} = (B_{KE} \cdot (Ц_n - C_{соб.нЕ}) - (B_{KB} \cdot (Ц_n - C_{соб.нБ}))), \text{ грн/га} \quad (5.27)$$

де  $B_{KE}, B_{KB}$  – врожайність культури відповідно при посіві експериментальною та базовою сівалками ц/га, згідно табл. 5.1;

$Ц_n$  – вартість продукції, грн/ц згідно табл. 5.1;

$C_{соб.н}$  – собівартість продукції, грн/ц.

$$E_{Br} = (624 \cdot (275 - 45) - (558 \cdot (275 - 38))) = 11274 \text{ грн/га},$$

$$E_{зР} = (59,39 + 11274) = 11333,39 \text{ грн/га}.$$

Таблиця 5.2 – Техніко-економічні показники ефективності використання експериментальної сівалки ГПСТВ на посівах томату «Астероїд»

| Показник                                                                              | Варіанти |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------|
|                                                                                       | Базовий  | Експериментальний |
| 1                                                                                     | 2        | 3                 |
| Площа посіву, га                                                                      | 1,2      | 1,2               |
| Продуктивність агрегату, га/год                                                       | 0,28     | 0,28              |
| Річне завантаження сівалки, год                                                       | 71,3     | 71,3              |
| Експлуатаційні витрати на одиницю площі, грн/га                                       | 812,32   | 752,93            |
| У тому числі:                                                                         |          |                   |
| заробітна плата з нарахуваннями, грн/га                                               | 235,95   | 235,95            |
| амортизаційні відрахування, грн/га                                                    | 215,77   | 181,83            |
| відрахування на поточний ремонт і техогляди технічного засобу, грн/га                 | 143,85   | 121,22            |
| вартість спожитих на протязі року енергоресурсів, грн/га                              | 178,07   | 178,07            |
| інші витрати, грн/га                                                                  | 38,68    | 35,85             |
| Економічний ефект від зменшення експлуатаційних витрат запропонованої сівалки, грн/га | 59,39    |                   |
| Загальний економічний ефект з урахуванням приросту врожайності, грн/га                | 11333,39 |                   |

### 5.3 Висновки по розділу

1. Зростання собівартості продукції в експериментальному варіанті на 18 % пов'язано з додатковою підготовчою операцією по замочуванню насіння перед посівом.

2. В цілому проведені техніко-економічні дослідження підтверджують ефективність висіву пророслого насіння за допомогою запропонованого гідропневматичного висівного апарата точного висіву. Як результат зростання схожості насіння до 93% та приріст врожаю томатів на 66 ц/га. Загальний економічний ефект склав 11333,39 грн/га на посівах томату «Астероїд».

.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено наукове завдання реалізації висіву пророслого насіння в задані точки на полі за допомогою розробленого гідропневматичного апарата точного висіву, що дозволило підвищити ефективність точного землеробства.

За результатами проведеної роботи сформульовано наступні висновки:

1. Для повноцінної реалізації точного землеробства необхідні посівні машини здатні реалізувати висів насіння в задані точки на полі згідно складеної координатної сітки. Аналіз наявної посівної техніки вказує на відсутність засобів сівби рослин за координатним принципом. Розроблена конструкція гідропневматичного апарата точного висіву дозволить підвищити ефективність точного землеробства за рахунок персоніфікованого адресного підходу та інтенсифікації початку вегетації (проростання) культивованих рослин.

2. За результатами теоретичних досліджень процесу формування псевдозрідженого шару з насіння діаметром 1...5 мм в забірній камері висівного апарату, встановлено значення швидкості висхідного потоку 0,02...0,2 м/с для підтримання насіння в зваженому стані, відповідно переріз забірної камери в верхній частині повинен становити 331 мм<sup>2</sup> в нижній частині 67 мм<sup>2</sup>. Висота існування псевдозрідженого шару знаходиться в межах 56...68 мм, за ширини забірної камери 15...18 мм та кута між сторонами забірної камери 15°...20°.

Розроблено фізико-математичну модель процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері, яка дозволяє встановлювати кінематичні параметри руху насінин (вектори переміщення, швидкості і прискорення). В результаті чисельного моделювання процесу формування псевдозрідженого шару в забірній камері з використанням програмного пакета STAR-CCM+ встановлено залежність висоти розміщення насіннєпроводу  $h$  від кута між її поверхнями  $\alpha$  і початкової швидкості рідини  $v_0$ . Враховуючи

попередньо визначені та прийняті конструктивно-технологічні параметри забірної камери розміщення насіннєпроводу здійснюється на висоті 0,022...0,036 м.

Чисельне моделювання технологічного процесу заряджання насінини в насіннєпровід з використанням програмного пакета STAR-CCM+ дозволило отримати значення мінімально допустимої початкової швидкості потоку рідини через гідроклапан  $v_t$  (0,42...1,45 м/с), що гарантує надійне заряджання насіння до насіннєпроводу гідопневматичного апарата точного висіву.

Встановлено діапазони варіювання основних конструктивно-технологічних факторів, що впливають на точність висіву насіння: кута між поверхнями забірної камери  $\alpha=10...20^\circ$ , швидкості на вході забірної камери  $v_o=0,4...0,6$  м/с, ширини забірної камери  $B_{II}$  в зоні розміщення насіннєпровода  $B_{II}=0,010...0,025$  м, тиску наддуву  $P_{над}=0,027...0,033$ , частоти висівів  $f_s=2...10$  Гц

3. За результатами дослідження гідродинамічних властивостей насіння овочевих культур (парусність, вологість) встановлено, їх вплив на схожість насіння, енергію проростання та зміну об'єму. Так лабораторна схожість пророслого насіння капусти становить 100 %  $\pm 1$ , томату 100%  $\pm 1$ , перцю 98%  $\pm 2$ , що перевищило показники сухого методу посіву капусти на 12,3 %, томату 16,7 %, перцю на 19,2 %. Встановлено, що в результаті замочування сухого насіння овочевих культур відбувається збільшення об'єму в 1,45...1,96 разів, що враховано при виборі розміру бака. Порозність шару практично не залежить від набухання насіння і становить 0,39...0,41.

4. За результатами дослідження процесу формування псевдозрідженого шару в збірній камері встановлено, що для забезпечення надійної роботи висівного апарата концентрація насіння повинна становити 0,21...0,65 л/мл, що забезпечить надійну подачу насіння до насіннєпроводу без закупорювання та простоїв висівного апарата. Використання регулятора витрати циркуляційного насоса дозволяє забезпечити підтримання заданого значення концентрації насіння не залежно від рівня заповнення ним бака.

5. За результатами багатофакторного експерименту та вирішення компромісної задачі встановлено максимальну точність висіву на рівні 95,3 % за умови зменшення кількості двійників і пропусків насіння під час висіву ГПАТВ. При цьому конструктивно-технологічні параметри повинні мати наступні значення: частота висівів  $f_s = 4,8$  Гц, тиск наддуву  $P_{\text{над}} = 0,348$  МПа, концентрація насіння  $k_n = 0,45$  л/мл.

6. За результатами польових дослідженнями на посіві томату «Астероїд», коефіцієнт варіації розподілення насіння в рядку склав 15,2 %, а розподілення рослин в рядку – 23,6%, що менше в порівнянні з базовою сівалкою Клен-1,8 при посів на 6,9% , по сходам на 10,6%. Використання висіву пророслого насіння підвищило польову схожість насіння на 12,4 % в порівнянні з сухим методом посіву та прискорило появу сходів 9...11 днів . Як результат зростання схожості насіння до 93% та приріст врожаю томатів на 66 ц/га, що підтверджує гіпотезу впливу висіву пророслого насіння на інтенсифікацію початку вегетації та послідує зростання врожайності овочевих культур. Економічний ефект від використання сівалки з розробленим ГПАТВ на посіві томату «Астероїд» на дослідному полі Дніпропетровської дослідної станції інституту овочівництва і баштанництва НААН України склав 11,3 тис.грн/га.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Надикто В.Т., Улексін В.О. Колійна та мостова системи землеробства: монографія. Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок «ММД». 2008. 270 с.
2. Бойко В.Б. Теоретичні дослідження процесу формування псевдозріженого шару в гідро-пневматичному висівному апараті. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Всеукр. наук.-техн. журнал ВНАУ. Вінниця. 2015. Вип. 3. С. 10-16
3. Бойко В.Б. Дослідження процесу заряджання насінини в насіннепровід координатного гідропневматичного висівного апарата. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник КНТУ. Кіровоград. 2015. № 45 (1). С. 291-297.
4. Бойко В.Б. Експериментальне визначення рівномірності висіву насіння гідросівалкою. Технічні науки: Збірник наукових праць ВНАУ. Вінниця. 2012. Вип. 11. Т.1 (65). С. 89-94.
5. Спосіб координатного гідропневматичного висіву насіння та пристрій для його реалізації: пат. 90998 Україна: МПК А01С7/04. № а 200601288; заявл. 09.02.2006; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12
6. Спосіб координатного гідропневматичного висіву насіння та пристрій для його реалізації: пат. 99860 Україна: МПК А01С7/04. № а 201014565; заявл. 06.12.2010; опубл. 10.10.2012, Бюл. № 19.
7. Улексін В.О., Бойко В.Б. Циркуляційний насос для гідропневматичного висівного апарата. Промислова гідравліка і пневматика. Всеукраїнський науково-технічний журнал. Вінниця. 2012. Вип. 3 (37). С. 91-94.
8. Бойко В.Б., Улексін В.О. Дозатор для однонасінневого висіву у гідропневматичному висівному апараті. Механізація та електрифікація сільського господарства. Загальнодержавний збірник ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха. 2013. Вип. 98. Т.1. С. 442-446.

9. Бойко В.Б., Улексин В.А. Гидропневматический высевальный аппарат для координатного земледелия. Интеграция науки и производства – стратегия устойчивого развития АПК России. Материалы Международной научно-практической конференции ВГАУ. Волгоград. 2013. Том 2. С. 105-108.

10. Бойко В.Б. Процесс утворення пульпи в координатному гідропневматичному висівному апараті. Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ. Харків. 2014. Вип. 148. С. 48-55.

11. Улексін В.О., Бойко В.Б. Обґрунтування параметрів дозатора для гідропневматичного висівного апарата. Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ. Харків. 2015. Вип. 156. С. 52-60.

12. Бойко В.Б., Алієв Е.Б. Теоретичні дослідження руху рідини в ємності гідропневматичного висівного апарата. Інженерія природокористування. Харків. 2015. № 2 (4). С.78-84.

13. Сергеев А.П., Улексин В.А., Бойко В.Б. Алгоритм функционирования гидропневматического высевального аппарата с дозатором. Стратегические ориентиры инновационного развития АПК. Материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград. 2016. С.165 – 172

14. Бойко В.Б., Улексін В.О., Сергеев О.П., Сич С.В. Пневмосистема гідропневматичного висівного апарата. Землеробська механіка. Вісник ДДАЕУ. Дніпро. 2016. №2. С. 37-41.

15. Бойко В. Б. Дослідження точності висіву насіння овочевих культур координатним гідро-пневматичним висівним апаратом. Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ. Харків. 2018. Вип. 190. С. 45-52.

16. Pastukhov V., Boiko V., Tesliuk H., Ulexin V., Kyrychenko R. Study of seed agitation in the fluid of a hydropneumatic precision seeder. European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol 5, No 1 (107). P 36-43. doi:/10.15587/1729-4061.2020.212517

17. Pastukhov V., Mogilnay O., Bakum M., Melnyk O., Grabar I., Kyrychenko R., Krekot M., Tesliuk H., Boiko V., Sysenko I. Energy-efficient and ecologically

friendly technology for growing potatoes under straw mulch. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. Vol 10, (1). P 317-324. doi: 10.15421/2020\_50

18. Ралдугін М. Сівалки для українських ланів. *Техніка АПК*. 2006. № 4. С. 22-23.

19. Сисолін П.В., М.О. Свірень. Висівні апарати сівалок. Кіровоград. 2004. 160 с.

20. Решетило О.М. Обґрунтування параметрів пневматичного апарата внутрішнього заповнення для точного висіву насіння зернових колосових культур: дис. канд. тех. наук: 05.05.11/ Луцький держ. тех. ун-т. Луцьк, 2005. 186 с.

21. Чичкин В.П. Овощные сеялки и комбинированные агрегаты: теория, конструкция и расчет. Кишинев. 1984. 393 с.

22. Бузенков Г.М., Ма С.А. Машины для посева сельскохозяйственных культур. М.: «Машиностроение». 1976. 272 с.

23. *Tillett and Hague Past Projects. Autonomous Crop Treatment Vehicle (1993-1996): веб-сайт. URL: <http://www.thtechnology.co.uk>. (дата звернення: 15.01.2010).*

24. *Unkrautbekämpfung: веб-сайт. URL: <https://www.mdr.de/wissen/unkraut-roboter-statt-gift-100.html> (дата звернення: 12.06.2012).*

25. *Tillett and Hague Past Projects. Robocrop Vision Guidance. : веб-сайт. URL: <http://www.thtechnology.co.uk/> (дата звернення: 13.01.2015).*

26. Шведик М.С. Методика оцінки рівномірності координатно-однозернового посіву. Наукові нотатки. Луцьк. 1993. С. 108-114.

27. Тарасенко В. Вирощування овочів стрічково-координатним способом. *Овощеводство: украинский журнал для профессионалов*. 2018. № 10. С. 54-57.

28. Улексин В.А. Перспективы применения мостового земледелия. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. Дніпропетровськ, 2002. №1. С. 27-29.

29. Улексин В.А. Мостовое земледелие: монография. Днепропетровск: «Пороги». 2008. 224с..

30. Петров Г.Д., Хвостов В.А. Мостовое земледелие: фантазии и реальность. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1985. № 4. С. 7-10.

31. *Как выращивать растения и не утаптывать почву: веб-сайт. URL: <https://www.metodolog.ru/01324/01324.html> (дата звернення: 07.02.2018).*

32. Chamen W.C.T., Dowler D., Leede P.R., Longstaff D.J. Design, operation and performance of a gantry system: experience in arable cropping. Journal of Agricultural Engineering Research. 1994, P. 45-60.

33. *Agrokruh: веб-сайт. URL: <http://agrokruh.sk> (дата звернення: 1.05.2016).*

34. Ходовий апарат агромоста: пат. 48511А України: МПК А01В3/74. № а 2001096386; заявл. 18.09.2001; опубл. 15.08.2002, Бюл. № 8

35. Улексін В.О. Концепція опорно-ходового апарата для агромоста. Вісник Львівського національного аграрного університету. Львів. 2008. № 12(2). С. 456-464.

36. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д., та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини. За ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.

37. *Сеялки точного высева СТВ-8К: веб-сайт. URL: <https://belagro.ua/catalog/selskohozjajstvennaja-tehnika/posev/sivalki-prosapni/73135> (дата звернення: 17.09.2011).*

38. Пневмо-імпульсний висівний апарат: пат. 48270 України МПК А01С7/16. № 99063187; заявл. 09.06.1999; опубл. 15.08.2002, Бюл. № 8.

39. *Сівалка СВТВ 4-8 ДНІПРЯНКА: веб-сайт. URL: <http://www.ast-dnepr.com.ua/ru/catalogue/sejalka%20na%20traktore/> (дата звернення: 3.04.2017).*

40. Спосіб координатного посіву сільськогосподарських культур: пат. 115418 Україна: МПК А01С7/00, А01С 7/18. № у 201612059; заявл. 28.11.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7.

41. Tarasenko V. Sowing Units for Drilling Vegetable Crops. Modern Development Paths of Agricultural Production: Trends and Innovations. 2019. Part I. P.289-298

42. Сівалка координатного посіву: пат. 116566 Україна: МПК А01С 7/04 , А01С 7/18. № u 201612617; заявл. 12.12.16; опубл. 25.05.17, Бюл. № 10.

43. Бах А.Н., Бухарин Н.И., Вильямс В.Р. Техническая энциклопедия. Том 20. – М.: ОГИЗ РСФСР. 1933. С. 690-722.

44. Гвинтовий висівний апарат точного висіву насіння: пат. 14591 Україна: МПК А01С 7/04. №200511644; заявл. 07.12.2005; опубл. 15.05.2006. Бюл. № 5.

45. А. с. №1660602 СССР, МПК А01 С 7/04. Устройство для высева пророщенных семян/ Г. Ю. Буржалов, М.Л. Бухман, Н.С. Евдокимов. №4725604/15; заявл. 27.07.89 опубл. 07.07.91, Бюл. № 25.

46. Дейнека С.М. Висів пророщеного насіння овочевих культур за допомогою гідросівалки. Технічні науки та технології. 2018. № 1 (11). С. 280-286

47. Гідравлічний висівний апарат: пат. 13999 Україна: МПК А01 С7/00. № 93111494; заявл. 03.05.1993; опубл. 28.02.2000. Бюл. № 1

48. Полевицкий К.А. Сельскохозяйственные машины и орудия. М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы. 1960. 647 с

49. Демин В., Чернухин В. Сеялка кукурузы. Техника молодежи. 1955. №5. С. 6-7.

50. Улексін В.О., Бойко В.Б. Сівалка для мостового землеробства. Механізація та автоматизація виробничих процесів. Вісник СНАУ. Суми. 2006. Вип. 9(15). С. 154-158.

51. Улексін В.О. Обґрунтування параметрів висівного апарата для мостового землеробства. Механізація та автоматизація виробничих процесів. Вісник СНАУ. Суми. 2006. Вип. 9(15). С. 78-85.

52. Барабаш О.Ю. Овочівництво. К.: Вища Школа. 1994. 374 с.

53. Грекова Н.В., Лазарева О.М., Любович О.А., Онопрієнко Д.М., Шемавньов В.І. Овочівництво відкритого ґрунту. Дніпропетровськ: ДДАУ. 2010. 470 с.
54. Царенко О.М., Войтюк Д.Г., Швайко В.М. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. К.: Мета. 2003. 243 с.
55. Гельперин Н.И., Айнштейн В.Т., Кваша В.Б. Основы техники псевдоожижения. М.: Химия. 1967. 664 с.
56. Аэров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. М.: Химия. 1976. 510 с.
57. Верхотуров М.В. Гравитационные методы обогащения. М.: МАКС Пресс. 2006. 352 с.
58. Биркгоф Г. Гидродинамика: методы, факты, подобие. М.: Изд. иностр. Литературы. 1963. 244 с.
59. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. – М.: Энергоатомиздат, 1991. 351 с.
60. Лященко П.В. Гравитационные методы обогащения. М.-Л.: ГНТИ нефтяной и горно-топливной литературы. 1940. 360 с.
61. Беляев Н.М. Термодинамика переменного количества газа. – Днепропетровск.: ДГУ. 1981. 110 с.
62. Пржиалковский А.Л., Щучинский С.Х. Электромагнитные клапаны. Л.: Машиностроение. 1967. 245 с.
63. Эдельман А.И. Редукторы давления газа. М.: Машиностроение. 1981. 167 с.
64. Дідур В.А., Савченко О.Д., Пастушенко С.І., Мовчан С.І. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. Запоріжжя: Прем'єр. 2005. 464 с
65. Улексін В.О., Бойко В.Б., Брижа М.Р. Дослідження гідропневматичного висівного апарата. Геотехническая механика. Межведомственный сборник научных трудов ИГТМ. Днепропетровск. 2008. Вып.75. С.228-232

66. Авраменко М.И. О  $k$ - $\varepsilon$  модели турбулентности. VIII Забабахинские научные чтения. 2005. С. 1-21.
67. Vikram Roy, Snehamoy Majumder, Dipankar Sanyal. Analysis of the Turbulent Fluid Flow in an Axi-symmetric Sudden Expansion. International Journal of Engineering Science and Technology. 2010. №2 (6). P. 1569-1574.
68. Хмельник С.И. Уравнения Навье-Стокса. Существование и метод поиска глобального решения. Израиль. 2010. 106 с.
69. Белов И.А. Моделирование турбулентных течений: Учебное пособие Балт. гос. техн. ун-та. СПб. 2001. 108 с.
70. Chen N.H. An Explicit Equation for Friction factor in Pipe. Ind. Eng. Chem. Fundam. 1979. Vol.18, No. 3. P. 296-297.
71. Kubicki D. Slurry transport in a pipeline – Comparison of CFD and DEM models. Ninth International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries. CSIRO, Melbourne, Australia. 2012. P. 1-6.
72. Sang Won Han. Study on the Particle Removal Efficiency of Multi Inner Stage Cyclone by CFD Simulation. World Academy of Science, Engineering and Technology. Vol. 6. 2012. P. 411-415.
73. Satish G., Kumar A., Prasad V., Sk.M. Pasha. Comparison of flow analysis of a sudden and gradual change of pipe diameter using fluent software. IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology. Vol. 2. 2013. P. 41-45.
74. Khalid M. Saqr, Hossam S. Aly, Mazlan A. Wahid, Mohsin M. Sies. Numerical Simulation of Confined Vortex Flow Using a Modified  $k$ - $\varepsilon$  Turbulence Model. CFD Letters. 2009. Vol. 1(2). P. 87-94.
75. Wallin S. Engineering turbulence modeling for CFD with a focus on explicit algebraic Reynolds stress models. Norstedts truckeri, Stockholm, Sweden. 2000. 124 p.
76. Manabu I. Basic Transport Phenomena in Materials Engineering. Springer . 2014. 260 p.

77. Буй В.Т. Анализ параметров обтекания профиля в рабочей части аэродинамической трубы малых скоростей. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2013. №4. С. 109-119.

78. Koronaki E.D., Liakos H.H., Founti M.A., Markatos N.C. Numerical study of turbulent diesel flow in a pipe with sudden expansion. Applied Mathematical Modelling. 2001. №25. P. 319-333.

79 Gumerov A., Duraiswami R. Modeling of particle motion in viscous swirl flow between two porous cylinders. Proceedings of FEDSM'98 1998 ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting. 1998. Washington. P. 1-8.

80. Jamnani Dinesh. Modelling and Simulation of a Single Particle in Laminar Flow Regime of a Newtonian Liquid. Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference 2009 Bangalore. P. 1-9.

81. Kanehl Ph. Particle model of the Magnus effect. Bachelor Thesis. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald. 2010. 35 p.

82. Гамзаев Х. М. Моделирование движения одиночной частицы в восходящем потоке вязкопластической жидкости. Матем. моделирование. 2007. Т 19. № 3. С. 87-93.

83. Zhang S. Simulation of solid–fluid mixture flow using moving particle methods. Journal of Computational Physics. 2009. № 228. P. 2552-2565.

84. Вороненко Б. А. К вопросу об описании гидромеханического процесса осаждения твердых частиц в жидкой бреде. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2013. №4.

85. Komiwes V., Mege P., Meimon Y., Herrmann H. Simulation of granular flow in a fluid applied to sedimentation. Granular Matter. 2006. № 8 (1). P. 41-54.

86. Johnson K. Contact Mechanics. Cambridge University Press. 1987. 434 p.

87. Di Renzo. Comparison of contact-force models for the simulation of collisions in DEM-based granular flow codes. Chemical Engineering Science. 2004. № 59 (1). P. 525-541.

88. Broas P. Advantages and problems of CAVE-visualisation for design purposes. Trans. VTT Symposium "Virtual prototyping". Espoo, Finland. 2001. P. 73–81.
89. Bai C. Modelling of spray impingement processes. Ph.D Thesis. University of London. 1996
90. Cundall P., Strack O. A discrete numerical model for granular assemblies. 1979. Geotechnique, 29. P. 47-65.
91. Басин В.С., Брей В.В., Погорелый Л.В. Машины для точного посева пропашных культур: конструирование и расчёт. – К.: Техніка. 1987. 151 с.
92. Регулятор давления газа рдсг 1-1,2 для баллона редуктор газовый: веб-сайт. URL: <http://gaz-voda.com.ua/products/regulator-gaza-rdsg-1-12-ballon> (дата звернення: 17.11.2015).
93. Счетчики СБ-1М/100 : веб-сайт. URL: <https://serkov.su/blog/?p=4815> (дата звернення: 24.03.2020).
94. Установка для разделения на фракции сыпучих материалов типа семян зерновых и других сельскохозяйственных культур: веб-сайт. URL: <https://findpatent.ru/patent/205/2053026.html> (дата звернення: 14.10.2020).
95. В.Б. Бойко. Дослідна установка гідросепаратора для вивчення гідродинамічних властивостей насіння овочевих культур. Техніка і енергетика АПК. Науковий вісник НУБіП України. Київ. 2010. Вип. 144, ч. 2. С.192-199.
96. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 3. Харків: Око. 2006. 408 с.
96. ДСТУ 2240-93. Насіння сільськогосподарських культур. Технічні умови. [Чинний від 1994-01-07]. Київ, 1994. 73 с. (Інформація та документація).
97. Надикто В.Т. Основи наукових досліджень. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС. 2019. 268 с.
98. ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 2004-01-01] Київ, 2003. 173 с. (Інформація та документація).

99. Нечаєв В.П. Теорія планування експерименту. К.: Кондор. 2005. 232 с.
100. Яковлев К.П. Математическая обработка результатов. М.-Л.: Гос. изд. тех.-теор. лит. 1950. – 388 с.
101. Магда Ю.С. Микроконтроллеры PIC: архитектура и программирование. М.: ДМК. 2009. 240 с.
102. Пилипчук М.І. Основи наукових досліджень. К.: Знання. 2007. 270 с.
103. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат. 1985. 351 с.
104. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение. 1981. 184 с.
105. Ящерицин П.И., Махаринский Е.И. Планирование эксперимента в машиностроении. Минск: Вышэйшая школа. 1985. 286 с.
106. Боровиков В.П. Программа STATISTICA для студентов и инженеров. М.: Компьютерный Пресс. 2001. 301 с.
107. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука. 1976. 280 с.
108. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин. К.: УНК ВО. 1992. 319 с.
109. СОУ 74.3-37-129:2004 Випробування сільськогосподарської техніки. Машини посівні. Методи випробувань. Київ, 2006. (Стандарт Мінагрополітики України)
110. ДСТУ ISO 7256-1:2005. Обладнання для сівби. Методи випробування. Частина 1. Сівалки одно-насіннєві (сівалки точного висіву (ISO 7256-1:1984, IDT). [Чинний від 2007-07-01]. Київ, 2007. 19 с. (Інформація та документація).
111. Мазнєв Г.Є., Турченко М.М., Щетнін М.Д. Економічне обґрунтування інженерних рішень в сфері АПК. Харків: ХДТУСГ. 2001. 401 с.

112. Методика определения экономической эффективности новых модернизированных сельскохозяйственных машин, изобретений и рацпредложений. М.: Машиностроение. 1985. 52 с.

113. ДСТУ 4397:2005. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. [Чинний від 2002-12-28]. Київ, 2005. 23 с. (Інформація та документація).

114. Дьяков А.М., Миненко А.В., Стрикунов Н.И. Технические и экономические аспекты оценки эффективности инвестиций в машины и оборудование в сельском хозяйстве. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. №8 (130). 2015. С. 129-134.

115. *Сеялка овощная Клен-1,8: веб-сайт. URL: <https://seyalka-ovoshhnaya-klen.html>* (дата звернення: 04.12.2016).

116. Аврамчук О.А. та ін. Оплата праці в сільськогосподарському виробництві. К.: Центр “Агропромпраця”. 2000. 464 с.

117. Нормативно-справочный материал для экономической оценки сельскохозяйственной техники (Приложение к ГОСТ 23728-23730. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки). – М.: ЦНИИТЭИ. 1984. 329 с.

118 *Офіційно про податки: веб-сайт. URL: <http://www.visnuk.com.ua/ua/pubs/id/9731>* (дата звернення: 27.12.2020).

119. Мазнєв Г.Є. та ін. Проектування технологій та розрахунок витрат на вирощування сільськогосподарських культур. Харків: Міськдрук. 2009. 257 с.

120. Власов Н.С. Методика экономической оценки сельскохозяйственной техники. М.: Колос, 1979. – 399 с.

121. Методика определения экономической эффективности применения в сельском хозяйстве результатов НИР и ОКР, новой техники, изобретений и рацпредложений. М.: Колос, 1978. 32 с.

122. Косачёв, Г.Г. Экономическая оценка сельскохозяйственной техники. М.: Колос, 1978. 240 с.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Улексін В.О., Бойко В.Б. Сівалка для мостового землеробства. Механізація та автоматизація виробничих процесів. Вісник СНАУ. Суми. 2006. Вип. 9(15). С. 154-158. *(Здобувачем проведено аналіз висівних апаратів та запропоновано схему гідравлічної сівалки для координатного точного землеробства).*
2. Улексін В.О., Бойко В.Б., Брижа М.Р. Дослідження гідропневматичного висівного апарата. Геотехническая механика. Межведомственный сборник научных трудов ИГТМ. Днепропетровск. 2008. Вып.75. С.228-232 *(Здобувачем проведено дослідження основних елементів гідропневматичного апарата точного висіву).*
3. В.Б. Бойко. Дослідна установка гідросепаратора для вивчення гідродинамічних властивостей насіння овочевих культур. Техніка і енергетика АПК. Науковий вісник НУБіП України. Київ. 2010. Вип. 144, ч. 2. С.192-199. *(Здобувачем розроблено гідросепаратор для вивчення гідродинамічних властивостей насіння).*
4. Улексін В.О., Бойко В.Б. Циркуляційний насос для гідропневматичного висівного апарата. Промислова гідравліка і пневматика. Всеукраїнський науково-технічний журнал. Вінниця. 2012. Вип. 3 (37). С. 91-94. *(Здобувачем наведено результати конструювання та дослідження циркуляційного насоса для гідропневматичного висівного апарата)*
5. Бойко В.Б., Улексін В.О. Дозатор для однонасінневого висіву у гідропневматичному висівному апараті. Механізація та електрифікація сільського господарства. Загальнодержавний збірник ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха. 2013. Вип. 98. Т.1. С. 442-446. *(Здобувачем запропоновано*

*конструктивну схему дозатора насіння для реалізації однонасінного точного висіву ГПАТВ)*

6. Бойко В.Б., Алієв Е.Б. Теоретичні дослідження руху рідини в ємності гідропневматичного висівного апарата. Інженерія природокористування. Харків. 2015. № 2 (4). С.78-84. *(Здобувачем за допомогою програмного пакету STAR-CCM+ отримано фізико-математичну модель руху рідини в порожнинах ГПАТВ)*

7. Бойко В.Б. Теоретичні дослідження процесу формування псевдозрідженого шару в гідро-пневматичному висівному апараті. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Всеукр. наук.-техн. журнал ВНАУ. Вінниця. 2015. Вип. 3. С. 10-16. *(Здобувачем проведено теоретичне дослідження процесу формування псевдозрідженого шару та встановлено вплив на нього основних конструктивно-технологічних параметрів)*

8. Бойко В.Б., Улексін В.О., Сергєєв О.П., Сич С.В. Пневмосистема гідропневматичного висівного апарата. Землеробська механіка. Вісник ДДАЕУ. Дніпро. 2016. №2. С. 37-41. *(Здобувачем проведено дослідження роботи агрегатів розробленої пневмосистеми гідропневматичного висівного апарата )*

9. Pastukhov V., Boiko V., Tesliuk H., Ulexin V., Kyrychenko R. Study of seed agitation in the fluid of a hydropneumatic precision seeder. European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol 5, No 1 (107). P 36-43. DOI./10.15587/1729-4061.2020.212517. *(Здобувачем досліджено процес перемішування насіння в рідині гідропневматичної сівалки точного висіву та встановлено основні фактори, які на нього впливають)*

*Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

10. Бойко В.Б. Експериментальне визначення рівномірності висіву насіння гідросівалкою. Технічні науки: Збірник наукових праць ВНАУ. Вінниця. 2012. Вип. 11. Т.1 (65). С. 89-94. *(Здобувачем проведено дослідження рівномірності розподілення насіння по насіннєпроводу гідросівалки).*

11. Бойко В.Б. Процес утворення пульпи в координатному гідропневматичному висівному апараті. Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ. Харків. 2014. Вип. 148. С. 48-55. *(Здобувачем описано теоретичні залежності процесу формування пульпи в забірній камері ГПАТВ).*

12. Улексін В.О., Бойко В.Б. Обґрунтування параметрів дозатора для гідропневматичного висівного апарата. Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ. Харків. 2015. Вип. 156. С. 52-60. *(Здобувачем встановлено та обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри дозатора насіння для реалізації однонасінного точного висіву).*

13. Бойко В.Б. Дослідження процесу заряджання насінини в насіннепровід координатного гідропневматичного висівного апарата. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник КНТУ. Кіровоград. 2015. № 45 (1). С. 291-297. *(Використовуючи чисельне моделювання здобувачем встановлено значення мінімальної швидкості потоку на виході з гідроклапану, за якого відбувається надійне заряджання насіння до насіннепроводу).*

14. Бойко В. Б. Дослідження точності висіву насіння овочевих культур координатним гідро-пневматичним висівним апаратом. Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ. Харків. 2018. Вип. 190. С. 45-52. *(За результатами багатофакторного експерименту здобувачем встановлено бажані значення конструктивно-технологічних параметрів ГПАТВ).*

*Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації:*

15. Спосіб координатного гідропневматичного висіву насіння та пристрій для його реалізації: пат. 90998 Україна: МПК А01С7/04. № а

200601288; заявл. 09.02.2006; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12 *(Здобувачем зроблено опис особливостей способу та пристрою для його реалізації).*

16. Спосіб координатного гідропневматичного висіву насіння та пристрій для його реалізації: пат. 99860 Україна: МПК А01С7/04. № а 201014565; заявл. 06.12.2010; опубл. 10.10.2012, Бюл. № 19. *(Здобувачем зроблено опис особливостей способу та пристрою для його реалізації).*

## ДОДАТКИ

## Додаток А

### Теоретичні дослідження ГПАТВ

Таблиця – А.1

Результати розрахунку критичної швидкості розрахунку проміжного значення швидкості висхідного потоку в забірній камері

|                |        |         |         |          |          |
|----------------|--------|---------|---------|----------|----------|
| $d_{н}, м$     | 0,001  | 0,002   | 0,003   | 0,004    | 0,005    |
| $v_{кр1}, м/с$ | 0,001  | 0,003   | 0,006   | 0,009    | 0,012    |
| $v_{кр2}, м/с$ | 0,041  | 0,081   | 0,110   | 0,133    | 0,152    |
| $A_{г}$        | 1509,7 | 12077,6 | 40761,8 | 96620,5  | 188711,9 |
| $Re1$          | 0,942  | 6,119   | 16,611  | 31,966   | 51,454   |
| $Re2$          | 36,202 | 142,026 | 288,771 | 465,391  | 666,850  |
| $Ly$           | 31,429 | 237,205 | 590,753 | 1043,242 | 1571,395 |
| $\epsilon_{п}$ | 0,940  | 0,957   | 0,970   | 0,977    | 0,981    |

Для проведення розрахунку приймаємо наступні вихідні данні: середній діаметр насіння  $d_{нсп}=3$  мм, швидкість потоку на висоті  $h_1$  та  $h_2$  відповідно  $V_{h1o}=0,03$  м/с та  $V_{h2o}=0,15$  м/с, витрата рідини  $Q_p=1 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/с, ширина перерізу забірної камери  $B_n=15$ мм, кут між сторонами забірної камери  $\alpha=15^\circ$ .

Таблиця – А.2

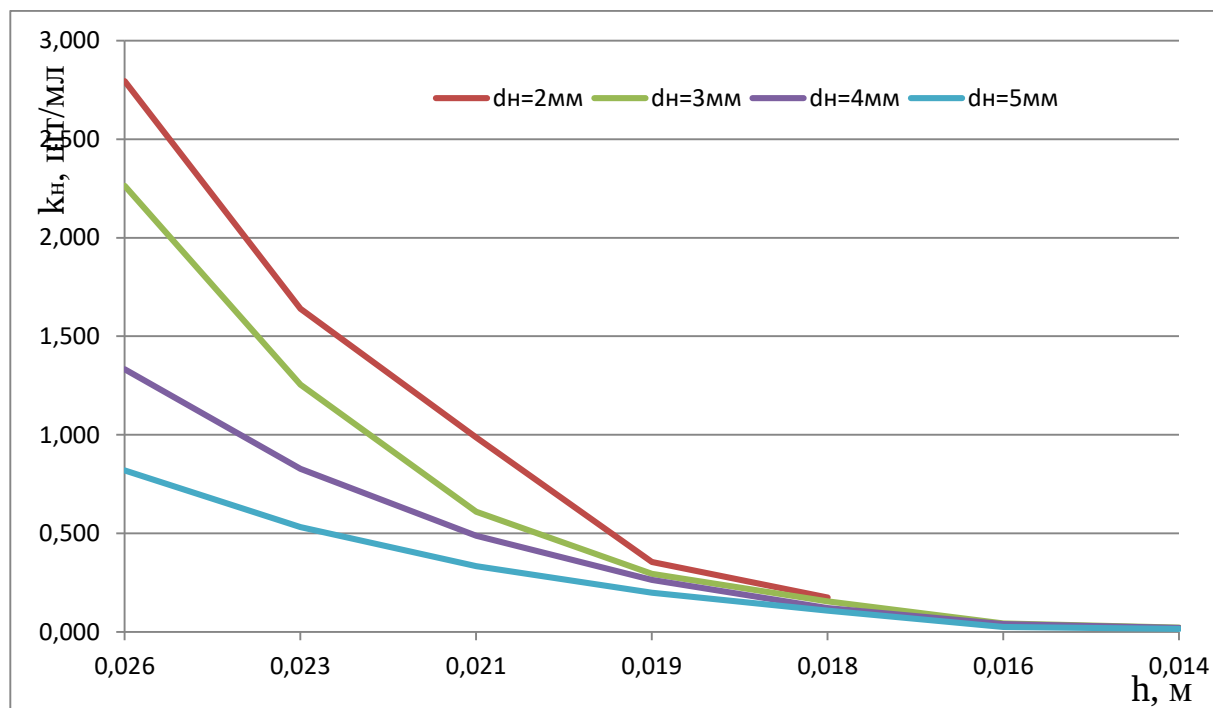
Результати розрахунку проміжного значення швидкості висхідного потоку в забірній камері

|            |        |        |            |
|------------|--------|--------|------------|
| $S_h, м^2$ | $a, м$ | $h, м$ | $v_l, м/с$ |
| 0,00007    | 0,005  | 0,01   | 0,190      |
| 0,000091   | 0,0065 | 0,015  | 0,147      |
| 0,000112   | 0,008  | 0,02   | 0,119      |
| 0,000133   | 0,0095 | 0,025  | 0,100      |
| 0,000154   | 0,011  | 0,03   | 0,087      |
| 0,000175   | 0,0125 | 0,035  | 0,076      |
| 0,000196   | 0,014  | 0,04   | 0,068      |
| 0,000217   | 0,0155 | 0,045  | 0,061      |
| 0,000238   | 0,017  | 0,05   | 0,056      |
| 0,000259   | 0,0185 | 0,055  | 0,051      |
| 0,00028    | 0,02   | 0,06   | 0,048      |
| 0,000301   | 0,0215 | 0,065  | 0,044      |
| 0,00041    | 0,023  | 0,07   | 3,22       |

Таблиця - А.3  
Результати розрахунку концентрації насіння в забірній камері висівного апарата

| h, м  | $k_n, \text{л/мл}$ |                  |                  |                  |
|-------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
|       | $d_n=2\text{мм}$   | $d_n=3\text{мм}$ | $d_n=4\text{мм}$ | $d_n=5\text{мм}$ |
| 0,070 | 78,394             | 28,611           | 13,445           | 7,372            |
| 0,053 | 42,807             | 16,574           | 7,993            | 4,450            |
| 0,042 | 24,052             | 10,079           | 5,017            | 2,844            |
| 0,035 | 13,253             | 6,228            | 3,227            | 1,868            |
| 0,030 | 6,754              | 3,816            | 2,085            | 1,240            |
| 0,026 | 2,795              | 2,263            | 1,332            | 0,819            |
| 0,023 | 1,640              | 1,255            | 0,827            | 0,532            |
| 0,021 | 0,987              | 0,609            | 0,487            | 0,334            |
| 0,019 | 0,354              | 0,295            | 0,263            | 0,198            |
| 0,018 | 0,174              | 0,154            | 0,121            | 0,107            |
| 0,016 | -                  | 0,043            | 0,039            | 0,024            |

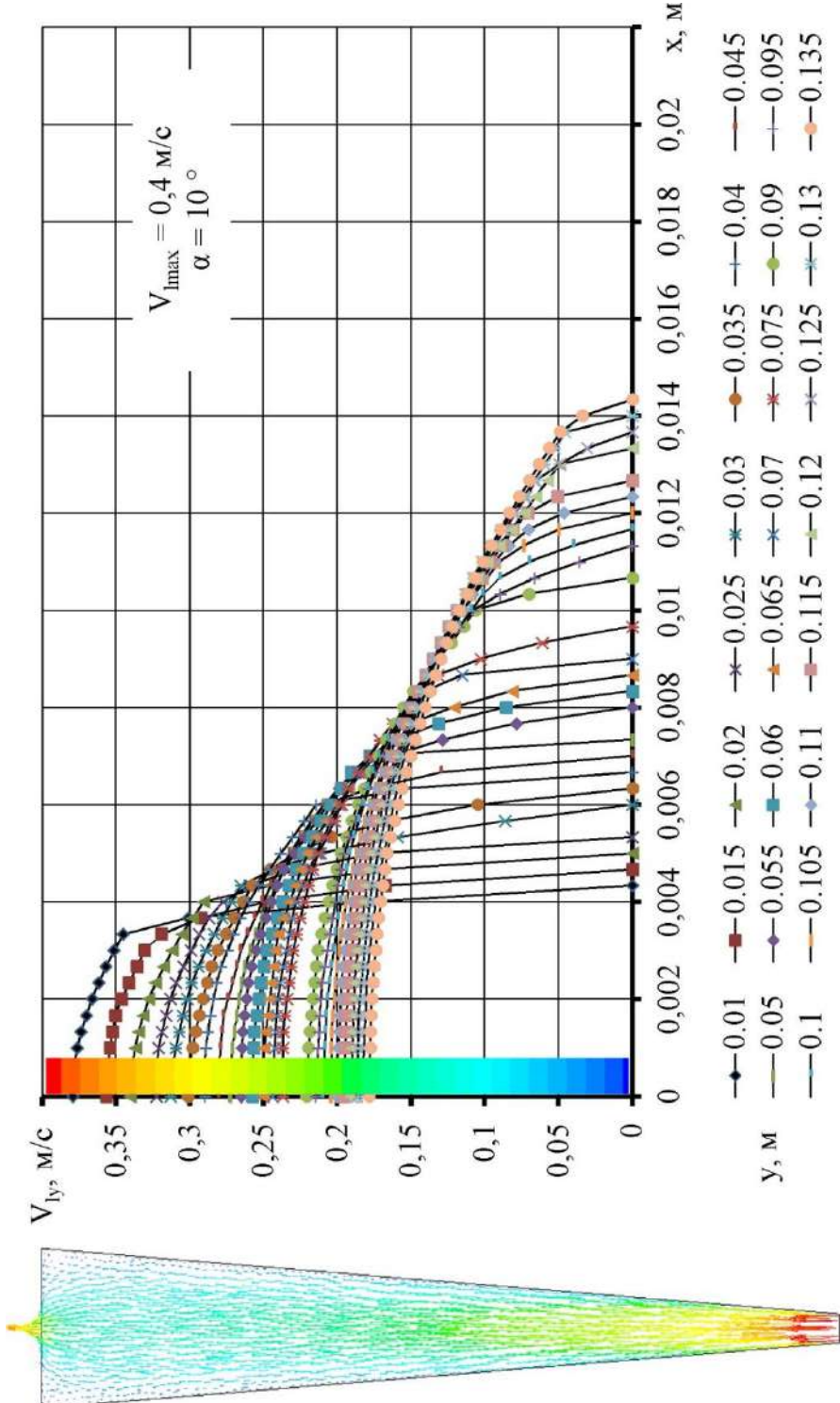
Залежність концентрації насіння від поточної висоти в забірній камері

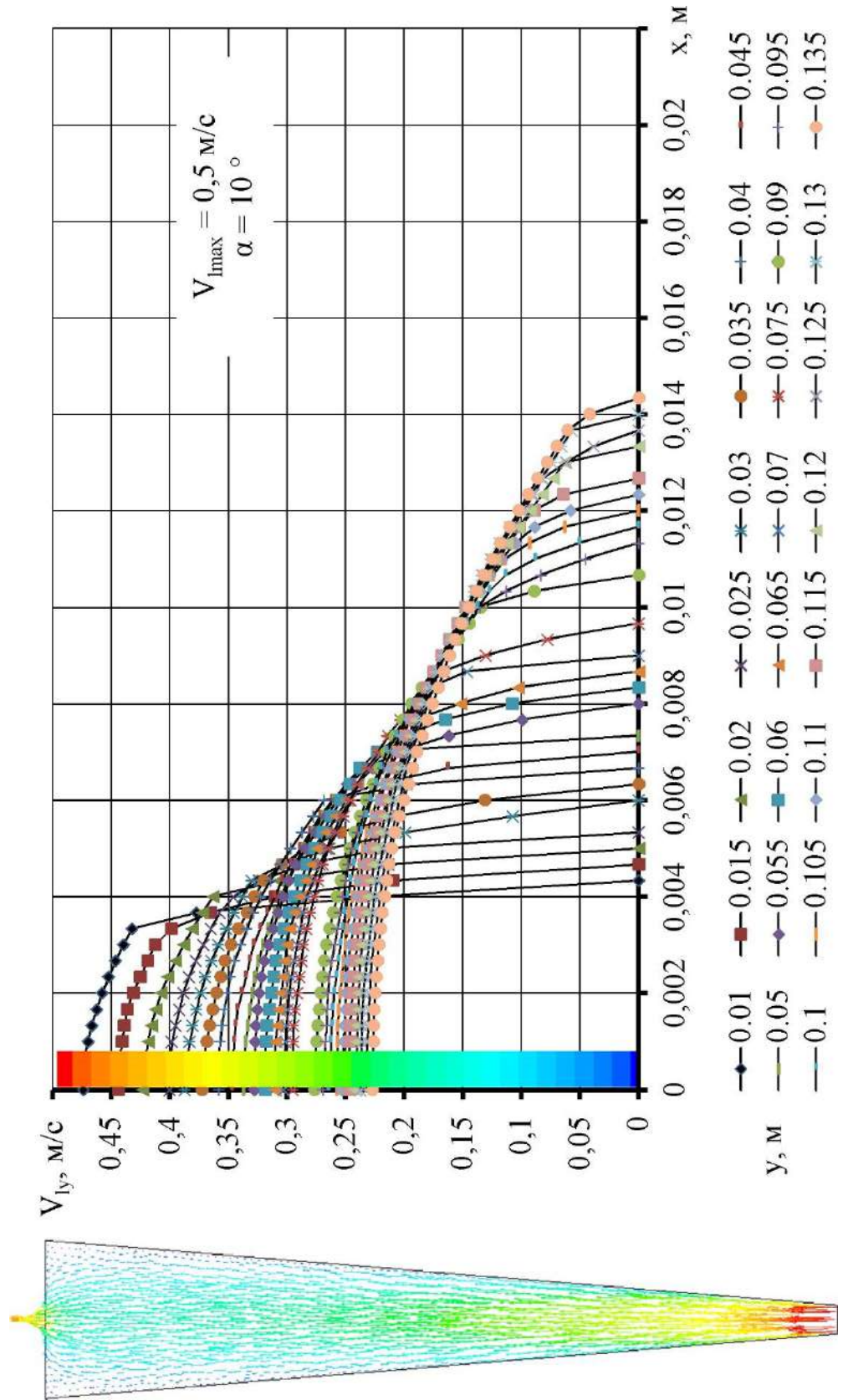


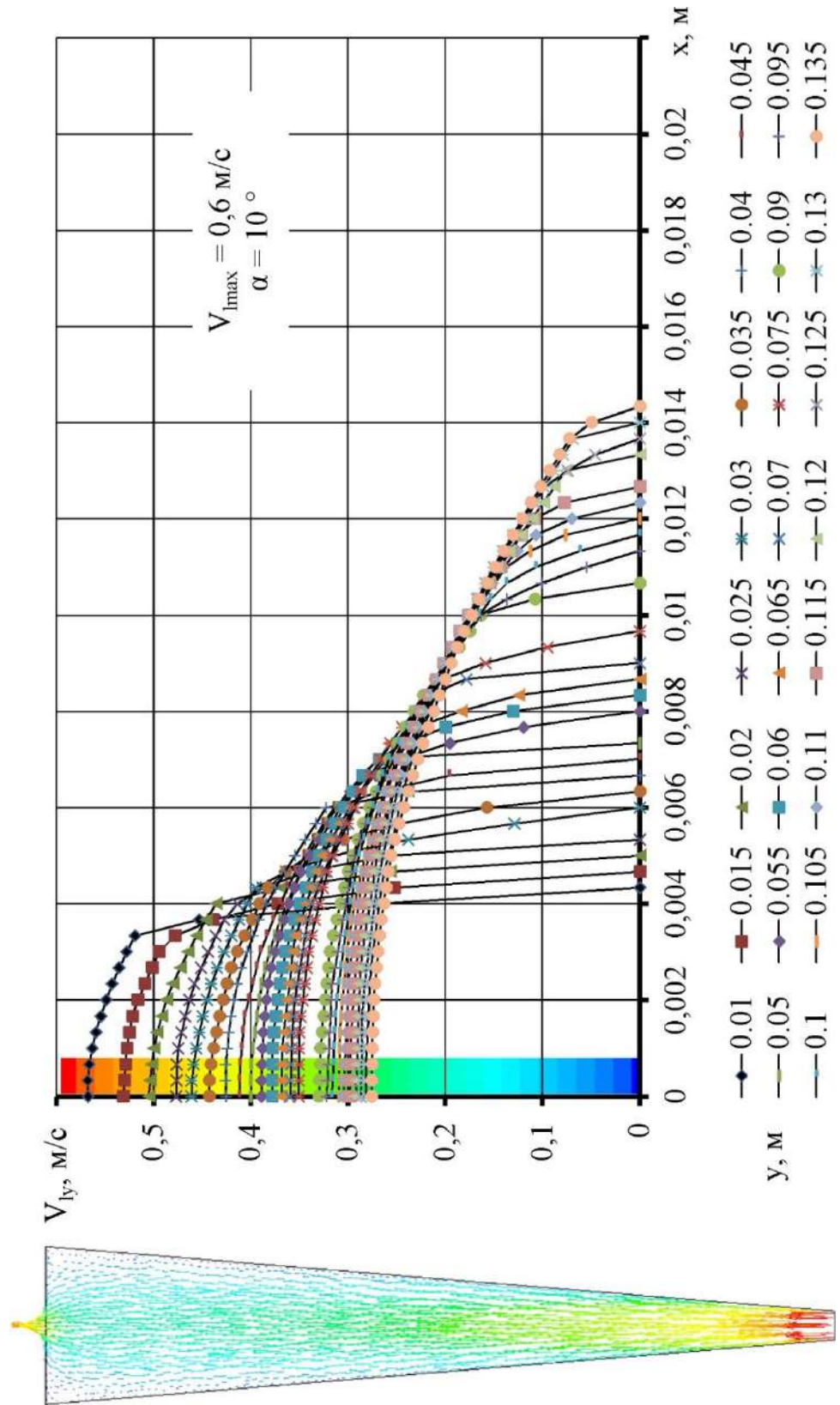
Додаток Б

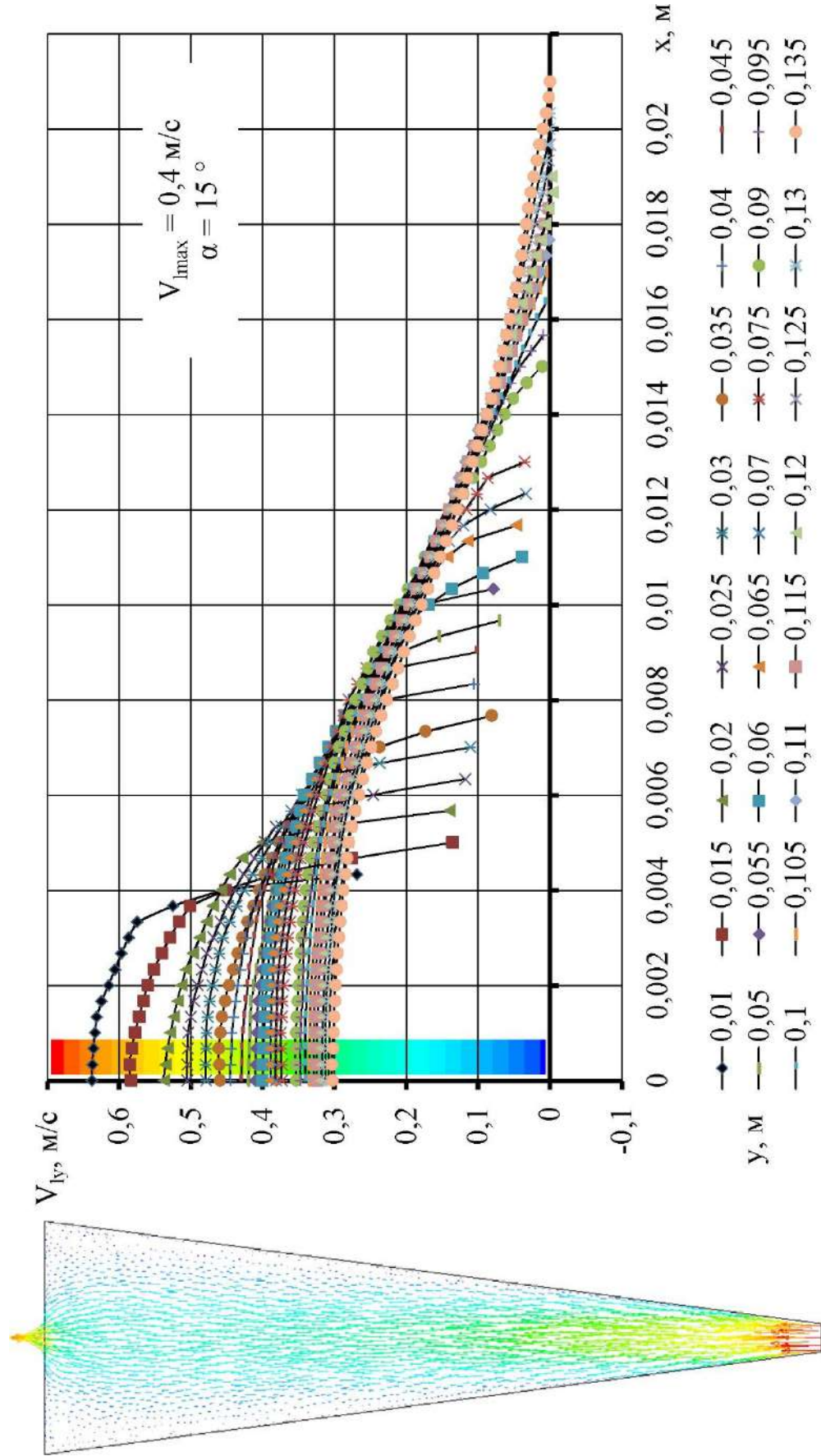
Розподіл проекції швидкостей рідини на вісь Оу в забірній камері гідропневматичного висівного апарата, отриманий в результаті чисельного моделювання в програмному пакеті STAR-CCM+

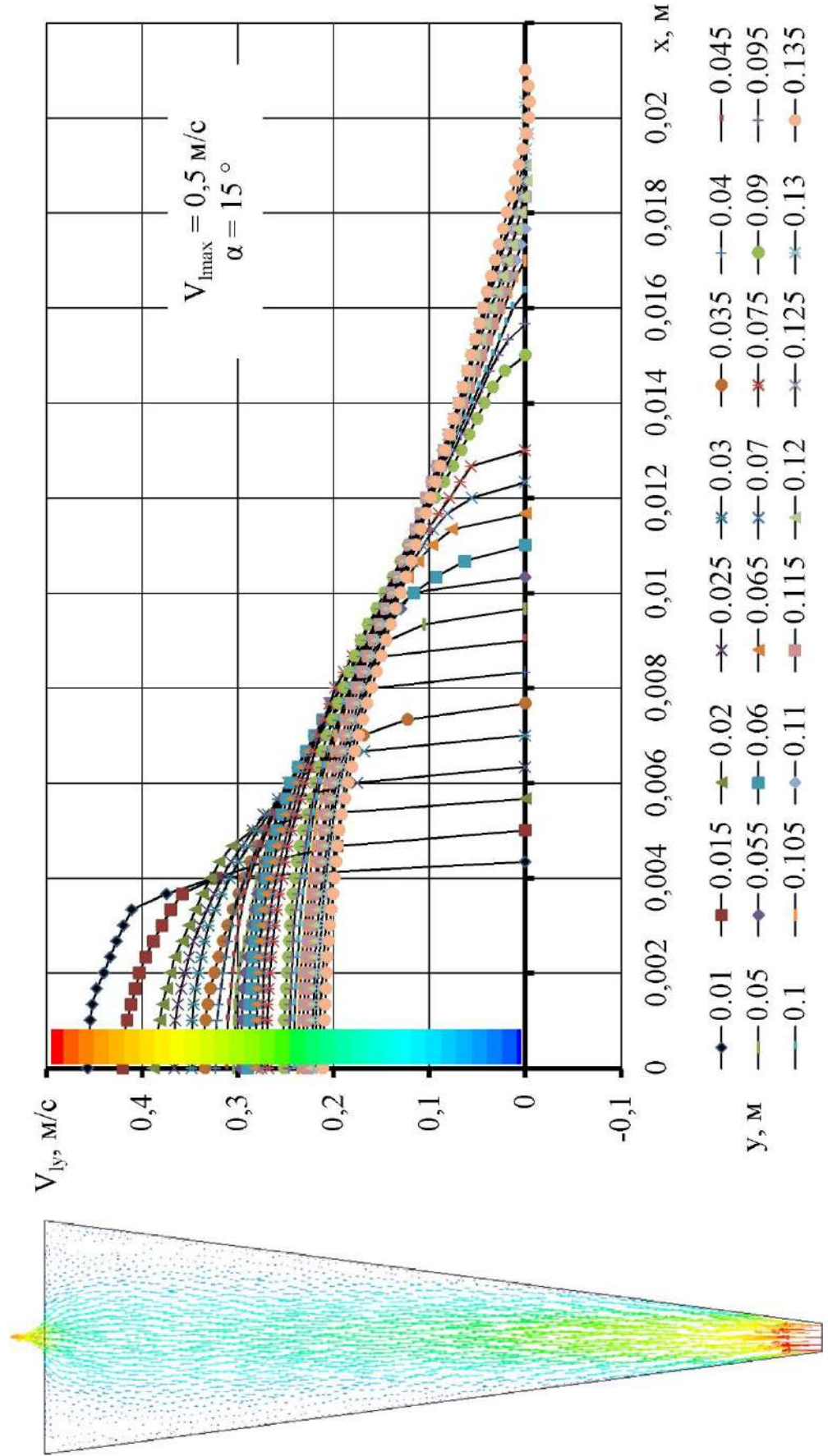
STAR-CCM+

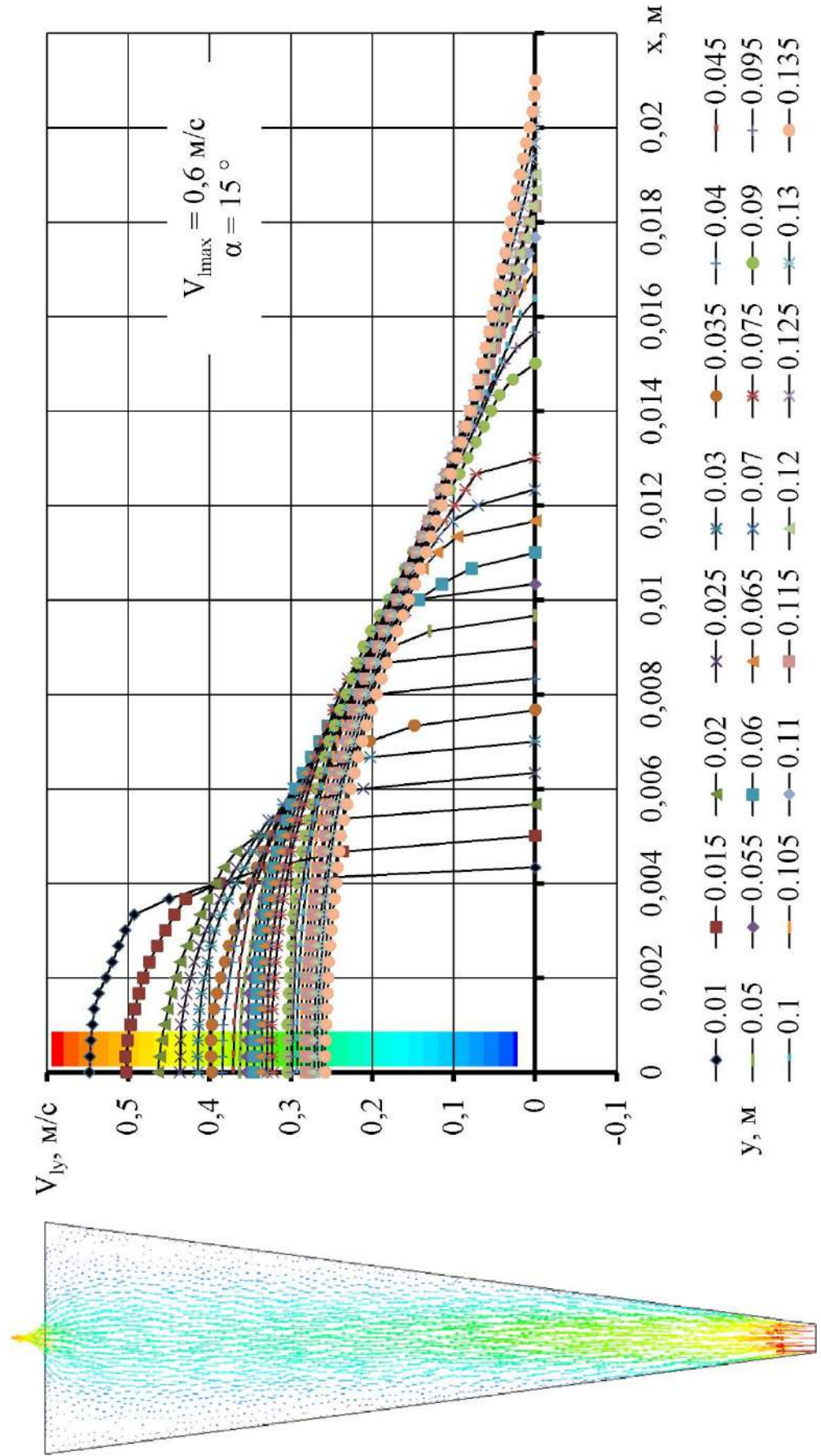


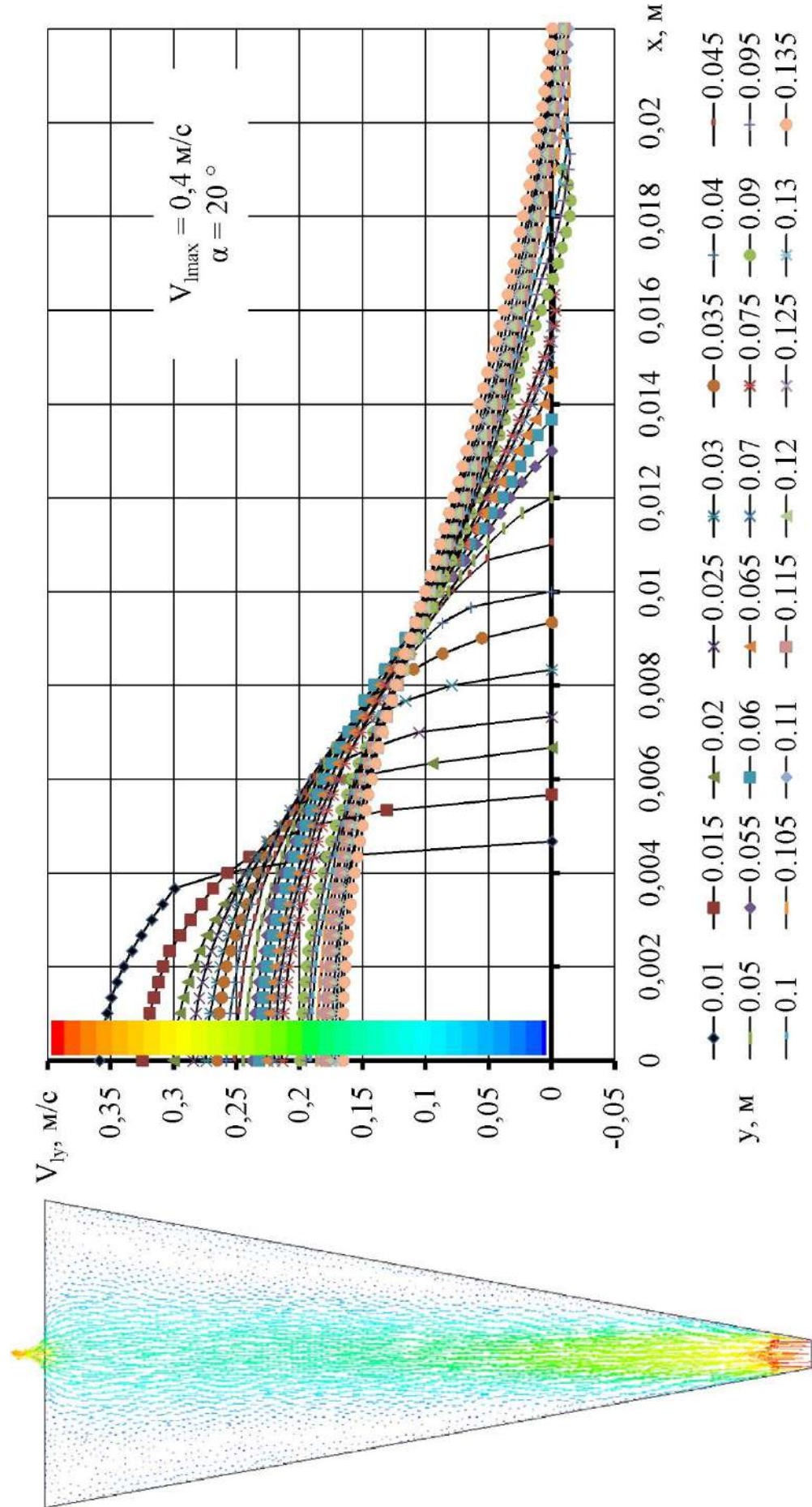


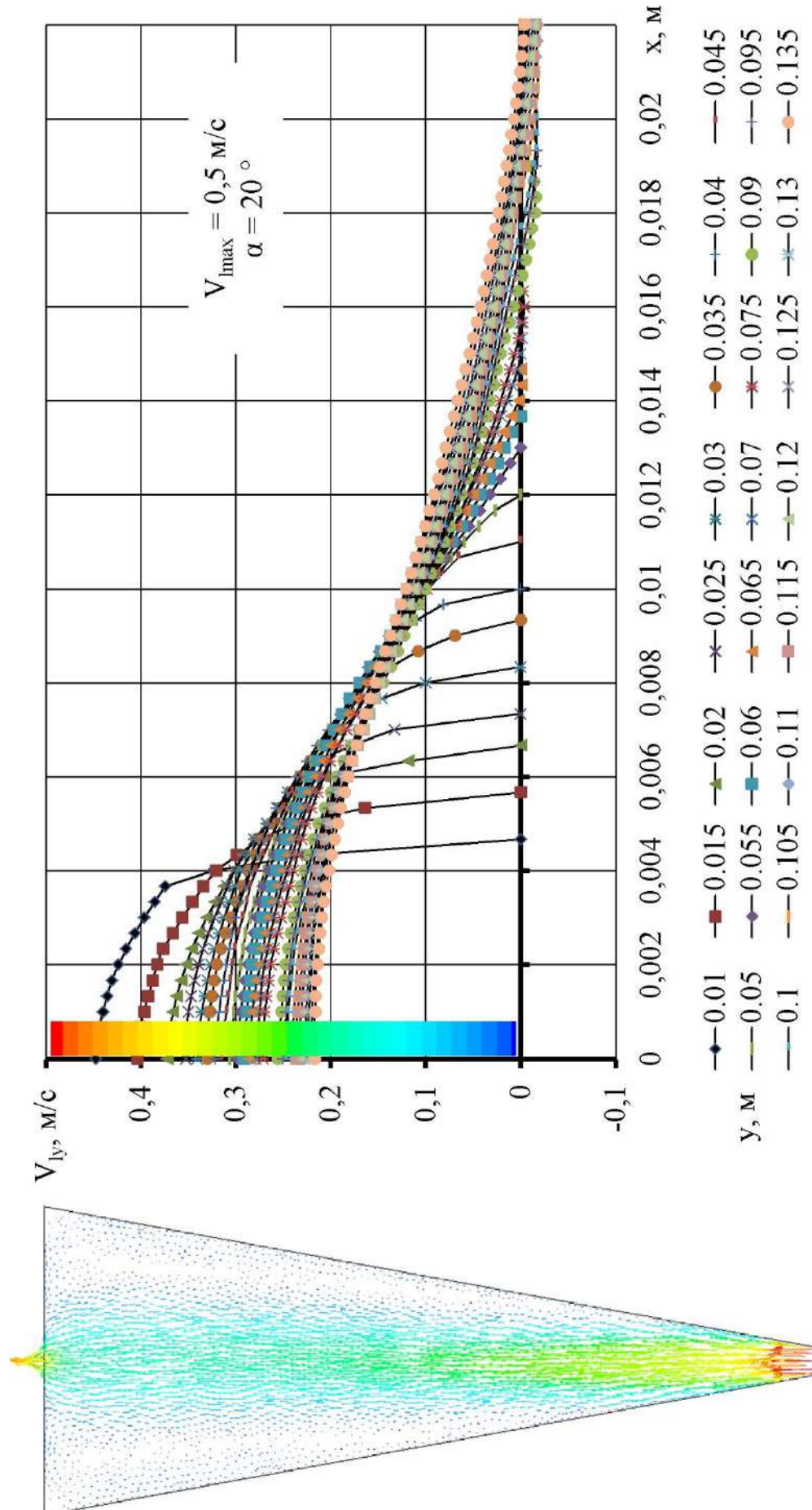


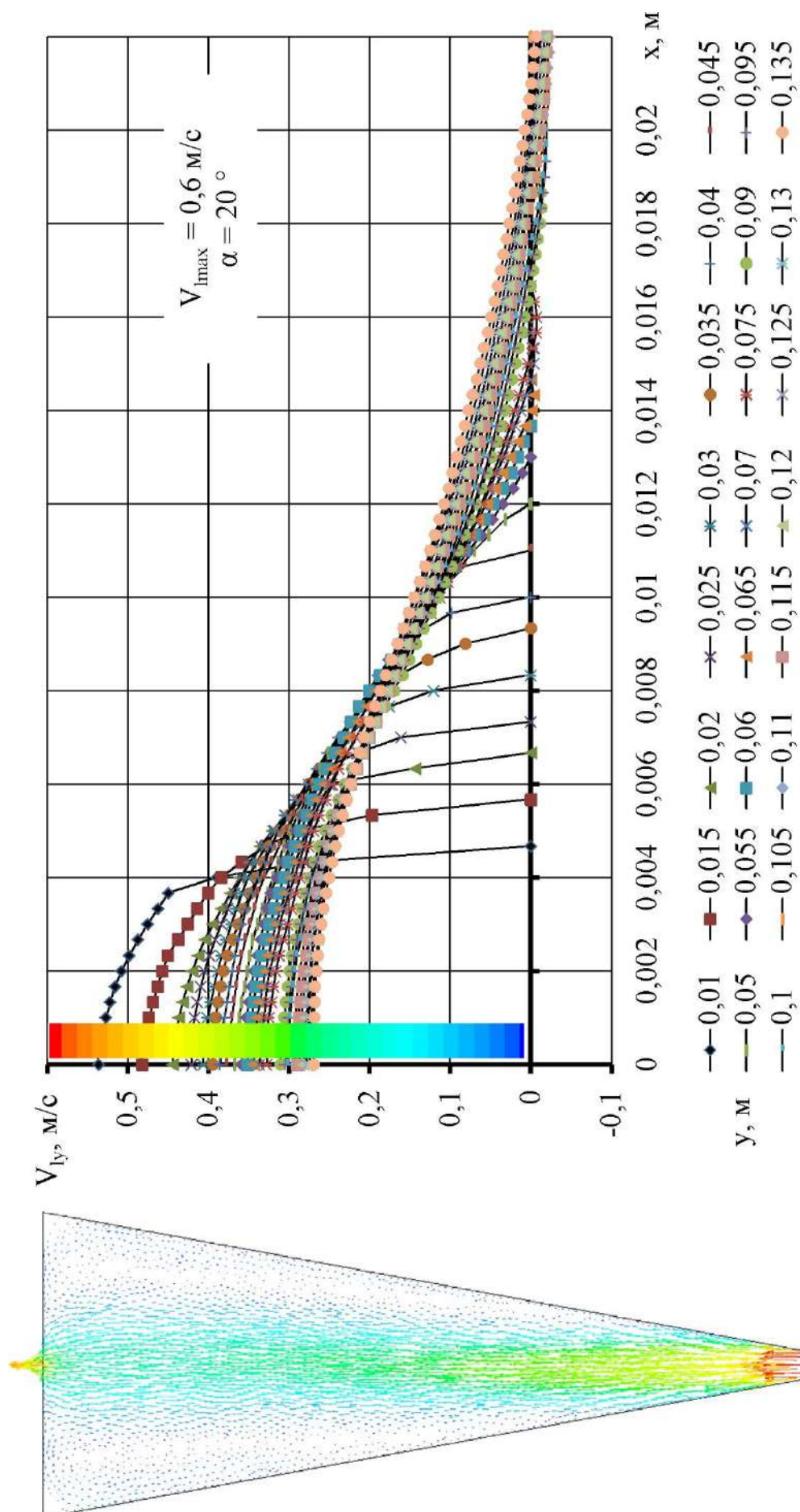








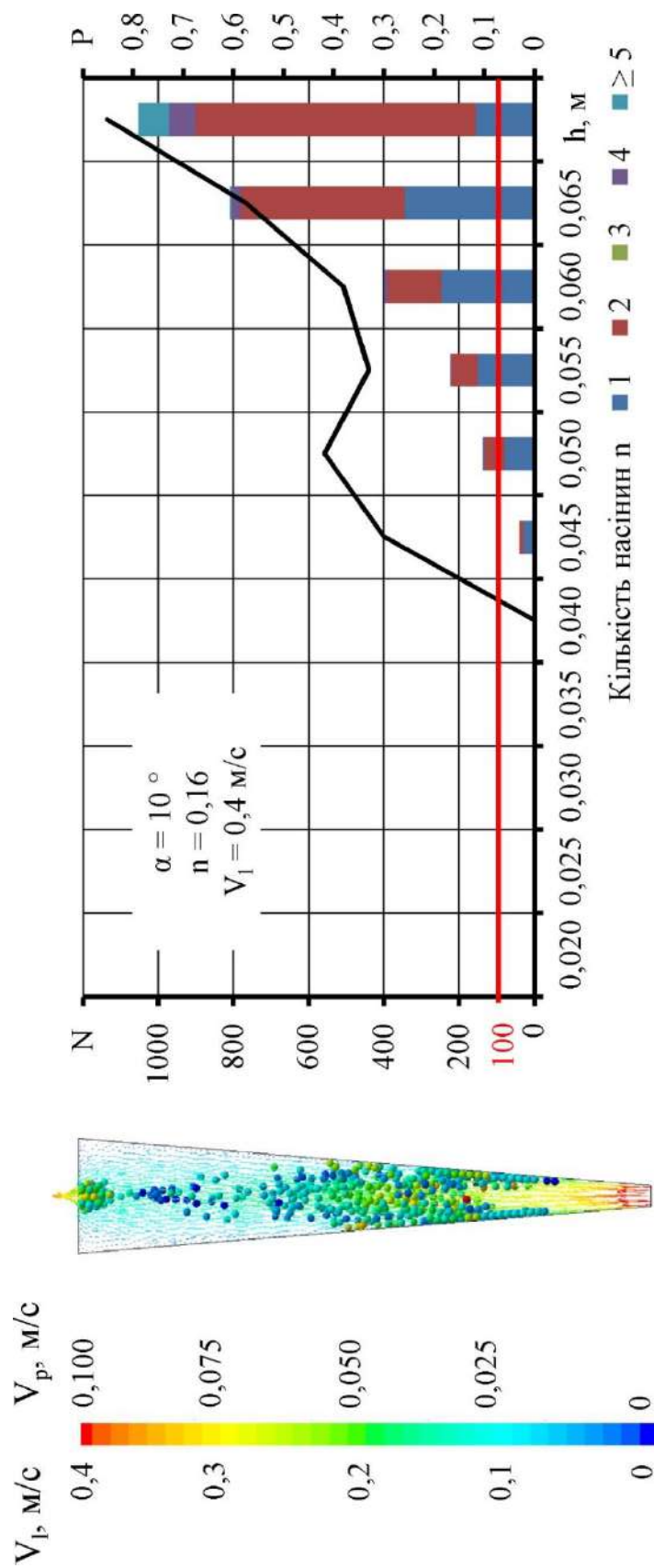


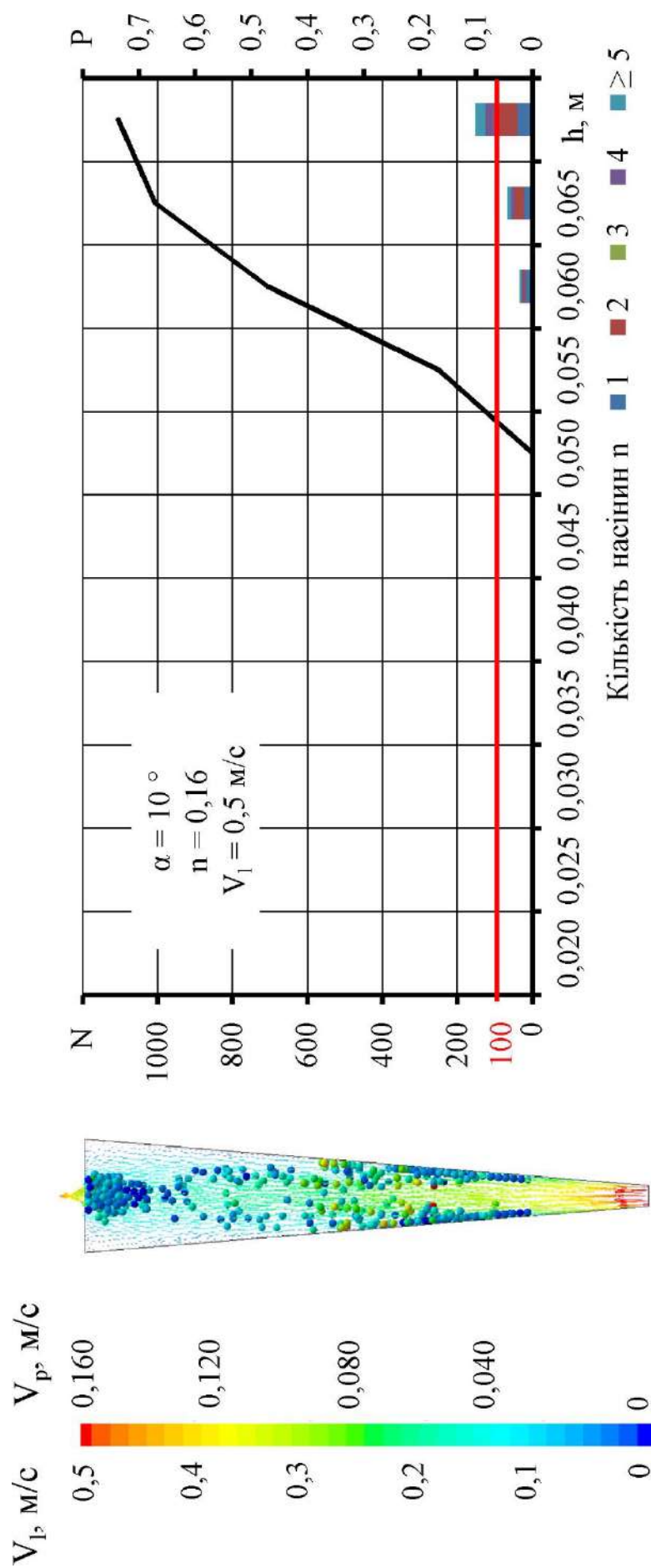


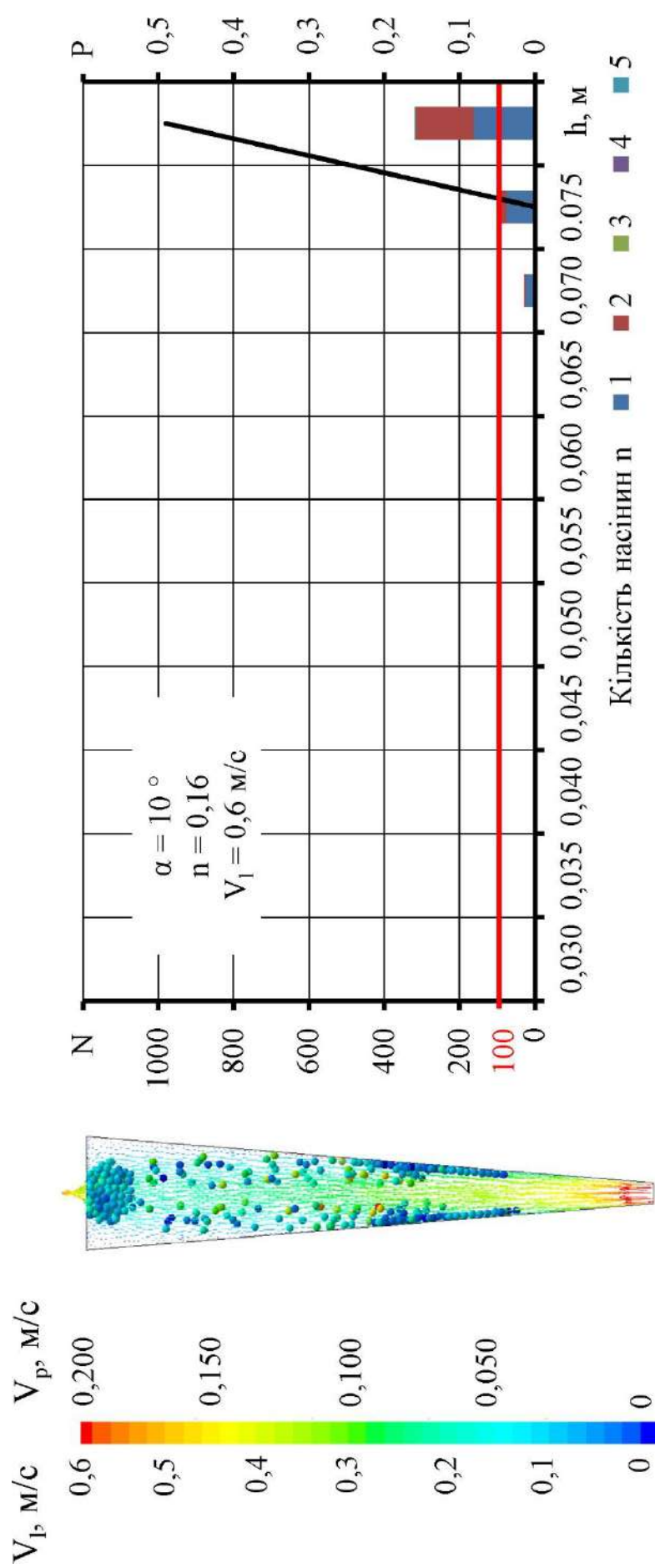
# Додаток В

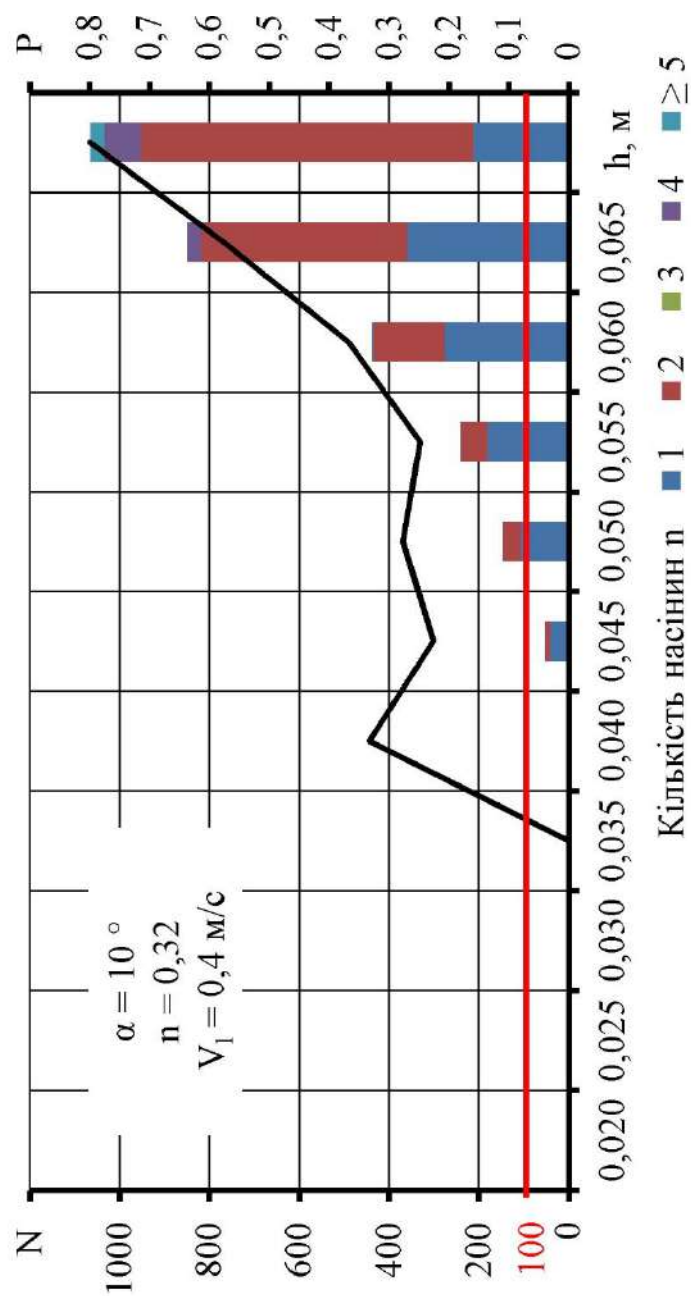
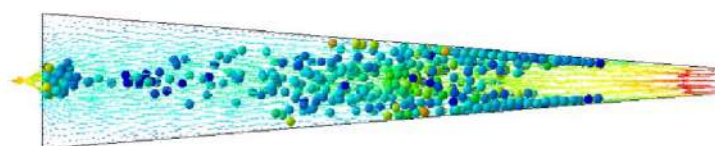
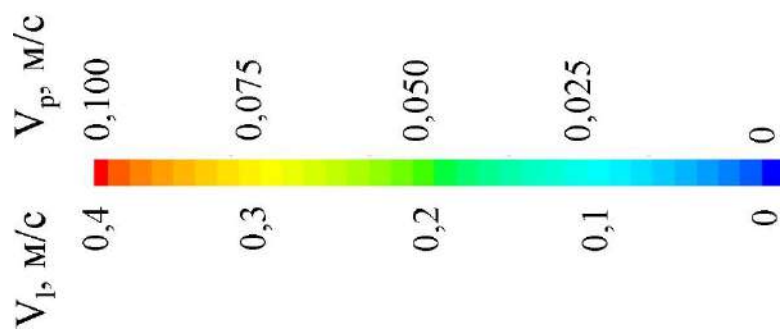
Залежність кількості моментів часу  $N$  та ймовірності появи двох і більше насінин  $P$  від висоти розміщення насіннєпроводу  $h$ , яка отримана в результаті чисельного моделювання в програмному пакеті

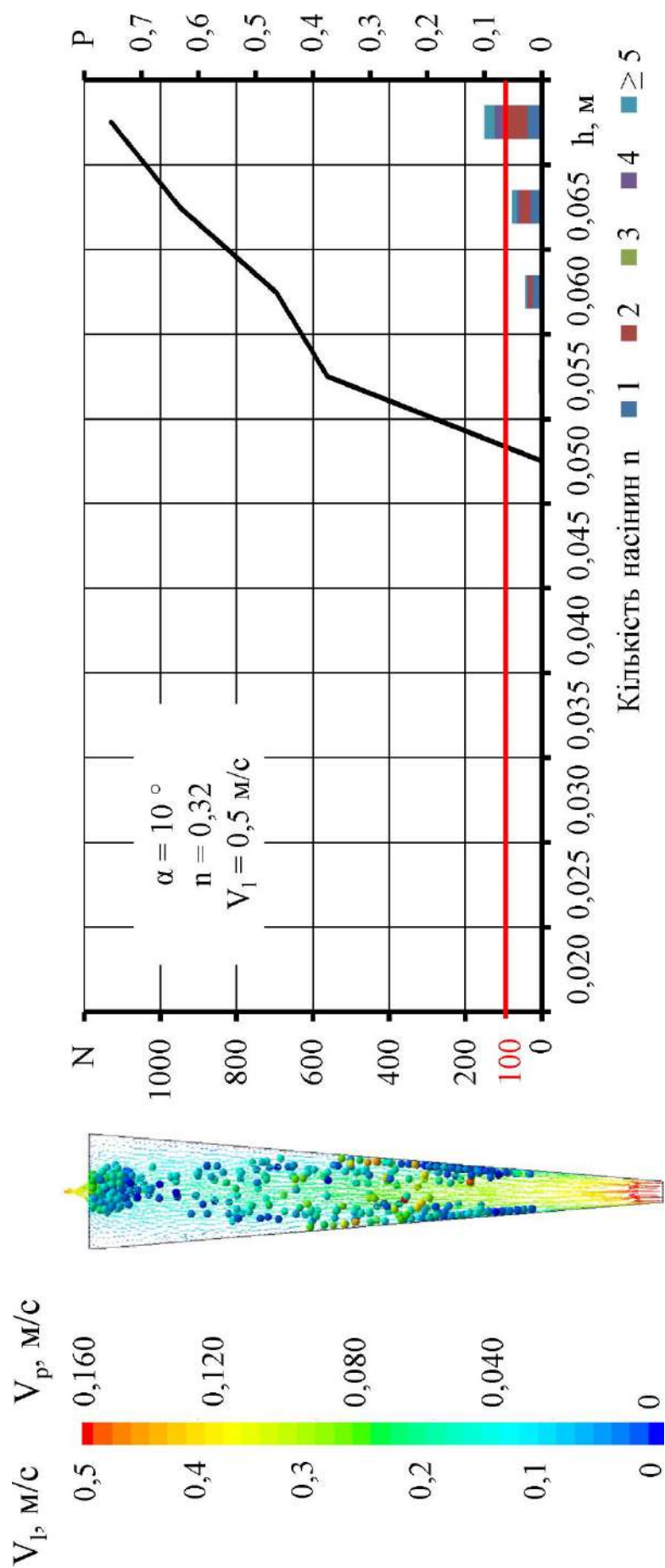
STAR-CCM+

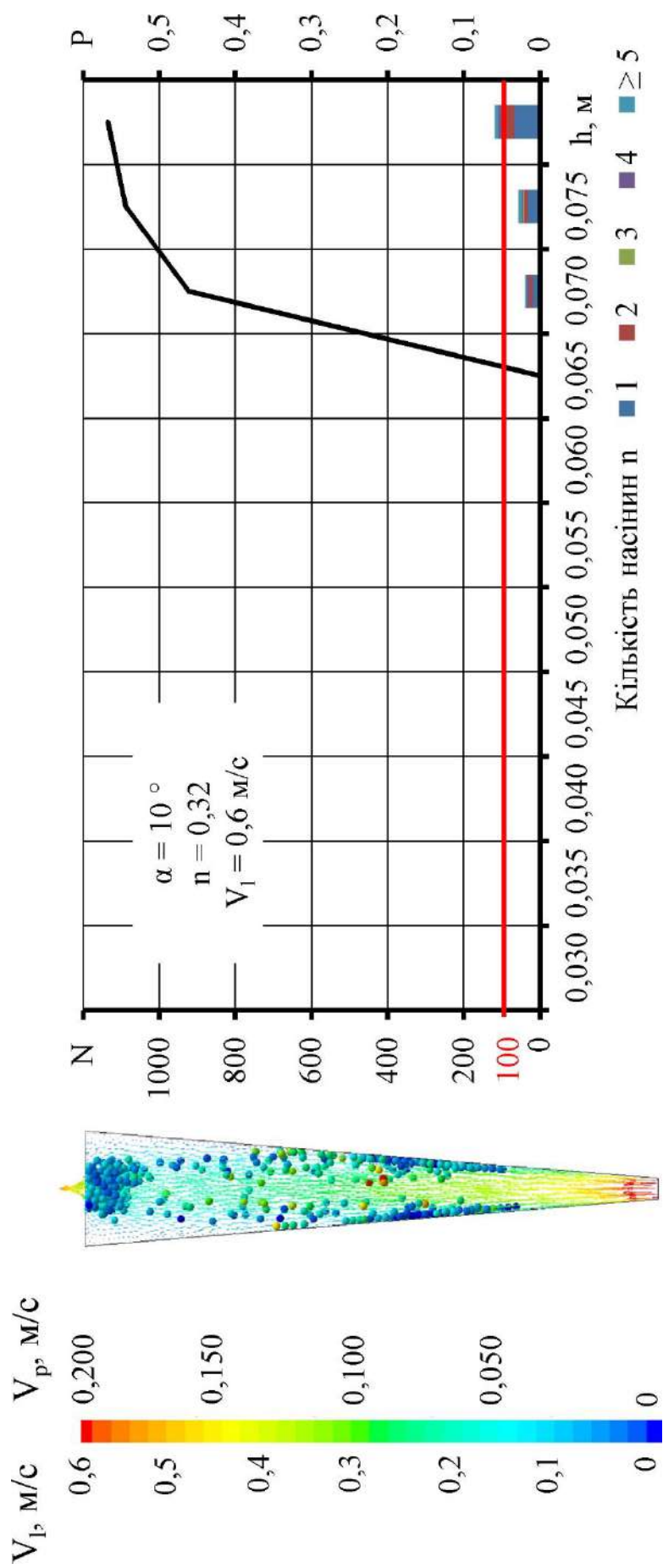


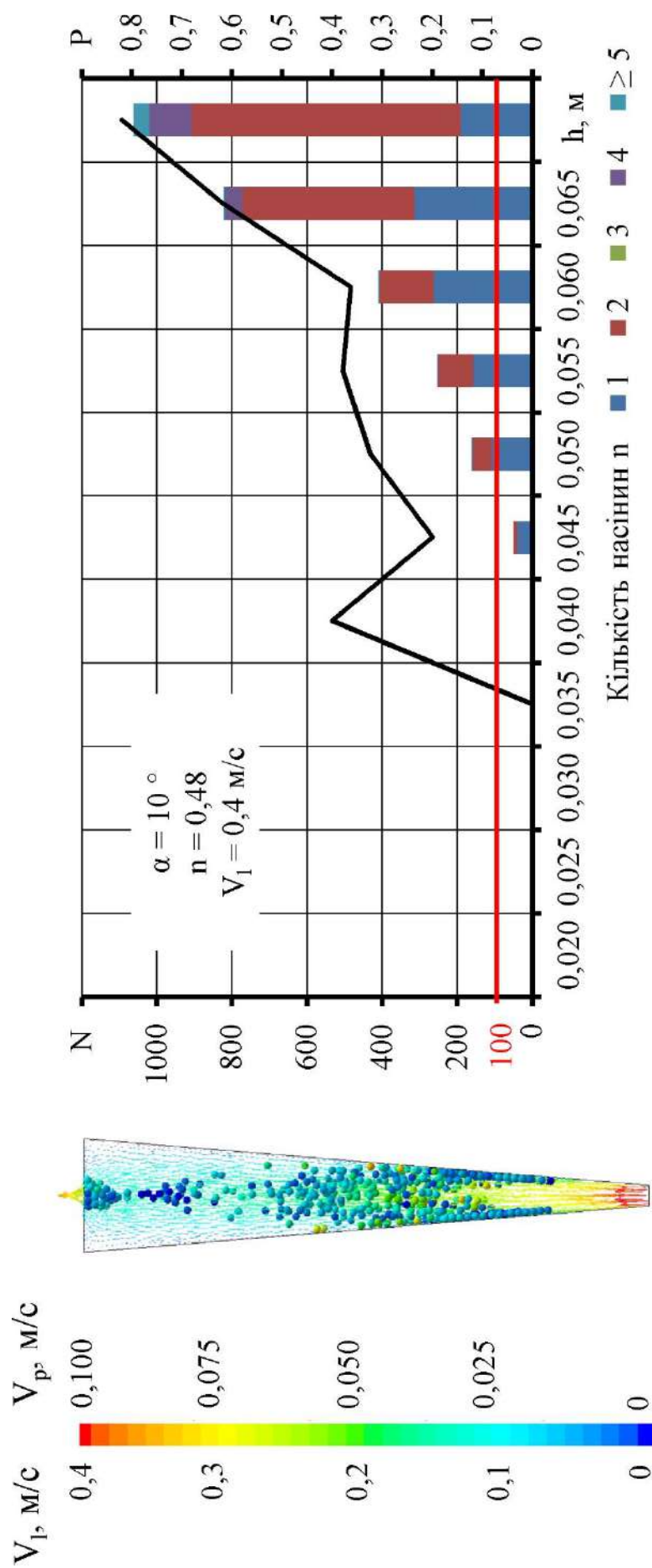


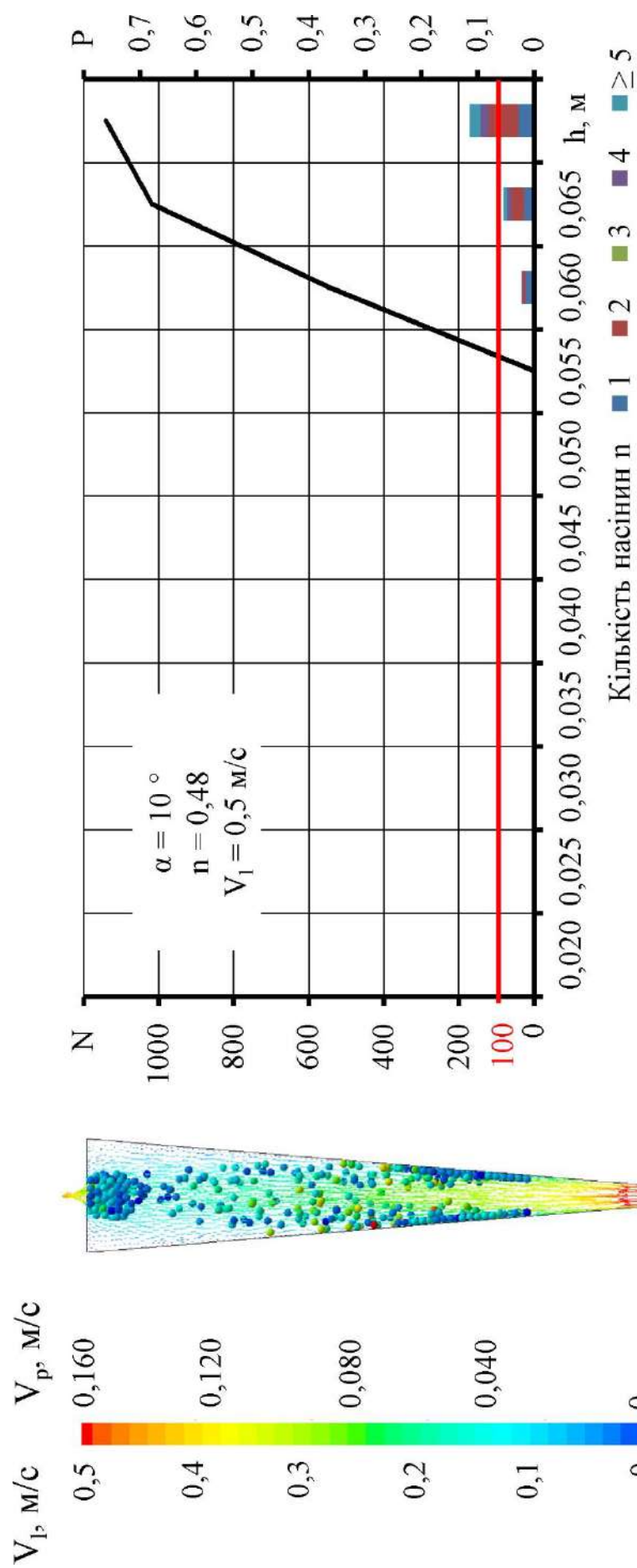


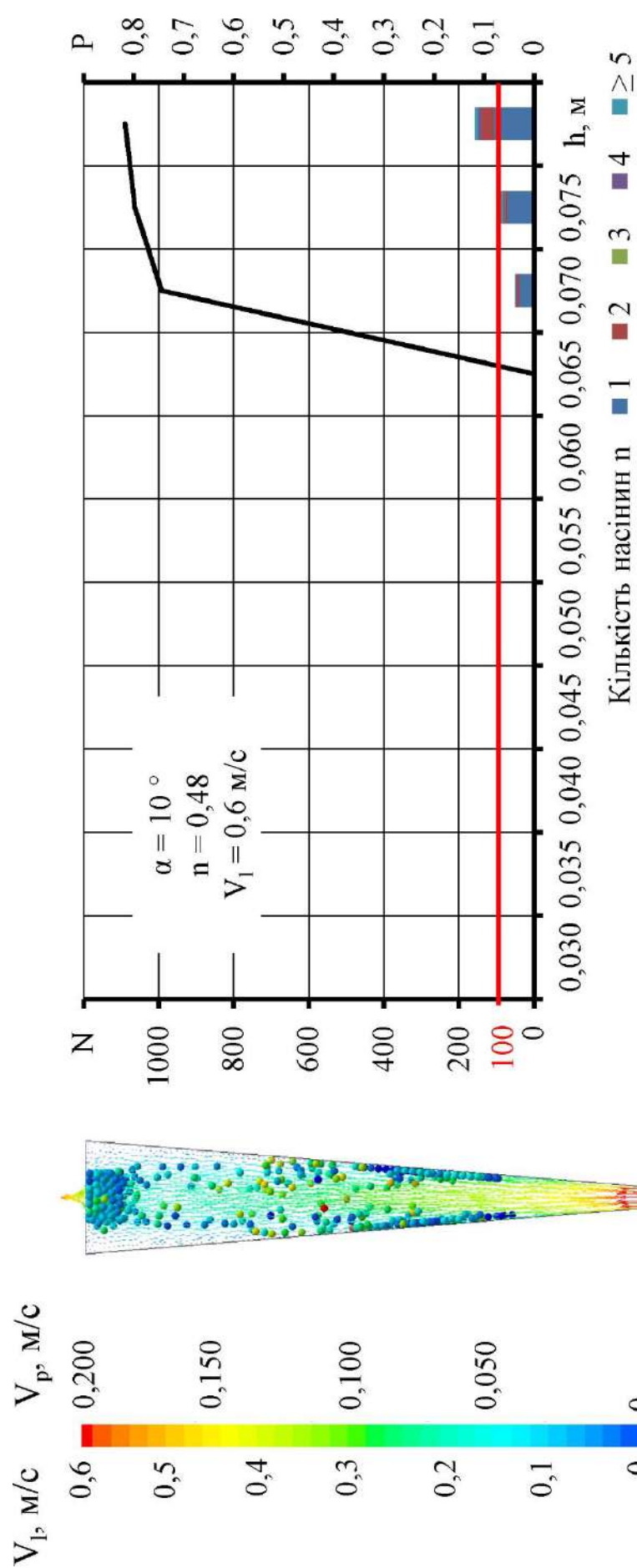


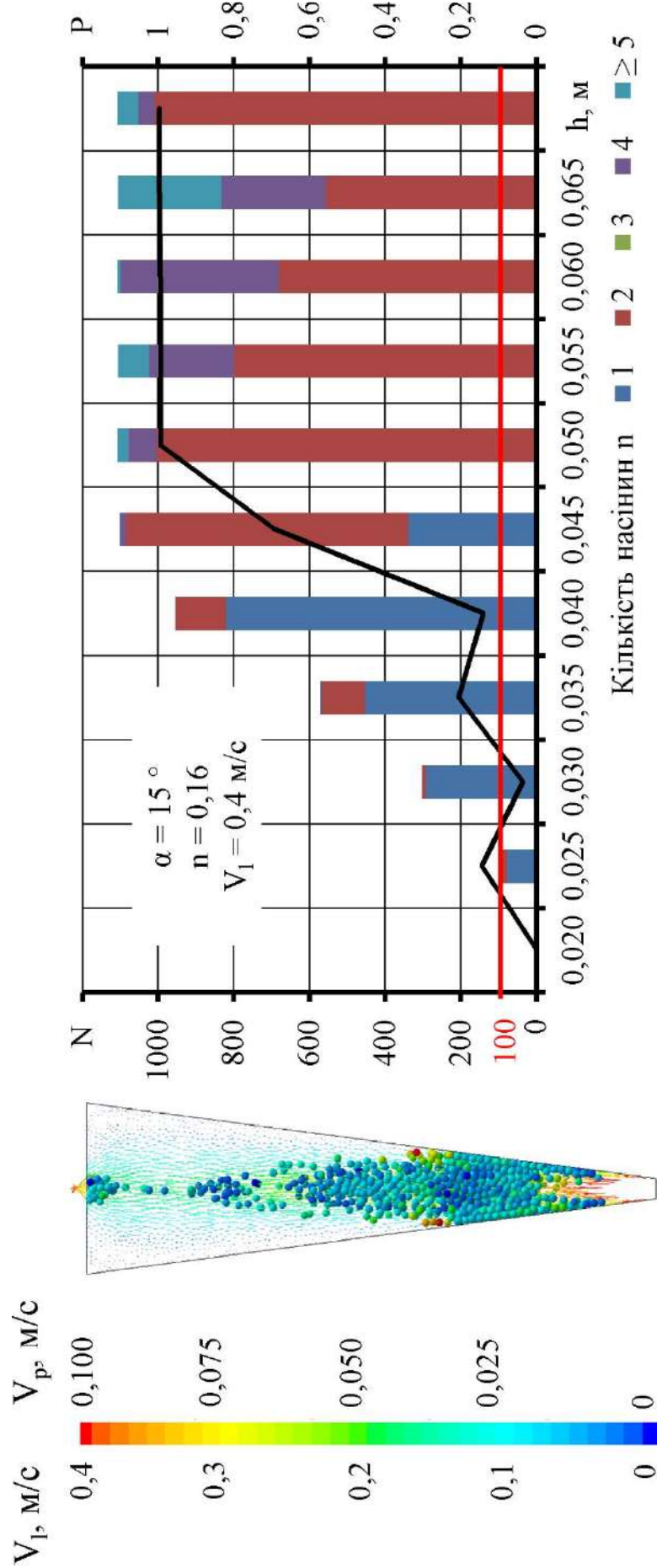


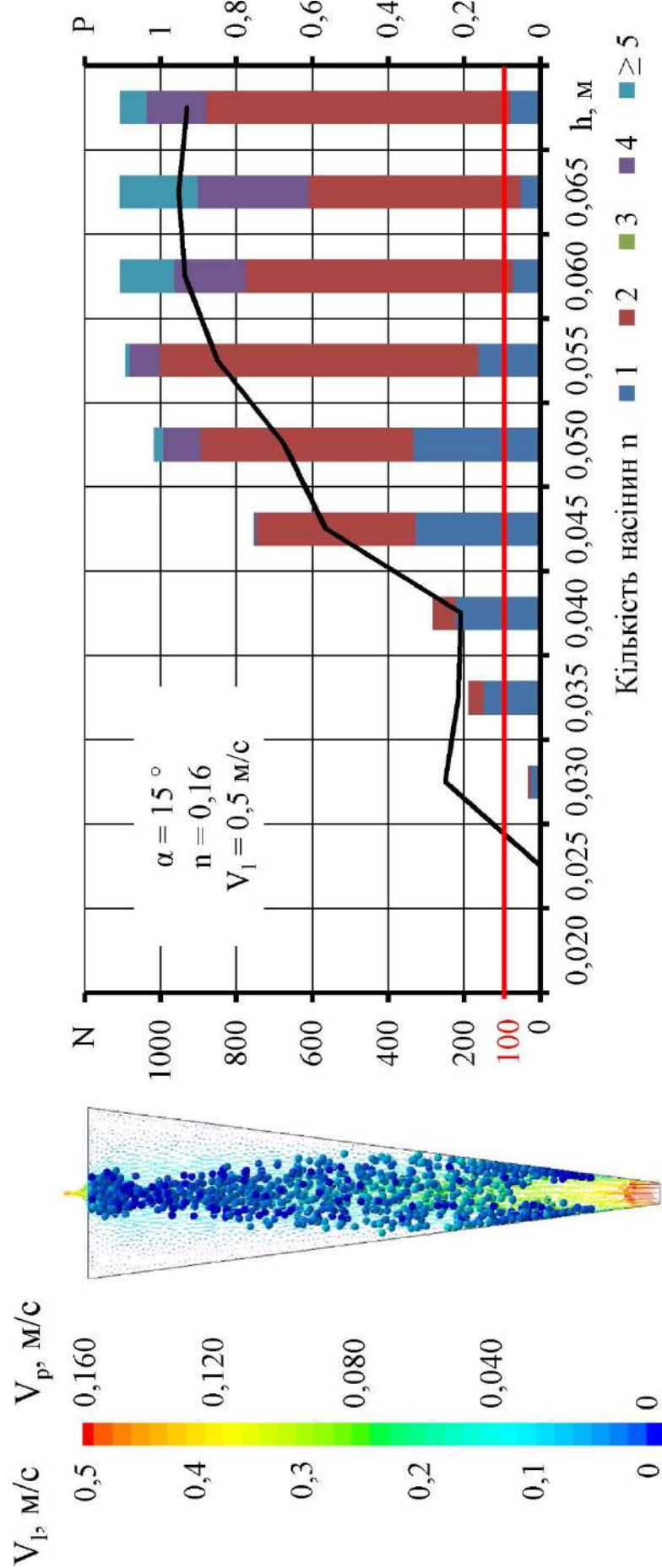


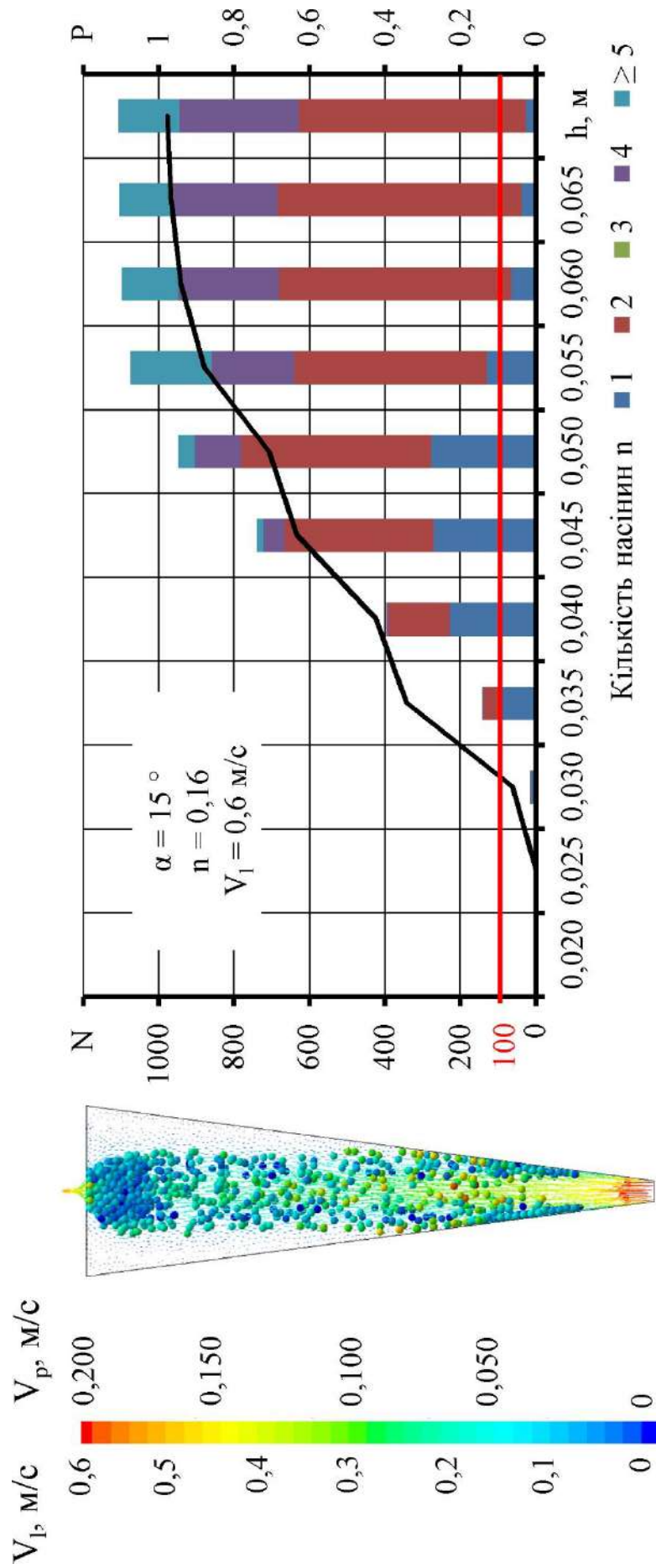


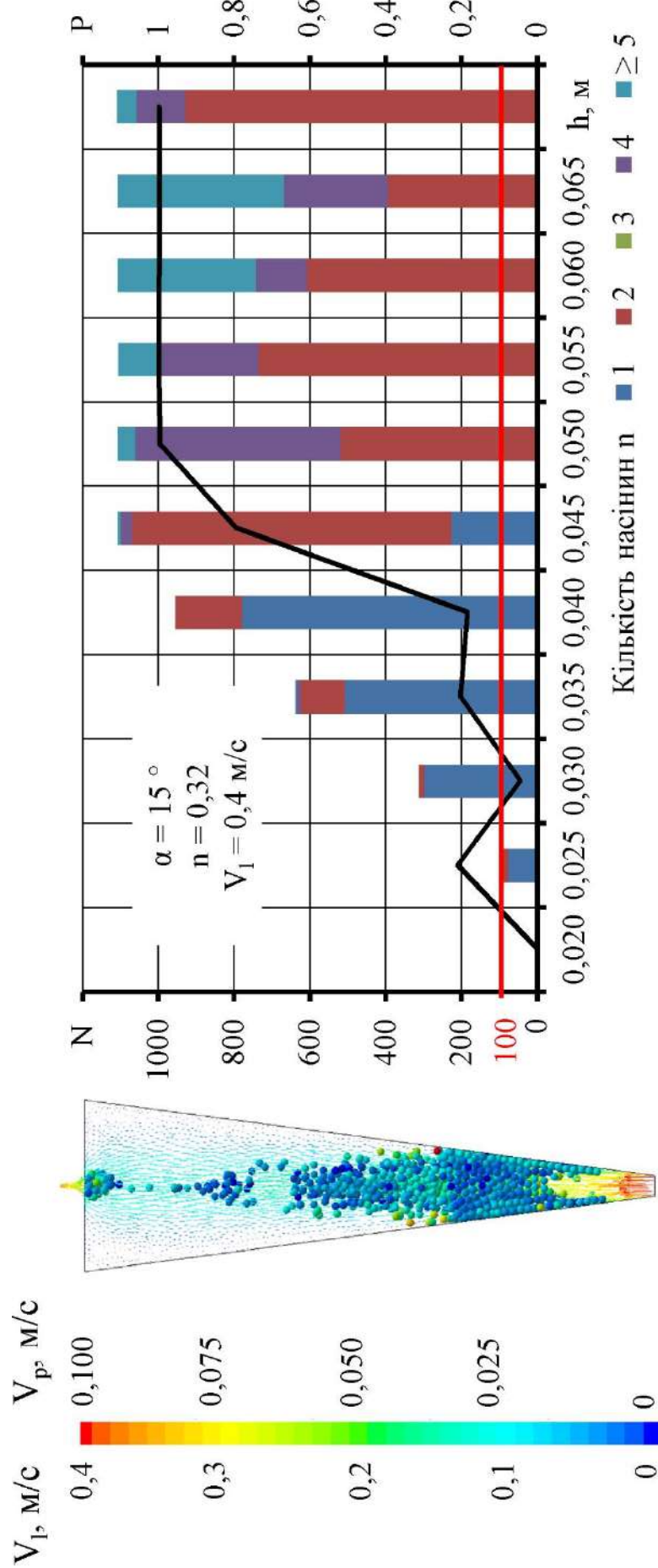


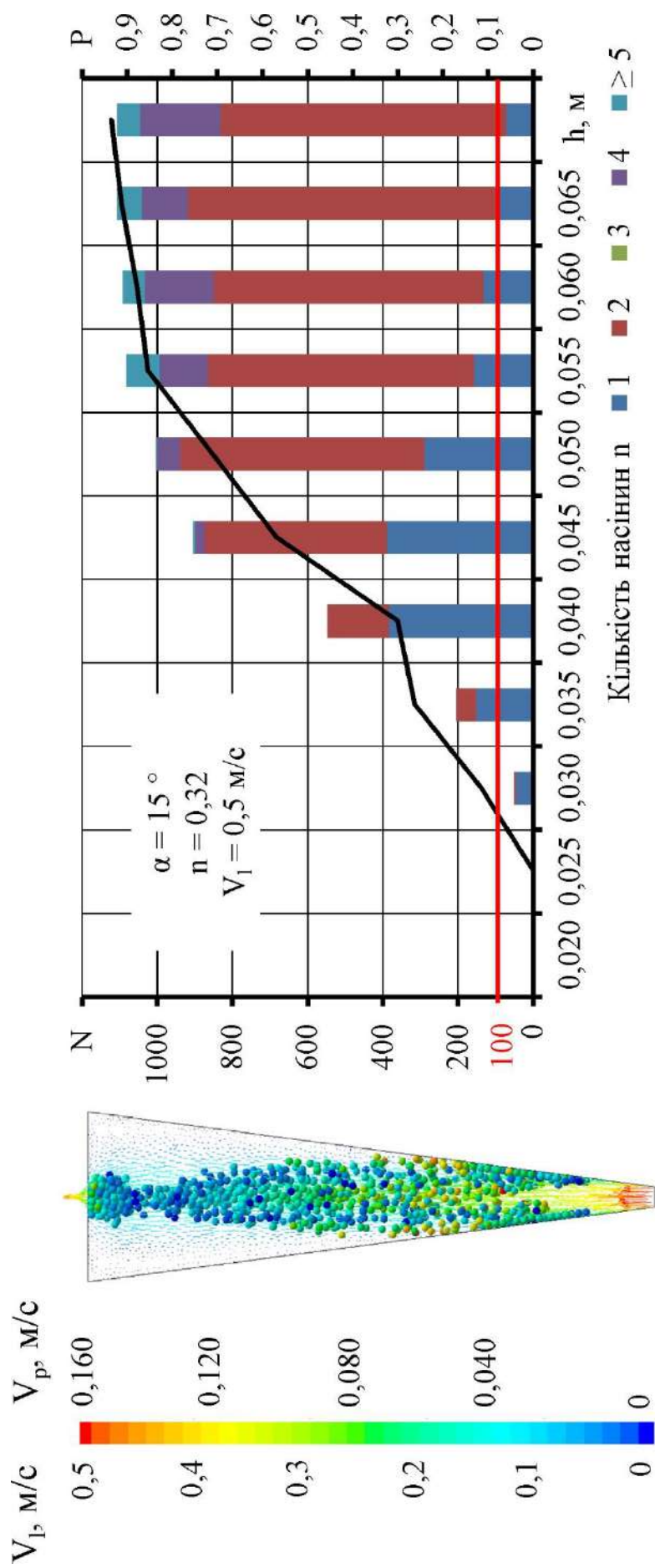


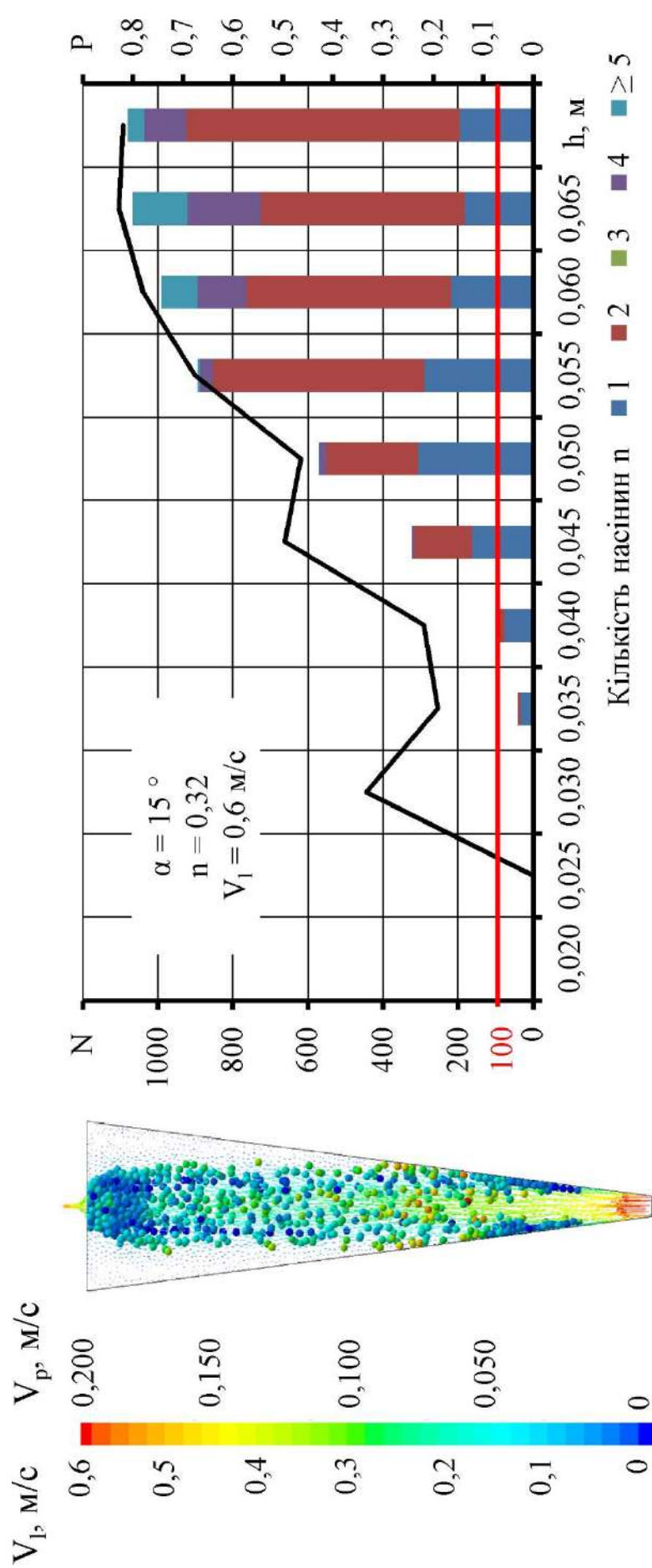


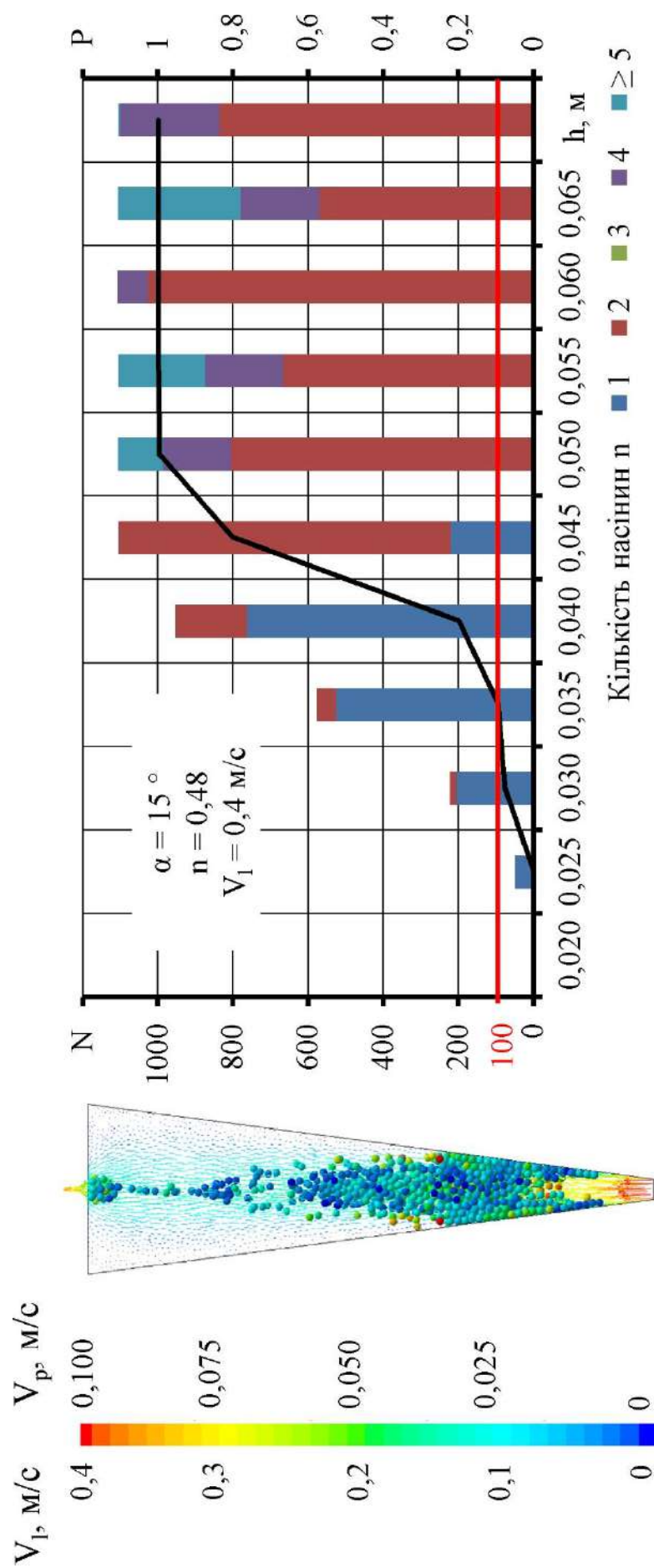


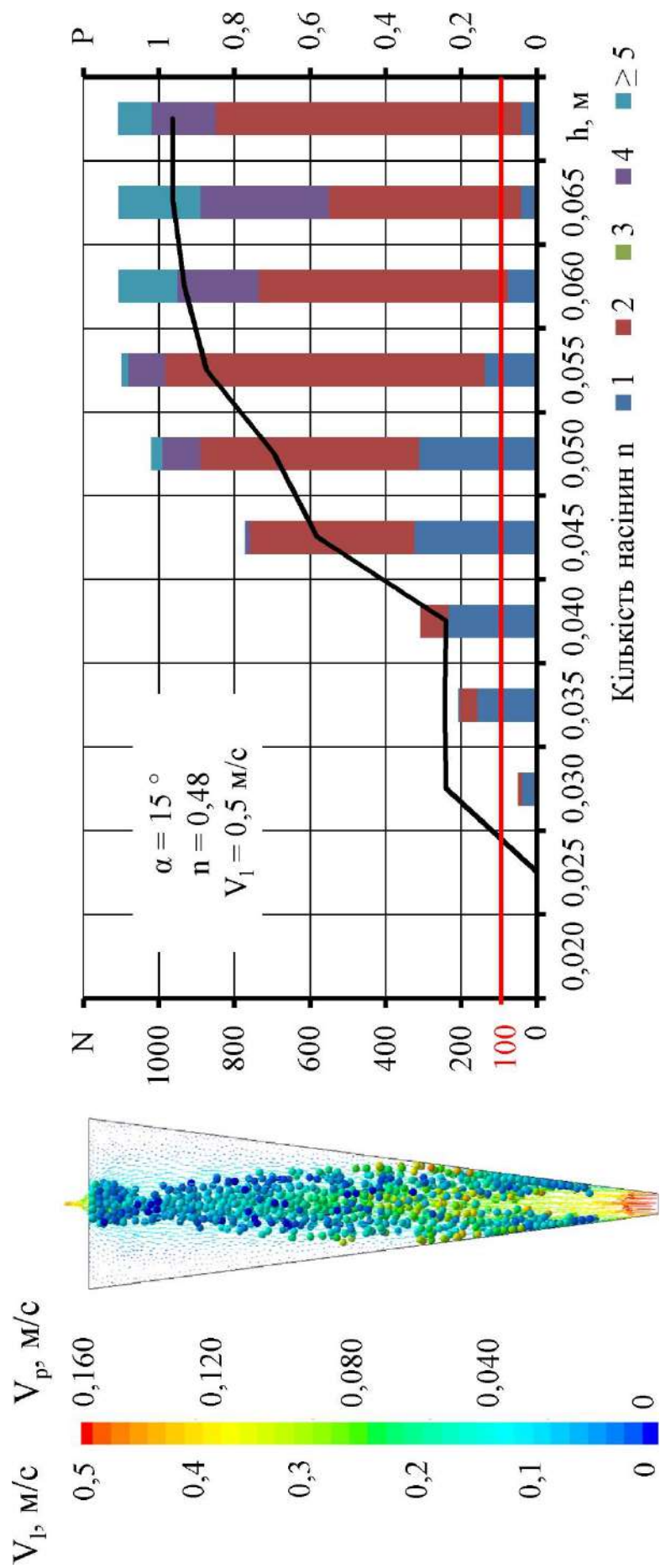


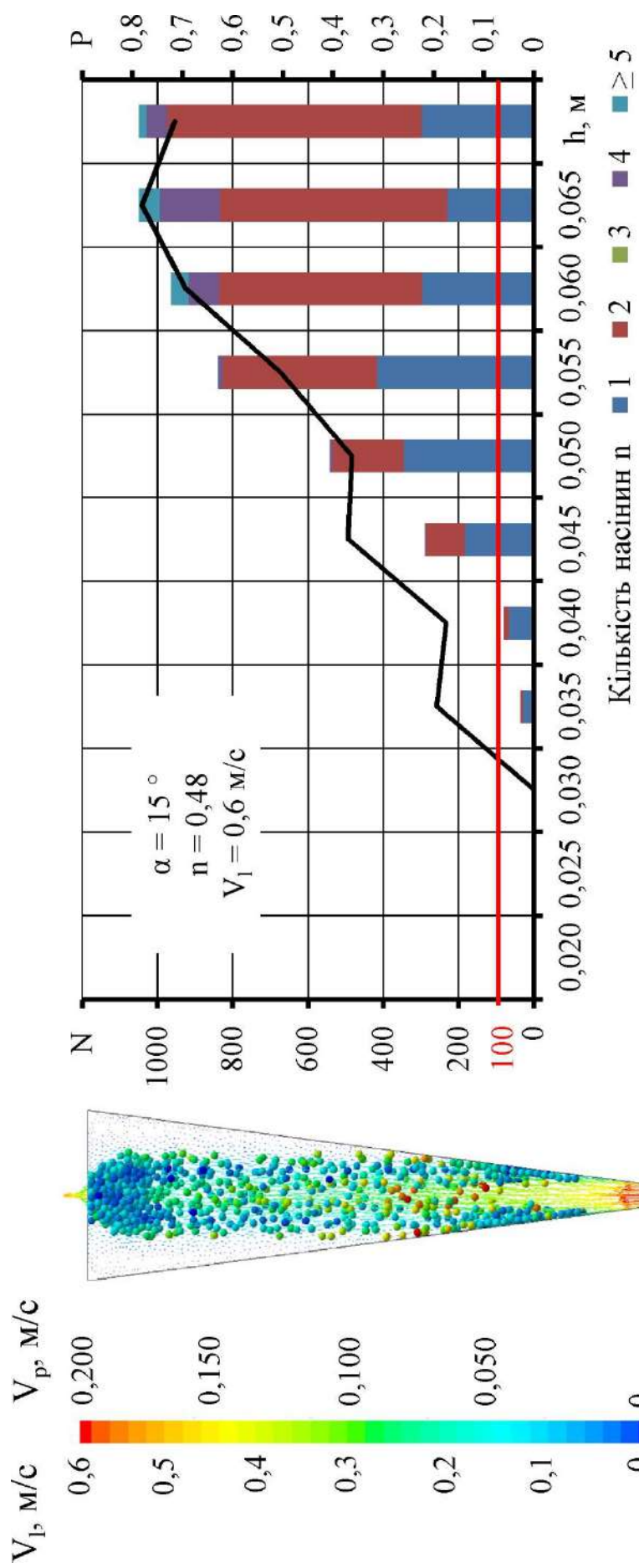


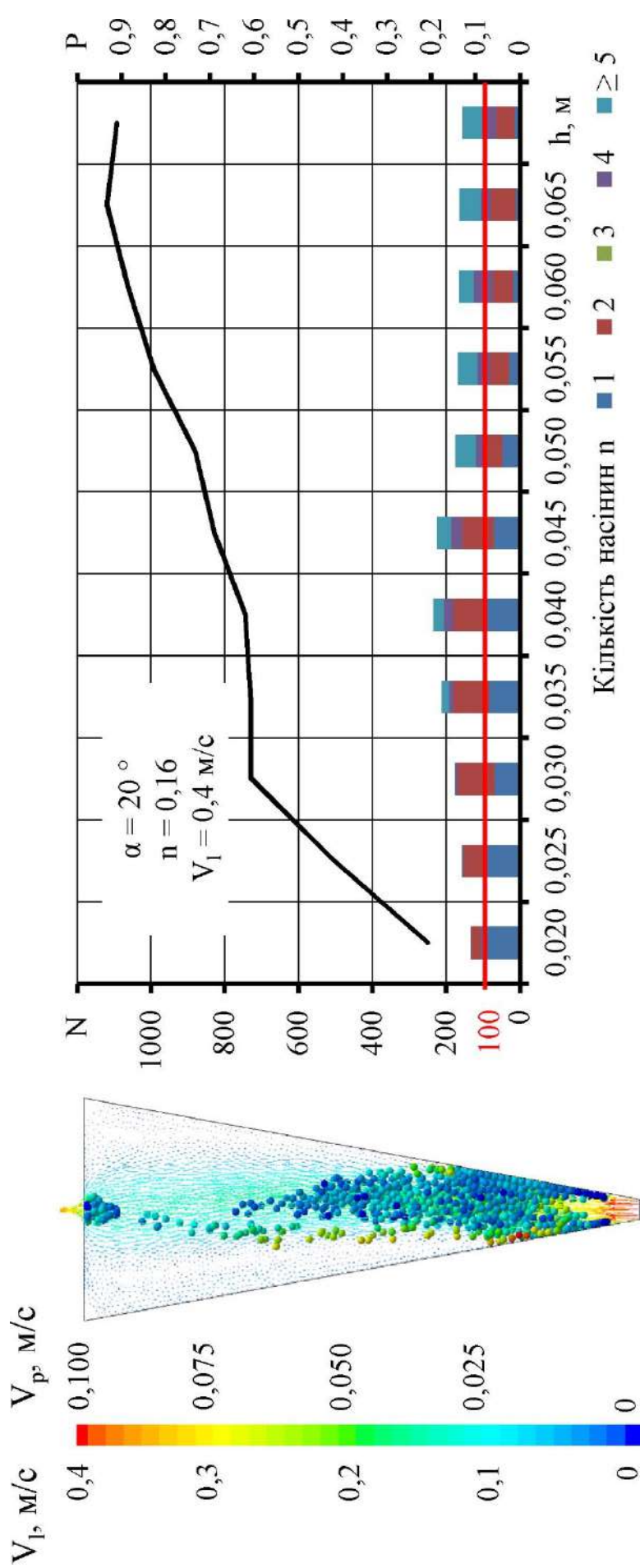


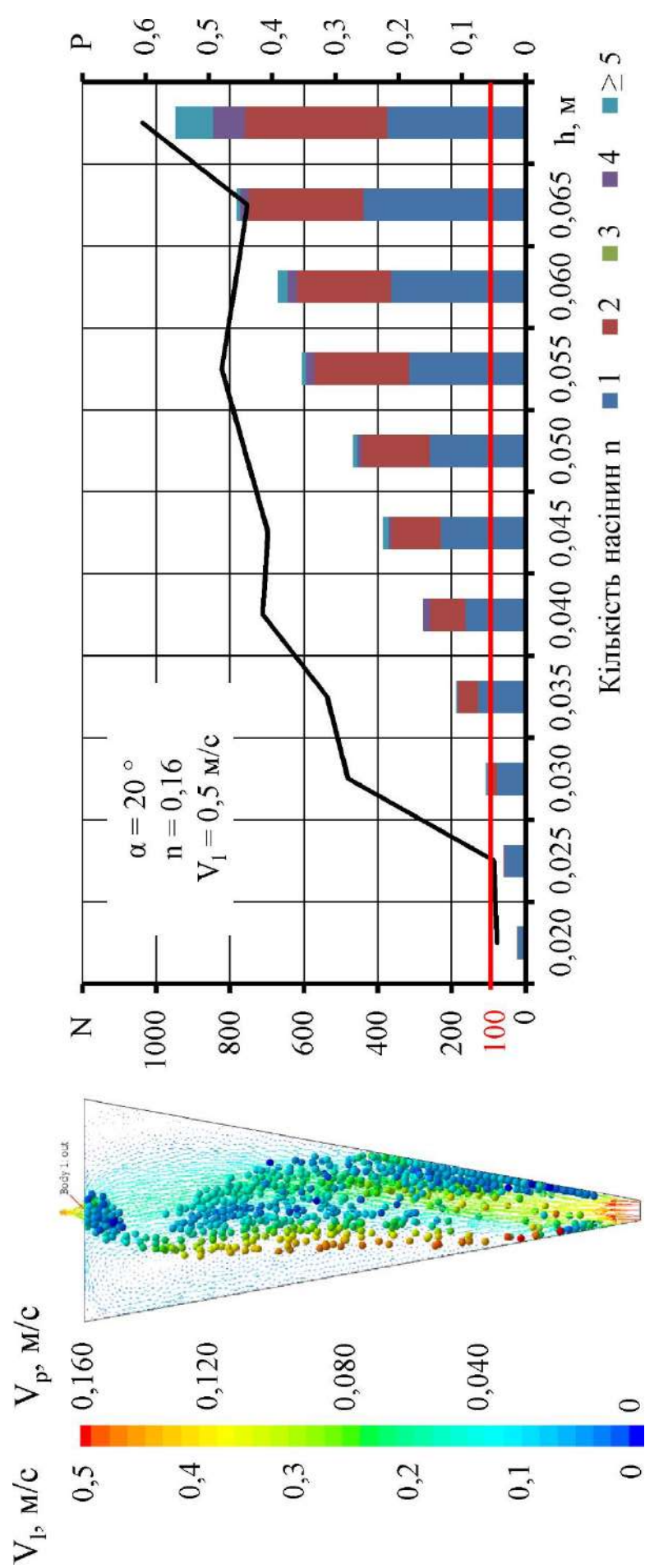


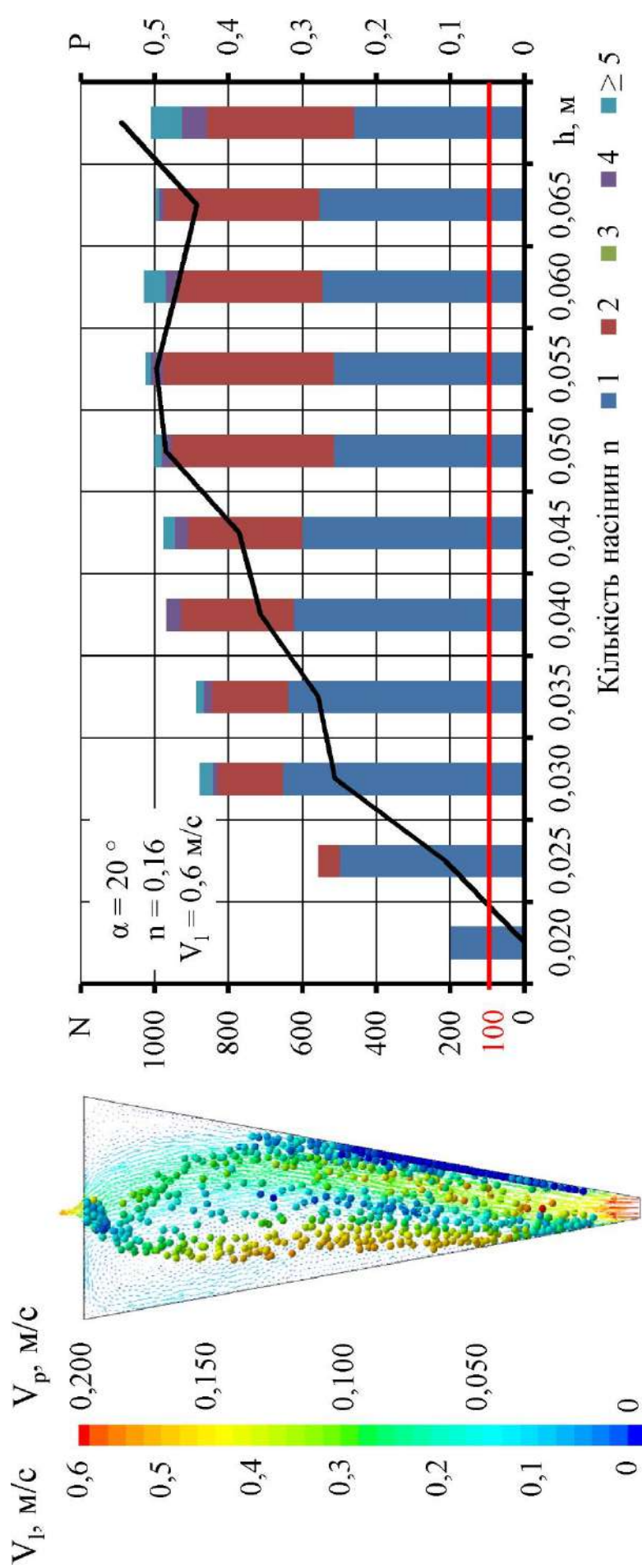


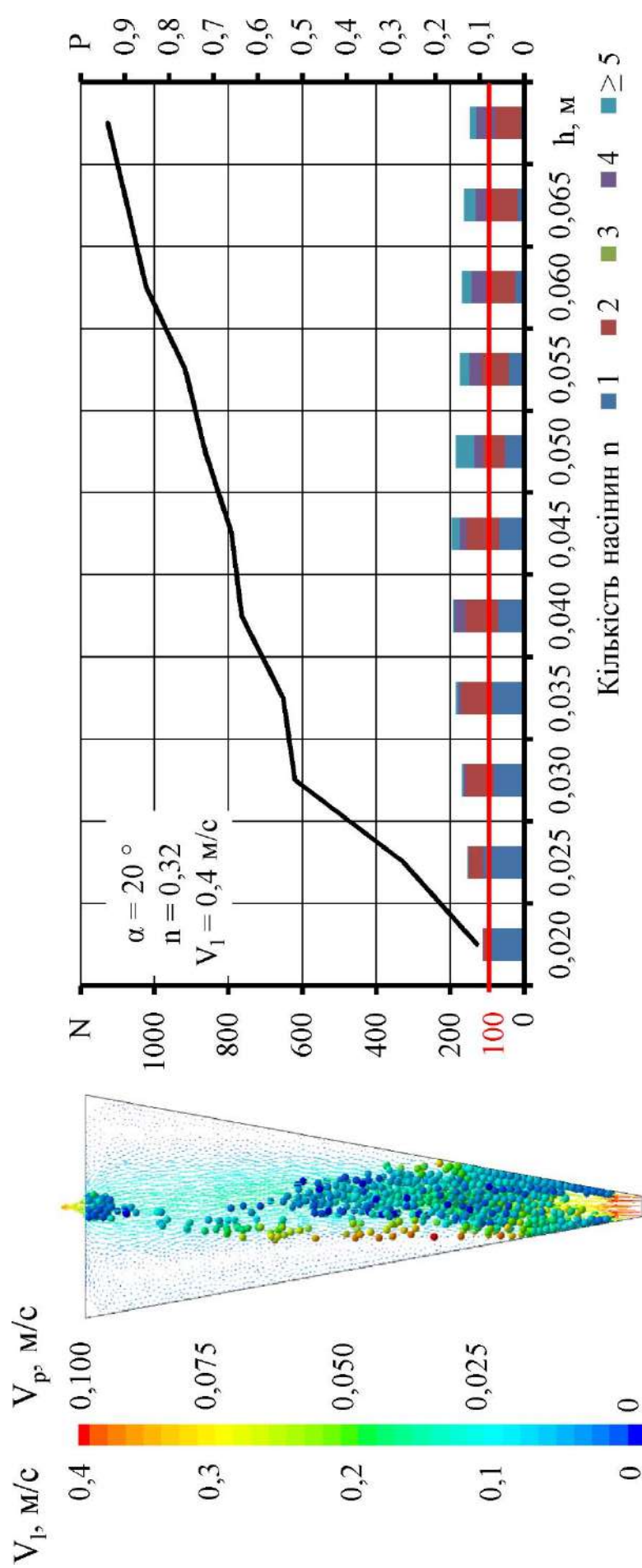


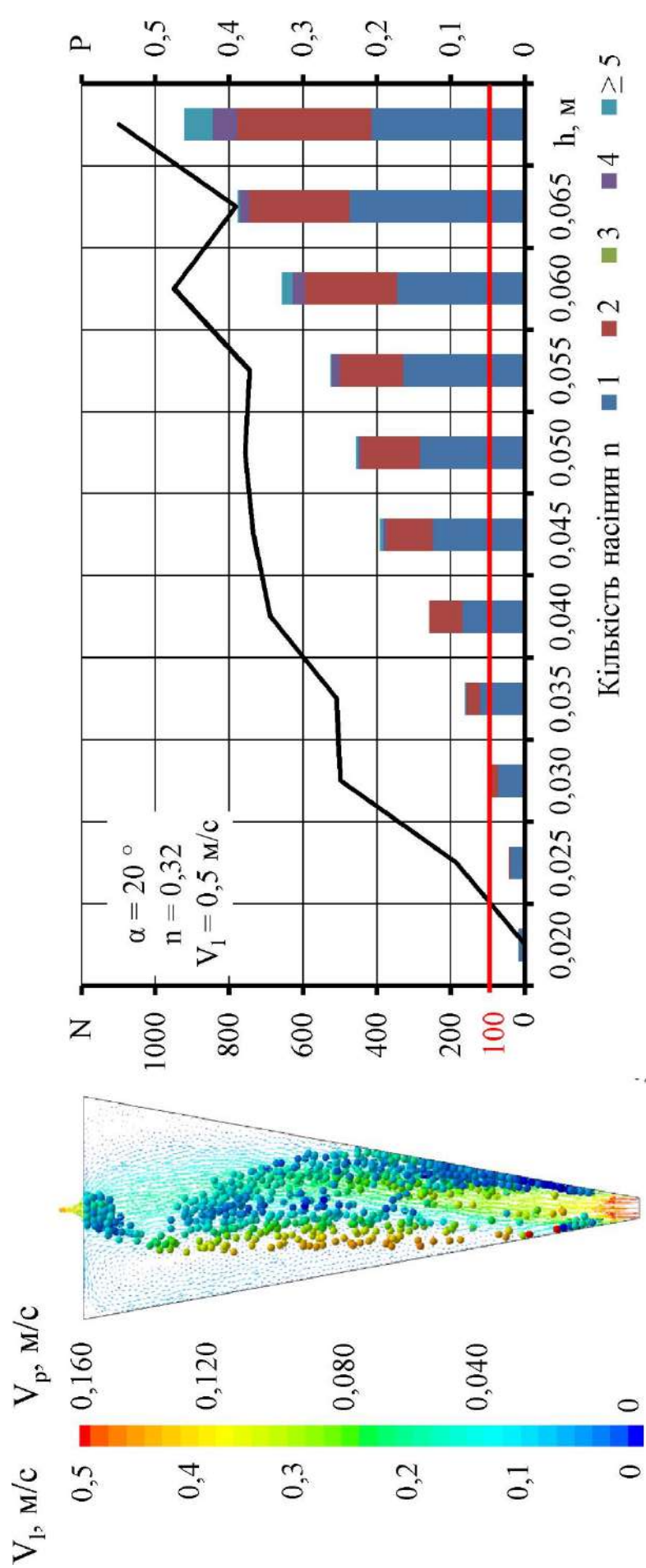


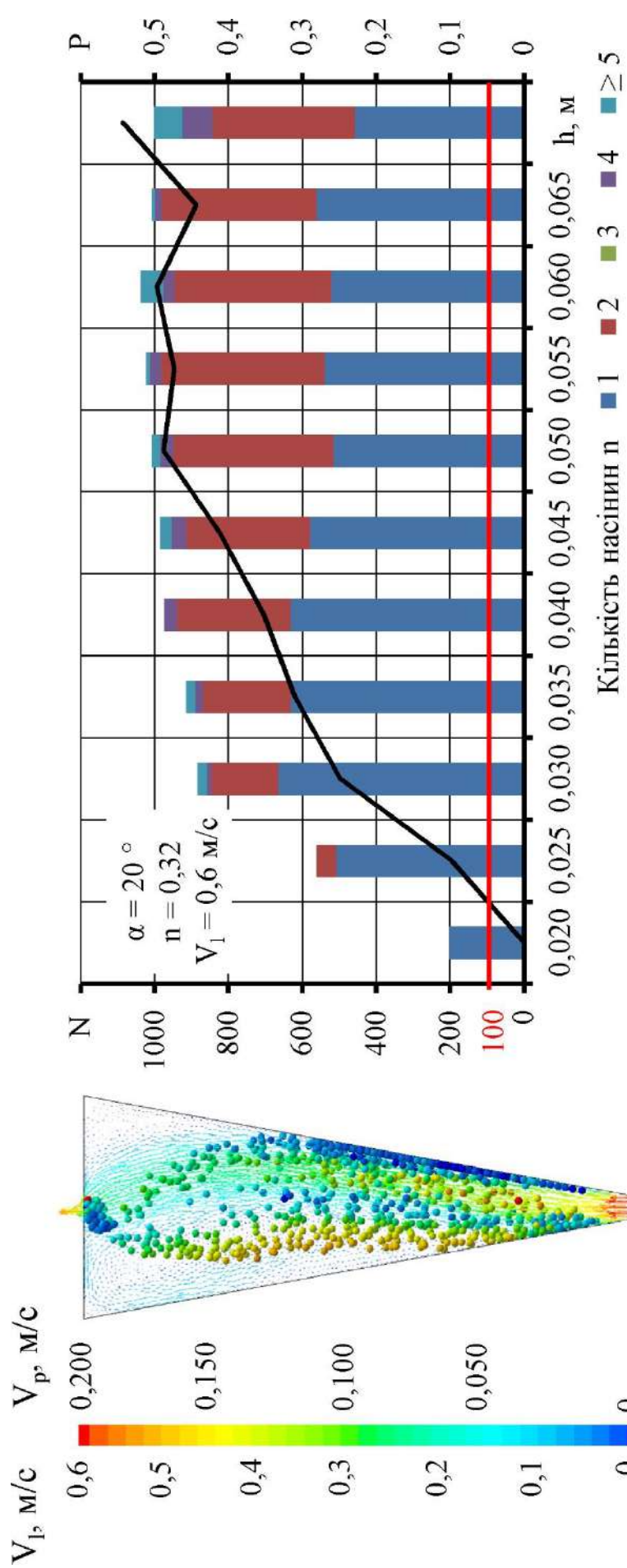


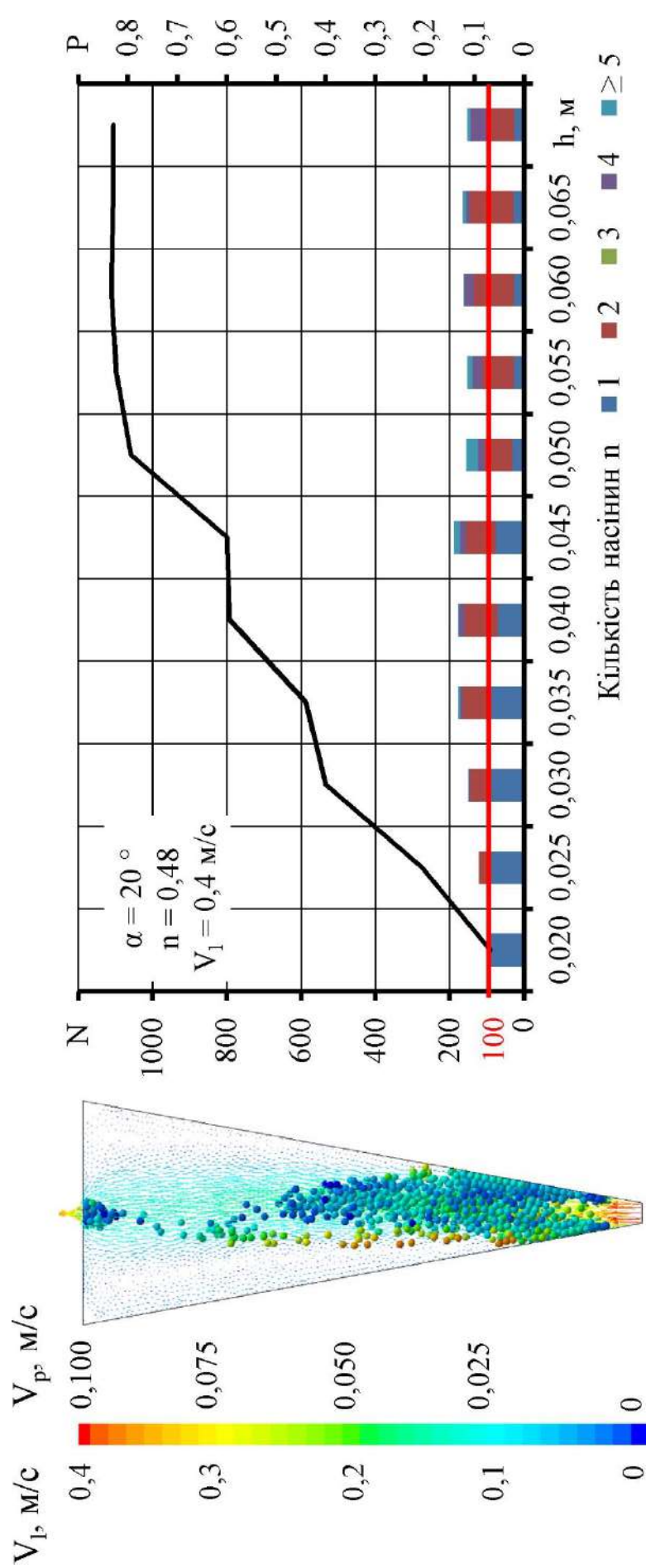


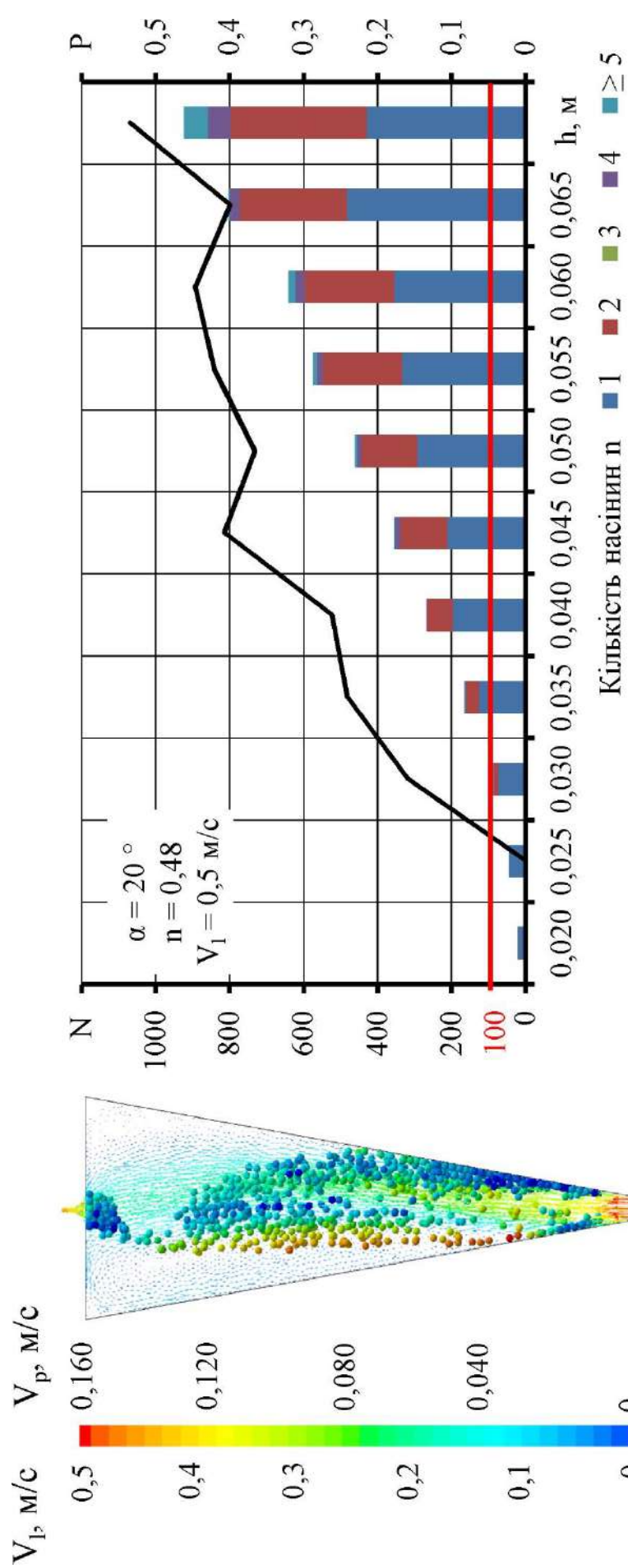


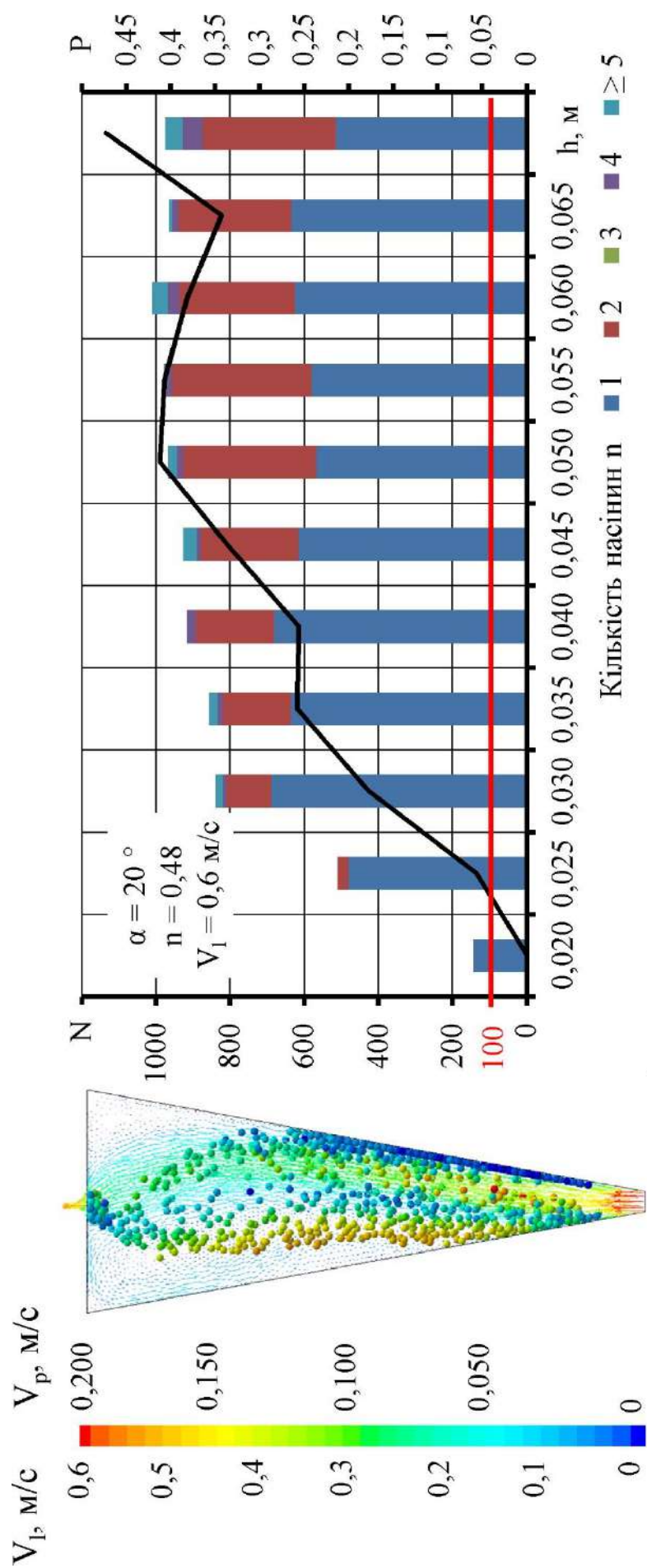












**Додаток Г**  
**Експериментальні дослідження запірних елементів ГПАТВ**  
**Таблиця – Г.1**  
**Результати дослідження електрогідравлічного клапана**

| $P_{над},$<br>атм | $\tau_{имп},$ мс | $T_0,$ с | $n_u,$ циклів | $f_z,$ Гц | $q_u,$ мл<br>/цикл | $Q,$ % | $Q_m,$<br>л/год |
|-------------------|------------------|----------|---------------|-----------|--------------------|--------|-----------------|
| 1                 | 2                | 3        | 4             | 5         | 6                  | 7      | 8               |
| 0                 | 20               | 101,5    | 873           | 8,601     | 0,057              | 17,2   | 1,77            |
| 0,05              |                  | 73       | 633           | 8,671     | 0,079              | 17,3   | 2,47            |
| 0,1               |                  | 59,2     | 518           | 8,750     | 0,097              | 17,5   | 3,04            |
| 0,15              |                  | 51       | 447           | 8,765     | 0,112              | 17,5   | 3,53            |
| 0,2               |                  | 47       | 415           | 8,830     | 0,120              | 17,7   | 3,83            |
| 0,25              |                  | 44       | 386           | 8,773     | 0,130              | 17,5   | 4,09            |
| 0,3               |                  | 42,4     | 370           | 8,726     | 0,135              | 17,5   | 4,25            |
| 0,35              |                  | 41       | 360           | 8,780     | 0,139              | 17,6   | 4,39            |
| 0                 | 30               | 73,8     | 650           | 8,808     | 0,077              | 26,4   | 2,44            |
| 0,05              |                  | 52,2     | 458           | 8,774     | 0,109              | 26,3   | 3,45            |
| 0,1               |                  | 42,4     | 376           | 8,868     | 0,133              | 26,6   | 4,25            |
| 0,15              |                  | 38,2     | 338           | 8,848     | 0,148              | 26,5   | 4,71            |
| 0,2               |                  | 35       | 312           | 8,914     | 0,160              | 26,7   | 5,14            |
| 0,25              |                  | 34       | 299           | 8,794     | 0,167              | 26,4   | 5,29            |
| 0,3               |                  | 32,2     | 288           | 8,944     | 0,174              | 26,8   | 5,59            |
| 0,35              |                  | 32       | 286           | 8,938     | 0,175              | 26,8   | 5,63            |
| 0                 | 40               | 56,8     | 500           | 8,803     | 0,100              | 35,2   | 3,17            |
| 0,05              |                  | 39,8     | 355           | 8,920     | 0,141              | 35,7   | 4,52            |
| 0,1               |                  | 33,8     | 299           | 8,846     | 0,167              | 35,4   | 5,33            |
| 0,15              |                  | 30       | 267           | 8,900     | 0,187              | 35,6   | 6,00            |
| 0,2               |                  | 28,8     | 254           | 8,819     | 0,197              | 35,3   | 6,25            |
| 0,25              |                  | 28       | 249           | 8,893     | 0,201              | 35,6   | 6,43            |
| 0,3               |                  | 27       | 240           | 8,889     | 0,208              | 35,6   | 6,67            |
| 0,35              |                  | 26       | 231           | 8,885     | 0,216              | 35,5   | 6,92            |
| 0                 | 50               | 46,4     | 414           | 8,922     | 0,121              | 44,6   | 3,88            |
| 0,05              |                  | 31,5     | 280           | 8,889     | 0,179              | 44,4   | 5,71            |
| 0,1               |                  | 26,6     | 237           | 8,910     | 0,211              | 44,5   | 6,77            |
| 0,15              |                  | 24,2     | 216           | 8,926     | 0,231              | 44,6   | 7,44            |
| 0,2               |                  | 23       | 205           | 8,913     | 0,244              | 44,6   | 7,83            |
| 0,25              |                  | 22,8     | 204           | 8,947     | 0,245              | 44,7   | 7,89            |
| 0,3               |                  | 23,2     | 198           | 8,534     | 0,253              | 42,7   | 7,76            |
| 0,35              |                  | 23,2     | 207           | 8,922     | 0,242              | 44,6   | 7,76            |
| 0                 | 60               | 31,4     | 289           | 9,204     | 0,173              | 55,2   | 5,73            |
| 0,05              |                  | 22,1     | 204           | 9,231     | 0,245              | 55,4   | 8,14            |

продовження табл. Г.1

| 1     | 2                          | 3    | 4   | 5     | 6     | 7    | 8     |
|-------|----------------------------|------|-----|-------|-------|------|-------|
| 0,1   | 60                         | 19,4 | 178 | 9,175 | 0,281 | 55,1 | 9,28  |
| 0,15  |                            | 19   | 174 | 9,158 | 0,287 | 54,9 | 9,47  |
| 0,2   |                            | 18,4 | 171 | 9,293 | 0,292 | 55,8 | 9,78  |
| 0,25  |                            | 19   | 172 | 9,053 | 0,291 | 54,3 | 9,47  |
| 0,3   |                            | 19,4 | 176 | 9,072 | 0,284 | 54,4 | 9,28  |
| 0,35  |                            | 20   | 182 | 9,100 | 0,275 | 54,6 | 9,00  |
| 0     | 70                         | 25   | 226 | 9,040 | 0,221 | 63,3 | 7,20  |
| 0,05  |                            | 17,5 | 159 | 9,086 | 0,314 | 63,6 | 10,29 |
| 0,1   |                            | 15   | 136 | 9,067 | 0,368 | 63,5 | 12,00 |
| 0,15  |                            | 14   | 127 | 9,071 | 0,394 | 63,5 | 12,86 |
| 0,2   |                            | 14   | 127 | 9,071 | 0,394 | 63,5 | 12,86 |
| 0,25  |                            | 12,2 | 111 | 9,098 | 0,450 | 63,7 | 14,75 |
| 0,3   |                            | 13,2 | 118 | 8,939 | 0,424 | 62,6 | 13,64 |
| 0,35  |                            | 15   | 130 | 8,667 | 0,385 | 60,7 | 12,00 |
| 0     | клапан открыт<br>ПОЛНОСТЬЮ | 14,2 |     |       |       | 100  | 12,68 |
| 0,075 |                            | 8    |     |       |       |      | 22,50 |
| 0,1   |                            | 7    |     |       |       |      | 25,71 |
| 0,15  |                            | 6    |     |       |       |      | 30,00 |
| 0,2   |                            | 5,1  |     |       |       |      | 35,29 |
| 0,3   |                            | 4,2  |     |       |       |      | 42,86 |
| 0,4   |                            | 3,5  |     |       |       |      | 51,43 |

Таблиця – Г.2

Результати дослідження електрогідравлічного клапана

Тривалість імпульсів постійна –  $\tau_{имп} = 40$  мс

Тиск наддуву постійний  $P_{над} = 0,2$  атм

| $T_0$ , с | $T_{оср}$ , с | $n_{ц}$ , ЦИКЛІВ | $n_{цср}$ , ЦИКЛ. | $f_z$ , Гц | $q_{ц}$ , мл /ЦИКЛ | $Q$ , % | $Q_m$ , л/ГОД |
|-----------|---------------|------------------|-------------------|------------|--------------------|---------|---------------|
| 5,4       | 5,47          | 89               | 88,3              | 16,159     | 0,566              | 64,6    | 32,93         |
| 9,2       | 9,20          | 117              | 117,0             | 12,717     | 0,427              | 50,9    | 19,57         |
| 15,3      | 15,17         | 160              | 158,3             | 10,440     | 0,316              | 41,8    | 11,87         |
| 31,0      | 30,67         | 250              | 249,3             | 8,130      | 0,201              | 32,5    | 5,87          |
| 40,2      | 40,03         | 281              | 279,0             | 6,969      | 0,179              | 27,9    | 4,50          |
| 32,0      | 32,10         | 178              | 178,3             | 5,556      | 0,280              | 22,2    | 5,61          |
| 31,9      | 32,40         | 162              | 163,3             | 5,041      | 0,306              | 20,2    | 5,56          |
| 33,2      | 33,07         | 168              | 167,3             | 5,060      | 0,299              | 20,2    | 5,44          |
| 45,4      | 46,43         | 184              | 187,0             | 4,027      | 0,267              | 16,1    | 3,88          |
| 60,1      | 60,63         | 215              | 217,3             | 3,584      | 0,230              | 14,3    | 2,97          |
| 59,0      | 58,87         | 172              | 171,7             | 2,916      | 0,291              | 11,7    | 3,06          |

Таблиця – Г.3

## Результати дослідження електропневматичного клапана

| $P_e$ ,<br>атм | $t_{имп}$ ,<br>мс | $T_d$ , с | $T_{дср}$ , с | $n$ , імн | $n_{ср}$ , імн | $q_{цп}$ ,<br>мл/с | $Q_{мн}$ ,<br>л/год | $f_n$ , Гц | $Q_n$ , % |
|----------------|-------------------|-----------|---------------|-----------|----------------|--------------------|---------------------|------------|-----------|
| 1              | 2                 | 3         | 4             | 5         | 6              | 7                  | 8                   | 9          | 10        |
| 3              | 15                | 14,50     | 14,37         | 46,00     | 45,00          | 11,11              | 125,29              | 3,13       | 2,43      |
|                |                   | 14,00     |               | 44,00     |                |                    |                     |            |           |
|                |                   | 14,60     |               | 45,00     |                |                    |                     |            |           |
|                | 20                | 12,20     | 12,47         | 37,00     | 38,33          | 13,04              | 144,39              | 3,07       | 0,55      |
|                |                   | 12,60     |               | 40,00     |                |                    |                     |            |           |
|                |                   | 12,60     |               | 38,00     |                |                    |                     |            |           |
|                | 30                | 8,60      | 8,87          | 27,00     | 27,67          | 18,07              | 203,01              | 3,12       | 2,04      |
|                |                   | 9,00      |               | 28,00     |                |                    |                     |            |           |
|                |                   | 9,00      |               | 28,00     |                |                    |                     |            |           |
|                | 35                | 7,80      | 7,80          | 23,00     | 23,00          | 21,74              | 230,77              | 2,95       | -3,57     |
|                |                   | 7,80      |               | 23,00     |                |                    |                     |            |           |
|                |                   | 7,80      |               | 23,00     |                |                    |                     |            |           |
| 2              | 15                | 19,20     | 19,73         | 59,00     | 60,00          | 8,33               | 91,22               | 3,04       | -0,57     |
|                |                   | 20,20     |               | 61,00     |                |                    |                     |            |           |
|                |                   | 19,80     |               | 60,00     |                |                    |                     |            |           |
|                | 20                | 15,80     | 16,20         | 49,00     | 50,00          | 10,00              | 111,11              | 3,09       | 0,93      |
|                |                   | 16,60     |               | 50,00     |                |                    |                     |            |           |
|                |                   | 16,20     |               | 51,00     |                |                    |                     |            |           |
|                | 30                | 11,80     | 11,47         | 36,00     | 35,67          | 14,02              | 156,98              | 3,11       | 1,72      |
|                |                   | 11,00     |               | 35,00     |                |                    |                     |            |           |
|                |                   | 11,60     |               | 36,00     |                |                    |                     |            |           |
|                | 35                | 10,00     | 9,80          | 30,00     | 29,67          | 16,85              | 183,67              | 3,03       | -1,00     |
|                |                   | 9,40      |               | 29,00     |                |                    |                     |            |           |
|                |                   | 10,00     |               | 30,00     |                |                    |                     |            |           |

продовження табл. Г.3

| 1   | 2  | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8      | 9    | 10    |
|-----|----|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|-------|
| 1,5 | 15 | 23,70 | 23,80 | 72,00 | 72,33 | 6,91  | 75,63  | 3,04 | -0,61 |
|     |    | 23,70 |       | 72,00 |       |       |        |      |       |
|     |    | 24,00 |       | 73,00 |       |       |        |      |       |
|     | 20 | 19,20 | 19,43 | 60,00 | 60,33 | 8,29  | 92,62  | 3,10 | 1,53  |
|     |    | 19,60 |       | 60,00 |       |       |        |      |       |
|     |    | 19,50 |       | 61,00 |       |       |        |      |       |
|     | 30 | 15,00 | 14,80 | 46,00 | 45,33 | 11,03 | 121,62 | 3,06 | 0,17  |
|     |    | 14,80 |       | 45,00 |       |       |        |      |       |
|     |    | 14,60 |       | 45,00 |       |       |        |      |       |
|     | 35 | 13,00 | 13,33 | 40,00 | 40,00 | 12,50 | 135,00 | 3,00 | -1,89 |
|     |    | 13,80 |       | 40,00 |       |       |        |      |       |
|     |    | 13,20 |       | 40,00 |       |       |        |      |       |
| 1   | 15 | 28,80 | 28,93 | 88,00 | 88,67 | 5,64  | 62,21  | 3,06 | 0,22  |
|     |    | 28,80 |       | 88,00 |       |       |        |      |       |
|     |    | 29,20 |       | 90,00 |       |       |        |      |       |
|     | 20 | 22,20 | 22,73 | 67,00 | 69,00 | 7,25  | 79,18  | 3,04 | -0,74 |
|     |    | 23,00 |       | 70,00 |       |       |        |      |       |
|     |    | 23,00 |       | 70,00 |       |       |        |      |       |
|     | 30 | 16,00 | 16,33 | 50,00 | 50,33 | 9,93  | 110,20 | 3,08 | 0,78  |
|     |    | 16,80 |       | 51,00 |       |       |        |      |       |
|     |    | 16,20 |       | 50,00 |       |       |        |      |       |
|     | 35 | 15,00 | 14,90 | 45,00 | 44,67 | 11,19 | 120,81 | 3,00 | -1,97 |
|     |    | 14,80 |       | 44,00 |       |       |        |      |       |
|     |    | 14,90 |       | 45,00 |       |       |        |      |       |

## Додаток Д

### Текст програми для реєстрації імпульсів фотодатчиків

```

'Програма обробки сигналів з входу 14 ігрового порту.
Прикладна програма QBasic
CLS: PRINT " Пуск - натискання будь-якої клавіші. Для зупинки
натисніть S або s"
    DIM A(4, 2000): W$ = ""
    10 W$ = INKEY$: IF W$ = "" THEN 10
    A(0, 1) = TIMER: T1$ = TIME$: I = 1: K = 0
    20 C = STRIG(3): GOSUB 40 'опитування виводу
14 ігрового порту
    IF C = -1 THEN : A(1, I) = K: GOTO 30 ELSE GOTO 20
    30 E = STRIG(3): GOSUB 40: IF C = E THEN GOTO 30
    A(2, I) = K: PRINT I; " NI = "; A(1, I); " KI = "; A(2,
I): I = I + 1: GOTO 20
    40 D$ = INKEY$: IF D$ = "S" OR D$ = "s" THEN 50
    IF I > 1999 THEN : PRINT "КІЛЬКІСТЬ ТОЧОК ПЕРЕВИЩУЄ
1999": GOTO 50
    K = K + 1: RETURN
    50 A(0, 2) = TIMER: T2$ = TIME$: CDEL = (A(0, 2) - A(0, 1))
/ K
    LINE INPUT "Зберегти дані? (Y/y) ", X$
    IF X$ = "Y" OR X$ = "y" THEN GOTO 70 ELSE GOTO 100
    70 LINE INPUT "Введіть ім'я файлу (не більше 4-х символів):
", V$
        INPUT "Об'єм насіння з рідиною за дослід, мл: ",
VPO
        OPEN "OGLF.DAT" FOR APPEND AS #2
        WRITE #2, V$ + ".dat"
        CLOSE #2
        OPEN V$ + ".dat" FOR OUTPUT AS #1
        WRITE #1, DATE$ + "ЧАС ПОЧАТКУ ДОСЛІДУ - " + T1$: L =
1
        80 FOR M = 1 TO I - 1 'Запис початку і кінця
імпульсу по входу 14 в 1/10000 с
            PRINT #1, USING"####. #####. #####.";M;A(1,
M)*CDEL*10000;A(2,M)*CDEL*10000
        NEXT M
        PRINT #1, 0: PRINT #1, VPO
        WRITE #1, "ЧАС ЗАКІНЧЕННЯ ДОСЛІДУ - " + T2$ + " Кінець
запису в файл - " + TIME$
        90 CLOSE #1: PRINT " - Програма виконана. "
        100 END

```

## Додаток Ж

Лабораторні дослідження якісних показників посівного матеріалу

Таблиця –Ж

Лабораторна схожість насіння, %

| Вид культур | Номер комірки | Дні |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------|---------------|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|             |               | 3   | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  |
| Капуста     | 4             | 30  | 38 | 63 | 73 | 75 | 79 | 82  | 85  | 89  | 89  | 89  | 89  | 89  | 89  | 89  | 90  | 90  | 90  |
|             | 5             | 32  | 42 | 59 | 74 | 77 | 81 | 81  | 86  | 89  | 90  | 90  | 90  | 90  | 90  | 90  | 90  | 90  | 90  |
|             | 6             | 39  | 45 | 58 | 65 | 73 | 77 | 80  | 84  | 90  | 90  | 90  | 90  | 90  | 90  | 90  | 90  | 100 | 100 |
|             | 7             | 61  | 72 | 72 | 75 | 75 | 77 | 87  | 90  | 91  | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
|             | 8             | 64  | 72 | 75 | 82 | 86 | 91 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Томат       | 4             | -   | -  | 28 | 41 | 52 | 58 | 62  | 67  | 71  | 73  | 75  | 79  | 81  | 83  | 85  | 85  | 85  | 85  |
|             | 5             | -   | -  | 31 | 43 | 55 | 62 | 69  | 72  | 75  | 77  | 79  | 82  | 83  | 85  | 85  | 87  | 87  | 87  |
|             | 6             | -   | -  | 35 | 51 | 54 | 65 | 72  | 75  | 76  | 80  | 84  | 85  | 85  | 85  | 87  | 87  | 90  | 90  |
|             | 7             | -   | 31 | 55 | 71 | 73 | 78 | 81  | 84  | 85  | 85  | 85  | 87  | 87  | 88  | 91  | 95  | 100 | 100 |
|             | 8             | -   | 28 | 58 | 74 | 75 | 79 | 83  | 85  | 87  | 89  | 91  | 92  | 93  | 94  | 95  | 100 | 100 | 100 |
| Перець      | 4             | -   | -  | -  | -  | -  | -  | 31  | 41  | 48  | 55  | 61  | 67  | 72  | 79  | 82  | 84  | 84  | 84  |
|             | 5             | -   | -  | -  | -  | -  | -  | 33  | 42  | 51  | 58  | 65  | 71  | 75  | 79  | 81  | 84  | 84  | 84  |
|             | 6             | -   | -  | -  | -  | -  | -  | 35  | 45  | 54  | 61  | 69  | 74  | 79  | 82  | 83  | 83  | 83  | 83  |
|             | 7             | -   | -  | -  | 21 | 29 | 45 | 51  | 59  | 67  | 75  | 80  | 83  | 83  | 84  | 84  | 84  | 84  | 90  |
|             | 8             | -   | -  | -  | 25 | 32 | 48 | 57  | 62  | 71  | 79  | 84  | 85  | 85  | 85  | 90  | 95  | 96  | 98  |

### Додаток 3

Польові дослідження якісних показників роботи ГПСТВ

Таблиця – 3

Результати порівняльних польових досліджень розподілу сходів томату

«Астероїд» висіяного посівною секцією ГПСТВ та Клен-1,8

| Номер досліджу | Посівна секція сівалки ГПСТВ |                                  |                                    | Посівна секція сівалки Клен-1,8 |                                  |                                    |
|----------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
|                | Відстань між рослинами, м    | Абсолютне значення відхилення, м | Квадратичне значення відхилення, м | Відстань між рослинами, м       | Абсолютне значення відхилення, м | Квадратичне значення відхилення, м |
|                | $y$                          | $ y-y_{cp} $                     | $(y-y_{cp})^2$                     | $y$                             | $ y-y_{cp} $                     | $(y-y_{cp})^2$                     |
| 1              | 2                            | 3                                | 4                                  | 5                               | 6                                | 7                                  |
| 1              | 0,3                          | 0,0241                           | 0,0006                             | 0,32                            | 0,079                            | 0,006                              |
| 2              | 0,3                          | 0,0241                           | 0,0006                             | 0,35                            | 0,049                            | 0,002                              |
| 3              | 0,3                          | 0,0241                           | 0,0006                             | 0,61                            | 0,211                            | 0,045                              |
| 4              | 0,29                         | 0,0341                           | 0,0012                             | 0,36                            | 0,039                            | 0,002                              |
| 5              | 0,57                         | 0,2459                           | 0,0604                             | 0,27                            | 0,129                            | 0,017                              |
| 6              | 0,3                          | 0,0241                           | 0,0006                             | 0,63                            | 0,231                            | 0,053                              |
| 7              | 0,31                         | 0,0141                           | 0,0002                             | 0,55                            | 0,151                            | 0,023                              |
| 8              | 0,3                          | 0,0241                           | 0,0006                             | 0,22                            | 0,179                            | 0,032                              |
| 9              | 0,3                          | 0,0241                           | 0,0006                             | 0,62                            | 0,221                            | 0,049                              |
| 10             | 0,3                          | 0,0241                           | 0,0006                             | 0,61                            | 0,211                            | 0,045                              |
| 11             | 0,3                          | 0,0241                           | 0,0006                             | 0,38                            | 0,019                            | 0,000                              |
| 12             | 0,31                         | 0,0141                           | 0,0002                             | 0,5                             | 0,101                            | 0,010                              |
| 13             | 0,3                          | 0,0241                           | 0,0006                             | 0,31                            | 0,089                            | 0,008                              |
| 14             | 0,31                         | 0,0141                           | 0,0002                             | 0,58                            | 0,181                            | 0,033                              |
| 15             | 0,31                         | 0,0141                           | 0,0002                             | 0,35                            | 0,049                            | 0,002                              |
| 16             | 0,31                         | 0,0141                           | 0,0002                             | 0,3                             | 0,099                            | 0,010                              |
| 17             | 0,3                          | 0,0241                           | 0,0006                             | 0,4                             | 0,001                            | 0,000                              |
| 18             | 0,3                          | 0,0241                           | 0,0006                             | 0,26                            | 0,139                            | 0,019                              |
| 19             | 0,31                         | 0,0141                           | 0,0002                             | 0,34                            | 0,059                            | 0,003                              |
| 20             | 0,3                          | 0,0241                           | 0,0006                             | 0,66                            | 0,261                            | 0,068                              |
| 21             | 0,3                          | 0,0241                           | 0,0006                             | 0,4                             | 0,001                            | 0,000                              |
| 22             | 0,29                         | 0,0341                           | 0,0012                             | 0,3                             | 0,099                            | 0,010                              |
| 23             | 0,62                         | 0,2959                           | 0,0875                             | 0,33                            | 0,069                            | 0,005                              |
| 24             | 0,31                         | 0,0141                           | 0,0002                             | 0,7                             | 0,301                            | 0,091                              |
| 25             | 0,3                          | 0,0241                           | 0,0006                             | 0,29                            | 0,109                            | 0,012                              |

Продовження табл. 3

| 1  | 2     | 3      | 4      | 5    | 6     | 7     |
|----|-------|--------|--------|------|-------|-------|
| 26 | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,33 | 0,069 | 0,005 |
| 27 | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,26 | 0,139 | 0,019 |
| 28 | 0,29  | 0,0341 | 0,0012 | 0,37 | 0,029 | 0,001 |
| 29 | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,4  | 0,001 | 0,000 |
| 30 | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,5  | 0,101 | 0,010 |
| 31 | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,63 | 0,231 | 0,053 |
| 32 | 0,32  | 0,0041 | 0,0000 | 0,57 | 0,171 | 0,029 |
| 33 | 0,305 | 0,0191 | 0,0004 | 0,37 | 0,029 | 0,001 |
| 34 | 0,29  | 0,0341 | 0,0012 | 0,32 | 0,079 | 0,006 |
| 35 | 0,61  | 0,2859 | 0,0817 | 0,29 | 0,109 | 0,012 |
| 36 | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,28 | 0,119 | 0,014 |
| 37 | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,63 | 0,231 | 0,053 |
| 38 | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,4  | 0,001 | 0,000 |
| 39 | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,33 | 0,069 | 0,005 |
| 40 | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,28 | 0,119 | 0,014 |
| 41 | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,27 | 0,129 | 0,017 |
| 42 | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,34 | 0,059 | 0,003 |
| 43 | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,58 | 0,181 | 0,033 |
| 44 | 0,6   | 0,2759 | 0,0761 | 0,4  | 0,001 | 0,000 |
| 45 | 0,29  | 0,0341 | 0,0012 | 0,35 | 0,049 | 0,002 |
| 46 | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,31 | 0,089 | 0,008 |
| 47 | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,66 | 0,261 | 0,068 |
| 48 | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,31 | 0,089 | 0,008 |
| 49 | 0,29  | 0,0341 | 0,0012 | 0,27 | 0,129 | 0,017 |
| 50 | 0,29  | 0,0341 | 0,0012 | 0,35 | 0,049 | 0,002 |
| 51 | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,34 | 0,059 | 0,003 |
| 52 | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,57 | 0,171 | 0,029 |
| 53 | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,25 | 0,149 | 0,022 |
| 54 | 0,33  | 0,0059 | 0,0000 | 0,33 | 0,069 | 0,005 |
| 55 | 0,57  | 0,2459 | 0,0604 | 0,31 | 0,089 | 0,008 |
| 56 | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,37 | 0,029 | 0,001 |
| 57 | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,24 | 0,159 | 0,025 |
| 58 | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,48 | 0,081 | 0,007 |

Продовження табл. 3

| 1   | 2     | 3      | 4      | 5    | 6     | 7     |
|-----|-------|--------|--------|------|-------|-------|
| 59  | 0,29  | 0,0341 | 0,0012 | 0,33 | 0,069 | 0,005 |
| 60  | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,37 | 0,029 | 0,001 |
| 61  | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,42 | 0,021 | 0,000 |
| 62  | 0,29  | 0,0341 | 0,0012 | 0,4  | 0,001 | 0,000 |
| 63  | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,26 | 0,139 | 0,019 |
| 64  | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,29 | 0,109 | 0,012 |
| 65  | 0,29  | 0,0341 | 0,0012 | 0,62 | 0,221 | 0,049 |
| 66  | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,45 | 0,051 | 0,003 |
| 67  | 0,29  | 0,0341 | 0,0012 | 0,44 | 0,041 | 0,002 |
| 68  | 0,29  | 0,0341 | 0,0012 | 0,61 | 0,211 | 0,045 |
| 69  | 0,29  | 0,0341 | 0,0012 | 0,32 | 0,079 | 0,006 |
| 70  | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,3  | 0,099 | 0,010 |
| 71  | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,37 | 0,029 | 0,001 |
| 72  | 0,58  | 0,2559 | 0,0655 | 0,26 | 0,139 | 0,019 |
| 73  | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,25 | 0,149 | 0,022 |
| 74  | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,26 | 0,139 | 0,019 |
| 75  | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,51 | 0,111 | 0,012 |
| 76  | 0,315 | 0,0091 | 0,0001 | 0,25 | 0,149 | 0,022 |
| 77  | 0,295 | 0,0291 | 0,0008 | 0,32 | 0,079 | 0,006 |
| 78  | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,37 | 0,029 | 0,001 |
| 79  | 0,305 | 0,0191 | 0,0004 | 0,59 | 0,191 | 0,037 |
| 80  | 0,295 | 0,0291 | 0,0008 | 0,41 | 0,011 | 0,000 |
| 81  | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,22 | 0,179 | 0,032 |
| 82  | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,59 | 0,191 | 0,037 |
| 83  | 0,305 | 0,0191 | 0,0004 | 0,35 | 0,049 | 0,002 |
| 84  | 0,54  | 0,2159 | 0,0466 | 0,38 | 0,019 | 0,000 |
| 85  | 0,315 | 0,0091 | 0,0001 | 0,23 | 0,169 | 0,029 |
| 86  | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,63 | 0,231 | 0,053 |
| 87  | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,27 | 0,129 | 0,017 |
| 88  | 0,29  | 0,0341 | 0,0012 | 0,35 | 0,049 | 0,002 |
| 89  | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,22 | 0,179 | 0,032 |
| 90  | 0,305 | 0,0191 | 0,0004 | 0,71 | 0,311 | 0,097 |
| 91  | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,45 | 0,051 | 0,003 |
| 92  | 0,305 | 0,0191 | 0,0004 | 0,67 | 0,271 | 0,073 |
| 93  | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,29 | 0,109 | 0,012 |
| 94  | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,43 | 0,031 | 0,001 |
| 95  | 0,55  | 0,2259 | 0,0510 | 0,47 | 0,071 | 0,005 |
| 96  | 0,25  | 0,0741 | 0,0055 | 0,45 | 0,051 | 0,003 |
| 97  | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,29 | 0,109 | 0,012 |
| 98  | 0,31  | 0,0141 | 0,0002 | 0,66 | 0,261 | 0,068 |
| 99  | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,13 | 0,269 | 0,072 |
| 100 | 0,3   | 0,0241 | 0,0006 | 0,37 | 0,029 | 0,001 |

Додаток Л  
Довідковий



(11) 90998

(19) UA

(51) МПК

A01C 7/04 (2006.01)

|                                                                              |                          |                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (21) Номер заявки:                                                           | а 2006 01288             | (72) Винахідники:                                                                                                                 |
| (22) Дата подання заявки:                                                    | 09.02.2006               | Улексін Василь Олексійович,<br>UA,<br>Бойко Владислав<br>Борисович, UA                                                            |
| (24) Дата, з якої є чинними<br>права на винахід:                             | 25.06.2010               | (73) Власник                                                                                                                      |
| (41) Дата публікації відомостей<br>про заявку та номер<br>біюлетеня:         | 10.08.2007,<br>Бюл. № 12 | ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ<br>ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ<br>УНІВЕРСИТЕТ,<br>вул.Ворошилова,буд.25,<br>м.Дніпропетровськ, 49004,<br>Україна, UA, UA |
| (46) Дата публікації відомостей<br>про видачу патенту та<br>номер біюлетеня: | 25.06.2010,<br>Бюл. № 12 |                                                                                                                                   |

(54) Назва винаходу:

СПОСІБ КООРДИНАТНОГО ГІДРОПНЕВМАТИЧНОГО ВИСІВУ НАСІННЯ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

(57) Формула винаходу:

1. Спосіб координатного гідропневматичного висіву насіння, при якому насіння поміщають у бак з водою, подають поштучно до сопла-стволо, з якого за сигналами датчика положення сопла-стволо відносно ґрунту насіння разом з водою виштовкують у ґрунт, який відрізняється тим, що насіння у баці з водою постійно перемішують, підтримуючи в завислому стані та утворюючи пульпу, за допомогою води під тиском витісняють пульпу з бака і по трубопроводу подають до сопла-стволо, контролюючи проходження насіння датчиком і припиняючи витіснення пульпи після потрапляння в сопло-ствол необхідної кількості насіння, після чого в заданому положенні сопла-стволо відносно ґрунту струменем повітря під тиском видавають пульпу з сопла-стволо, забезпечуючи висів насіння проникненням пульпи у ґрунт.
2. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що тиск води, яка витісняє пульпу, регулюють таким чином, щоб за час проходження відстані між суміжними висіваннями у сопло-ствол було подано задану кількість насіння.
3. Пристрій координатного гідропневматичного висіву насіння, що включає герметичний бак для пульпи, що утворена водою та насінням, сопло-ствол подачі пульпи у ґрунт, сполучений за допомогою трубопроводу з баком, датчик положення сопла-стволо відносно ґрунту, який відрізняється тим, що додатково обладнаний активатором, резервуаром для води, ресивером для стиснутого повітря, електрогідравлічним та електропневматичним клапанами, блоком керування та датчиком подачі насіння у сопло-ствол, причому бак з пульпою розділений еластичною перетинкою на два об'єми, у одному з яких знаходиться пульпа і діє активатор, а інший через електрогідравлічний клапан з'єднано з резервуаром для води, який також розділений еластичною перетинкою на два об'єми, у одному з яких знаходиться вода, а інший сполучено з ресивером, який через електропневматичний клапан сполучено з сопло-стволом, датчик подачі насіння у сопло-ствол сполучено з першим входом, а датчик положення сопла-стволо відносно ґрунту - з другим входом блока керування, виходи якого сполучено з електрогідравлічним та електропневматичним клапанами.
4. Пристрій за п. 3, який відрізняється тим, що додатково обладнаний регулятором тиску, включеним між ресивером і повітряним об'ємом резервуара для води, причому блок керування оснащено додатковим виходом, сполученим з регулятором тиску.



(11) 99860

(19) UA

(51) МПК

A01C 7/04 (2006.01)

|                                                                             |                          |                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (21) Номер заявки:                                                          | а 2010 14565             | (72) Винахідники:                                                                                                |
| (22) Дата подання заявки:                                                   | 06.12.2010               | Улексін Василь Олексійович,<br>UA,                                                                               |
| (24) Дата, з якої є чинними<br>права на винахід:                            | 10.10.2012               | Бойко Владислав<br>Борисович, UA,<br>Скок Сергій Олексійович, UA                                                 |
| (41) Дата публікації відомостей<br>про заявку та номер<br>бюлетеня:         | 11.06.2012,<br>Бюл. № 11 | (73) Власник:                                                                                                    |
| (46) Дата публікації відомостей<br>про видачу патенту та<br>номер бюлетеня: | 10.10.2012,<br>Бюл. № 19 | ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ<br>ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ<br>УНІВЕРСИТЕТ,<br>вул. Ворошилова, 25, м.<br>Дніпропетровськ, 49600, UA |

(54) Назва винаходу:

СПОСІБ КООРДИНАТНОГО ГІДРОПНЕВМАТИЧНОГО ВИСІВУ НАСІННЯ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

(57) Формула винаходу:

1. Спосіб координатного гідропневматичного висіву насіння, при якому насіння поміщають у закритий бак з робочою рідиною, наприклад водою, яку перемішують для підтримання насіння в завислому стані та утворення пульпи, за допомогою робочої рідини під тиском витісняють пульпу з бака і по пульпопроводу подають до сопла-ствол, контролюючи проходження насіння в сопло-ствол датчиком і припиняючи витіснення пульпи після потрапляння насіння в сопло-ствол, після чого в заданому положенні сопла-ствол відносно ґрунту струменем повітря під тиском виштовхують насіння разом з робочою рідиною, здійснюючи висів, який відрізняється тим, що завислий стан насіння у вигляді пульпи заданої концентрації підтримують локально інтенсивною циркуляцією робочої рідини лише у зоні подачі пульпи з бака до пульпопроводу, а концентрацію насіння у пульпі підтримують автоматично, змінюючи інтенсивність циркуляції робочої рідини.

2. Пристрій гідропневматичного висіву насіння, який включає закритий бак, заповнений робочою рідиною та насінням, що утворюють пульпу, сопло-ствол подачі пульпи у ґрунт, сполучений за допомогою пульпопроводу з баком, резервуар для робочої рідини, компресор з ресивером для стиснутого повітря, електрогідравлічний клапан, включений між баком і резервуаром для води, електропневматичний клапан, включений між ресивером і соплом-стволом, блок керування з датчиком положення сопла-ствол відносно ґрунту та датчиком подачі насіння у сопло-ствол, виходи якого сполучені з електрогідравлічним та електропневматичним клапанами, який відрізняється тим, що додатково обладнаний циркуляційним насосом з регульованим електроприводом та фільтром на вході, фотодатчиком оптичної щільності пульпи, та регулятором, вхід якого з'єднаний з фотодатчиком, а вихід - з регульованим електроприводом насоса, причому нижня частина бака звужується донизу, подача робочої рідини циркуляційним насосом здійснюється знизу вгору, а вхідний отвір пульпопроводу та вихідний отвір трубопроводу подачі робочої рідини з резервуара розташовані на протилежних стінках нижньої частини бака.



Міністерство освіти і науки України  
**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
 49000, м. Дніпро, вул. Сергія Єфремова 25,  
 тел. (056) 744-81-32, факс (056) 744-08-67, 744-53-03  
 E-mail: [info@dsau.dp.ua](mailto:info@dsau.dp.ua), [dsau@dsau.dp.ua](mailto:dsau@dsau.dp.ua) Web: [www.dsau.dp.ua](http://www.dsau.dp.ua) Код ЄДРПОУ 00493675

24.05.2021 № 44-11-574

На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

011704

Спеціалізованій вченій раді

#### ДОВІДКА

про впровадження у навчальний процес наукових результатів дисертаційної роботи аспіранта кафедри тракторів і сільськогосподарських машин Дніпровського державного аграрно-економічного університету Бойка Владислава Борисовича

Дніпровський державний аграрно-економічний університет підтверджує, що теоретичні та експериментальні дослідження гідропневматичного апарата точного висіву пророслого насіння, виконані Бойком В.Б., у дисертаційній роботі запроваджені в навчальний процес і використовуються в методичних розробках та у лекційному матеріалі навчальних дисциплін: «Моделювання технологічних процесів», «Сільськогосподарські машини», при підготовці фахівців ОС «бакалавр», «магістр» за ОПП «Агроінженерія».

Перший проректор,  
 проректор з навчальної роботи

Д.М. Онопрієнко

Начальник навчального  
 відділу, доцент

Г.В. Гапіч



Затверджую

Директор ТОВ ТД "Агротайм"

Борець Е.І. ТД "АГРОТАЙМ"

«22» червня 2021 р.



### АКТ

**про передачу науково-технічної документації на виготовлення  
сівалки з гідропневматичним апаратом точного висіву насіння  
овочевих культур**

Комісія у складі: директора ТОВ ТД "Агротайм" з однієї сторони і представника Дніпровського державного аграрно-економічного університету (ДДАЕУ) к.т.н., доцента в.о. завідуючого кафедрою «Тракторів і сільськогосподарських машин» Теслюка Г.В., к.т.н., доцента Улексіна В.О., старшого викладача Бойка В.Б., з іншої сторони, підписали акт про те, що підприємством "Агротайм" отримано від ДДАЕУ матеріали досліджень і розробки сівалки з гідропневматичним апаратом точного висіву насіння овочевих культур створеної на кафедрі «Тракторів і сільськогосподарських машин» (ТСГМ).

Матеріали включають:

1. Конструктивно-технологічну схему, технічний опис сівалки з гідропневматичним апаратом точного висіву овочевих культур.
2. Результати аналітичних та експериментальних досліджень показників роботи висівного апарата.
3. Рекомендації з регулювань основних параметрів перед початком експлуатації сівалки з гідропневматичним апаратом точного висіву овочевих культур.

Результати проведеної науково-дослідної роботи мають високу практичну значимість і будуть використані в освоєнні виробництва сівалок з гідропневматичним апаратом точного висіву овочевих культур.

Від ТОВ ТД "Агротайм"

Директор



/Т.І.Борець /

Від ДДАЕУ

к.т.н., доцент в.о. завідуючого  
кафедрою «Тракторів і сільсько-  
господарських машин»

 Г.В. Теслюк

к.т.н., доцент

 В.О. Улексін

старший викладач

 В.Б. Бойко



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ДДС ІОБ НААН України

Заверталюк В.Ф.

« 27 » травня 2021 р.



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Ректор ДДАЕУ

Кобець А.С.

« 27 » травня 2021 р.

## А К Т

## про впровадження закінченої науково-дослідної роботи

Ми, що нижче підписалися, представник Дніпровського державного аграрно-економічного університету сільського господарства в особі керівника науково-дослідної роботи доцента, к.т.н. Улексіна В.О. і представника Дніпропетровської дослідної станції ІОБ НААН України в особі директора Заверталюка В.Ф.

склали цей акт про те, що результати науково-дослідної роботи на тему: «Підвищення ефективності мостового землеробства застосуванням гідропневматичного апарату точного висіву»

виконаної кафедрою «Тракторів і сільськогосподарських машин» ДДАЕУ в період з 20 квітня 2020 року до 5 травня 2021 року впроваджені в Дніпропетровській дослідній станції ІОБ НААН України шляхом висіву пророслого насіння томату сорту «Астероїд» сівалкою з гідропневматичним апаратом точного висіву

з впровадженням винаходу по патентах № 90998, № 99860.

Впровадження результатів досліджень дозволило Дніпропетровській дослідній станції ІОБ НААН України одержати економічний ефект в сумі 13600,06 грн на площі 1,2 гектара. Ефект отриманий за рахунок точного гідровисіву пророслого насіння, що підвищило польову схожість до 93 % та приріст врожайності на 66 ц/га.

Зауваження і пропозиції про подальшу роботу по впровадженню.

Розробити документацію для серійного виробництва експериментальної сівалки з гідропневматичним апаратом точного висіву.

Представник

Підприємства, організації

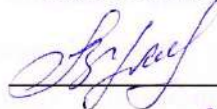


Заверталюк В.Ф.

«27» травня 2021 р.

Представник

науковий керівник роботи



Улексін В.О.

«27» травня 2021 р.

Виконавці:



Бойко В.Б.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**ДНІПРОПЕТРОВСЬКА ДОСЛІДНА СТАНЦІЯ ІНСТИТУТУ  
ОВОЧІВНИЦТВА І БАШТАННИЦТВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ  
АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ДДС ІОБ НААН України



Заверталюк В.Ф.

«27» травень 2021 р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Ректор Дніпровського державного  
аграрно-економічного університету



Кобець А.С.

«25» травень 2021 р.

**ПРОТОКОЛ**

виробничих випробувань експериментальної сівалки для точного висіву  
пророслого насіння за допомогою гідропневматичного апарата точного висіву

Початок випробувань – 20 квітня 2020 р.

Закінчення випробувань – 5 травня 2021 р.

Протокол складений на основі первинних матеріалів випробувань

м. Дніпро, 2021 р.