

Національний науковий центр
«Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»
Національної академії аграрних наук України

Вінницький національний аграрний університет
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Петриченко Євгеній Анатолійович

УДК 631.3.06.001.66

ДИСЕРТАЦІЯ
ОБґРУНТУВАННЯ СХЕМИ ТА ПАРАМЕТРІВ
КОМБІНОВАНОГО УДОБРЮВАЛЬНО-ПОСІВНОГО
МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ

05.05.11 – машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Є.А. Петриченко

Науковий керівник: **Булгаков Володимир Михайлович**, доктор технічних наук, професор, академік НААН, Заслужений винахідник України

Вінниця – 2017

АНОТАЦІЯ

Петриченко Є.А. Обґрунтування схеми та параметрів комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Національної академії аграрних наук України.

Вінницький національний аграрний університет Міністерства освіти і науки України, Вінниця, 2017.

Численними попередніми дослідженнями встановлено, що внесення мінеральних добрив одночасно з сівбою зернових та інших сільськогосподарських культур, коли стартові дози добрив вносяться на рівні ложа для насіння, а основна доза добрив вноситься нижче рівня загортання насіння зі зміщенням у горизонтальній площині, дозволяє досягти економії добрив на 30...45%.

Таким чином очевидно, що суміщення операції сівби зернових та інших сільськогосподарських культур з основним удобренням ґрунту є ресурсоощадним заходом. В зв'язку з цим виникає необхідність у розробці та дослідженні такого комбінованого машино-тракторного агрегату, який би дозволяв здійснювати висів з одночасним внесенням мінеральних добрив відразу стартовими і основними дозами. Причому, його конструктивно-технологічне виконання повинно забезпечувати підвищення техніко-економічних показників роботи. Практичне розв'язання саме такої задачі і обумовлює актуальність даної дисертаційної роботи.

Робота виконана у відповідності з Програмою наукових досліджень НААН 33 «Екологічно безпечні енергоощадні технологічні процеси і технічні засоби для виробництва продукції рослинництва і тваринництва»

(№ ДР 0111U004183).

Метою дослідження є підвищення техніко-економічних показників роботи удобрювально-посівного агрегату шляхом обґрунтування його схеми та конструктивно-технологічних параметрів.

Об'єктом досліджень є процес функціонування комбінованого машинно-тракторного агрегату для внутрішньогрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою зернових культур.

Предметом досліджень є закономірності впливу схеми, конструктивно-технологічних і кінематичних параметрів на плоскопаралельний рух та експлуатаційно-технологічні показники роботи комбінованого машинно-тракторного агрегату.

При виконанні теоретичних досліджень застосовані методи математичного моделювання, що ґрунтуються на складанні диференціальних рівнянь руху машин і машинних агрегатів, теорії тракторів, складання програм розрахунків на ПК. Експериментальні дослідження проведені з використанням сучасних методів польових випробувань з застосуванням вимірювальних пристроїв та реєстраційної апаратури. Обробка результатів експериментів проводилась на основі кореляційного та регресійного аналізу з використанням прикладних комп'ютерних програм.

На підставі розробленої математичної моделі плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату *вперше* отримано закономірності, які дають можливість здійснити вибір схеми та конструктивно-технологічних параметрів агрегату, виходячи з умов його стійкого руху в горизонтальній площині.

Дістали подальший розвиток наукові аспекти обґрунтування схем і конструктивно-технологічних параметрів комбінованих удобрювально-посівних агрегатів при реалізації ними принципово нових технологічних прийомів підвищення ефективності використання основної дози мінеральних добрив при сівбі зернових та інших сільськогосподарських культур.

Отримано *нові* математичні моделі впливу швидкості руху комбінованого

удобрювально-посівного агрегату, глибини висіву насіння і глибини закладання добрив у ґрунт на рівномірність розподілу насіння і добрив вздовж рядка, а також відхилення глибини висіву посівного матеріалу від встановленої та відхилення укладання насіння і добрив на дно борозни від осі рядка.

Важливі науково-практичні задачі посіву та удобрення зернових культур можна розв'язати розробкою та застосуванням комбінованих машинно-тракторних агрегатів, які побудовані за модульним принципом і дають істотні переваги щодо їх використання у виробничих умовах. Узагальнення науково-практичного досвіду показує, що ефективно їх вирішення можливі тільки при правильному виборі конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату. Наявність потенційних переваг комбінованого агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення та одночасної сівби зернових культур створює передумови для проведення досліджень.

Розроблено математичну модель плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату, яка дозволяє обґрунтувати його конструктивні і кінематичні параметри з позиції його стійкого руху у горизонтальній площині. Саме цей вид руху визначає агротехнічні та експлуатаційно-технологічні показники, а також продуктивність роботи.

З метою спрощення задачі складання рівнянь руху удобрювально-посівного агрегату у горизонтальній площині враховані тільки такі основні елементи комбінованого удобрювально-посівного агрегату, які здійснюють різні рухи. В результаті еквівалентна схема удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату, як динамічної системи, має шість ступенів вільності.

Тому і диференціальні рівняння руху динамічної системи опишемо шістьма незалежними узагальненими координатами: x_1 , y_1 , β_1 , β_2 , β_3 , β_4 , де x_1 , y_1 – координати центра мас агрегатуючого трактора; β_1 , β_2 , β_3 , β_4 – відповідно кути, утворені поздовжніми осями ланок механічної системи з віссю Ox .

Після знаходження для кожної ланки виразів кінетичної енергії, їх частинних похідних за відповідними узагальненими координатами та узагальнених сил отримано систему диференціальних рівнянь, яка описує рух комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату у горизонтальній площині.

Аналіз керованості руху досліджуваного агрегату здійснювали за загальновідомою методикою теорії автоматичного регулювання динамічних систем шляхом побудови відповідних амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) і фазово-частотних характеристик (ФЧХ) при відпрацюванні удобрювально-посівним агрегатом керуючого впливу, яким є кут α повороту передніх коліс агрегатуючого трактора. Перші з них характеризують ступінь підсилення динамічною системою вхідного сигналу, а другі – величину запізнення її реакції на цей сигнал.

В процесі теоретичних досліджень розглядалися наступні параметри удобрювально-посівного агрегату: коефіцієнт опору коченню f ходової системи агрегатуючого трактора, а також тукової та зернової сівалок; a_2, a_4 – відстані від точок причепу тукової і зернової сівалок до центрів їх мас; l_2, l_4 – довжини сниць тукової та зернової сівалок.

Аналіз фазово-частотних характеристик досліджуваної динамічної системи показав, що запізнення її реакції на керуючий вплив є постійним і рівним -180° або $-3,14$ рад. Такий перебіг фази відпрацювання керуючого впливу притаманний консервативним динамічним системам з практично відсутніми дисипативними процесами. За однієї і тієї ж частоти коливань керуючого впливу коефіцієнт його підсилення динамічною системою тим більший, чим більшим є коефіцієнт опору коченню f . Водночас, в залежності від агротехнічного фону, частота коливань керуючого впливу має змінюватися в межах $0,210 \dots 0,295 \text{ с}^{-1}$, за якої дійсна амплітудно-частотна характеристика відповідає ідеальній.

Збільшення параметру a_2 з 1,15 м до 3,15 м на частотах коливань

керуючого впливу $\omega < 0,24 \text{ c}^{-1}$ бажано, а на частотах $\omega \geq 0,3 \text{ c}^{-1}$ – небажано, оскільки це зменшує дійсні амплітудно-частотні характеристики. Так, за $\omega = 0,2 \text{ c}^{-1}$ при $a_2 = 3,15 \text{ м}$, амплітудно-частотна характеристика відпрацювання динамічною системою керуючого впливу становить 1,58. Водночас, зі зменшенням параметру a_2 до 1,15 м вказане небажане перерегулювання буде удвічі меншим, оскільки амплітудно-частотна характеристика досліджуваної системи при цьому опуститься до позначки 1,23.

За установлення частоти коливань повороту керованих коліс енергетичного засобу на рівні $\omega = 0,3 \text{ c}^{-1}$ амплітудно-частотна характеристика відпрацювання удобрювально-посівним агрегатом керуючого впливу при $a_2 = 1,15 \text{ м}$ взагалі є ідеальною, тобто дорівнює 1. Збільшення розглядуваного конструктивного параметру a_2 до 3,15 м на цій же частоті ω зменшує амплітудно-частотну характеристику до позначки 0,7. У даному випадку динамічна система відтворює керуючий вплив із недорегулюванням на 30%, що є фактом небажаним. І лише в діапазоні частот коливань кута α повороту керованих коліс трактора ω від $0,24 \text{ c}^{-1}$ до $0,30 \text{ c}^{-1}$ можна підібрати таке значення конструктивного параметру a_2 , яке сприятиме практично ідеальній керованості руху даного комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату.

Якісно схожий висновок можна зробити і стосовно вибору конструктивного параметру l_2 . Відмінність при цьому полягає в тому, що частотний діапазон коливань керуючого впливу, у якому дійсні амплітудно-частотні характеристики розглядуваної динамічної системи (тобто розглядуваного комбінованого машинно-тракторного агрегату) відповідають ідеальним, є дещо вузьким. Як випливає із аналізу, він (діапазон) становить приблизно $0,23 \dots 0,26 \text{ c}^{-1}$.

Аналіз результатів моделювання керованого руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату в горизонтальній площині показує, що вплив на цей процес конструктивних параметрів a_4 і l_4 , як і параметрів a_2 і l_2 , якісно і кількісно є аналогічним.

При лабораторно-польових експериментальних дослідженнях процесу сівби в якості зернової культури, що висівається, вибрано ячмінь, а для кращої оцінки розподілу мінеральних добрив у борозні і з точки зору безпеки їх замінили на насіння сої.

Показником якості роботи при лабораторно-польових експериментальних дослідженнях комбінованого агрегату прийнято рівномірність розподілу насіння і мінеральних добрив по довжині рядка, коефіцієнт варіації глибини висіву насіння зернових культур і мінеральних добрив та коефіцієнти відхилення розміщення насіння і добрив від осі рядка. При польових експериментальних дослідженнях щодо доцільності застосування у виробничих умовах запропонованого посівного агрегату в якості показника ефективності прийнято величину врожайності зернових культур в період повної зрілості.

Для дослідження процесу сівби зернових культур і внесення мінеральних добрив стартової і основної дози, які суміщені із сівбою зернових культур, розроблено експериментальну установку – комбінований удобрювально-посівний агрегат у складі двох зернотукових сівалок.

Результатами експериментальних досліджень було встановлені залежності якісних показників роботи комбінованого посівного агрегату: рівномірності розподілу насіння ячменю вздовж рядка; рівномірності розподілу добрив (насіння сої) вздовж рядка; коефіцієнта варіації глибини висіву насіння ячменю; коефіцієнта варіації глибини висіву мінеральних добрив (насіння сої); коефіцієнта варіації відхилення від осі рядка насіння ячменю; коефіцієнта варіації відхилення від осі рядка мінеральних добрив (насіння сої).

Аналізом регресійних моделей встановлений факт зменшення коефіцієнта варіації відхилення від осі рядка добрив (насіння сої) із збільшенням швидкості руху агрегату. Але збільшення глибини закладання насіння із 7 см до 8 см призводить до зменшення коефіцієнту варіації, а при збільшенні глибини до 9 см – коефіцієнт варіації збільшуватиметься. Раціональними значеннями швидкості руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату є 2,5...3,0 м/с, глибини висіву насіння – 4...5 см і глибини закладання добрив у

грунт – 8...9 см. Зростання рівномірності висіву насіння спостерігається із збільшенням швидкості поступального руху удобрювально-посівного агрегату, але при збільшенні глибини висіву насіння від 2 см до 4 см цей показник якості роботи збільшуватиметься, а при подальшому збільшенні глибини – рівномірність зменшуватиметься. Із збільшенням швидкості руху удобрювально-посівного агрегату і глибини закладання мінеральних добрив у ґрунт рівномірність їх розподілу на дні борозни збільшується. Зменшення відхилення глибини висіву насіння від встановленого спостерігається із збільшенням швидкості руху агрегату і глибини висіву насіння. Аналогічно, як і для насіння ячменю, зменшенням відхилення глибини закладання мінеральних добрив у ґрунт від встановленого досягається збільшенням швидкості руху удобрювально-посівного агрегату і глибини закладання мінеральних добрив у ґрунт. Зниження коефіцієнта варіації відхилення від осі рядка насіння ячменю спостерігається із збільшенням швидкості удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату. Але зі збільшенням глибини висіву від 2 см до 4 см коефіцієнт варіації зростає, а при подальшому збільшенні глибини – коефіцієнт варіації зменшується.

В результаті польових експериментальних досліджень встановлено, що при застосуванні комбінованого посівного агрегату для одночасної сівби із внесенням стартової і основної дози мінеральних добрив врожайність ярої пшениці становить 56,4 ц/га, а ячменю – 57,3 ц/га. При цьому, у порівнянні із застосуванням суцільного внесення стартової норми мінеральних добрив розкидним способом, передпосівної культивуації та комбінованої сівби з одночасним внесенням основної норми добрив врожайність ярої пшениці збільшилася на 5,1 ц/га, а ячменю – на 6,7 ц/га. Збільшення ж врожайності при модернізованій схемі сівби у порівнянні із сівбою без внесення мінеральних добрив складає відповідно для ярої пшениці – 6,9 ц/га, а для ячменю – 10,6 ц/га.

В результаті економічних розрахунків встановлено, що загальний економічний ефект від використання комбінованого посівного агрегату з урахуванням ефекту від збільшення врожайності складає 2688,00 грн/га при вирощуванні ярої пшениці і 3084,50 грн/га при вирощуванні ячменю.

Ключові слова:комбінований машинно-тракторний агрегат, внесення добрив, посів, параметри, диференціальні рівняння, рішення на ПК, стійкість руху.

SUMMARY

PetrychenkoYe. A. Substantiation of schemes and parameters of combined fertilizing-sowing machine and tractor unit. – Qualifying scientific work on the Manuscript rights.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences (PhD) in specialty 05.05.11 – machines and means of mechanization of agricultural production.

National scientific center «Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture» of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine.

Vinnitsya National Agrarian University, Education and Science Ministry of Ukraine, Vinnitsya, 2017.

The numerous previous studies determined that application of mineral fertilizers simultaneously with planting of corn and other agricultural crops when starting doses of fertilizers are made at the level of the seed bed, and the main dose of fertilizers is brought below the level seed placement with displacement in the horizontal plane, allows to achieve a savings of fertilizer by 30...45%.

So it is obvious that the combination of operations of sowing grains and other agricultural crops from the soil is basic fertilizing resource saving measure. In this regard, there is need to design and research of such combined machine and tractor unit, which would be necessary to carry out sowing and simultaneously application of fertilizers and immediately starting and basic doses. Thus, its structural and technological performance should provide improvement technical and economic performance indicators of work. Practical implementation of just such objectives and makes the relevance of this dissertation work.

Work carried out in accordance with Scientific Research Program of the NAAS of Ukrainian «Ecologically safe energy-saving technology processes and technical

means for production of crop and livestock products» (№ DR0111U004183).

The purpose of research is to increase the technical and economic performance indicators of fertilizing – showing aggregate by justification its schemes and structural and technological parameters.

The object of researchers is the process of functioning of the combined machine and tractor unit for internally soil complex of mineral fertilizer of soil with simultaneous sowing crops.

The subject of the research is laws to impact of schemes, structural and technological and kinematic parameters on planar movement and exploitation and technological characteristics of work combined machine and tractor unit.

When performing theoretical investigations of applied mathematical modeling techniques are based on drafting of the differential equations movement of agricultural machinery and machine aggregates, tractors theory, programming numerical calculations on the PC. Experimental research conduct of with the use modern techniques of field tests with application of measurement devices and equipment register. Processing of results of experiments was conducted on basis of correlation and regression of analysis using software applications.

Based on the developed a mathematical model of plane parallel movement of the combined fertilizing-sowing machine and tractor aggregate for the first time received regularities, which give the opportunity to make choice of schemes and structural and technological parameters aggregate, based on the conditions for its sustained movement in the horizontal plane.

Enough further development of the scientific aspects of justification schemes and structural and technological parameters of combined fertilizing-plow units when of realization by them fundamentally new technological methods of improving the efficiency dose of mineral fertilizers of at sowing grains and other crops.

Received new mathematical models of the impact velocity of the combined fertilizing-sowing unit, depth of sowing seeds and depth of laying the fertilizer into the soil at uniformity of distribution seed and fertilizer along the line. Reject the depth of sowing seed on set and reject the conclusion of seeds and fertilizer at the

bottom groove on axis line.

Important scientific and practical tasks of planting and fertilizing cereal crops can unleash development and application of the combined machine and tractor units that were built in a modular fashion and give a significant advantages concerning their use in a production environment. Summary of scientific practical experience has shown that effective their decisions possible with the right choice of structural and technological parameters and operating modes of combined fertilizing-sowing machine and tractor unit. Availability of the potential benefits of combined unit for internal soil of mineral fertilizing and simultaneous of sowing cereal crops creates the preconditions for research.

The mathematical model of planar movement combined fertilizing-sowing unit, which allows its to substantiate structural and kinematic parameters of the position of its sustained movement in the horizontal plane. This is the type of motion determines agro technical, exploitation and technical indicators and productivity.

In order to simplify the problem of the equations of motion fertilizing-sowing aggregate in a horizontal plane taken into account only the following basic elements of the combined fertilizing-sowing unit, performing various movements. As a result equivalent circuit of fertilizing – sowing machine and tractor aggregate as a dynamic system has six the degrees of freedom.

That is why differential equations of movement dynamic described by six independent generalized coordinates: $x_1, y_1, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$, where x_1, y_1 coordinates of the center of mass of tractor of aggregate; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – according angles formed by longitudinal axes parts of the mechanical system on axis.

After determining equations for each link of kinetic energy its derivative parts by the relevant generalized coordinates and generalized forces have received system of differential equations that describes the motion of the combined fertilizing-sowing machine and tractor aggregate in a horizontal plane.

Analysis of control movement investigational aggregate carried out by the generally known method theory of automatic control of dynamic systems by constructing a relevant amplitude-frequency characteristics (AFC) and phase-

frequency characteristics (PFC) at working fertilizing-sowing unit of the control action, which is the angle of the front wheels α of aggregation tractor. The first of them characterize the degree of amplification of the input signal dynamic system, and the second value of delay its response to this signal.

In the process of theoretical investigations of examined the following parameters fertilizing-sowing aggregate: coefficient of rolling resistance f suspension systems of aggregation tractor, and fertilizer and grain seeders; a_2, a_4 – distance from the points trailer fertilizer and grain seeders to the center of their mass; l_2, l_4 – length tracks fertilizer and grain drills.

Analysis of the phase-frequency characteristics of the dynamic system has shown that delays its response to control influence is constant and equal to -180 or -3.14 rad. Such a course of working phase of the control action is inherent in conservative dynamic system with virtually missing dissipative processes. For the same oscillation frequency of the control action coefficient of amplification its dynamic system is greater the higher the rolling resistance coefficient f . At the same time according to the agrotechnical background of vibration frequency of the control action should vary within the range $0.210 \dots 0.295 \text{ s}^{-1}$, in which actual frequency response corresponds to perfectly.

Increase parameter a_2 at 1.15 m to 3.15 m at frequencies of oscillation control action $\omega < 0.24 \text{ s}^{-1}$ desirable, and at frequencies $\omega \geq 0.3 \text{ s}^{-1}$ – reduces is not desirable actual frequency response characteristics. Thus, $\omega = 0.2 \text{ s}^{-1}$ at $a_2 = 3.15$ m amplitude – frequency characteristic of practicing system of dynamic control action is 1.58. At the same time with a decrease parameter a_2 to 1.15 m specified undesirable overshoot will be more than twice as less as the amplitude – frequency characteristic investigated system at the same time fall to a mark of 1.23.

By establishment of the oscillation frequency rotation of the steering wheels of energy means at level $\omega = 0.3 \text{ s}^{-1}$ amplitude – frequency characteristic testing of fertilizing-sowing unit of the control action at $a_2 = 1.15$ m in general is perfect, that is equal to 1. Increasing of the proposed constructive of parameter a_2 to 3.15 m on the

same frequency ω reduces the frequency response to a mark of 0.7. In this case reflects a dynamic system of control action is not controlled at 30%, which is a fact undesirable. Only in the frequency range of oscillation angle α of rotation of the steering wheels of the tractor ω from 0.24 s^{-1} to 0.30 s^{-1} can pick up such value of structural parameters, which contribute practically perfect controllability of this traffic combined fertilizing-sowing tractor unit.

Qualitatively similar conclusion can be made and regarding the choice of structural parameters l_2 . Cancel at this is that the frequency range of vibrations control action in which the actual amplitude – frequency characteristics of the considered dynamic system (i.e., of the proposed combined machine and tractor unit) correspond to a perfect, is somewhat narrower. As follows from the analysis it (range) is about $0.23 \dots 0.26 \text{ s}^{-1}$.

Analysis of the results modeling of controlled movement combined fertilizing-sowing unit in the horizontal plane shows that the impact on the process constructive parameters and options are qualitatively a_4 and l_4 quantitatively a_2 and l_2 is the same.

At laboratory and field experimental research of the process as a grain crop that is sown, selected barley, and for better distribution of chemical fertilizers in the furrow and in terms of security replaced by soybean seeds.

An indication of the quality of work in the laboratory-field experimental research of the combined unit made uniformity of distribution of seeds and fertilizers to length line, coefficient of variation of the depth of seeding grains and mineral fertilizers and coefficients rejection placement of seed and fertilizer from the axis line. At the field of experimental research, concerning expediency of application in the production conditions proposed of seed unit as the indicator of the effectiveness, the value has accepted the yield of grain crops in the period full maturity.

For research of the process planting crops and entering mineral fertilizers and basic starting doses combined with planting of cereals been developed experimental setup – combined fertilizing-sowing unit consisting of two fertilizer grain seeders.

The results of experimental research were established depending on high

quality performance of combined sowing unit: distribution uniformity of barley seed along the line; uniformity of distribution of fertilizers (soybean) along the line; coefficient of variation of depth seeding of barley; coefficient of variation of depth of seeding chemical fertilizers (soybean); coefficient of variation deviation from the axis line of barley seeds; coefficient of variation deviation from the axis line chemical fertilizers (soybean).

Analysis of regression models established fact reducing coefficient of variation deviation from the axis line of fertilizers (soybean seeds) with an increase in speed of the unit. But the increase in boulders of laying seeds of 7 cm to 8 cm leads to decrease of coefficient of variation, while increasing depth of 9 cm – coefficient of variation increase. Rational values of the velocity of the combined fertilizing-sowing tractor unit is $2.5...3.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, seeding depth – 4...5 cm and depth of laying fertilizer to the soil – 8...9 cm. The increase of seeding amount uniformity is observed with the increase in speed translational motion fertilizing-sowing unit, but with increasing of seeding amount depth of 2 cm to 4 cm this figure work quality will increase, while further increasing depth – uniformity decrease. With the increased speed of movement fertilizing – sowing unit and depth of laying chemical fertilizers to the soil uniformity of their distribution on the bottom groove increases. Reducing the depth of seeding amount deviation from established is observed with the increase in speed of movement unit and the depth of seeding amount. Similarly, as well as for barley seeds, decreasing the depth of laying deviation of fertilizers in the soil on the established achieved by increasing the speed of the fertilizer-seed unit and the depth of laying the mineral fertilizers into the soil. Reducing the coefficient of variation of deviation from the axis line of barley seeds to observed with increasing speed fertilizer-seed tractor unit. But with increasing depth of seeding from 2 cm to 4 cm variation coefficient increases and with further increase of depth – the coefficient of variation decreases.

As a result, of field experimental researches it is established that the use of combined sowing aggregate for the simultaneous sowing of making the starting dose and the main dose of mineral fertilizers spring of wheat yield is 56.4 c/ha and barley

– 57.3 c/ha. At the same time, compared with the use of a solid start making standards mineral fertilizers spreading it the method of cultivation and pre-sowing combined with the simultaneous introduction of the basic norms of fertilizers yields of spring wheat increased by 5.1 c/ha and barley – 6.7 c/ha. An increase in yield with a modernized scheme sowing in comparison with planting without applying mineral fertilizers is respectively for spring wheat – 6.9 c/ha and for barley – 10.6 c/ha.

As a result of economic calculations determined that the overall economic effect of the combined use of sowing aggregate, taking into account the effect of the increase in productivity is 2688.00 UAH/ha for growing spring wheat and 3084.50 UAH for growing barley.

Key words: combined machine and tractor unit, fertilizing, sowing, parameters, differential equations, the decision on personal computer, movement stability.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Адамчук В.В. Дослідження руху комбінованого посівного агрегату з одночасним унесенням мінеральних добрив /В.В. Адамчук, Є.А. Петриченко // Вісник аграрної науки, 2015, № 3. – С. 27-32.

2. Адамчук В.В. Теоретичне дослідження плоскопаралельного руху комбінованого посівного агрегату / В.В. Адамчук, Є.А. Петриченко // Загальнодержавний збірник “Механізація та електрифікація сільського господарства” ННЦ “ІМЕСГ”, Вип. №2(101), Глеваха, 2015. – С. 13-21.

3. Адамчук В.В. Теорія руху причіпного комбінованого посівного агрегату / В.В. Адамчук, Є.А. Петриченко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. “Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва”, Вип. 163, Харків, 2015. – С.195-212.

4. Петриченко Є.А. Розробка конструктивно-технологічної схеми агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення з одночасною сівбою зернових культур / Є.А. Петриченко // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2016. – вип. 6, Том 3. – С. 178-184.

5. Петриченко Є.А. Дослідження агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою / Є.А. Петриченко // Вісник аграрної науки, 2017, № 1. – С. 68-71.

6. Петриченко Є.А. Результати експериментальних досліджень нового комбінованого машинно-тракторного агрегату / Є.А. Петриченко // Всеукраїнський науково-технічний журнал: Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця, 2017, Випуск 1 (96). – С. 24-29.

7. Петриченко Є.А. Експериментальне дослідження показників роботи комбінованого удобрювально-посівного агрегату / Є.А. Петриченко // Вісник аграрної науки, 2017, № 4. – С. 70-73.

Статті у наукових виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз:

8. Beloeh Hristo. Theory of movement of the combined seeding unit / Hristo Beloeh, Boris Borisov, Valerii Adamchuk, Ivgenii Petrychenko // Agriculture and Agricultural Science Procedia. – Volume 7 (2015) Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture, (Gembloux, Belgium). – p.p. 21-26.

9. Adamchuk V. Study plane-parallel motion movement combined seeding unit / V. Adamchuk, I. Petrychenko, M. Korenko, H. Beloeh, B. Borisov // MECHANIZATION IN AGRICULTURE. International scientific, scientific applied and informational journal. Year LXI, ISSN 0861-9638, issue 2/2015, Bulgaria, Sofia. – p.p. 3-6.

Патенти України:

10. Патент України №110432, МПК А01С 21/00. Агрегат для внутрішньогрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою сільськогосподарських культур / В.В. Адамчук, В.А. Насонов, О.Ф. Говоров, Є.А. Петриченко, В.К. Мойсеєко. – а 201408883; заявл. 06.08.2014; опубл.25.12.2015. – Бюл. № 24.

Матеріали конференцій і тези:

11. Герук С.Н. Анализ конструкций агрегатов для предпосевной обработки почвы и посева / С.Н. Герук, Е.А. Петриченко // Материалы Международной научно-технической конференции “Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве”, (Минск, 22-23 октября 2014 г.), Том 2. – Минск, НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2014. – С. 147-152.

12. AdamchukValerii. Study of plane-parallel motion of machine combination / ValeriiAdamchuk, IevgeniiPetrychenko, JüriOlt, Alexander Liyvapuu // Proceedings of the 3rd International Conference “Optimization and Analysis of Structures” III. Tartu, Estonia, August 23-25, 2015. Editors: J. Lellep, E. Puman. – p.p. 10-16.

13. Петриченко Є.А. Математична модель плоскопаралельного руху комбінованого посівного та удобрювального машинно-тракторного агрегату / Є.А. Петриченко // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції “Підготовка ґрунту в системі ресурсозберігаючих технологій”. – Кіровоград: КНТУ, 2016. – С. 34-35.

14. Петриченко Є.А. Польові випробування агрегату для комбінованого мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою/ Є.А. Петриченко//Матеріали міжнародної науково-практичної конференції за результатами досліджень 2015 року “Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК”. – Мелітополь:ТДАТУ, 2016. – С. 131-132.

15. Петриченко Є.А. Експериментальні дослідження нового агрегату для комбінованого мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою / Є.А. Петриченко // Тези доповідей Національного університету біоресурсів і природокористування України. – Київ: НУБіП, 2017. – С. 24-25.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	21
РОЗДІЛ 1 СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ	26
1.1. Аналіз конструктивних схем комбінованих машинно- тракторних агрегатів	26
1.2. Стан досліджень комбінованих удобрювальних і посівних машинно-тракторних агрегатів	48
1.3. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення з одночасною сівбою зернових культур	60
1.4. Висновки по розділу та постановка задач дослідження	66
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОБҐРУНТУВАННЯ РУХУ КОМБІНОВАНОГО УДОБРЮВАЛЬНО-ПОСІВНОГО МАШИННО- ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ	68
2.1. Загальні положення та припущення, прийняті при теоретичному дослідженні комбінованого удобрювально-посівного агрегату	68
2.2. Математична модель плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату	71
2.3. Лінеаризація отриманої системи диференціальних рівнянь плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату	91
2.4. Методика дослідження математичної моделі комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату	98
Висновки по розділу	109
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	110

3.1. Програма проведення експериментальних досліджень	110
3.2. Схема експериментального зразка комбінованого агрегату	111
3.3. Загальна методика експериментальних досліджень	113
3.3.1. Методика визначення умов проведення досліджень	114
3.3.2. Методика обробки результатів польових дослідів	118
3.4. Методика проведення польових досліджень по обґрунтуванню доцільності сумісності технологічних операцій за один прохід агрегату	124
Висновки по розділу	125
РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХ АНАЛІЗ	
4.1. Результати експериментальних досліджень впливу параметрів і режимів роботи комбінованого посівного агрегату на якість сівби ...	126
4.2. Результати експериментальних досліджень по обґрунтуванню доцільності поєднання технологічних операцій за один прохід комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату	140
Висновки по розділу	145
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО УДОБРЮВАЛЬНО- ПОСІВНОГО АГРЕГАТУ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ВПРОВАДЖЕННЯ	
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	151
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	154
ДОДАТКИ	169

СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз конструктивних схем комбінованих машинно-тракторних агрегатів

Проблема енергозбереження в даний час є однією із найбільш пріоритетних у сільськогосподарському виробництві України [1-7].

Більшість технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві механізовано, а тому рівень технологій, якість і собівартість одержуваної продукції багато в чому визначаються мірою досконалості використовуваних машин і агрегатів.

Обробіток ґрунту – самий енергоємний і дорогий процес, на який доводиться приблизно 40% енергетичних і 25% трудових витрат від усього обсягу польових робіт [8-11]. На другому місці за енерговитратами знаходиться збирання вирощеної продукції, а також сівба та внесенні мінеральних добрив.

В даний час в світі спостерігається загальна тенденція розширення мінімальних, енергоощадних технологій сільськогосподарського виробництва, яка неможлива без зміни моделей і типів використовуваного обладнання [11]. Особливої актуальності набувають питання скорочення енергоємності виробництва [12], нормування витрат енергії ресурсів у галузях сільського господарства, встановлення оптимального співвідношення між поточною ринковою та енергетичною вартістю сільськогосподарської продукції, що дозволить скоротити собівартість, і як наслідок, підвищити доходи товаровиробників, зміцнити конкурентоспроможність сільськогосподарської продукції. Необхідність переорієнтації сільського господарства на енергоощадний тип науково-технічного прогресу зумовлено загостренням конкуренції на внутрішньому і зовнішньому ринках, інвестиційною непривабливістю сільськогосподарського виробництва, залежністю

національної економіки від імпорتنих первинних енергетичних ресурсів [1, 7]. Нові машини і побудовані нові сільськогосподарські агрегати повинні перевершувати ті, що існують, за своїми функціональними й техніко-економічними показниками [13].

Основи енергетичного аналізу та принципів ощадливого використання енергетичних ресурсів в сільськогосподарському виробництві відображені в роботах Гамидова Г.З., Іванова Н.М., Іваницького В.Г., Козаченка О.В., Морозова І.В., Пастухова В.І., Родичева В.А. та ін. Теоретико-методологічні та практичні проблеми визначення енергетичної ефективності у сільському господарстві знайшли відображення в роботах Бондара С.М., Мельніка І.І., Наумова Ю.Ф., Усенко А.В., Саблука П.Т., Амбросова В.Я., Андрійчука В.Г., Антоненка Л.А., Базарова Є.І., Бузовського Є.А., Буги В.К., Глуценка Д.П., Гришка В.В., Іваненка П.І., Левкіної Р.В., Мазнева Г.Є., Медведовського О.К., Мінько Л.В., Мороза О.В., Перебийніса В.І., Рабштини В.М., Рижкова В.Г., Севернева М.М., Булгакова В.М. та інших учених. В роботах Кравчука В.І., Красовського В.С., Лобошко Н.І., Мазитова Н.К. та ін. обґрунтовані перспективні напрями використання енергетичних засобів у складі комбінованих агрегатів та їх енергетична ефективність.

З іншого боку останнім часом в світі все більшої актуальності набуває проблема переущільнення ґрунтів. В сучасних технологіях виробництва сільськогосподарських культур в процесі підготовки ґрунту, посіву, догляду за посівами, збирання й транспортування врожаю й післязбиральних залишків різні машини проходять по полю до 12-15 разів, що приводить до ущільнення від 20% до 70% площі поля. Такий негативний техногенний вплив рушіїв тракторів на ґрунт збільшує деформацію орного й підорного шару, ущільнення й розпилення ґрунту, що приводить до посилення водної і вітрової ерозії ґрунтів [14]. Погіршення агрофізичних властивостей ґрунтів у результаті багаторазових проходів сільськогосподарських машин приводить до погіршення умов росту й розвитку рослин і, як наслідок, до значного зниження врожайності, що, наприклад, досягає для просапних культур до 5...20% [14].

Проблема зниження родючості ґрунтів за рахунок їхнього переуцільнення ходовими системами енергетичних засобів і сільськогосподарських машин придбала глобальний характер і з кожним днем стає усе гостріше. У зв'язку з цим актуальним є пошук інших шляхів рішення цієї проблеми. Найбільш перспективним з них – це створення більш досконалих сільськогосподарських машин і агрегатів, у тому числі і комбінованих [15-26].

Разом з тим, на сучасному етапі механізації сільського господарства на європейському і світовому ринках все більше з'являється тракторів нової тягово-енергетичної концепції [27]. Згідно з її вимогами відношення потужності двигуна до маси трактора не залишається постійним. Навпаки, воно має тенденцію до постійного зростання. На думку багатьох учених [28] у найближчому майбутньому номінальна енергонасиченість тракторів повинна становити приблизно 25...34 кВт/т. З цієї точки зору комбіновані агрегати найбільше повно відповідають сучасній тенденції в тракторобудуванні. Оскільки завантажити енергонасичені трактори одноопераційними машинами не завжди можливо, особливо на полях невеликих розмірів, на схилах і зрошуваних ділянках [27-31]. У зв'язку з цим особливу актуальність набувають питання створення техніки нового покоління, яка дозволяє реалізовувати принципово нові способи її агрегування при одночасному підвищенні продуктивності машинно-тракторних агрегатів [27-31].

Захист ґрунтів від надмірного руйнування та ущільнення, збереження ґрунтової вологи для того, щоб насіння були укладені у вологе середовище, повне завантаження енергонасичених тракторів, а також необхідність проведення сівби сільськогосподарських культур у найкоротші агротехнічні строки визначили необхідність створення комбінованих агрегатів, які суміщають ранньовесняні розпушування і поверхневе вирівнювання ґрунту, передпосівний обробіток ґрунту і посів з одночасним внесенням рідких добрив, розпушування ґрунту в міжряддях і внесення добрив або гербіцидів [32-37].

У вирішенні цього питання у нашій країні й за рубежом ведуться роботи з виявлення раціональних способів обробки ґрунту. Цільовою функцією

ефективності останніх є мінімум енергетичних і трудових витрат на одиницю продукції рослинництва [13, 16, 20, 25]. Удосконалювання технології обробки ґрунту здійснюється, в основному, по двох основних напрямках: мінімалізація обробки ґрунту й поєднання декількох операцій за один прохід сільськогосподарського агрегату [18, 21, 24, 31].

Ефективне використання комбінованих машинно-тракторних агрегатів (МТА) можливе тільки при правильному виборі їх схеми та параметрів. Визначальний вклад в теорію та практику цього питання внесли Василенко П.М., Юшин О.О., Євтенко В.Г., Любимов А.І., Панов І.М., Сакун В.О., Касимов А.Ш., Синєоков Г.М., Надикто В.Т., Кюрчев В.М. та інші вчені.

Дослідженням руху широкозахватних машинно-тракторних агрегатів, у тому числі й збиральних машин, було приділено достатньо уваги як вітчизняними, так і іноземними вченими [13, 35, 38-42].

З питань моделювання динамічних систем, механізмів та приводів робочих органів сільськогосподарських машин відомі роботи: Василенка П.М., Гячева Л.В., Лур'є А.Б., Нагорського І.С., Ханка Л.Ф., Погорілого Л.В., Булгакова В.М., Надикто В.Т., Брея В.В., Кюрчева В.М. та ін.

З питань технологічної надійності динамічних систем сільськогосподарських машин найбільший вклад внесли: Анілович В.Я., Севернов М.М., Міхлін В.М., Кузнецов В.А., Костецкий Б.І., Кугель Р.В., Рабінович А.Ш., Величкін Г.В., Погорілий Л.В., Прейсман В.І., Сковородін В.Я., Адамчук В.В., Бойко А.І. та ін.

За напрямком розробки та проектування адаптованих систем сільськогосподарських машин працювали: Горячкін В.П., Василенко П.М., Синєоков Г.М., Погорілий Л.В., Гуков Я.С., Дубровін В.О., Мельнік І.І., Тищенко С.С., Корабельський В.І., Юрчук В.П. та ін.

Багатолітніми дослідженнями науковців доведено, що завдяки комбінованим машинам і агрегатам скорочується число проходів машинно-тракторного агрегату на полі, усуваються розриви в часі між окремими

польовими роботами, знижуються енергетичні витрати і матеріалоємність процесу, згладжуються, так звані, пікові потреби в енергетичних засобах і трудових ресурсах, поліпшується гумусовий баланс ґрунту і зменшуються втрати живильних речовин і вологи, підвищується родючість ґрунту, врожайність і продуктивність праці.

Пошук шляхів практичного впровадження потенційно можливих схем комбінованих машинно-тракторних агрегатів здійснювали в своїх дослідженнях Євтенко В.Г., Надикто В.Т., Погорілий Л.В., Юшин О.О., Мироненко В.Г., Кравчук В.І., Черепухін В.Д., Лебедєв А.Т., Пашенко В.Ф., Самородов В.Б., Кюрчев В.М. та ін.

У відомих дослідженнях при оцінці ефективності різних технологій обробітку ґрунту та посіву розглядали чотири основні системи обробітку: традиційна технологія обробітку ґрунту і сівби; технологія безполицевого основного обробітку та мульчування ґрунту; технологія сівби з поверхневим обробітком та мульчуванням ґрунту рослинними рештками; технологія прямої сівби озимих культур. Аналіз технологій показав, що їх рівень можна забезпечити, наприклад, зниження витрат палива при безполицевому і поверхневому обробітках, прямій сівбі. Відповідним є і зниження витрат праці. Проте при цьому прямі експлуатаційні витрати, що значною мірою залежать від вартості та річного завантаження машин, мають інші тенденції і зменшення витрат на паливо не завжди призводить до адекватного зниження прямих експлуатаційних витрат.

Загалом [8, 15, 16, 20, 22, 24, 37, 42, 43], використання запропонованих науковцями методик, щодо опрацювання всіх можливих варіантів агрегування сільськогосподарських машин з урахуванням витрат енергії ресурсів на виконання робіт в умовах конкретного сільськогосподарського підприємства (поля, умов роботи, наявності техніки) дозволяє отримувати ефект зменшення витрат сукупної енергії до 4,7%. При цьому, суттєва економія ресурсів досягається при використанні комбінованих агрегатів. Зокрема, використання останніх дозволяє знизити витрати праці на 20%, пального – на

25%. Сумарна колія після проходу тракторів і сільськогосподарських машин зменшується на 45%, зміст вологи в ґрунті в шарі товщиною до 15 см збільшується на 8...10% тощо.

Останнім часом велика кількість наукових робіт присвячена системному аналізу щодо визначення обсягу застосування комбінованих машин і агрегатів у господарствах [25, 35, 36]. Встановлено, що цей обсяг визначається природно-кліматичними умовами, фізико-механічними властивостями оброблюваних ґрунтів, застосовуваною системою землеробства, агротехнічними вимогами до обробки ґрунтів і посіву, можливістю й доцільністю сполучення технологічних операцій, а також енергетичною базою [42].

Встановлено, що для досягнення позитивного ефекту від застосування комбінованих агрегатів повинні дотримуватися наступні вимоги [16, 20, 39]:

– енергоємність технологічного процесу з використанням комбінованих агрегатів не менша за загальну енергоємність при його виконанні одноопераційними машинами/знаряддями;

– продуктивність комбінованих агрегатів не нижче, ніж у комплексу замінних одноопераційних машин/знарядь;

– вартість роботи комбінованих агрегатів менша або на рівні вартості роботи комплексу одноопераційних машин/знарядь;

– комбіновані агрегати так само добре пристосовані для роботи при несприятливих погодних і ґрунтових умовах, як і замінні ними одноопераційні машини/знаряддья;

– застосування комбінованих агрегатів повинно сприяти підвищенню врожайності оброблюваних культур, підтримувати родючість ґрунту, забезпечувати роботу в системі нових технологій.

Самі ж комбіновані агрегати бувають двох основних типів: що складаються з одноопераційних машин і спеціалізовані, які не використовуються роздільно. Найбільш поширені агрегати першого типу, оскільки їх можна роздільно застосовувати на одноопераційних роботах із

тракторами різних тягових класів. Можливість роздільного застосування машин дозволяє збільшити час експлуатації їх протягом року.

За способом агрегування комбіновані агрегати науковці поділяють на три групи [39, 45-47]:

– машинно-тракторні агрегати, у яких серійні одноопераційні машини/знаряддя послідовно з'єднані між собою за допомогою зчіпок;

– агрегати, у яких енергетичний засіб агрегується з моноблочною машиною, на рамі якої можуть закріплюватися постійні або змінні робочі органи;

– машинно-тракторні агрегати, які складені з декількох одноопераційних машин/знарядь, одні з яких навішуються на передній, а інші – на задній навісний механізми енергетичного засобу.

У цей час в Україні і за рубежем успішно застосовуються конструкції агрегатів і машин всіх трьох типів, призначені для роботи на різних ґрунтових фонах.

Основною перевагою першого способу складання комбінованих машинно-тракторних агрегатів (рис. 1.1) є те, що останні комплектують із наявних у господарстві серійних одноопераційних машин/знарядь без їхньої переробки або з незначними змінами (рис. 1.2). Але, такі комбіновані машинно-тракторні агрегати, як правило, громіздкі та металоємні. Одноопераційні серійні машини, які входять до складу цих агрегатів, звичайно розраховані на самотійну роботу із тракторами при їхньому оптимальному завантаженні. Тому, у них часто не збігаються ширина захвата і оптимальна швидкість роботи, що істотно ускладнює вибір оптимальних параметрів складеного комбінованого агрегату.

рамі комбінованої машини послідовно встановлені різні по призначенню робочі органи (або секції робочих органів), запозичені від одноопераційних машин.

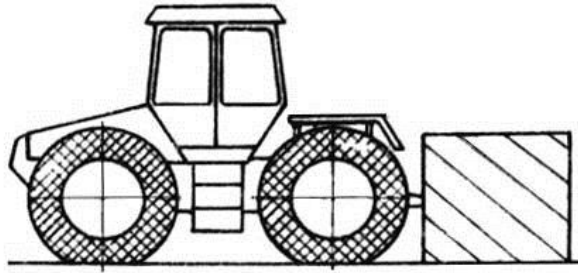


Рис. 1.3 – Комбінована машина, що має загальну раму, на якій встановлені різні за призначенням робочі органи

Перевагою комбінованих машинно-тракторних агрегатів другої схеми є більша компактність і менша металоємність, що дозволяє частку машин/знарядь робити начіпними або напівначіпними. До того ж, є можливість використання робочих органів і секцій серійних машин/знарядь у необхідному технологічному поєднанні.

Прикладами таких комбінованих машин є відомий культиватор комбінований напівначіпний ККП-3,7, призначений для основної обробки ґрунту після збирання високостебельних просапних культур. Агрегатується з тракторами Т-150, Т-150К, ХТЗ-161, ХТЗ-17021. Глибина обробки до 16 см. Ширина захвату – 3,7 м, продуктивність – 2,3-3,7 га/год.

Однією з найбільш перспективних комбінованих ґрунтообробних машин є агрегат напівпричепний АГРО-3 [48-51], призначений для безполицевого основного і передпосівного обробітку стерньових агрофонів після збирання просапних та інших культур, який за один прохід забезпечує виконання всього комплексу робіт з підготовки ґрунту до сівби зернових культур – чизелювання на глибину до 20 см, плоскорізний обробіток та подрібнення посівного прошарку. Ширина захвату – 3 м, продуктивність 2,4-2,7 га/год. Агрегат дозволяє змінювати послідовність розміщення робочих органів для обробітку ґрунту після різних попередників. Агрегатується з тракторами класу 5.

Еквівалентна схема запропонованої експериментальної комбінованої машини показана на рис. 1.5. Система складається із чотирьох частин. Перша частина має раму, на якій послідовно кріпляться чизельні лапи та дискові робочі органи. Другою і третьою складовими системами є робочі органи культиватора, закріплені на коротких і довгих гряділях, четверта включає батарею дисків. Недоліком комбінованої машини є відносно велика її енергоємність, що не дає змоги агрегатувати її з трактором класу 3.

Для забезпечення якісного виконання передпосівного обробітку ґрунту під льон науковцями [36, 52] запропонована технологічна схема комбінованої машини, яка включає різнотипні робочі органи, об'єднані в модулі, що кріпляться до рами в незмінній технологічній послідовності (рис. 1.4): передній опорний коток пруткового типу діаметром 300 мм, три ряди розпушуючих лап на S-подібних пружних стовбах із частотою власних коливань 9,2 Гц, вирівнювач на пружній підвісці з установочним кутом нахилу до напрямку руху 75° та тандем задніх циліндричних пруткових котків різного діаметра (перший – 300 мм, другий – 250 мм).

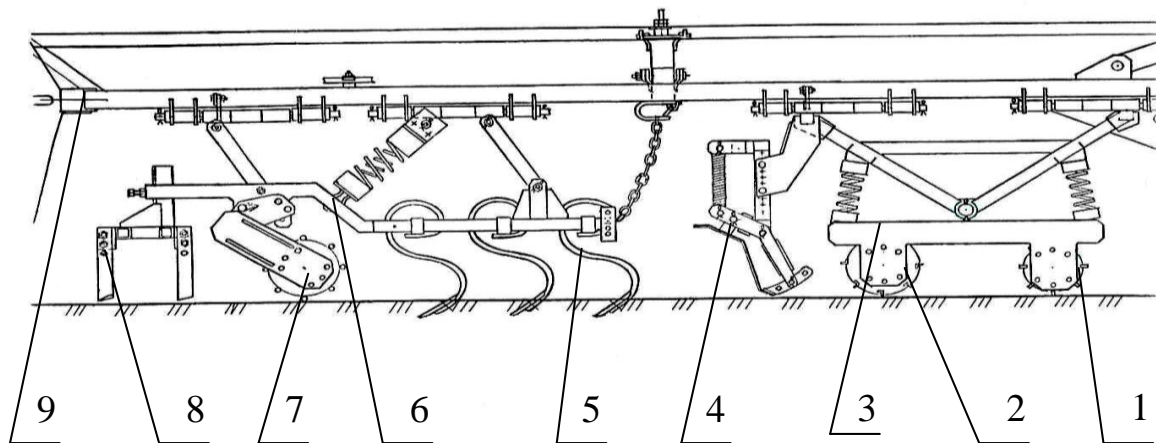


Рис. 1.4 – Компонувальна схема комбінованої машини для передпосівного обробітку ґрунту під льон:

- 1, 2 – відповідно задні і передні котки тандема; 3 – модуль коткового тандема;
 4 – модуль вирівнювачів; 5 – розпушуючі лапи; 6 – модуль котків і розпушуючих лап; 7 – передні котки; 8 – слідорозпушувачі колії трактора;
 9 – рама машини

Як показує аналіз відомих конструкцій комбінованих агрегатів у більшості з них в основу закладено знаряддя плоскорізного типу. Це є наслідком того, що плоскорізи та чизелі більш доцільно використовувати в зонах недостатнього зволоження, а також на агрофонах із незначною кількістю рослинних решток замість оранки, особливо весняної.

Багато комбінованих машин виробляє ВАТ “Голещина машинобудівний завод”, наприклад відомий культиватор напівначпний КПН-8,2. Останній призначений для передпосівного обробітку ґрунту у всіх ґрунтово-кліматичних зонах, за виключенням районів з кам’янистими ґрунтами на глибину від 5 см до 15 см. Робочим органом даного культиватора є звичайна стрілчаста лапа шириною 270 мм. Проте вона встановлена на жорстко закріпленій стійці, що дає змогу якісно проводити обробіток ґрунту на задану глибину, робочі органи не вглиблюються при потраплянні на більш щільний ґрунт.

Цей культиватор випускається в трьох модифікаціях для всіх тягових класів тракторів. Шляхом демонтажу двох напіврам культиватора КПН-8,2 можна отримати культиватор КПН-5,6, а при демонтажу двох крайніх секцій – з культиватора КПН-5,6 можна отримати культиватор КПН-3. Секції і напіврами КПН-8,2 з’єднані з центральною рамою шарнірно, що дозволяє при транспортуванні складати секції і піврами, зменшуючи ширину культиватора. Шарнірно прикріплена до рами колісна підвіска, з двома колесами на пневматичних шинах, опускається і піднімається за допомогою гідросистеми, тому в робочому положенні культиватор не залишає після себе колії. Культивація проводиться під кутом до напрямку попереднього обробітку. При роботі культиватор опирається на передні опорні і задні прикочувальні котки. Положення кожного з них регулюється за допомогою гвинтів, також ними виставляється глибина обробітку. Лапи культиватора закріплені у три ряди на центральній рамі, пів-рамах і секціях, які при роботі культиватора підривають і розрізають нижній шар ґрунту. Їх розміщення таке, щоб витримувати принцип перекидання сліду, а збільшена відстань між стійками, в порівнянні з існуючими культиваторами, не дає забиватися робочим органам коріннями

бур'янів. Планчастий коток, що йде після секції стрілчастих лап добре розбиває грудки, і створює на поверхні поля рельєф, що зменшує кількість вологи яка випаровується. Конструкція культиватора відзначається високою жорсткістю та надійністю, в підшипникових вузлах котків використовуються самоцентровані закриті підшипники, що усуває перекося при роботі із перевантаженням і значно подовжує строк служби котка.

До основних переваг культиватора КПН-8,2 можна віднести:

- повне підрізання бур'янів; а їх рештки будуть витягнуті на поверхню, що гарантує повне їх знищення;
- збільшення продуктивності за рахунок великої ширини захвату культиватора та його мобільності при транспортуванні;
- економію пального, трудозатрат, та високу якість підготовленого під посів ґрунту із сформованим насіннєвим ложем.

Відомий культиватор комбінований напівпричіпний ККП-6 “Кардинал” призначений для передпосівного обробітку ґрунту у всіх сільськогосподарських зонах України.

Найбільш ефективним є застосування ККП-6 при обробітку ґрунту після зяблевої оранки під посів буряка, гороху, кукурудзи, соняшника, льону та ярих зернових. Культивація проводиться під кутом до напрямку оранки. Характерною конструкційною особливістю культиватора є те, що відповідним набором робочих органів за один прохід він послідовно виконує всі основні технологічні операції передпосівного обробітку, а саме:

- рихлення колії трактора;
- вирівнювання ґрунту першою секцією “вирівнюючих лап”;
- ущільнення верхнього шару ґрунту та подрібнення великих грудок котками першої секції;
- розпушування ґрунту та підрізання бур'янів трьома рядами пружинних лап першої секції культиватора;
- додаткове вирівнювання ґрунту “вирівнюючими лопатками” другої секції;

– додаткове подрібнення великих грудок та ущільнення нижніх шарів ґрунту для формування “насінного ложа” малим та великим котком другої секції;

– прикінцеве вирівнювання поля та розподіл поживних залишків на поверхні поля пружинною бороною другої секції.

Культиватор ККП-6 може комплектуватись навісним пристроєм під зернову сівалку фірми “Клєн”, що дає змогу за один прохід проводити передпосівну підготовку ґрунту та сівбу. Культиватор складається за допомогою гідравліки до ширини 3,15 м, тому легко транспортується по шляхах загального призначення. Оригінальна конструкція слідорозрихлювача на відміну від аналогічних на інших культиваторах – жорстка, що дає змогу якісно проводити розпушування колії трактора на задану глибину, має зрізний болт, який при перевантаженнях зберігає конструкцію слідорозрихлювача від руйнування, чим продовжує їх строк служби. Заслуговує уваги також висока надійність підшипникових вузлів котків культиватора, чим він вигідно відрізняється від аналогічних машин. Це досягається в першу чергу застосуванням закритих самоцентрованих підшипників, які додатково захищаються ущільненнями від попадання пилу. Всі рамні конструкції культиватора виготовлені із труб квадратного перерізу які мають товщину стінки 8 мм – тому прогин рами при транспортуванні найменший з усіх культиваторів подібного типу, які виробляють в Україні. Регулювання кожної групи робочих органів дає змогу виконувати передпосівний обробіток на глибину від 2 см до 15 см, що дуже важливо при посіві дрібно насінневих культур.

Крім того іншими перевагами даного культиватора є:

- швидка дружна поява сходів культурних рослин;
- рівномірний розвиток паростків;
- повне підрізання бур’янів за допомогою трьохрядної установки робочих органів і її зміни в залежності від забрудненості;

- видалення корневих решток бур'яну на поверхню до повного знищення;
- повне рихлення колії трактора;
- збільшення продуктивності та економія пального і затрат праці.

Також відомі конструкції дискових комбінованих культиваторів ККП-3,6 та ККП-4,5, які виконують одночасно декілька функцій: розпушування і змішування, подрібнення і вирівнювання, прикочування ґрунту. В результаті створюється рівна поверхня ґрунту. Міцний коток з пластинами служить для прикочування і ущільнення ґрунту, а диски гарантують перемішування ґрунту і оптимальну якість обробітку, чисто заорюють стерню. Глибина обробітку 5...18 см. Агрегатується з тракторами класу 3.

Робочими органами культиватора ККП-3,6 є широкі стрілочасті лапи і цілком новий вид зірчастих дисків, зібраних на чотирьох валах в одну загальну одиницю. Завдяки високій ефективності ротаційних дисків при подрібненні брил, а також зворотному перекиданню ґрунту скорочується кількість робочих операцій. Замість 5-6 проходів дисковою бороною, польовим котком і звичайною бороною, культиватор готує ґрунт під посів після стерньових попередників за один прохід, після соняшнику і кукурудзи – за два проходи.

До недоліків комбінованих машинно-тракторних агрегатів такого типу варто віднести більш складну конструкцію рами, нагромадження на ній робочих органів, що часто ускладнює обслуговування машини, збільшує тенденцію до забивання робочих органів ґрунтом і рослинними залишками, знижує експлуатаційну надійність у порівнянні з одноопераційними машинами/знарядями.

Комбіновані машинного-тракторні агрегати, які виконані по третій схемі (рис. 1.5) з'явилися порівняно недавно і широко застосовуються на обробленні просапних культур, де потрібна підвищена точність обробки і тому комбіновані агрегати перших двох типів малопридатні.

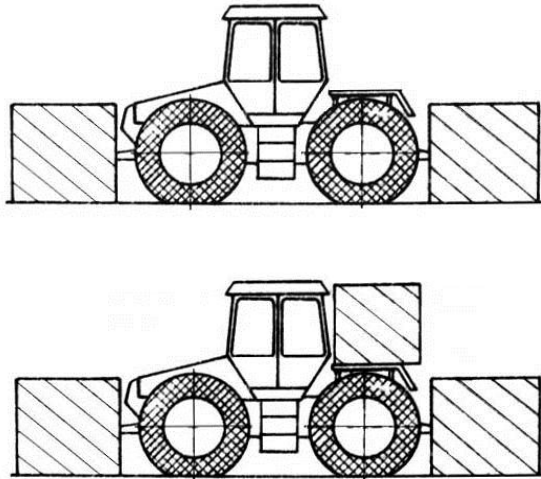


Рис. 1.5 – Комбіновані агрегати, які складаються з однієї або багатоопераційних машин за допомогою трактора, що має передній і задній начіпні пристрої

Переваги таких агрегатів (див. рис. 1.5) полягає в тому, що маса і тяговий опір фронтально навішених секцій машин/знарядь збільшують вертикальне навантаження на передні ведучі колеса енергетичного засобу, підвищують зчеплення їх із ґрунтом і зменшують буксування. У результаті поліпшуються умови використання потужності двигуна енергетичного засобу за рахунок перерозподілу навантажень по його мостах, підвищується продуктивність праці і знижуються питомі витрати палива. У багатьох випадках знижується металоємність і кінематична довжина агрегату, що приводить до зменшення ширини поворотної смуги і зниженню непродуктивних витрат часу під час руху комбінованих машинно-тракторних агрегатів на ній.

Одним з перспективних напрямків створення і застосування комбінованих машинно-тракторних агрегатів є їх компонування фронтальними і задніми навісними системами, які дозволяють поєднувати технологічні процеси механічної обробки ґрунту. Необхідно надати особливого значення пошуку нових, більш економічних технологічних прийомів роботи тракторних агрегатів, розробці і застосуванню комбінованих засобів механізації, які дозволяють за один прохід агрегату отримувати декілька технологічно взаємопов'язаних операцій із забезпеченням високої якості роботи. При цьому

слід врахувати, що мова йде не тільки про об'єднання окремих елементарних технологічних операцій в єдиний процес, але і про розробку якісно нових, більш досконалих машин і, виконуваних ними, технологічних процесів, які не повторюють і не копіюють колишні, а замінюють їх, стають більш економічними і відповідають завданням комплексної механізації землеробства.

Необхідність використання в сільськогосподарському виробництві комбінованих машинно-тракторних агрегатів достатньо і в повній мірі викладена на сторінках періодичних видань. Багато авторів відзначають значний позитивний ефект від застосування комбінованих агрегатів із фронтальною і задньою навіскою. При їх застосуванні збільшується навантаження на передню вісь, що збільшує керованість, поліпшуються тягові властивості трактора, знижується буксування, підвищується завантаження двигуна [13, 31, 45, 52].

Суміщення технологічних операцій шляхом створення та широкого застосування високопродуктивних універсальних комбінованих машинно-тракторних агрегатів дозволяє скоротити кількість проходів техніки по полю, зокрема, при вирощуванні цукрових буряків їх кількість зменшується в 2 рази порівняно із звичайною технологією [53]. Знижуються витрати праці на 30...50%, металоємність – на 20...25%, економиться до 40% палива, підвищується якість виконуваних робіт і врожайність сільськогосподарських культур [8, 15, 16, 20, 22, 24, 37, 42, 43].

Саме суміщення операцій і дає великий агротехнічний ефект: так, ефективність закладення в ґрунт насіння ячменю, при суміщенні фінішної обробки ґрунту та посіву, зростає на 9% порівняно з роздільною передпосівною обробкою і висівом [54]. Застосування фронтально-навісних машин/знарядь, у складі комбінованих агрегатів, дозволяє більш повно завантажити потужні трактори без великого збільшення ширини захвату і робочих швидкостей. Це особливо важливо там, де використання широкозахватної і швидкісної техніки обмежується контурністю полів, пересіченою місцевістю. У підсумку її використання дозволяє зменшити експлуатаційні витрати на виробництво

механізованих робіт, затрати праці, потребу в тракторах і металоємність процесу в розрахунку на гектар виконуваних робіт, скоротити терміни виконання сільськогосподарських робіт [20].

При фронтальному агрегуванні значно поліпшуються умови спостереження за робочими органами сільськогосподарських знарядь, що дозволяє зменшити величину захисних зон. Зокрема, при обробці міжрядь цукрових буряків фронтально навішаним культиватором ширина захисної зони може бути зменшена з 10...12 см, прийнятих для задненавісних знарядь, до 5...6 см при фронтально-навісному знарядді [55].

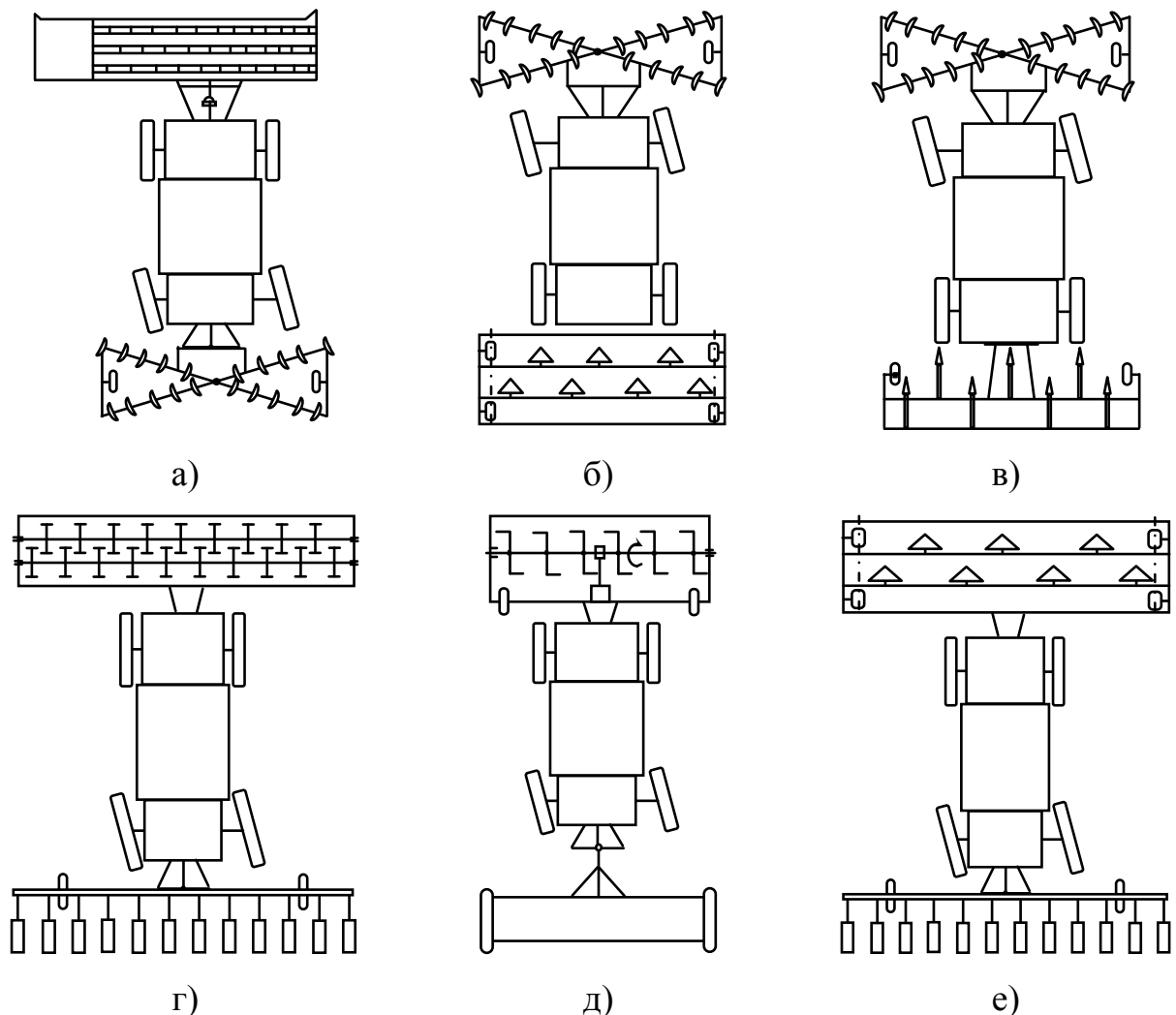
Про необхідність застосування комбінованих агрегатів при вирощуванні просапних культур говорить і той факт, що з-за одного тільки переущільнення ґрунту ходовими системами машинно-тракторних агрегатів втрачається до 15% врожаю цукрових буряків [56].

Останнім часом багато фірм (ВАТ “ЛТЗ”, ВАТ “ВгТЗ”, ВАТ “ХТЗ”, Claas, John Deere, Valtra и др.) почали пропонувати до використання комбіновані агрегати, які складені саме із машин певного призначення, одні з яких навішаються на передній, а інші – на задній навісній механізми трактора [20].

Поява у світовому сільськогосподарському машинобудуванні нових енергетичних засобів [45], які принципово відрізняються від традиційних – на світовому ринку вони відомі як інтегральні трактори поширює перспективи створення комбінованих агрегатів за вищезгаданою схемою. Їх компоновка задовольняє основної, пред’явленої до них вимоги, – забезпечити складання комбінованих агрегатів з одноопераційних начіпних і причіпних машин для виконання різних сільськогосподарських робіт. Інтегральні трактори можуть агрегуватися як зі спеціальними, так і серійними сільськогосподарськими машинами. Причому в цілому ряді випадків комбінації агрегатів “інтегральний трактор – серійна сільськогосподарська машина і знаряддя” дають більший економічний ефект у порівнянні зі спеціальними комбінованими машинами, які мають автономні рами, зчіпки, ходову частину.

Трактори інтегральної схеми найбільше повно відповідають вимогам, пропонованим до третьої схеми агрегування. Вони мають більш високі тягово-зчіпні якості, вантажопідйомність передньої начіпної системи, навісоздатність, подовжню стійкість, а також мають вантажну площадку для розміщення технологічних ємностей та розвинену систему відбору потужності. У результаті забезпечуються можливості більш широкого використання цих тракторів у складі комбінованих машинно-тракторних агрегатів з різними сільськогосподарськими машинами [45].

Прикладами успішної реалізації схем комбінованих і широкозахватних машинно-тракторних агрегатів на базі інтегральних орно-просапних тракторів є результати робіт [57-65]. Була розроблена низка схем нових перспективних комбінованих (рис. 1.6) і широкозахватних (рис. 1.7) агрегатів.



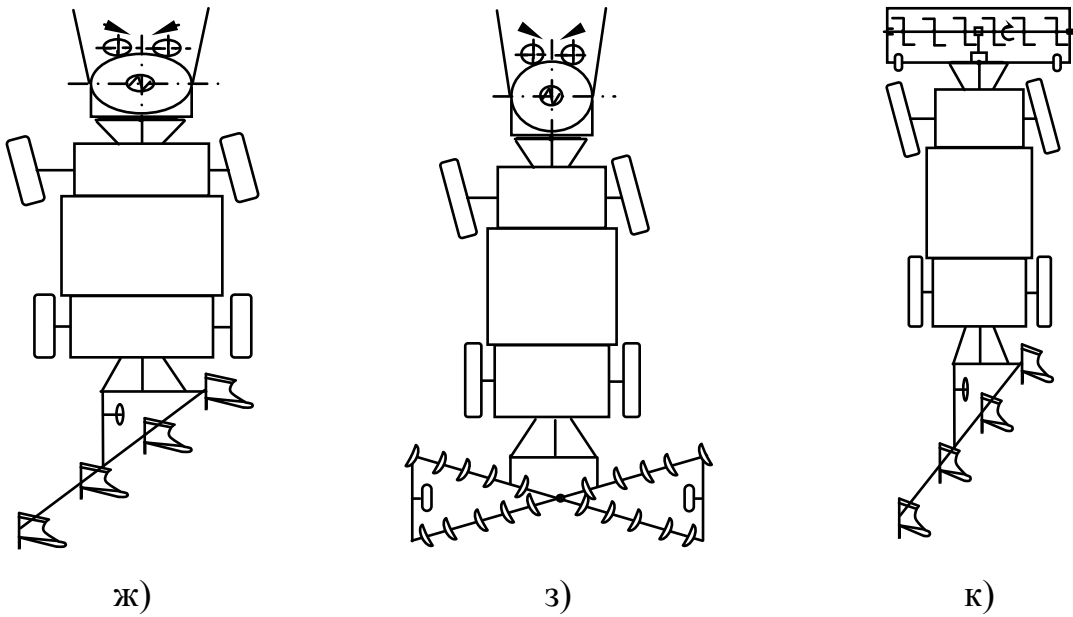
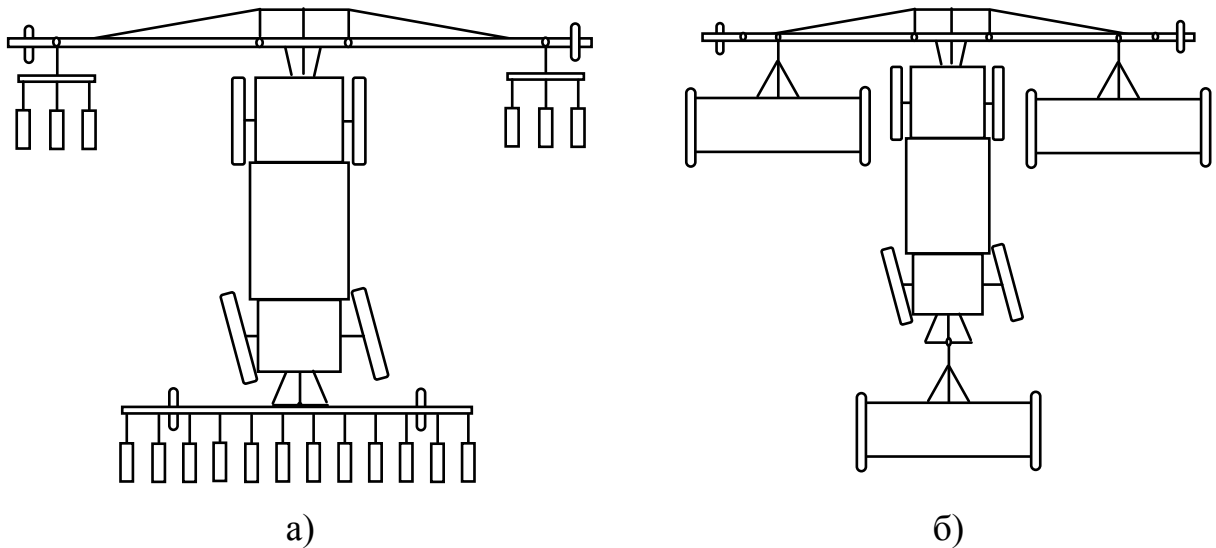


Рис. 1.6 – Схеми комбінованих агрегатів на базі орно-просапних тракторів ХТЗ-16131:

а) жнивварно-луцильний; б) дисковочно-культиваторний; в) дисковочно-чизельний; г) коткувально-посівний; д) фрезерно-посівний; е) культиваторно-посівний; ж) орний з внесенням добрив; з) дисковочний з внесенням добрив; к) подрібнювально-орний



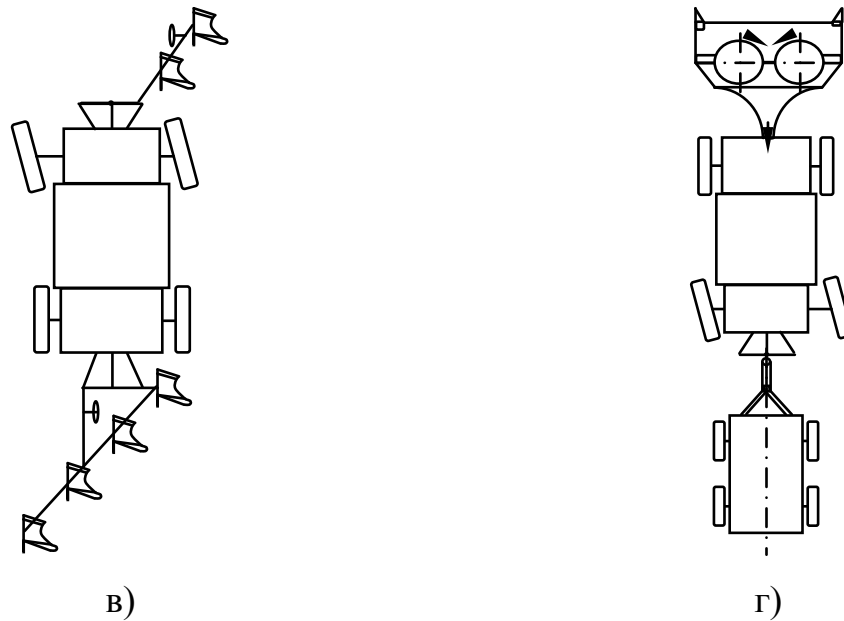


Рис. 1.7 – Схеми широкозахватних агрегатів на базі тракторів сімейства ХТЗ-121/160:

- а) 18-ти рядний просапний (міжряддя – 70 см); б) посівний (зчіпка + 3 СЗ-3,6);
в) орний за схемою “push - pull”; г) кормозбиральний

На базі трактора ХТЗ-120/160 був розроблений жниварно-луцильний агрегат [59]. Після переналадження зазначеного енергетичного засобу на реверсивний рух на передній його начіпний механізм за допомогою розробленого ВАТ “Бердянскільмаш” адаптеру навішували валкову жниварку ЖВН-6Б, а на задній – дискову борону БДН-3 (рис. 1.8).



Рис. 1.8 – Жниварно-луцильний машинно-тракторний агрегат



Рис. 1.9 – Подрібнювально-орний машинно-тракторний агрегат

Суть іншої, не менш значної проблеми сільськогосподарського виробництва, полягає в наступному. Після збору грубостебельних культур (соняшник, кукурудза) на полі залишається відносно висока стерня, яку перед проведенням основного обробітку ґрунту треба подрібнювати. На практиці для цього спочатку проводять одне- або дворазове дискування агрофону, а вже потім – основну його обробку.

Для одночасного виконання цих операцій був розроблений подрібнювально-орний агрегат, який складається із трактора ХТЗ-120/160, задненавісного плуга типу ПЛН і фронтального активно-приводного, від переднього ВВП трактора, подрібнювача стерні сільськогосподарських культур, під умовною маркою ПРР-1,5 (рис. 1.9) [60]. Конструктивна ширина захвату останнього – 1,5 м.

Досить перспективними виглядають і інші комбіновані агрегати на базі ХТЗ-120/160, призначені для основного обробітку ґрунту з одночасним подрібнюванням стерні [63, 64]. Сюди варто віднести дисковочно-чизельний і дисковочно-культиваторний агрегати. Технологічна частина першого з них включає плуг-чизель ПЧ-2,5 і дискову борону БДН-3 (рис. 1.10). У другому агрегаті замість чизельного знаряддя використовується начіпний культиватор-плоскоріз із робочими органами від культиватора КПЭ-3,8 (рис. 1.11).



Рис. 1.10 – Дисковочно-чизельний машинно-тракторний агрегат



Рис. 1.11 – Дисковочно-культиваторний машинно-тракторний агрегат

Із широкозахватних машинно-тракторних агрегатів, побудованих на базі трактора ХТЗ-120/160, у лабораторно-польових умовах випробуваний посівний

(рис. 1.12) [62] і орний за схемою “push-pull” (тобто “толкай – тягни”, рис. 1.13 [62]) агрегати.



Рис. 1.12 – Трьохсівальний агрегат



Рис. 1.13 – Орний агрегат у роботі

В роботі [66] установлені діапазони раціональних обсягів робіт з обробітку ґрунту для технологічних комплексів машин при традиційному технологічному процесі із застосуванням комбінованих агрегатів (звичайна оранка; обробіток комбінованими агрегатами) – 100...350 га.

Із приведеного вище аналізу випливає, що застосування комбінованих агрегатів із переднім та заднім сільськогосподарським знаряддям є актуальним і перспективним. Практика випробувань та експлуатації таких комбінованих машинно-тракторних агрегатів дозволила виявити наступні їх переваги:

- економія витрат палива за рахунок зменшення буксування рушіїв трактора завдяки зростанню його зчіпної маси при агрегуванні з фронтальною машиною;

- зменшення металоємності у порівнянні з іншими агрегатами, зчіпна маса якого збільшується шляхом баластування енергетичного засобу;

- підвищення стійкості руху під час транспортних переїздів;

- зменшення числа проходів по полю і, отже, зниження шкідливих впливів трактора на ґрунт;

- можна заощадити час на обробку і виконати всі технологічні операції в агротехнічний термін.

Щодо недоліків таких комбінованих агрегатів, то їх кількість і характер різні для конкретного агрегату і повною мірою визначені його функціональним

призначенням і конструктивною схемою. Зокрема, найбільш характерними недоліками комбінованих агрегатів є:

– збільшення кінематичної довжини комбінованого агрегату, що може привести до відповідного зростання ширини поворотної смуги та невиробничих витрат часу, пов'язаних із поворотами;

– більш напружений режим роботи механізатора, викликаний необхідністю слідкування за роботою як заднього, так і переднього сільськогосподарського знаряддя;

– погіршення керованості.

Тому, правильний науково-обґрунтований вибір схеми, конструктивних та інших параметрів комбінованих машинно-тракторних агрегатів дозволяє використовувати їх з максимальною ефективністю.

1.2. Стан досліджень комбінованих удобрювальних і посівних машинно-тракторних агрегатів

Узагальненням результатів відомих досліджень за п. 1.1 встановлено, що одним з напрямів енергозбереження в рослинництві є використання комбінованих агрегатів, які дозволяють за один прохід сумістити декілька технологічних операцій. Поява комбінованих агрегатів сприяла зниженню погектарної витрати палива та питомої матеріалоемності агрегатів, дозволила вивільнити механізаторів та підвищити продуктивність праці, зменшити кількість проходів по полю, тим самим знизити ущільнення ґрунту. Найбільш ефективно використання комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатів на виробництві зернових культур при суміщенні передпосівної підготовки ґрунту і сівби.

Відомі дослідження по комбінованим ґрунтообробно-посівним агрегатам Артьомова М.П., Василенко П.М., Заїки П.М., Гельфенбейна С.П., Коновалова В.Ф., Лурье А.Б., Ляпунова А.М. та ін. [67, 68, 95] стосуються в основному взаємозв'язку між енерговитратами агрегатів та їх керованістю, режимами і стійкістю руху, якістю виконання технологічного процесу. Але

ними не проводились дослідження комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатів з одночасним внесенням добрив на предмет взаємозв'язку стійкості їх руху з енерговитратами. Залишається перспективними науково-технічне завдання з обґрунтування конструктивно-технологічних, кінематичних та режимних параметрів таких комбінованих машинно-тракторних агрегатів, оцінки взаємозв'язку між витратами енергії та динамічними складовими втрат потужності внаслідок нестійкого руху їх на гоні.

Вперше узагальнений аналіз параметрів начіпного посівного агрегату, які впливають на точність його руху, було зроблено Чудаковим Д.А. [69]. Подальший розвиток ці дослідження отримали в роботах Дворцова Е.Ф., Хачатряна Х.А., Ярового В.Г., Пожидаєва С.П. та ін. [70]. Особливу увагу автори приділяли вибору критеріїв стійкості та керованості агрегатів, вивченню кінематичних параметрів, що визначають траєкторні показники, характеристикам впливу параметрів ходової системи й рульового керування на технологічні показники роботи посівних агрегатів. Зокрема у працях Пожидаєва С.П. [70] теоретично та експериментально обґрунтовано ефективність використання посівних агрегатів на базі колісних тракторів тягового класу 3.

Вирішенню фундаментальних проблем, пов'язаних з стійкістю руху та керованістю колісних машин були присвячені роботи: Гуськова В.В., Літвінова А.С., Фалькевича Б.С., Фаробіна Я.Є., Подригала М.А. та ін. [71, 72]. Дослідження стійкості руху і керованості сільськогосподарських агрегатів з метою покращання динамічних характеристик проведені: Василенком П.М., Погорілим Л.В., Гуськовим В.В., Лур'є А.Б., Кутьковим Г.М., Веденяпиним Г.В., Митропаном Д.М., Заїкою П.М., Надиктою В.Т., Горовим В.М., Рославцевим А.В., Авдєєвим В.М. та ін. [73].

Більш детально теоретичний аналіз процесу руху начіпних машинно-тракторних агрегатів зроблено в роботах Гячева Л.В. [74]. У своїх працях він на основі аналізу диференційних рівнянь руху розробив загальні рекомендації з оптимізації параметрів агрегатів з точки зору керованості та стійкості руху.

Математичні моделі руху саме посівних агрегатів розглядали Чудаков Д.А., Баєв І.В., Жиган В.Й., Пожидаєв С.П. та ін. В роботах Жигана В.Й. і Баєва І.В. [75] доведено ефективність використання широкозахватних агрегатів, наведені рекомендації щодо кінематичних схем трьох машинних посівних агрегатів. Але слід відмітити, що у вказаних роботах не визначено вплив збурюючих сил на формування траєкторії руху комбінованого посівного агрегату. Натомість, у деяких роботах підкреслено, що розворотний момент від сільськогосподарських знарядь суттєво впливає на формування траєкторії такого агрегату, особливо широкозахватного.

Аналізом результатів відомих досліджень встановлено, що математичні моделі функціонування машинно-тракторних агрегатів, розроблені свого часу Василенком П.М., Габаєм Є.В., Кутьковим Г.М., Булгаковим В.М., Надиктою В.Т., Рославцевим А.В., Гячевим Л.В., Фаробіним Я.Є., Лурьє А.Б., Бартахановим Г.Б., Волковим Б.Г., Тарасиком В.П. та ін., пов'язані з конструктивними та експлуатаційними параметрами сільськогосподарських машин, не можуть бути використаними для розв'язання зазначеної проблеми. Переважно через наявність і специфіку агрегування задньопрічіпних машин і знарядь. В інших дослідженнях [76-81], які присвячені впливу конструктивних параметрів машин на стійкість руху сільськогосподарських агрегатів через зміну навантажувальних характеристик двигуна, зміни точки приєднання сільськогосподарської машини, проблема впливу конструктивно-технологічних та кінематичних характеристик комбінованого посівного машинно-тракторного агрегату із внесенням добрив досліджена недостатньо.

Аналіз наукових праць Моріна І.В., Якубаускаса В.І., Тильного С.А., Полонецького С.Д. та ін. [82] з питань моделювання технологічних процесів із внесення мінеральних добрив, а також Довгошия І.В., Мілованова О.П., Гординського О.А., Радченка А.І., Мойсеєнка В.К., Соколова В.М., Степука Л.Я., Зелінського М.З., Щемелінського Л.А., Шмоніна В.О., Іванова Ю.В., Адамчука В.В. та ін. [83] – з питань створення технічних засобів для внесення мінеральних добрив показали, що дослідженню

плоскопаралельного руху комбінованими причіпними посівними агрегатами було приділено недостатньо уваги. При цьому, науковцями наголошується, що основним видом руху сільськогосподарських машин (причіпних, навісних і самохідних) є їх плоскопаралельний рух, оскільки саме цей вид руху визначає якість виконання заданих технологічних процесів.

Академіком Адамчуком В.В., зокрема, розроблені механіко-технологічні і технічні основи підвищення ефективності внесення твердих мінеральних добрив та хіммеліорантів [84].

За результатами огляду науково-технічної інформації слід відзначити, що теорія руху та керованості колісних тягово-транспортних машин достатньо розроблена [85-98]. Відомо, що робота колісної машини відбувається в умовах дії великої кількості збурювальних факторів (сил та їх моментів), які змінюють положення машини у просторі та відхиляють її рух від заданої траєкторії. При роботі сільськогосподарських агрегатів стійкість і керованість розглядають як важливі експлуатаційні показники, які полягають у спроможності його ланок протидіяти впливу зовнішніх збурюючих сил. Вони (при розгляді їх у горизонтальній площині) безпосередньо пов'язані з цілою низкою експлуатаційних показників, які визначають в остаточному підсумку якість, матеріальні витрати і трудомісткість виконання агротехнічних операцій. При математичному моделюванні руху машинно-тракторного агрегату в горизонтальній площині модель його функціонування, як динамічної системи, розглядається у вигляді реакцій на вхідні керуючі і збурювальні впливи, які однозначно визначають у першому випадку – керованість, а у другому – стійкість його руху [98]. Якість відпрацювання той або іншої динамічної системи вхідних змінних залежить від її характеристик. Стосовно до будь-якого машинно-тракторного агрегату такими є його схема, а також конструктивні та інші параметри. Тому правильний вибір останніх з позиції потрібної керованості і сталості його руху забезпечує комбінованому машинно-тракторному агрегату оптимальне перетворення керуючого і збурювального впливів, які діють на нього. Будь який машинно-тракторний агрегат різного

функціонального призначення представляє собою доволі складну динамічну систему. Ця складність визначена її багатомірністю, високим порядком диференціальних рівнянь руху і, особливо, наявністю нелінійних залежностей між її окремими координатами. Саме з цієї причини науковцями розглядається спрощена схема машинно-тракторного агрегату у вигляді лінійної моделі. Така ідеалізація системи в багатьох випадках доволі ефективна для складних сільськогосподарських агрегатів та їх систем керування, динаміка яких вивчена ще недостатньо. Лінеаризація динамічної системи робить можливим фізично осмислити отриманий результат і збагатити досвід проектування.

Розробкою математичних моделей посівних агрегатів на базі орно-просапного трактора займалися Надикто В.Т. і Чорна Т.С. [99-101]. Ними функціонування посівного машинно-тракторного агрегату розглядається як реакція на входні: керуючі та збурюючі впливи. У якості керуючого впливу прийнятий кут повороту керованих коліс трактора (α), а збурюючого – розворотний момент. При цьому, реакція на керуючий вплив буде характеризувати його керованість, а на збурюючий – стійкість руху. Вихідними змінними параметрами, що задають траєкторію руху агрегату під час роботи, є поперечне зміщення центру мас трактора (X_{sT}) та кут відхилення його повздовжньої вісі симетрії від напрямку руху – курсовий кут (φ). Оскільки посівний агрегат на базі орно-просапного трактора є складною динамічною системою, а його математична модель представляє собою систему складних диференціальних рівнянь, то з метою спрощення їх складання науковцями допускаються наступні припущення. Трактор розглядається у вигляді твердого тіла, що має вісь симетрії, яка проходить через його центр мас. Коливання тягового опору не суттєво впливає на швидкість руху машинно-тракторного агрегату, тому її приймають постійною. Бокова взаємодія шин коліс трактора з деформованою поверхнею розглядається в рамках гіпотези “бічного уводу”. Кут уводу шин коліс, які розташовані на одній геометричній вісі, а також бічні сили, що діють на них, вважають однаковими. Достатньо малі, а отже, рівними є кути повороту керованих коліс трактора. Сили і моменти, які прикладені до

симетрично (відносно повздовжньої вісі трактора) розташованих коліс, попарно рівні й паралельні. Вони можуть бути замінені рівнодіючими подвоєними силами та моментами. Посівний агрегат на гоні здійснює відносно нерухокої площини рівномірний поступальний рух зі швидкістю V_0 ($V_0 = \text{const}$). Під час виконання технологічних операцій під впливом випадкових факторів агрегат відхиляється від початкового положення і отримує додаткову швидкість відносно площини XOY (рис. 1.14). При цьому площина $X_T S_T Y_T$, що зв'язана з центром мас енергетичного засобу, обертається навколо вісі $S_T Z$, яка проходить через точку S_T . Мірою цього повороту є курсовий кут.

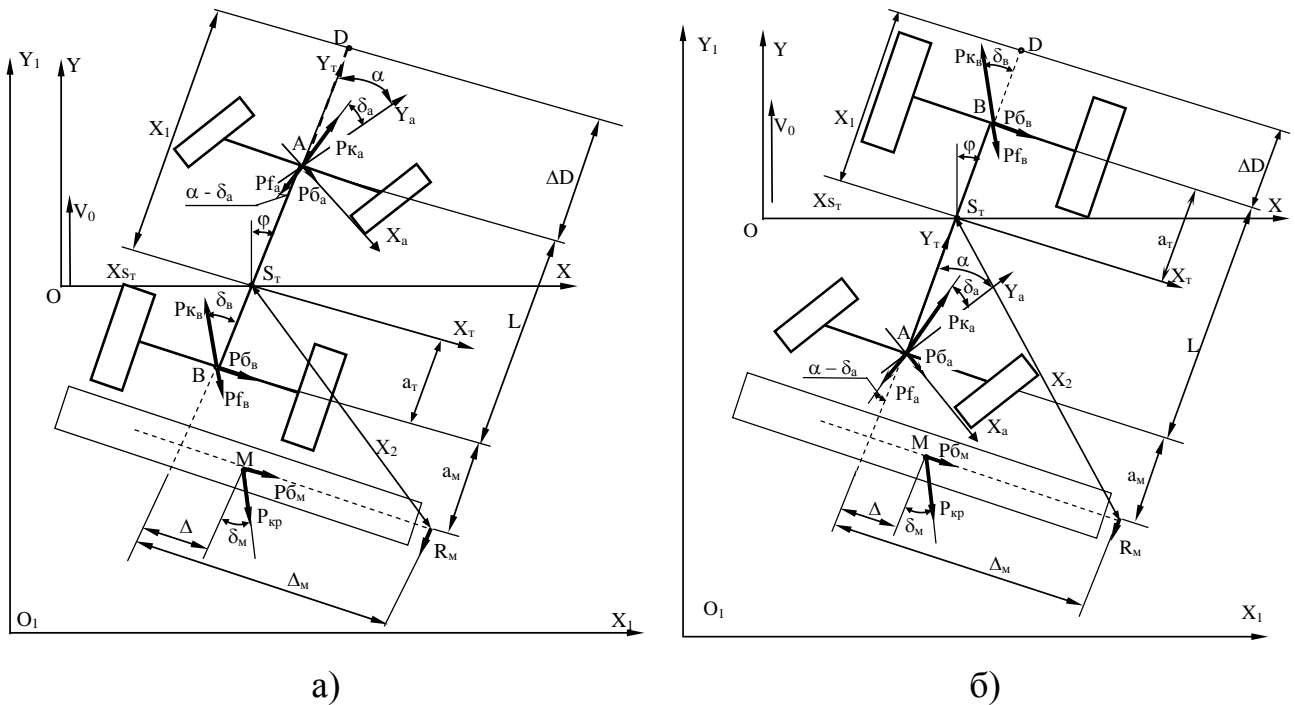


Рис. 1.14 – Еквівалентна схема посівного машинно-тракторного агрегату, при його прямому (а) і реверсивному (б) плоскопаралельному русі [100]

Під час відносного руху центр мас енергетичного засобу (рис. 1.14) переміщується вздовж осі OX , внаслідок чого змінюється значення координати $X_{S_T} = OS_T$. Таким чином, розглядаємий машинно-тракторний агрегат по відношенню до площини XOY має два ступеня вільності. Їм відповідають дві узагальнені координати – кут (φ) та зміна координата центру мас енергетичного засобу – X_{S_T} . До зовнішніх сил, що діють на посівний агрегат при прямому

(рис. 1.14 а) і реверсивному (рис. 1.14 б) русі, відносяться: дотичні сили передніх (P_{κ_A}) і задніх (P_{κ_B}) коліс та сили опору коченню (P_{f_A} і P_{f_B}), які прикладені в точках A і B та утворюють з напрямком руху агрегату кути відведення (δ_A , δ_B і δ_M); бічні сили (P_{κ_A} , P_{κ_B} і P_{κ_M}) прикладені в точках A , B і M відповідно; сила опору маркера (R_M), направлена паралельно осі симетрії енергетичного засобу і прикладена на відстані (Δ_M); сила опору сівалки (P_{κ_p}), прикладена в точці M , яка розташована на відстані (Δ) від повздожньої осі енергетичного засобу та відхилена від напрямку переміщення рушіїв на кут відведення (δ_M).

В диференційній формі загальну математичну модель машинно-тракторного агрегату (за рис. 1.14) в [101, 101] представляють системи рівнянь при прямому і реверсивному русі трактору:

$$\begin{cases} A_{11} \cdot \ddot{X}_{ST} + A_{12} \cdot \dot{X}_{ST} + A_{13} \cdot \dot{\varphi} + A_{14} \cdot \varphi = f_{11} \cdot \alpha; \\ A_{21} \cdot \ddot{\varphi} + A_{22} \cdot \dot{\varphi} + A_{23} \cdot \varphi + A_{24} \cdot \dot{X}_{ST} = f_{21} \cdot \alpha + f_{22} + f_{23}. \end{cases} \quad (1.1)$$

де $A_{11} = M_T$;

$$A_{12} = (k_A + k_B + k_M - R_M)/V_0;$$

$$A_{13} = \begin{cases} \left[(P_{f_A} - P_{\kappa_A} + k_A) \cdot (L - a_T) + (P_{f_B} - P_{\kappa_B} + k_B) \cdot a_T - (P_{\kappa_p} + k_M) \cdot \sqrt{\Delta^2 + (a_T + a_M)^2} \right] / V_0 - \text{прямий рух}; \\ \left[-(P_{f_A} - P_{\kappa_A} + k_A) \cdot (L - a_T) + (P_{f_B} - P_{\kappa_B} + k_B) \cdot a_T - (P_{\kappa_p} + k_M) \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2} \right] / V_0 - \text{реверсивний рух}; \end{cases}$$

$$A_{14} = R_M - k_A - k_B - k_M;$$

$$f_{11} = k_A;$$

$$A_{21} = J s_T;$$

$$A_{22} = \begin{cases} \left[\begin{aligned} &(P_{f_A} - P_{\kappa_A} + k_A) \cdot (L - a_T)^2 + (P_{f_B} - P_{\kappa_B} + k_B) \cdot a_T^2 + \\ &+ (k_M + P_{\kappa_p}) \cdot (a_T + a_M) \cdot \sqrt{\Delta^2 + (a_T + a_M)^2} \end{aligned} \right] / V_0 - \text{прямий рух}; \\ \left[\begin{aligned} &(P_{f_A} - P_{\kappa_A} + k_A) \cdot (L - a_T)^2 + (P_{f_B} - P_{\kappa_B} + k_B) \cdot a_T^2 + \\ &+ (k_M + P_{\kappa_p}) \cdot (L - a_T + a_M) \cdot \sqrt{\Delta^2 + (L - a_T + a_M)^2} \end{aligned} \right] / V_0 - \text{реверсивний рух}; \end{cases}$$

$$A_{23} = \begin{cases} (P_{\kappa_A} - P_{f_A} - k_A) \cdot (L - a_T) + (P_{f_B} - P_{\kappa_B} + k_B) \cdot a_T + (k_M + P_{\kappa_p}) \cdot (a_T + a_M) - \text{прямий рух}; \\ -(P_{f_A} - P_{\kappa_A} + k_A) \cdot (L - a_T) - (P_{\kappa_B} - P_{f_B} - k_B) \cdot a_T - (k_M + P_{\kappa_p}) \cdot (L - a_T + a_M) - \text{реверсивний рух}; \end{cases}$$

$$A_{24} = -A_{23}/V_0;$$

$$f_{21} = \begin{cases} k_A \cdot (L - a_T) - \text{прямий рух}; \\ -k_A \cdot (L - a_T) - \text{реверсивний рух}; \end{cases}$$

$$f_{22} = P_{кр} \cdot \Delta;$$

$$f_{23} = R_M \cdot \Delta_M.$$

Тут k_A , k_B , k_M – коефіцієнти опору уводу коліс трактора і опорних коліс сівалки;

M_T , J_{s_T} – маса та момент інерції машинно-тракторного агрегату;

L , a_T , a_M – конструктивні параметри (див. рис. 1.14).

Незважаючи на достатню наукову цінність отриманих науковцями Надикто В.Т. і Чорної Т.С. математичних моделей і проведений ними глибокий аналіз щодо впливу конструктивних, технологічних, режимних та ін. параметрів на динаміку плоскопаралельного руху посівного агрегату, питання функціонування комбінованих машинно-тракторних агрегатів ними не розглядалися. Тому отримані результати не дають уявлення про динаміку плоскопаралельного руху запропонованого нами комбінованого удобрювально-посівного агрегату.

В роботах Антощенкова Р.В. [102-106] виконано математичне моделювання і проведено аналіз впливу динамічних складових руху саме комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегату на енергетичні витрати в технологічному процесі прямої сівби та запропоновано метод визначення витрати палива. Такі завдання вирішені для різних режимів впливу оператора на рульове керування. Знайдені траєкторії руху елементів комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегату при яких енерговитрати найнижчі. Проаналізовано вплив динамічних складових руху комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегату на його витрати енергії при виконанні технологічного процесу. Так, на думку науковця, в процесі роботи агрегату спостерігається відхилення його траєкторії руху від траєкторії, яка приймається з урахуванням агротехнічних вимог (прямолінійною). Це відбувається внаслідок фізико-механічних властивостей ґрунту. При виконанні технологічного процесу передпосівної обробки ґрунту і посіву зернових

культур спостерігається періодичний вплив оператора (тракториста) агрегату на траєкторію руху та супроводжується “підкермовуванням”, яке має періодичний характер. При складанні рівнянь руху комбінованого агрегату науковцем розглядаються наступні припущення: в процесі складання математичної моделі розглядається плоскопаралельний рух агрегату; не враховуються процеси, які відбуваються в гідроприводі рульового керування, трансмісії трактора та динамічні характеристики двигуна в процесі розгону та гальмування агрегату; основи елементів агрегату приймаються як абсолютно тверді тіла, а весь агрегат симетричним щодо поздовжньої площини; не враховуються дисипативні сили; бічні зусилля на шинах обмежені зчепленням коліс з дорогою; поступова швидкість руху агрегату приймається постійною. Розрахункова схема (рис. 1.15), на думку науковця являє собою динамічну модель, що складається з чотирьох мас - ланок: перша піврама шарнірно-з'єднаного трактора; друга піврама шарнірно-з'єднаного трактора; перша піврама сівалки (бункер для посівного матеріалу); друга піврама сівалки (культиватор для суцільного обробітку ґрунту з висівальним апаратом).

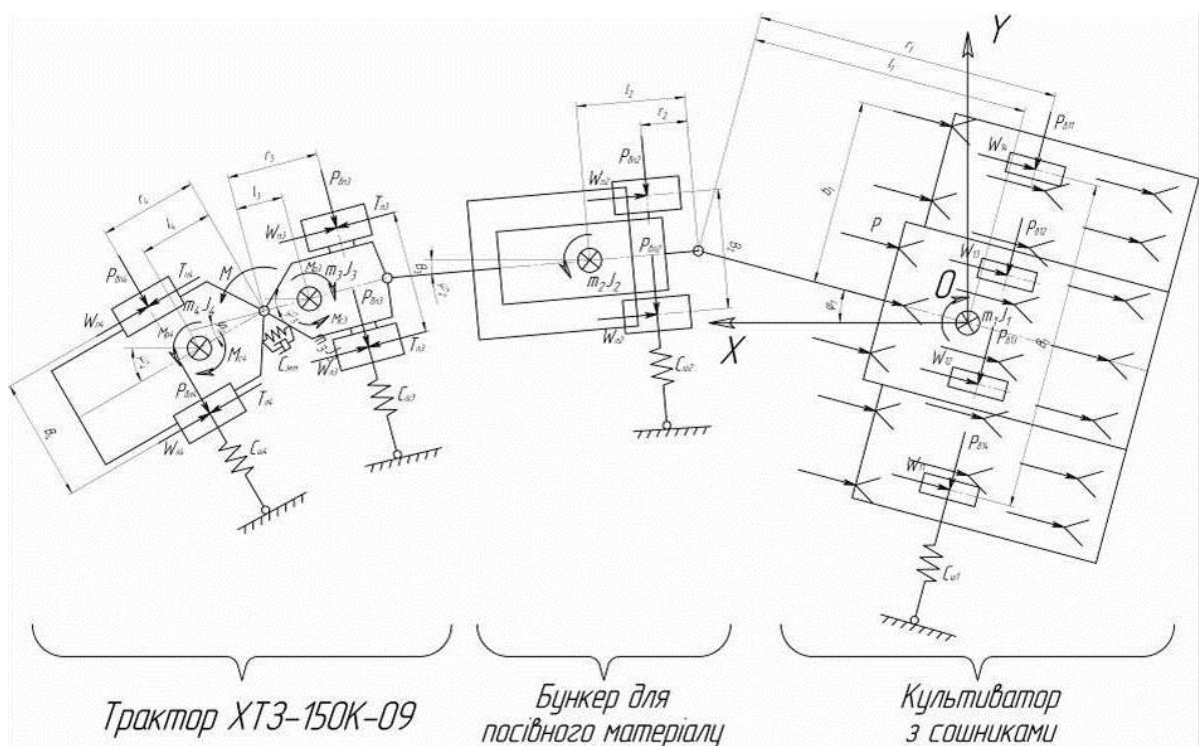


Рис. 1.20 – Динамічна модель комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегату

Позначення введені на рис. 1.15, які використовуються при складанні математичної моделі: $T_{4л}, T_{4н}, T_{3л}, T_{3н}$ – колові зусилля на ведучих колесах агрегатуючого трактора; $W_{11}, W_{12}, W_{13}, W_{14}, W_{2л}, W_{2н}, W_{3л}, W_{3н}, W_{4л}, W_{4н}$ – сили опору перекочуванню коліс елементів агрегату; $P_{\delta 1}, P_{\delta 2}, P_{\delta 3}, P_{\delta 4}$ – бічні зусилля в місці контакту шин елементів агрегату з опорною поверхнею; P – опір, який чинить ґрунт на другу півраму сівалки; m_1, m_2, m_3, m_4 – маса елементів агрегату; J_1, J_2, J_3, J_4 – моменти інерції елементів агрегату відносно вертикальної вісі; M_{p4}, M_{p3} – повертаючі моменти піврам трактора; M_{c4}, M_{c3} – моменти опору повороту піврам трактора; $r_1, l_1, b_1, B_1, l_2, r_2, B_2, l_3, r_3, B_3, l_4, r_4, B_4$ – геометричні параметри елементів агрегату; $Cш_1, Cш_2, Cш_3, Cш_4$ – бічні жорсткості шин елементів агрегату; C_{3KM} – кругова жорсткість з'єднувально-керуючого модуля; φ_0 – кут злому піврам трактора; M – момент, що діє в точці з'єднання піврам трактора; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ – кути між центральною віссю елементів агрегату та віссю OX .

При складанні математичної моделі за рис. 1.15 використовується випадок, коли агрегат веде в бік. Дане положення є найбільш складним з погляду математичного опису технологічного процесу, що виконує машинно-тракторний агрегат. В процесі руху ведучими є перші дві ланки (перша та друга піврами агрегатуючого трактора). Навантаження, які зазнає в цьому випадку агрегат, не є критичними і характерні для технологічного процесу. Відмінною рисою розробленої математичної моделі є те, що вона дозволяє проаналізувати вплив динамічних складових руху комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегату на витрати енергії при виконанні технологічного процесу прямої сівби.

В якості математичного апарата при складанні диференціальних рівнянь руху комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегату прийняті вихідні рівняння Лагранжа другого роду. В якості узагальнених координат системи, що розглядаються, були прийняті відповідні кути повороту елементів агрегату $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$. Після складання виразів кінетичної енергії та узагальнених сил

системи одержано математичну модель руху у вигляді системи диференційних рівнянь [102]:

$$\begin{cases} a_{11}\ddot{\varphi}_1 + a_{12}\ddot{\varphi}_2 + a_{13}\ddot{\varphi}_3 + a_{14}\ddot{\varphi}_4 + f_1(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_2, \dot{\varphi}_3, \dot{\varphi}_4, t) = g_1(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, t); \\ a_{21}\ddot{\varphi}_1 + a_{22}\ddot{\varphi}_2 + a_{23}\ddot{\varphi}_3 + a_{24}\ddot{\varphi}_4 + f_2(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_2, \dot{\varphi}_3, \dot{\varphi}_4, t) = g_2(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, t); \\ a_{31}\ddot{\varphi}_1 + a_{32}\ddot{\varphi}_2 + a_{33}\ddot{\varphi}_3 + a_{34}\ddot{\varphi}_4 + f_3(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_2, \dot{\varphi}_3, \dot{\varphi}_4, t) = g_3(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, M, t); \\ a_{41}\ddot{\varphi}_1 + a_{42}\ddot{\varphi}_2 + a_{43}\ddot{\varphi}_3 + a_{44}\ddot{\varphi}_4 + f_4(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_2, \dot{\varphi}_3, \dot{\varphi}_4, t) = g_4(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, M, t), \end{cases} \quad (1.2)$$

$$\text{де } a_{11} = J_1 + (m_2 + m_3 + m_4)l_1^2 \cos^2 \varphi_1, \quad a_{12} = (m_2 + m_3 + m_4)l_1 \cos \varphi_1 l_2 \cos \varphi_2,$$

$$a_{13} = (m_3 + m_4)l_1 \cos \varphi_1 l_3 \cos \varphi_3, \quad a_{14} = l_4 \cos \varphi_4 m_4 l_1 \cos \varphi_1,$$

$$a_{21} = (m_2 + m_3 + m_4)l_1 \cos \varphi_1 l_2 \cos \varphi_2,$$

$$a_{22} = J_2 + (m_2 + m_3 + m_4)l_2^2 \cos^2 \varphi_2,$$

$$a_{23} = (m_3 + m_4)l_2 \cos \varphi_2 l_3 \cos \varphi_3, \quad a_{24} = l_4 \cos \varphi_4 m_4 l_2 \cos \varphi_2,$$

$$a_{31} = (m_3 + m_4)l_1 \cos \varphi_1 l_3 \cos \varphi_3, \quad a_{32} = (m_3 + m_4)l_2 \cos \varphi_2 l_3 \cos \varphi_3,$$

$$a_{33} = J_3 + (m_3 + m_4)l_3^2 \cos^2 \varphi_3, \quad a_{34} = l_4 \cos \varphi_4 m_4 l_3 \cos \varphi_3,$$

$$a_{41} = a_{14}, \quad a_{42} = a_{24}, \quad a_{43} = a_{34}, \quad a_{44} = J_4 + m_4 l_4^2 \cos^2 \varphi_4,$$

$$\begin{aligned} f_1 = & m_4 l_1 \cos \varphi_1 (-l_1 \sin \varphi_1 \dot{\varphi}_1^2 - l_2 \sin \varphi_2 \dot{\varphi}_2^2 - l_3 \sin \varphi_3 \dot{\varphi}_3^2 - l_4 \sin \varphi_4 \dot{\varphi}_4^2) + m_3 l_1 \cos \varphi_1 \cdot \\ & (-l_1 \sin \varphi_1 \dot{\varphi}_1^2 - l_2 \sin \varphi_2 \dot{\varphi}_2^2 - l_3 \sin \varphi_3 \dot{\varphi}_3^2) + m_2 l_1 \cos \varphi_1 (-l_1 \sin \varphi_1 \dot{\varphi}_1^2 - l_2 \sin \varphi_2 \dot{\varphi}_2^2) - \\ & - m_2 (l_1 \cos \varphi_1 \dot{\varphi}_1 + l_2 \cos \varphi_2 \dot{\varphi}_2) l_1 \sin \varphi_1 \dot{\varphi}_1^2 - m_3 (l_1 \cos \varphi_1 \dot{\varphi}_1 + l_2 \cos \varphi_2 \dot{\varphi}_2 + l_3 \cos \varphi_3 \dot{\varphi}_3) \cdot \\ & l_1 \sin \varphi_1 \dot{\varphi}_1^2 - m_4 (l_1 \cos \varphi_1 \dot{\varphi}_1 + l_2 \cos \varphi_2 \dot{\varphi}_2 + l_3 \cos \varphi_3 \dot{\varphi}_3 + l_4 \cos \varphi_4 \dot{\varphi}_4) l_1 \sin \varphi_1 \dot{\varphi}_1^2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_2 = & m_4 l_2 \cos \varphi_2 (-l_1 \sin \varphi_1 \dot{\varphi}_1^2 - l_2 \sin \varphi_2 \dot{\varphi}_2^2 - l_3 \sin \varphi_3 \dot{\varphi}_3^2 - l_4 \sin \varphi_4 \dot{\varphi}_4^2) + m_3 l_2 \cos \varphi_2 \cdot \\ & (-l_1 \sin \varphi_1 \dot{\varphi}_1^2 - l_2 \sin \varphi_2 \dot{\varphi}_2^2 - l_3 \sin \varphi_3 \dot{\varphi}_3^2) + m_2 l_2 \cos \varphi_2 (-l_1 \sin \varphi_1 \dot{\varphi}_1^2 - l_2 \sin \varphi_2 \dot{\varphi}_2^2) - \\ & - m_2 (l_1 \cos \varphi_1 \dot{\varphi}_1 + l_2 \cos \varphi_2 \dot{\varphi}_2) l_2 \sin \varphi_2 \dot{\varphi}_2 - m_3 (l_1 \cos \varphi_1 \dot{\varphi}_1 + l_2 \cos \varphi_2 \dot{\varphi}_2 + l_3 \cos \varphi_3 \dot{\varphi}_3) \cdot \\ & l_2 \sin \varphi_2 \dot{\varphi}_2 - m_4 (l_1 \cos \varphi_1 \dot{\varphi}_1 + l_2 \cos \varphi_2 \dot{\varphi}_2 + l_3 \cos \varphi_3 \dot{\varphi}_3 + l_4 \cos \varphi_4 \dot{\varphi}_4) l_2 \sin \varphi_2 \dot{\varphi}_2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_3 = & m_4 l_3 \cos \varphi_3 (-l_1 \sin \varphi_1 \dot{\varphi}_1^2 - l_2 \sin \varphi_2 \dot{\varphi}_2^2 - l_3 \sin \varphi_3 \dot{\varphi}_3^2 - l_4 \sin \varphi_4 \dot{\varphi}_4^2) + m_3 l_3 \cos \varphi_3 \cdot \\ & (-l_1 \sin \varphi_1 \dot{\varphi}_1^2 - l_2 \sin \varphi_2 \dot{\varphi}_2^2 - l_3 \sin \varphi_3 \dot{\varphi}_3^2) - m_3 (l_1 \cos \varphi_1 \dot{\varphi}_1 + l_2 \cos \varphi_2 \dot{\varphi}_2 + l_3 \cos \varphi_3 \dot{\varphi}_3) \cdot \\ & l_3 \sin \varphi_3 \dot{\varphi}_3 - m_4 (l_1 \cos \varphi_1 \dot{\varphi}_1 + l_2 \cos \varphi_2 \dot{\varphi}_2 + l_3 \cos \varphi_3 \dot{\varphi}_3 + l_4 \cos \varphi_4 \dot{\varphi}_4) l_3 \sin \varphi_3 \dot{\varphi}_3, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_4 = & m_4 l_4 \cos \varphi_4 (-l_1 \sin \varphi_1 \dot{\varphi}_1^2 - l_2 \sin \varphi_2 \dot{\varphi}_2^2 - l_3 \sin \varphi_3 \dot{\varphi}_3^2 - l_4 \sin \varphi_4 \dot{\varphi}_4^2) - \\ & - m_4 (l_1 \cos \varphi_1 \dot{\varphi}_1 + l_2 \cos \varphi_2 \dot{\varphi}_2 + l_3 \cos \varphi_3 \dot{\varphi}_3 + l_4 \cos \varphi_4 \dot{\varphi}_4) l_4 \sin \varphi_4 \dot{\varphi}_4, \end{aligned}$$

$$g_1 = B_1 P \sin \varphi_1 - \frac{b_1}{2} \Delta W_{1p} - C_{u1} r_1 \varphi_1, \quad g_2 = -\frac{b_2}{2} \Delta W_{2p} - C_{u2} r_2 \varphi_2,$$

$$g_3 = \frac{b_3}{2} \Delta W_{3p} + C_{u3} r_3 \varphi_3 - M, \quad g_4 = -\frac{b_4}{2} \Delta W_{4p} - C_{u4} r_4 \varphi_4 + C_{3KM} (\varphi_4 - \varphi_3) + M.$$

Оскільки елементи динамічної системи (рис. 1.20) зв'язані між собою пружними зв'язками, то вони мають значну потенційну енергію, яка в процесі роботи комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегату переходить у кінетичну та навпаки. Потенційна енергія окремих елементів залежить від їхніх переміщень (лінійних і кутових), а зв'язок між нею та кінетичною енергією описує отримана вище математична модель (1.2).

Незважаючи на наукову значимість отриманих Антощенковим Р.В. результатів все ж таки вони не дозволяють описати динаміку плоскопаралельного руху запропонованого нами удобрювально-посівного агрегату. Оскільки комбінація машин побудована не з технологічних машин, а тому на рух бункера не ставляться певні агротехнічні умови до якості його функціонування.

В роботах Мельника Р.В. і Баранова Г.Л. [107, 108] курсова стійкість руху широкозахватних машинно-тракторних агрегатів вздовж гону на сільськогосподарському полі залежить також і від процесів взаємодії пневматичних коліс з ґрунтом. На думку науковців найбільш суттєвими факторами у процесі такої взаємодії є:

- конструктивні та геометричні параметри широкозахватного машинно-тракторного агрегату при русі вздовж гону протектора пневматичних коліс (форми і розміри елементів рисунку шин, кути їх нахилу, ступінь зношення тощо);

- кінематичні та динамічні особливості під час руху широкозахватного агрегату, як важкого твердого тіла, включаючи параметри та спектри коливання, вібрації;

- фізико-механічні властивості ґрунту вздовж лівого та правого борту відносно напрямку руху широкозахватного агрегату.

В результаті проведеного нами аналізу встановлено, що аналітичному дослідженню руху сільськогосподарських машин і машинних агрегатів присвячені чисельні фундаментальні праці як вітчизняних так і закордонних науковців. При цьому основним видом руху сільськогосподарських машин (причіпних, навісних і самохідних) є їх плоскопаралельний рух, оскільки саме цей вид руху визначає якість виконання заданих технологічних процесів. При цьому агротехнічні та експлуатаційно-технічні показники роботи, а також продуктивність комбінованих машинно-тракторних агрегатів в значній мірі залежить від характеру їх саме плоскопаралельного руху. Тому, дослідження плоскопаралельного руху різних сільськогосподарських машинних агрегатів необхідні як при порівняльній оцінці існуючих так і при проектуванні принципово нових самохідних та причіпних агрегатів. Основним методом таких досліджень є складання і рішення диференціальних рівнянь руху машинних агрегатів, на що і направлений другий розділ дисертаційної роботи.

1.3. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення з одночасною сівбою зернових культур

Відомо, що за недостатньої кількості опадів в степовій зоні України та при їх дефіциті у весняний період азотні добрива разом із фосфорними і калійними вносяться повністю під зяблеву оранку або передпосівну культивуацію. За умов оптимального вологозабезпечення доза азоту може бути підвищена, з внесенням половини її на IV етапі органогенезу. Зернові культури добре використовують добрива, внесені при сівбі, але для отримання високоякісного врожаю зерна обов'язковим є забезпечення рослин достатньою кількістю поживних речовин, перш за все азотом, тому за оптимального водного режиму необхідне роздрібнене його застосування в період весняно-літньої вегетації. Кращі результати для підвищення врожайності та якості зерна забезпечує підживлення азотом посівів на IV етапі органогенезу (30% загальної

дози) і на VIII етапі органогенезу (решту 20% дози) [109]. Тому, з метою економії ресурсів доцільно б було вносити стартову та основну дозу за один прохід агрегату, розташовуючи їх на різній глибині залягання. Виконання даної операції можна здійснити комбінованим машинно-тракторним агрегатом.

Проведення двох окремих операцій, а саме сівби з внесенням стартових добрив та окремого підживлення по вегетуючим посівам, потребує не менше 8 кг палива на кожен гектар оброблюваної площі, в разі застосування популярного на півдні України односівалочного агрегату на базі трактора тягового класу 1,4.

Одним із шляхів зменшення цього показника є проведення одночасного внутрішньогрунтового мінерального удобрення та сівби зернових. Цілком зрозуміло, що для цього потрібно створити відповідний комбінований машинно-тракторний агрегат.

Питанням комплексного мінерального удобрення ґрунту присвячена достатня кількість праць, але більшість з запропонованих технологій передбачають кількаразовий прохід простих агрегатів та не забезпечують повноти зароблення добрив у ґрунт. Так, наприклад, часто взагалі використовують відцентрову машину для поверхневого удобрення ґрунту і важкі борони або культиватор [110]. При роботі такого комплексу машин повний комплекс мінеральних добрив відцентровою машиною розсівається по поверхні поля, та загортається у ґрунт важкими боронами або культиватором. Недоліком такої технології є те, що мінеральні добрива розсіваються по поверхні поля недостатньо рівномірно, а також загортаються у ґрунт на різну і недостатню глибину. Тому при проростанні насіння на таким чином удобреному полі паростки рослин недостатньо забезпечуються поживними речовинами, що обумовлює уповільнення їх росту і розвитку та зниження зимостійкості. Крім того, в процесі вегетації рослин верхній шар ґрунту висихає, а тому мінеральні добрива, що знаходяться у цьому шарі не розчиняються і не використовуються рослинами, що знижує ефективність удобрення ґрунту.

Вище перелічених недоліків певним чином вдається позбавитися в разі використання для поверхневого розсівання основної дози мінеральних добрив сівалки, наприклад РТТ-4,2, важких борін або культиватора і сівалки з пристроєм для одночасного висіву насіння сільськогосподарських культур та внесенням стартової дози мінеральних добрив в рядки сумісно з насінням [110]. Використання в цьому випадку сівалки для розсівання основної дози мінеральних добрив забезпечує більш рівномірне розподілення основної дози мінеральних добрив по поверхні ґрунту, а використання сівалки сільськогосподарських культур з пристроєм для внесення стартової дози мінеральних добрив в рядки сумісно з насінням забезпечує паростки рослин при проростанні насіння в достатній кількості поживними речовинами, що забезпечує прискорення їх росту і розвитку. Однак і в цьому випадку значна частина основної дози внесених добрив розміщується вище висіяного насіння, що ускладнює використання поживних речовин корінням культурних рослин, які проростають вниз і тому ці поживні речовини використовуються бур'янами. Крім того, в процесі вегетації рослин верхній шар ґрунту висихає і тому частина мінеральних добрив, які знаходяться в ньому не розчиняються і не використовуються взагалі, що знижує ефективність використання основної дози мінеральних добрив.

Аналізом переваг комбінованих агрегатів, детально розглянутих у п. 1.1, було доведено, що їх використання забезпечує зниження витрат праці в середньому на 20%, пального – на 25%. Сумарна колія після проходу тракторів і сільськогосподарських машин зменшується на 45%, при цьому вміст вологи в ґрунті в шарі товщиною до 15 см збільшується на 8...10%. Тому, пошук оптимальної конструктивної технологічної схеми комбінованого агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення та одночасної сівби зернових культур, яка б була позбавлена вищезазначених недоліків є важливою народногосподарською задачею.

Обсяг та доцільність застосування комбінованих агрегатів у господарствах визначається природно-кліматичними умовами, фізико-

механічними властивостями оброблених ґрунтів, застосовуваною системою землеробства, агротехнічними вимогами до обробки ґрунтів і посіву, можливістю й доцільністю сполучення технологічних операцій, а також наявною енергетичною базою.

На основі проведених попередніх досліджень і конструкторських робіт запропонована нова конструктивно-технологічна схема комбінованого агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення та одночасної сівби зернових культур з використанням колісного трактора, тягового класу 1,4 (рис. 1.16 – вид збоку).

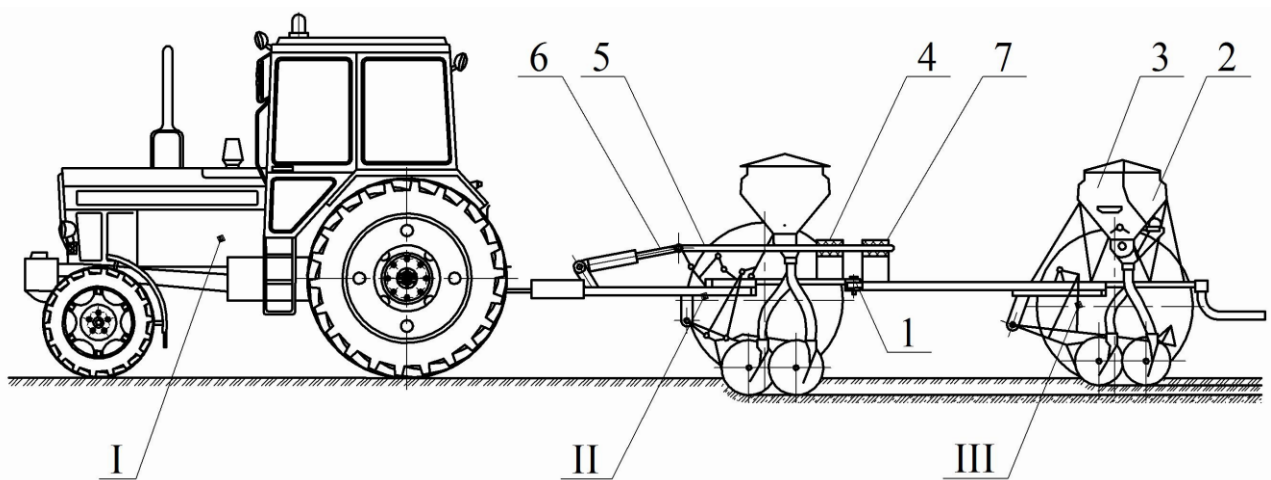


Рис. 1.16 – Агрегат для внутрішньогрунтового мінерального удобрення та одночасної сівби зернових культур (вид збоку):

I – трактор; II – машина для внесення основної дози мінеральних добрив;

III – машина для сівби зернових та внесення стартової дози мінеральних добрив:

1 – шарнір; 2 – бункер для стартових добрив; 3 – бункер для насіння; 4 – направляючий елемент; 5 – блокуючий повзун; 6 – штанга; 7 – фіксуєчий елемент

Основною перевагою даного удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату є можливість розміщення у ґрунті основної дози мінеральних добрив нижче одночасно висіяного насіння у вигляді стрічки, тобто в зоні розміщення коріння зернових культур, що в свою чергу підвищує ефективність використання основної дози мінеральних добрив.

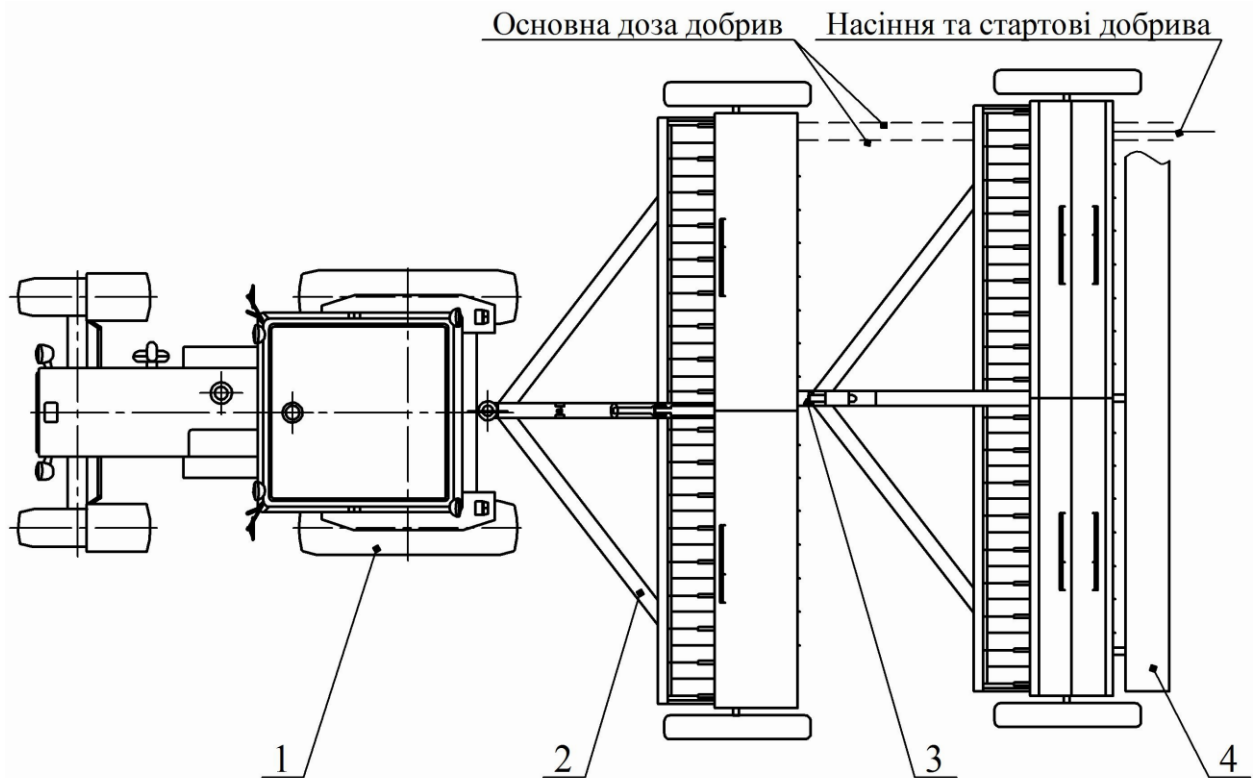


Рис. 1.17 – Комбінований удобрювально-посівний машинно-тракторний агрегат (вид зверху):

1 – колісний агрегатуєчий трактор; 2 – сівалки для внесення у ґрунт основної дози мінеральних добрив стрічковим способом; 3 – начіпний пристрій; 4 – сівалка зернових культур з пристроєм для одночасного внесення у ґрунт стартової дози мінеральних добрив

Агрегат для внутрішньогрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту одночасно з сівбою сільськогосподарських культур (див. рис. 1.16) включає сівалку II для внесення у ґрунт основної дози мінеральних добрив, яка містить раму, на котрій встановлений бункер для мінеральних добрив з висівними апаратами для їх висівання. До рами на повідцях шарнірно закріплені сошники, обладнані механізмом для підняття їх в транспортне положення, який приводиться в дію гідроциліндром. Висівні апарати насіннепроводами сполучені з сошниками. До рами сівалки II шарніром 1 приєднана сниця сівалки сільськогосподарських культур III. Зазначена сівалка III включає раму, на якій встановлено ящик, котрий розділений на два відсіки –

відсік для насіння сільськогосподарських культур 2 та відсік 3 для стартової дози мінеральних добрив. Ці відсіки обладнані висівними апаратами для висівання насіння і для висівання мінеральних добрив. Вісь шарніра 1 зміщена від середньої лінії, що проходить паралельно до напрямку робочого руху агрегату і рівновіддалена від крайніх сошників сівалки II для внесення основної дози добрив на значення, що дорівнює половині відстані між суміжними сошниками. До рами сівалки II нерухомо закріплений направляючий елемент 4 з отвором, вісь якого паралельна до середньої лінії і перетинається з віссю вертикального шарніра 1. В отворі направляючого елемента 4 встановлений блокуючий повзун 5, виготовлений із пружного матеріалу, причому його задній кінець виконаний конічним. Повзун 5 штангою 6 кінематично з'єднаний з механізмом підйому сошників сівалки II для внесення добрив. До сніці сівалки сільськогосподарських культур III нерухомо закріплений фіксуєчий елемент 7 з отвором, ідентичним отвору направляючого елемента 4 і співвісного з ним в робочому стані агрегату.

Перед початком роботи агрегату в ящик сівалки II завантажуються мінеральні добрива основної дози їх внесення, а у відсік ящика 2 сівалки III завантажуються необхідне насіння сільськогосподарських культур, а у відсік 3 завантажуються мінеральні добрива стартової дози. Після цього агрегат заїжджає у загінку і сошники обох сівалок механізмами опускаються в робоче положення. Одночасно з цим за рахунок кінематичного зв'язку через штангу 6 між механізмом підйому сошників і повзуном 5, останній переміщується назад відносно напрямку руху агрегату, і повзун 5 заходить у фіксуєчий елемент 7 і шарнір 1 повністю блокується, в результаті чого рама сівалки II і рама сівалки III з'єднуються як одне нерухоме ціле. При русі агрегату в загінці спочатку сошниками сівалки I в рядки на більшу глибину (60-150 мм) вноситься основна доза мінеральних добрив, а потім у середину міжрядь внесеної основної дози добрив висівається сошниками сівалки III насіння сільськогосподарських культур і вноситься стартова доза мінеральних добрив в борозну разом з насінням на оптимальну глибину загортання насіння – 20-80 мм. В кінці загінки

сошники піднімаються в транспортне положення і штангою 4 повзун 5 виводиться із фіксуєчого елемента 7, в результаті чого шарнір 1 розблоковується і на поворотній смузі агрегат робить розворот, при якому сівалки II і III рухаються по окремих траєкторіях.

Завдяки такому виконанню комбінованого агрегату для внутрішньогрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту одночасно з сівбою сільськогосподарських культур спочатку забезпечується внесення у ґрунт основної дози мінеральних добрив на більшу глибину (60-150 мм), а потім у середину міжрядь внесеної основної дози добрив висівається насіння сумісно з стартовою дозою мінеральних добрив на меншу глибину (20-60 мм). При цьому стартова доза мінеральних добрив забезпечує ефективне живлення паростків зернових культур, що обумовлює їх прискорений ріст і розвиток, а по мірі росту цих рослин аж до дозрівання урожаю їх коріння живиться добривами основної дози, які знаходяться на більшій глибині і тому у вологому ґрунті, що забезпечує їх розчинення і ефективне використання рослинами.

В результаті проведених попередньо експериментальних і польових досліджень отримано наступні технічно-економічні результати застосування агрегату складеного у відповідності до розробленої конструктивно-технологічної схеми: продуктивність (із застосуванням колісного інтегрального орно-просапного трактора тягового класу 3) становить близько 3 га/год, а витрати палива складають 4,5 кг/га.

1.4. Висновки по розділу та постановка задач дослідження

Важливі проблеми посіву та удобрення зернових культур можна розв'язати розробкою та застосуванням комбінованих машинно-тракторних агрегатів, які побудовані за модульним принципом і дають істотні переваги щодо їх використання у виробничих умовах.

Наявність потенційних переваг комбінованого агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення та одночасної сівби зернових культур створює передумови для проведення досліджень, *метою* яких є підвищення техніко-економічних показників роботи удобрювально-посівного агрегату шляхом обґрунтування його схеми та конструктивно-технологічних параметрів.

В основу досягнення поставленої мети покладено перевірку сформульованої нами *робочої гіпотези*, суть якої полягає в наступному: застосування комбінованого агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення та одночасної сівби зернових культур з обґрунтованими конструктивно-технологічними параметрами дозволить підвищити техніко-економічні показники його роботи.

Програма перевірки вказаної робочої гіпотези передбачає розв'язання наступних задач дослідження:

- розробити математичну модель функціонування комбінованого машинно-тракторного агрегату у складі агрегатуючого трактора і послідовно начеплених позаду двох сівалок;
- провести числове моделювання на ПК складеної системи диференціальних рівняння руху комбінованого машинно-тракторного агрегату і визначити його оптимальні конструктивні і кінематичні параметри;
- провести експериментальні дослідження комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату та визначити його експлуатаційно-технологічні параметри;
- розробити рекомендації з вибору режимів роботи та провести техніко-економічне обґрунтування застосування машинно-тракторного агрегату для внутрішньогрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою зернових культур;
- здійснити впровадження результатів проведеного дослідження для отримання відповідного економічного ефекту.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОБҐРУНТУВАННЯ РУХУ КОМБІНОВАНОГО
УДОБРЮВАЛЬНО-ПОСІВНОГО МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ

2.1. Загальні положення та припущення, прийняті при теоретичному дослідженні комбінованого удобрювально-посівного агрегату

Для побудови розрахункової математичної моделі комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату, який складається із агрегатуючого колісного трактора, до якого спочатку, за допомогою стандартного начіпного пристрою, приєднана туковисівна сівалка (здійснює основне внесення мінеральних добрив на збільшену глибину стрічковим методом), а позаду неї, за допомогою розробленого спеціального пристрою, причеплена зерно-тукова сівалка (здійснює висів зернових культур разом зі стартовою дозою мінеральних добрив у вказані стрічки на меншу глибину), використаємо основні положення, які викладені в [111].

Для побудови розрахункової математичної моделі використаємо методику, розроблену академіком Булгаковим В.М. [82]. Побудуємо спочатку еквівалентну схему такого комбінованого машинно-тракторного агрегату. Для цього приймемо наступні припущення.

Врахуємо тільки основні елементи комбінованого удобрювально-посівного агрегату, які здійснюють різні рухи. Оскільки динамічна система, яка буде розглядатись, є багатомасовою, то для спрощення розрахунків будемо враховувати тільки рухи, які впливають на якість виконання технологічного процесу. Віднесемо такий машинний агрегат (дану динамічну систему) до прямокутної декартової системи координат $Oxuz$. Також припускаємо, що при русі даного машинно-тракторного агрегату уздовж поверхні поля, усі його точки рухаються у площинах, які паралельні до площини xOy (рис. 2.1).

Щоб скласти систему диференціальних рівнянь руху даної механічної системи, розглянемо її у додатному поточному положенні і опишемо її

положення під час руху на площині шістьма незалежними узагальненими координатами. Також припускаємо, що у початковий момент часу $t=0$ механічна система була орієнтована уздовж осі Ox і починає рухатись із стану спокою.

Тому рух даної механічної системи буде описуватись шістьма диференціальними рівняннями другого порядку відносно вказаних незалежних узагальнених координат. Таким чином, і математична модель удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату – це модель механічної системи, яка має шість ступенів вільності (див. рис. 2.1).

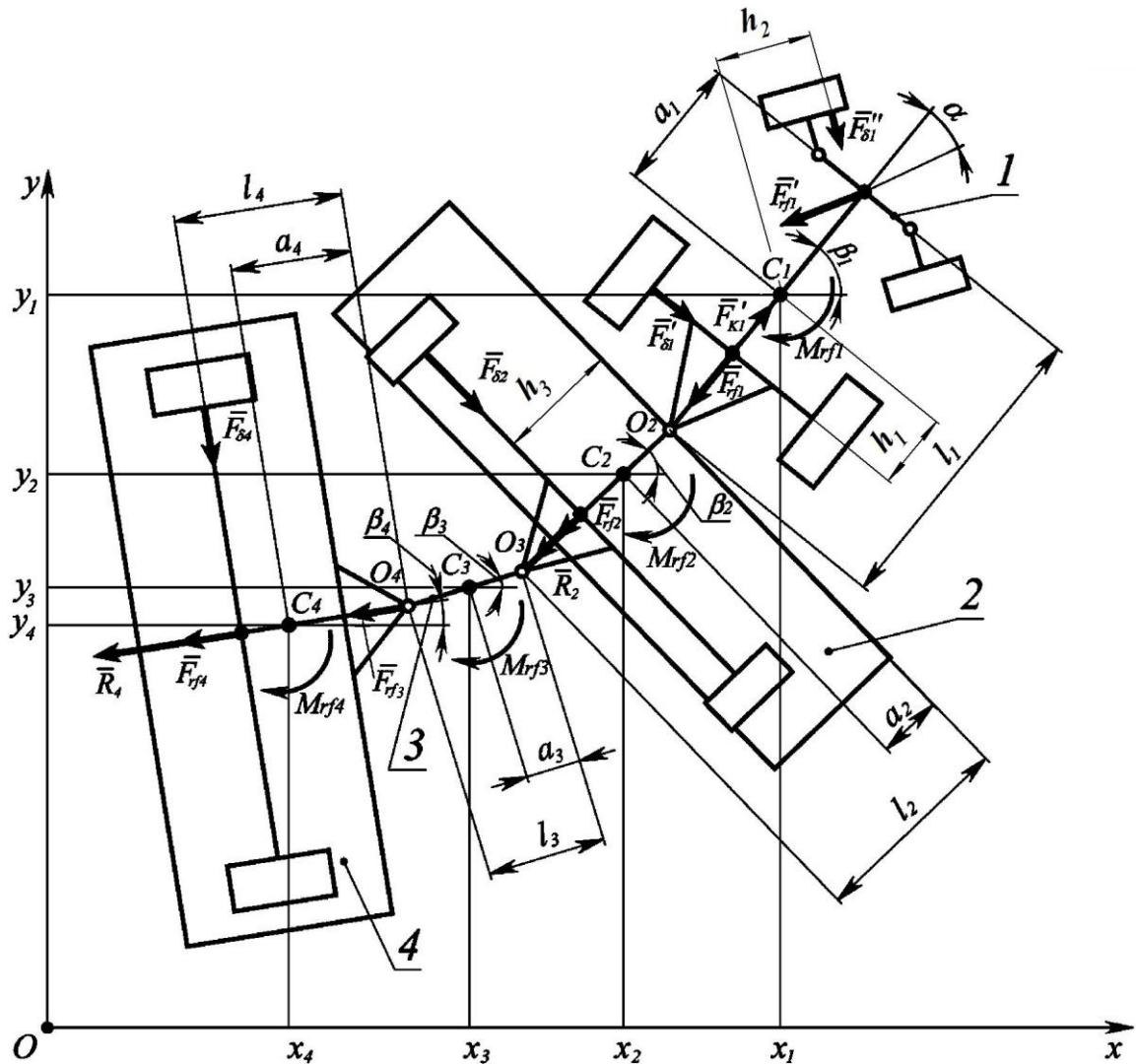


Рис. 2.1 – Еквівалентна схема комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату:

- 1 – трактор; 2 – удобрювальний агрегат; 3 – причіпний пристрій;
4 – посівний агрегат

Оскільки, як вже було сказано, дана механічна система віднесена до нерухомої декартової системи координат $Oxyz$, то початок цієї системи (точка O) буде знаходитися у довільній точці поверхні поля, а осі Ox та Oy будуть розташовані у горизонтальній площині (площині поверхні поля), а вісь Oz спрямована вертикально вгору.

Для складання диференціальних рівнянь руху одержаної механічної системи покажемо її у поточному положенні в додатному напрямі і її положення під час руху опишемо шістьма незалежними узагальненими координатами [82]:

$$x_1, y_1, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4,$$

де x_1, y_1 – координати центра мас агрегуючого трактора;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – відповідно кути, утворені поздовжніми осями ланок механічної системи з віссю Ox .

Крім цього вважаємо, що:

$m_i (i = \overline{1,4})$ – маси ланок механічної системи;

$C_i (x_i, y_i)$ – центр мас i -ої ланки системи, $(i = \overline{1,4})$;

a_i – відстані від центра мас ланки до її переднього шарніра;

l_i – відстані між двома сусідніми осями шарнірів.

Таким чином, розроблена еквівалентна схема повністю відображує, з врахуванням відмічених припущень (рис. 2.1), стан вказаного комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату в процесі виконання ним технологічного процесу і дає можливість досліджувати його плоскопаралельний рух.

2.2. Математична модель плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату

Нехай у початковий момент часу ($t = 0$) механічна система (див. рис. 2.1) була орієнтована вздовж осі Ox і починає рухатись зі стану спокою.

Оскільки дана механічна система є багатоланковою і багатомасовою, то її плоскопаралельний рух опишемо рівняннями в формі Лагранжа 2-го роду [112]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_s} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_s} = Q_s \quad (s = \overline{1,6}), \quad (2.1)$$

де T – кінетична енергія механічної системи;

q_s – узагальнена координата;

s – номер узагальненої координати;

Q_s – узагальнена сила, що відповідає узагальненій координаті q_s .

Кінетичну енергію даної механічної системи обчислимо як суму кінетичних енергій кожної ланки системи [82]:

$$T = \sum_{i=1}^4 T_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^4 \left[m_i (\dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2) + I_i \omega_i^2 \right], \quad (2.2)$$

де I_i – момент інерції i -ої ланки відносно вертикальної осі, що проходить через її центр мас;

$\omega_i = \dot{\beta}_i$ – кутова швидкість повороту i -ої ланки;

\dot{x}_i, \dot{y}_i – проекції вектора швидкості центра мас i -ої ланки системи.

Координати центра мас i -ої ($i = \overline{2,4}$) ланки виразимо через x_1, y_1 , координати центра мас та кути поворотів попередніх її ланок і задані параметри [82]:

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= x_1 - (l_1 - a_1) \cos \beta_1 - a_2 \cos \beta_2, \\ y_2 &= y_1 - (l_1 - a_1) \sin \beta_1 - a_2 \sin \beta_2, \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

$$\left. \begin{aligned} x_3 &= x_1 - (l_1 - a_1) \cos \beta_1 - l_2 \cos \beta_2 - a_3 \cos \beta_3, \\ y_3 &= y_1 - (l_1 - a_1) \sin \beta_1 - l_2 \sin \beta_2 - a_3 \sin \beta_3, \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

$$\left. \begin{aligned} x_4 &= x_1 - (l_1 - a_1) \cos \beta_1 - l_2 \cos \beta_2 - l_3 \cos \beta_3 - a_4 \cos \beta_4, \\ y_4 &= y_1 - (l_1 - a_1) \sin \beta_1 - l_2 \sin \beta_2 - l_3 \sin \beta_3 - a_4 \sin \beta_4. \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Залежності (2.3) – (2.5) можна записати у загальному вигляді:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= x_1 - (l_1 - a_1) \cos \beta_1 - a_i \cos \beta_i - \sum_{j=2}^{i-1} l_j \cos \beta_j, \\ y_i &= y_1 - (l_1 - a_1) \sin \beta_1 - a_i \sin \beta_i - \sum_{j=2}^{i-1} l_j \sin \beta_j, \quad (i = \overline{2,4}). \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Взявши похідні за часом від виразів (2.6), визначимо швидкості центрів мас ланок системи:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_i &= \dot{x}_1 + (l_1 - a_1) \dot{\beta}_1 \sin \beta_1 + a_i \dot{\beta}_i \sin \beta_i + \sum_{j=2}^{i-1} l_j \dot{\beta}_j \sin \beta_j, \\ \dot{y}_i &= \dot{y}_1 - (l_1 - a_1) \dot{\beta}_1 \cos \beta_1 - a_i \dot{\beta}_i \cos \beta_i - \sum_{j=2}^{i-1} l_j \dot{\beta}_j \cos \beta_j, \quad (i = \overline{2,4}). \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

Підставивши (2.7) у (2.2), отримаємо вираз для кінетичної енергії усієї механічної системи:

$$T = \frac{1}{2} \left[m_1 (\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2) + I_1 \dot{\beta}_1^2 + \sum_{i=2}^4 (m_i (\dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2) + I_i \dot{\beta}_i^2) \right]. \quad (2.8)$$

Обчислимо узагальнені сили, які відповідають узагальненим координатам. Для цього сили, які діють на колеса машинно-тракторного агрегату, приведемо до передніх та задніх мостів. Трактор, що агрегатує дану систему, має колісну формулу 4К2 із приводним заднім мостом і його повороти здійснюються зміною положення передніх коліс поворотанням на кут α . Позначимо вказані сили таким чином:

F'_{k1} – тягове зусилля агрегатуючого трактора;

F_{rfi} – сила опору i -ої ланки комбінованого агрегату;

$F_{\delta i}$ – бокова сила, яка діє на цю ланку;

M_{rfi} – момент опору поворотів цієї ланки;

P_l і P_r – сили опору коченню коліс, що приведені до заднього моста агрегатуючого трактора і віднесені до складу сили F_{rf2} і моменту M_{rf2} .

R_2 – сумарна сила опору робочих органів комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату;

R_4 – сумарна сила опору сошників посівного агрегату.

Усі ці силові фактори визначаються згідно з [113] та відповідних експериментальних досліджень у залежності від типу ґрунту, параметрів ґрунтообробних робочих органів, вантажомісткості технологічних ємностей агрегатів, параметрів ходових коліс та типу агрегатуючого трактора.

Тоді узагальнені сили визначаються згідно з означенням, тобто [82]:

$$Q_{x_1} = \frac{1}{\delta x_1} \left[\sum_{i=1}^n \delta A(\bar{F}_i^a) \right]_{x_1} = \frac{1}{\delta x_1} \left[\sum_{i=1}^4 F_{xi} \delta x_i \right]_{x_1} = \sum_{i=1}^4 F_{xi},$$

тут враховуємо, що $\delta x_i = \delta x_1$ ($i = \overline{1,4}$).

Отже

$$Q_{x1} = \sum_{i=1}^4 F_{xi}, \quad (2.9)$$

аналогічно

$$Q_{y1} = \sum_{i=1}^4 F_{yi}, \quad (2.10)$$

де F_{xi} , F_{yi} – сума проєкцій усіх сил, що діють на i -ту ланку механічної системи, відповідно на осі Ox та Oy .

Для того, щоб визначити узагальнені сили, що відповідають кутам поворотів $\beta_i (i = \overline{1,4})$, визначимо координати шарнірів $O_i(x_{O_i}, y_{O_i})$, ($i = \overline{2,4}$) та їхні варіації [82].

$$\left. \begin{aligned} x_{O_i} &= x_1 - (l_1 - a_1) \cos \beta_1 - \sum_{j=2}^{i-1} l_j \cos \beta_j, \\ y_{O_i} &= y_1 - (l_1 - a_1) \sin \beta_1 - \sum_{j=2}^{i-1} l_j \sin \beta_j. \end{aligned} \right\}$$

Звідки:

$$\left. \begin{aligned} \delta x_{O_i} &= \delta x_1 + (l_1 - a_1) \sin \beta_1 \cdot \delta \beta_1 + \sum_{j=2}^{i-1} l_j \sin \beta_j \cdot \delta \beta_j, \\ \delta y_{O_i} &= \delta y_1 - (l_1 - a_1) \cos \beta_1 \cdot \delta \beta_1 - \sum_{j=2}^{i-1} l_j \cos \beta_j \cdot \delta \beta_j, \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

Тоді:

$$\begin{aligned}
Q_{\beta_1} &= \frac{\left[\sum_{k=1}^n \delta A(\bar{F}_k^a) \right]_{\beta_1}}{\delta \beta_1} = M_{C_1} - M_{rf1} + \frac{\sum_{i=2}^4 [F_{xi} \delta x_{O_i} + F_{yi} \delta y_{O_i}]}{\delta \beta_1} = \\
&= M_{C_1} - M_{rf1} + (l_1 - a_1) \left(\sin \beta_1 \sum_{i=2}^4 F_{xi} - \cos \beta_1 \sum_{i=2}^4 F_{yi} \right).
\end{aligned}$$

Тут враховано, що згідно з (2.11) при $\delta \beta_1 > 0$ і

$$\delta x_1 = \delta x_2 = \delta \beta_2 = \delta \beta_3 = \delta \beta_4 = 0,$$

$$\delta x_{O_i} = (l_1 - a_1) \sin \beta_1 \cdot \delta \beta_1,$$

$$\delta y_{O_i} = -(l_1 - a_1) \cos \beta_1 \cdot \delta \beta_1.$$

Остаточно отримаємо:

$$Q_{\beta_1} = M_{C_1} - M_{rf1} + (l_1 - a_1) \left[\sin \beta_1 \sum_{i=2}^4 F_{xi} - \cos \beta_1 \sum_{i=2}^4 F_{yi} \right], \quad (2.12)$$

де M_{C_1} – алгебраїчна сума моментів усіх сил, що діють на першу ланку відносно точки C_1 .

Аналогічно визначимо Q_{β_i} ($i = \overline{2,4}$):

$$\begin{aligned}
Q_{\beta_i} &= \frac{\left[\sum_{k=1}^n \delta A(\bar{F}_k^a) \right]_{\beta_i}}{\delta \beta_i} = M_{O_i} - M_{rfi} + \frac{\sum_{j=i+1}^4 (F_{xj} \delta x_{O_i} + F_{yj} \delta y_{O_i})}{\delta \beta_i} = \\
&= M_{O_i} - M_{rfi} + l_i \left(\sin \beta_i \sum_{j=i+1}^4 F_{xj} - \cos \beta_i \sum_{j=i+1}^4 F_{yj} \right).
\end{aligned}$$

У цих рівняннях враховано, що $\delta y_{O_i} = -l_i \cos \beta_i \cdot \delta \beta_i$; $\delta x_{O_i} = l_i \sin \beta_i \cdot \delta \beta_i$.

Таким чином, отримуємо:

$$Q_{\beta_i} = M_{O_i} - M_{rfi} + l_i \left(\sin \beta_i \sum_{j=i+1}^4 F_{xj} - \cos \beta_i \sum_{j=i+1}^4 F_{yj} \right), \quad (i = \overline{2,4}), \quad (2.13)$$

де M_{O_i} – алгебраїчна сума моментів усіх сил, що діють на i -ту ланку відносно точки O_i .

Визначимо необхідні похідні від кінетичної енергії, що входять у вихідні рівняння Лагранжа II роду (2.1):

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1} = m_1 \dot{x}_1 + \sum_{i=2}^4 m_i \dot{x}_i,$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_1} = m_1 \dot{y}_1 + \sum_{i=2}^4 m_i \dot{y}_i,$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1} \right) = m_1 \ddot{x}_1 + \sum_{i=2}^4 m_i \ddot{x}_i,$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_1} \right) = m_1 \ddot{y}_1 + \sum_{i=2}^4 m_i \ddot{y}_i,$$

$$\frac{\partial T}{\partial x_1} = 0,$$

$$\frac{\partial T}{\partial y_1} = 0.$$

Далі:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\beta}_1} = I_1 \dot{\beta}_1 + \sum_{i=2}^4 m_i (\dot{x}_i \sin \beta_1 - \dot{y}_i \cos \beta_1) \cdot (l_1 - a_1),$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\beta}_1} \right) &= I_1 \ddot{\beta}_1 + (l_1 - a_1) \sum_{i=2}^4 m_i (\ddot{x}_i \sin \beta_1 - \ddot{y}_i \cos \beta_1 + \\ &+ \dot{x}_i \dot{\beta}_1 \cos \beta_1 + \dot{y}_i \dot{\beta}_1 \sin \beta_1), \end{aligned}$$

$$\frac{\partial T}{\partial \beta_1} = \sum_{i=2}^4 m_i (\dot{x}_i \dot{\beta}_1 \cos \beta_1 + \dot{y}_i \dot{\beta}_1 \sin \beta_1) (l_1 - a_1),$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\beta}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial \beta_1} = I_1 \ddot{\beta}_1 + (l_1 - a_1) \sum_{i=2}^4 m_i (\ddot{x}_i \sin \beta_1 - \ddot{y}_i \cos \beta_1).$$

Далі визначимо наступні похідні:

$$\frac{dT}{d\dot{\beta}_i} = m_i a_i (\dot{x}_i \sin \beta_i - \dot{y}_i \cos \beta_i) + l_i \sum_{j=i+1}^4 m_j (\dot{x}_j \sin \beta_i - \dot{y}_j \cos \beta_i) + I_i \dot{\beta}_i,$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{dT}{d\dot{\beta}_i} \right) &= m_i a_i (\ddot{x}_i \sin \beta_i - \ddot{y}_i \cos \beta_i) + m_i a_i \dot{\beta}_i (\dot{x}_i \cos \beta_i + \dot{y}_i \sin \beta_i) + \\ &+ l_i \sum_{j=i+1}^4 m_j \left[(\ddot{x}_j \sin \beta_i - \ddot{y}_j \cos \beta_i) + \dot{\beta}_i (\dot{x}_j \cos \beta_i + \dot{y}_j \sin \beta_i) \right] + I_i \ddot{\beta}_i, \end{aligned}$$

$$\frac{dT}{d\beta_i} = m_i a_i \dot{\beta}_i (\dot{x}_i \cos \beta_i + \dot{y}_i \sin \beta_i) + \dot{\beta}_i \sum_{j=i+1}^4 m_j (\dot{x}_j \cos \beta_i + \dot{y}_j \sin \beta_i).$$

Тоді, підставивши отримані похідні у рівняння (2.1), отримаємо наступну систему диференціальних рівнянь (2.14), яка описує рух причіпного комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату у горизонтальній площині. Дана система диференціальних рівнянь руху притаманна багатьом комбінованим машинно-тракторним агрегатам, які складаються з колісного агрегатуючого трактора, позаду якого послідовно причеплені дві сільськогосподарські машини [82]. Перше рівняння системи (2.14) – рух агрегатуючого колісного трактора вздовж осі Ox , друге рівняння – рух трактора вздовж осі Oy , третє рівняння – поворот трактора навколо його центра мас.

$$\begin{aligned}
m_1 \ddot{x}_1 + \sum_{i=2}^4 m_i \ddot{x}_i &= \sum_{i=1}^4 F_{xi}, \\
m_1 \ddot{y}_1 + \sum_{i=2}^4 m_i \ddot{y}_i &= \sum_{i=1}^4 F_{yi}, \\
I_1 \ddot{\beta}_1 + (l_1 - a_1) \sum_{i=2}^4 m_i (\ddot{x}_i \sin \beta_1 - \ddot{y}_i \cos \beta_1) &= \\
= M_{C_1} - M_{rf1} + (l_1 - a_1) \left(\sin \beta_1 \sum_{i=2}^4 F_{xi} - \cos \beta_1 \sum_{i=2}^4 F_{yi} \right), \\
I_2 \ddot{\beta}_2 + m_2 a_2 (\ddot{x}_2 \sin \beta_2 - \ddot{y}_2 \cos \beta_2) + l_2 [m_3 (\ddot{x}_3 \sin \beta_2 - \ddot{y}_3 \cos \beta_2) + \\
+ m_4 (\ddot{x}_4 \sin \beta_2 - \ddot{y}_4 \cos \beta_2)] &= M_{O_2} - M_{rf2} + l_2 \left(\sin \beta_2 \sum_{j=3}^4 F_{xj} - \cos \beta_2 \sum_{j=3}^4 F_{yj} \right), \\
I_3 \ddot{\beta}_3 + m_3 a_3 (\ddot{x}_3 \sin \beta_3 - \ddot{y}_3 \cos \beta_3) + l_3 m_4 (\ddot{x}_4 \sin \beta_3 - \ddot{y}_4 \cos \beta_3) &= \\
= M_{O_3} - M_{rf3} + l_3 (\sin \beta_3 F_{x4} - \cos \beta_3 F_{y4}), \\
I_4 \ddot{\beta}_4 + m_4 a_4 (\ddot{x}_4 \sin \beta_4 - \ddot{y}_4 \cos \beta_4) &= M_{O_4} - M_{rf4}.
\end{aligned} \tag{2.14}$$

Останні три рівняння системи (2.14) описують поворот ланок комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату навколо власного центра мас, відповідно: четверте рівняння описує поворот першого удобрювального агрегату, рівняння п'ять – зчипки, рівняння шість – посівного агрегату. Їх можна записати одним рівнянням з індексом (i), де i змінюється від 2 до 4, тобто [82]:

$$\begin{aligned}
I_i \ddot{\beta}_i + m_i a_i (\ddot{x}_i \sin \beta_i - \ddot{y}_i \cos \beta_i) + l_i \sum_{j=i+1}^4 m_j (\ddot{x}_j \sin \beta_i - \ddot{y}_j \cos \beta_i) &= \\
= M_{O_i} - M_{rfi} + l_i \left(\sin \beta_i \sum_{j=i+1}^4 F_{yj} - \cos \beta_i \sum_{j=i+1}^4 F_{xj} \right), \quad (i = \overline{2,4}).
\end{aligned} \tag{2.15}$$

Таким чином, одержана система шести диференціальних рівнянь (2.14) з врахуванням можливості позначення (2.15), яка описує рух комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату при наявності у нього

шести ступенів вільності. Розв'язання цих рівнянь буде визначати закономірність руху кожної складової частини досліджуємого агрегату у горизонтальній площині.

Визначимо далі силові фактори, що входять у рівняння (2.14) руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату, за методикою [82, 113, 114].

Спочатку визначимо $\sum_{i=1}^n F_{xi}$ та $\sum_{i=1}^n F_{yi}$, які входять у рівняння (2.14).

Із силової схеми (рис. 2.1) знаходимо :

$$\begin{aligned}\bar{F}_1 &= \bar{F}'_{k1} + \bar{F}'_{\delta1} + \bar{F}'_{\delta2} + \bar{F}'_{rf1} + \bar{F}'_{rf1}, \\ \bar{F}_2 &= \bar{F}_{\delta2} + \bar{F}_{rf2} + \bar{R}_2, \\ \bar{F}_3 &= \bar{F}_{rf3}, \\ \bar{F}_4 &= \bar{F}_{\delta4} + \bar{F}_{rf4} + \bar{R}_4.\end{aligned}\tag{2.16}$$

Проектуючи ці векторні рівняння на осі Ox та Oy , отримаємо їх значення в проекціях на вісь Ox :

$$\begin{aligned}F_{x1} &= F'_{k1} \cos \beta_1 + F'_{\delta1} \sin \beta_1 - F'_{rf1} \cos(\beta_1 - \alpha) + F'_{\delta2} \sin(\beta_1 - \alpha) - F_{rf1} \cos \beta_1, \\ F_{x2} &= F_{\delta2} \sin \beta_2 - F_{rf2} \cos \beta_2 - R_2 \cos \beta_2, \\ F_{x3} &= -F_{rf3} \cos \beta_3, \\ F_{x4} &= F_{\delta4} \sin \beta_4 - F_{rf4} \cos \beta_4 - R_4 \cos \beta_4.\end{aligned}\tag{2.17}$$

Отримуємо в проекціях на вісь Oy :

$$\begin{aligned}F_{y1} &= F'_{k1} \sin \beta_1 - F'_{\delta1} \cos \beta_1 - F'_{rf1} \sin(\beta_1 - \alpha) - F'_{\delta2} \cos(\beta_1 - \alpha) - F_{rf1} \sin \beta_1, \\ F_{y2} &= -F_{\delta2} \cos \beta_2 - F_{rf2} \sin \beta_2 - R_2 \sin \beta_2, \\ F_{y3} &= -F_{rf3} \sin \beta_3, \\ F_{y4} &= -F_{\delta4} \cos \beta_4 - F_{rf4} \sin \beta_4 - R_4 \sin \beta_4.\end{aligned}\tag{2.18}$$

Оскільки:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^4 (F_{xi}) &= F_{x1} + F_{x2} + F_{x3} + F_{x4} = F'_{k1} \cos \beta_1 + F'_{\delta 1} \sin \beta_1 - F'_{rf1} \cos(\beta_1 - \alpha) + \\ &+ F'_{\delta 2} \sin(\beta_1 - \alpha) - F_{rf1} \cos \beta_1 + F_{\delta 2} \sin \beta_2 - F_{rf2} \cos \beta_2 - \\ &- R_2 \cos \beta_2 - F_{rf3} \cos \beta_3 + F_{\delta 4} \sin \beta_4 - F_{rf4} \cos \beta_4 - R_4 \cos \beta_4, \end{aligned} \quad (2.19)$$

і

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^4 (F_{yi}) &= F_{y1} + F_{y2} + F_{y3} + F_{y4} = F'_{k1} \sin \beta_1 - F'_{\delta 1} \cos \beta_1 - F'_{rf1} \sin(\beta_1 - \alpha) - \\ &- F'_{\delta 2} \cos(\beta_1 - \alpha) - F_{rf1} \sin \beta_1 - F_{\delta 2} \cos \beta_2 - F_{rf2} \sin \beta_2 - \\ &- R_2 \sin \beta_2 - F_{rf3} \sin \beta_3 - F_{\delta 4} \cos \beta_4 - F_{rf4} \sin \beta_4 - R_4 \sin \beta_4. \end{aligned} \quad (2.20)$$

Аналогічно отримуємо:

$$\begin{aligned} \sum_{i=2}^4 (F_{xi}) &= F_{\delta 2} \sin \beta_2 - F_{rf2} \cos \beta_2 - R_2 \cos \beta_2 - F_{rf3} \cos \beta_3 + \\ &+ F_{\delta 4} \sin \beta_4 - F_{rf4} \cos \beta_4 - R_4 \cos \beta_4, \end{aligned} \quad (2.21)$$

і

$$\begin{aligned} \sum_{i=2}^4 (F_{yi}) &= -F_{\delta 2} \cos \beta_2 - F_{rf2} \sin \beta_2 - R_2 \sin \beta_2 - F_{rf3} \sin \beta_3 - \\ &- F_{\delta 4} \cos \beta_4 - F_{rf4} \sin \beta_4 - R_4 \sin \beta_4, \end{aligned} \quad (2.22)$$

а також:

$$\sum_{i=3}^4 (F_{xi}) = -F_{rf3} \cos \beta_3 + F_{\delta 4} \sin \beta_4 - F_{rf4} \cos \beta_4 - R_4 \cos \beta_4, \quad (2.23)$$

і

$$\sum_{i=3}^4 (F_{yi}) = -F_{rf3} \sin \beta_3 - F_{\delta 4} \cos \beta_4 - F_{rf4} \sin \beta_4 - R_4 \sin \beta_4. \quad (2.24)$$

Встановимо значення сил опору $\bar{F}_{oni}(i=\overline{2,4})$ у випадку, якщо колеса котяться без ковзання. Для цього опишемо рух обох коліс i -ої ланки машинно-тракторного агрегату ($i=\overline{2,4}$). Використовуючи диференціальні рівняння плоскопаралельного руху коліс (рис. 2.2), запишемо наступну систему диференціальних рівнянь [82]:

$$\left. \begin{aligned} m_{ki} \ddot{x}'_{C_i} &= \sum_{k=1}^n F_{kx'_i}^e, \\ m_{ki} \ddot{z}'_{C_i} &= \sum_{k=1}^n F_{kz'_i}^e, \\ I_{ki} \ddot{\varphi}_i &= \sum_{k=1}^n M_{C'_i}(\bar{F}_k^e), \end{aligned} \right\} \quad (2.25)$$

де m_{ki} – маса колеса i -го агрегату;

I_{ki} – момент інерції колеса i -го агрегату відносно осі обертання;

$\sum_{k=1}^n \bar{F}_k^e$ – векторна сума усіх зовнішніх сил, що діють на колесо i -го агрегату.

Визначимо прискорення центра мас лівого колеса \bar{a}_l . Спочатку складемо такі векторні рівняння:

$$\bar{a}_l = \bar{a}_{C_i} + \bar{a}_{lC_i}^\varepsilon + \bar{a}_{lC_i}^\omega,$$

$$\bar{a}_{C_i} = \ddot{x}_i \bar{i} + \ddot{y}_i \bar{j},$$

$$a_{lC_i}^\varepsilon = \varepsilon_i \cdot c_i c'_i,$$

$$a_{lC_i}^\omega = \omega_i^2 \cdot c_i c'_i,$$

де \bar{a}_{C_i} – прискорення центра мас i -ої ланки агрегату;

ε_i – кутове прискорення i -го колеса в поворотному русі навколо центру мас i -ої ланки агрегату;

$\bar{a}_{lC_i}^\varepsilon$ – обертальне прискорення центра мас лівого колеса i -ої ланки агрегату навколо центру мас цієї ланки;

ω_i – кутова швидкість повороту i -го колеса навколо центру мас i -ої ланки агрегату;

$a_{lC_i}^\omega$ – доцентрове прискорення центра мас лівого колеса i -ої ланки агрегату навколо центру мас цієї ланки;

$c_i c_i'$ – відстань від центра мас i -ої ланки агрегату до центра мас лівого колеса цієї ланки.

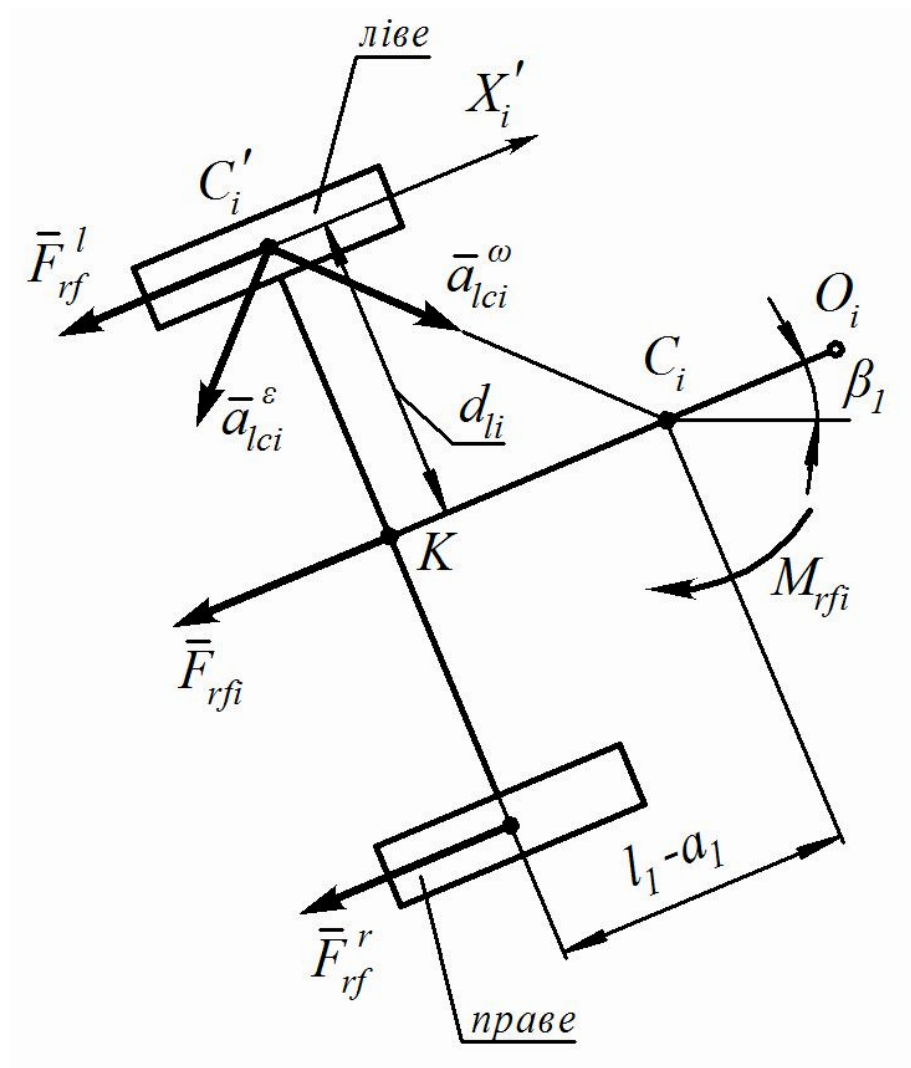


Рис. 2.2 – Сили, що діють на ведучі колеса агрегуючого трактора під час плоскопаралельного руху

Тоді:

$$\ddot{x}'_{li} = pr_{x'_i} \bar{a}_i = \ddot{x}_i \cos \beta_i + \ddot{y}_i \sin \beta_i + \dot{\beta}_i^2 (l_i - a_i) - \ddot{\beta}_i d_{li}. \quad (2.26)$$

де \bar{a}_i – прискорення центра мас лівого колеса.

Для правого колеса аналогічно одержимо:

$$\ddot{x}'_{ri} = \ddot{x}_i \cos \beta_i + \ddot{y}_i \sin \beta_i + \dot{\beta}_i^2 (l_i - a_i) + \ddot{\beta}_i d_{ri}. \quad (2.27)$$

Умова кочення коліс без ковзання має вигляд:

$$x'_{C_i} = r_{ki} \varphi_i.$$

Звідки шляхом двократного диференціювання знаходимо:

$$\ddot{\varphi}_i = \frac{\ddot{x}'_{C_i}}{r_{ki}}, \quad (2.28)$$

де r_{ki} – радіус колеса i -ої ланки агрегату.

Для лівого колеса рівняння (2.25) прийме вигляд:

$$I_{ki} \ddot{\varphi}_i = F_{rfi}^l \cdot r_{ki}$$

Звідси, враховуючи (2.28), одержимо:

$$F_{rfi}^l = \frac{I_{ki} \ddot{x}'_{li}}{r_{ki}^2} \quad (2.29)$$

Підставляючи (2.26) у (2.29) отримаємо:

$$F_{rfi}^l = \frac{I_{ki} \left[\ddot{x}_i \cos \beta_i + \ddot{y}_i \sin \beta_i + \dot{\beta}_i^2 (l_i - a_i) - \ddot{\beta}_i d_{li} \right]}{r_{ki}^2}. \quad (2.30)$$

Аналогічно отримуємо [82]:

$$F_{rfi}^r = \frac{I_{ki} \left[\ddot{x}_i \cos \beta_i + \ddot{y}_i \sin \beta_i + \dot{\beta}_i^2 (l_i - a_i) + \ddot{\beta}_i d_{ri} \right]}{r_{ki}^2}. \quad (2.31)$$

Тоді:

$$\begin{aligned} F_{rfi} &= F_{rfi}^l + F_{rfi}^r = \\ &= \frac{I_{ki} \left\{ 2 \left[\ddot{x}_i \cos \beta_i + \ddot{y}_i \sin \beta_i + \dot{\beta}_i^2 (l_i - a_i) \right] + \ddot{\beta}_i (d_{ri} - d_{li}) \right\}}{r_{ki}^2}. \end{aligned} \quad (2.32)$$

Обчислимо M_{rfi} – момент опору повороту i -ої ланки агрегату як суми моментів опору сил опору лівого та правого коліс відносно центра мас i -ої ланки [82]:

$$\begin{aligned} M_{rfi} &= M_k(\bar{F}_{rfi}^l) + M_k(\bar{F}_{rfi}^r) = -F_{rfi}^l d_{li} + F_{rfi}^r d_{ri} = \\ &= \frac{I_{ki} \left\{ \left[\ddot{x}_i \cos \beta_i + \ddot{y}_i \sin \beta_i + \dot{\beta}_i^2 (l_i - a_i) \right] (d_{ri} - d_{li}) + \ddot{\beta}_i (d_{li}^2 + d_{ri}^2) \right\}}{r_{ki}^2}. \end{aligned} \quad (2.33)$$

Для задніх ведучих коліс трактора залежності (2.32) і (2.33) при умові, що $d_{ri} = d_{li} = d_1$ приймуть такий вигляд:

$$F_{rf1} = \frac{2I_{k1} \left[\ddot{x}_1 \cos \beta_1 + \ddot{y}_1 \sin \beta_1 + \dot{\beta}_1^2 (l_1 - a_1) \right]}{r_{k1}^2} - \frac{2M'_e}{r_{k1}}, \quad (2.34)$$

та

$$M''_{rf1} = 2I_{k1} \ddot{\beta}_1 \left(\frac{d_1}{r_{k1}} \right)^2, \quad (2.35)$$

де $M'_e = \frac{M_e \eta}{2}$;

M_e – крутний момент, що створюється двигуном агрегуючого трактора;

η – коефіцієнт, що враховує тип трансмісії агрегуючого трактора.

Визначимо \bar{F}'_{rf1} і M'_{rf1} для ведених передніх коліс трактора (рис. 2.3).

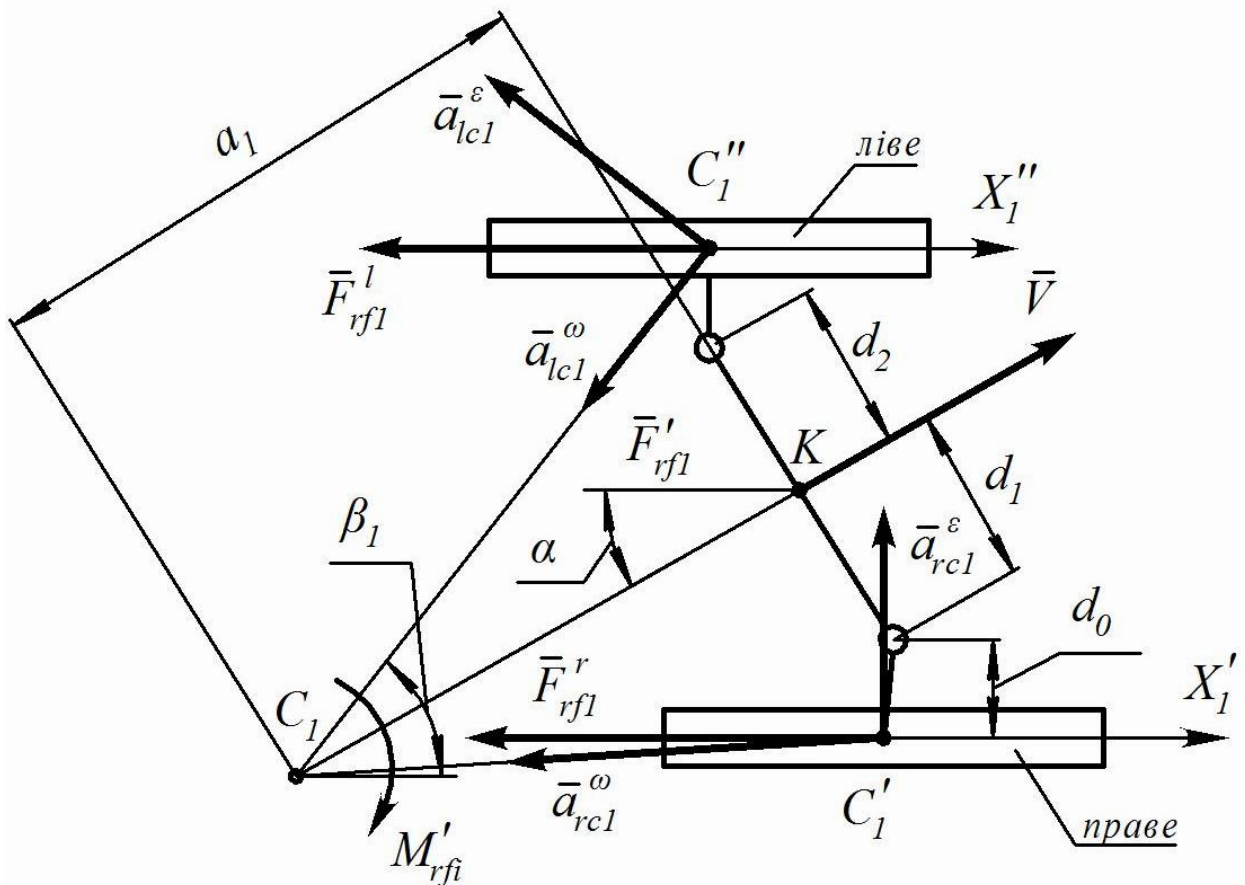


Рис. 2.3 – Схема сил, що діють на ведені колеса агрегуючого трактора

Із кінематики плоскопаралельного руху твердого тіла визначимо прискорення центра мас правого і лівого колеса за наступними виразами [82]:

$$\begin{aligned}\bar{a}_{C_1'} &= \bar{a}_{C_1} + \bar{a}_{IC_1}^\varepsilon + \bar{a}_{IC_1}^\omega, \\ \bar{a}_{C_1} &= \ddot{x}_1 \bar{i} + \ddot{y}_1 \bar{j}, \\ a_{IC_1}^\varepsilon &= \ddot{\beta}_1 \cdot c_1 c_1'', \\ a_{IC_1}^\omega &= \dot{\beta}_1^2 \cdot c_1 c_1''.\end{aligned}$$

Тоді для лівого колеса маємо:

$$\begin{aligned}\ddot{x}_1'' = pr_{x_1'} \bar{a}_{C_1'} &= \ddot{x}_1 \cos(\beta_1 - \alpha) + \ddot{y}_1 \sin(\beta_1 - \alpha) - \dot{\beta}_1 \left[(d_1 + d_0 \cos \alpha) \cos \alpha + \right. \\ &+ \left. (a_1 + d_0 \sin \alpha) \sin \alpha \right] - \dot{\beta}_1^2 \left[(a_1 + d_0 \sin \alpha) \cos \alpha - (d_1 + d_0 \cos \alpha) \sin \alpha \right].\end{aligned}$$

Аналогічно для правого колеса отримаємо:

$$\begin{aligned}\ddot{x}_1' = pr_{x_1'} \bar{a}_{C_1'} &= \ddot{x}_1 \cos(\beta_1 - \alpha) + \ddot{y}_1 \sin(\beta_1 - \alpha) + \dot{\beta}_1 \left[(d_1 + d_0 \cos \alpha) \cos \alpha + \right. \\ &+ \left. (a_1 - d_0 \sin \alpha) \sin \alpha \right] - \dot{\beta}_1^2 \left[(a_1 - d_0 \sin \alpha) \cos \alpha - (d_1 + d_0 \cos \alpha) \sin \alpha \right].\end{aligned}$$

Із рівняння (2.34) для лівого колеса маємо:

$$\begin{aligned}F_{rf1}' &= \frac{I_{k1}'}{r_{k1}'^2} \cdot \ddot{x}_1'' = \frac{I_{k1}' \left\{ \ddot{x}_1 \cos(\beta_1 - \alpha) + \ddot{y}_1 \sin(\beta_1 - \alpha) - \right. \\ &\times \frac{-\dot{\beta}_1 \left[(d_1 + d_0 \cos \alpha) \cos \alpha + (a_1 + d_0 \sin \alpha) \sin \alpha \right] -}{1} \\ &\left. \left. - \dot{\beta}_1^2 \left[(a_1 + d_0 \sin \alpha) \cos \alpha - (d_1 + d_0 \cos \alpha) \sin \alpha \right] \right\}}{(r_{k1}')^2},\end{aligned} \quad (2.36)$$

де r_{k1}' – радіус передніх коліс агрегатуючого трактора;

I_{k1}' – момент інерції передніх коліс трактора відносно осі обертання.

Для правого колеса:

$$\begin{aligned}
 F'_{rf1} = & \frac{I'_{k1} \left\{ \ddot{x}_1 \cos(\beta_1 - \alpha) + \ddot{y}_1 \sin(\beta_1 - \alpha) + \right. \\
 & \left. + \ddot{\beta}_1 \left[(d_1 + d_0 \cos \alpha) \cos \alpha + (a_1 - d_0 \sin \alpha) \sin \alpha \right] - \right. \\
 & \left. - \dot{\beta}_1^2 \left[(a_1 - d_0 \sin \alpha) \cos \alpha - (d_1 + d_0 \cos \alpha) \sin \alpha \right] \right\}}{1} \times \\
 & \times \frac{1}{1} \times \\
 & \times \frac{1}{(r'_{k1})^2}.
 \end{aligned} \tag{2.37}$$

Враховуючи (2.36) і (2.37) отримаємо:

$$\begin{aligned}
 F'_{rf1} = & F''_{rf1} + F''_{rf1} = \\
 = & \frac{2I'_{k1} \left\{ \ddot{x}_1 \cos(\beta_1 - \alpha) + \ddot{y}_1 \sin(\beta_1 - \alpha) - \right. \\
 & \left. - \frac{1}{2} \ddot{\beta}_1 d_0 - \dot{\beta}_1^2 \left[a_1 \cos \alpha - (d_1 + d_0 \cos \alpha) \sin \alpha \right] \right\}}{1} \times \\
 & \times \frac{1}{(r'_{k1})^2},
 \end{aligned} \tag{2.38}$$

та

$$\begin{aligned}
 M'_{rf1} = & M_k(\bar{F}'_{rf1}) + M_k(\bar{F}''_{rf1}) = \\
 = & \frac{2I'_{k1} (d_0 + d_1 \cos \alpha) \left\{ \ddot{\beta}_1 \left[(d_1 + d_0 \cos \alpha) \cos \alpha + a_1 \sin \alpha \right] + \right. \\
 & \left. + \dot{\beta}_1^2 d_0 \sin \alpha \cos \alpha \right\}}{1} \times \\
 & \times \frac{1}{(r'_{k1})^2},
 \end{aligned} \tag{2.39}$$

де M'_{rf1} – момент опору повороту ведених передніх коліс трактора, який дорівнює сумі моментів сил опору правого та лівого коліс відносно центра мас.

Тоді, враховуючи (2.35) і (2.39), одержимо:

$$\begin{aligned}
M_{rf1} &= M'_{rf1} + M''_{rf1} = \\
&= 2I_{k1} \ddot{\beta}_1 \left(\frac{d_1}{r_{k1}} \right)^2 + \frac{2I'_{k1} (d_0 + d_1 \cos \alpha) \times}{1} \times \\
&\times \left\{ \ddot{\beta}_1 [(d_1 + d_0 \cos \alpha) \cos \alpha + a_1 \sin \alpha] + \dot{\beta}_1^2 d_0 \sin \alpha \cos \alpha \right\} \\
&\times \frac{1}{(r'_{k1})^2},
\end{aligned} \tag{2.40}$$

де M_{rf1} – момент опору повороту усіх коліс агрегатуючого трактора.

Якщо деякі колеса агрегату будуть котитися із ковзанням, то для них сили опору (тертя) будуть максимальні і визначаються за наступним виразом:

$$F_{rfi} = N_i f_i, \quad (i = \overline{1,4}), \tag{2.41}$$

де N_i – сила тиску i -го колеса на ґрунт;

f_i – коефіцієнт тертя ковзання між колесом та ґрунтом.

При цьому, $F'_{k1} = 0$, оскільки вона враховується при визначенні F_{rf1} .

Сила тиску на ґрунт дорівнює:

$$N_i = \frac{m_i d a_i}{l_i}, \quad (i = \overline{1,4}), \tag{2.42}$$

$$N'_1 = \frac{m_1 d (l_1 - a_1)}{l_1},$$

де N'_1 – сила тиску на ґрунт передніх коліс.

Визначимо бокові сили, що діють на мости трактора. Згідно [111]:

$$\begin{aligned}
F_{efi} &= k_{wi} \varphi_{wi}, \quad (i = \overline{1,4}), \\
F'_{ef1} &= k'_{w1} \varphi'_{w1},
\end{aligned} \tag{2.43}$$

де k_w – коефіцієнт опору боковому відведенню, який визначається експериментально;

φ_w – кут відведення мостів агрегуючого трактора.

Визначимо кут відведення переднього моста агрегуючого трактора [82]:

$$\varphi'_{w1} \approx \frac{\dot{x}_1 \sin(\beta_1 + \alpha) - \dot{y}_1 \cos(\beta_1 + \alpha) - a_1 \dot{\beta}_1}{\dot{x}_1 \cos(\beta_1 + \alpha) + \dot{y}_1 \sin(\beta_1 + \alpha) + a_1 \dot{\beta}_1 \sin(\beta_1 + \alpha)}, \quad (2.44)$$

та в загальному вигляді для інших ланок агрегату:

$$\varphi'_{wi} \approx \frac{\dot{x}_i \sin \beta_i - \dot{y}_i \cos \beta_i + (l_i - a_i) \cos \beta_i \cdot \dot{\beta}_i}{\dot{x}_i \cos \beta_i + \dot{y}_i \sin \beta_i + (l_i - a_i) \sin \beta_i \cdot \dot{\beta}_i}, \quad (i = \overline{1,4}), \quad (2.45)$$

Далі необхідно провести чисельний аналіз даного теоретичного дослідження з використанням ПК, для чого необхідно розробити програму числових розрахунків.

Оскільки розв'язок даної задачі можна здійснити з використанням основних положень теорії автоматичного регулювання, то представимо динамічну модель руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату у вигляді наступної схеми (рис. 2.4). Розробимо таку схему з урахуванням основних керуючих і збурювальних вхідних параметрів. У відповідності з цією схемою керуючим впливом є кут повороту передніх коліс трактора $[\alpha(p)]$, а збурювальними є одиничні впливи $K_0 \cdot 1(p)$ і $B_3 = \cdot 1(p)$, $B_4 = \cdot 1(p)$ і $B_6 = \cdot 1(p)$. Вихідними змінними є координати x_1 , y_1 і кути β_1 , β_2 і β_4 .

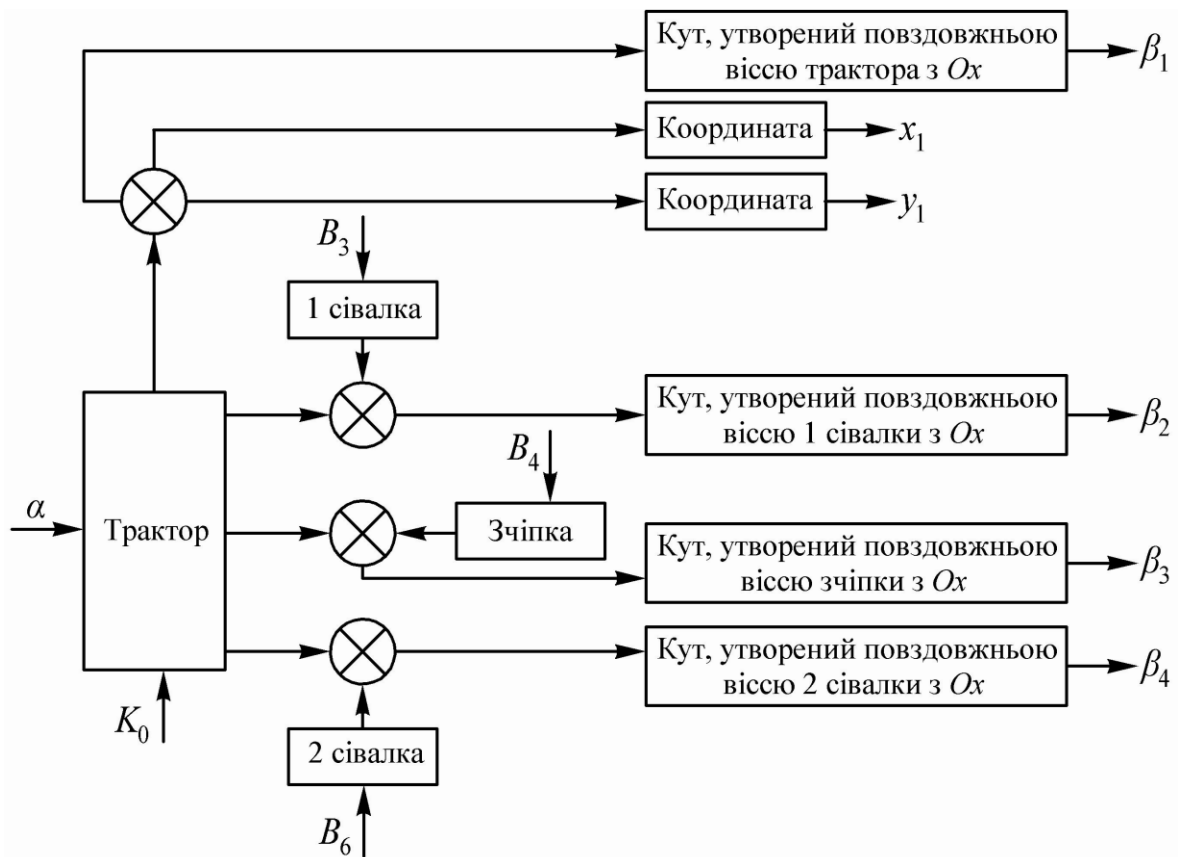


Рис. 2.4 – Схема утворення взаємних лінійних та кутових відхилень під час руху удобрювально-посівного агрегату

У відповідності з цією схемою взаємні лінійні та кутові відхилення розглядуваної механічної системи достатньо представити шістьма незалежними узагальненими координатами: $x_1, y_1, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ і дає можливість досліджувати його плоскопаралельний рух з використанням основних положень теорії автоматичного регулювання.

З урахуванням усіх отриманих значень, систему диференціальних рівнянь (2.14) необхідно, перш за все, лінеаризувати.

2.3. Лінеаризація отриманої системи диференціальних рівнянь плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату

Будемо вважати, що при малих кутах $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ малими будуть також і швидкості $\dot{\beta}_1, \dot{\beta}_2, \dot{\beta}_3, \dot{\beta}_4$. Це пояснюється достатньою інертністю

мас агрегату і реальними умовами його переміщення по поверхні поля, де при малих переміщеннях складові елементи агрегату не встигають розігнатися до великих швидкостей.

У цьому випадку, тим більше, в першому наближенні, можна вважати досить малими добутки $\beta_1 \cdot \dot{\beta}_1^2$, $\beta_2 \cdot \dot{\beta}_2^2$, $\beta_3 \cdot \dot{\beta}_3^2$, $\beta_4 \cdot \dot{\beta}_4^2$. Тому членами рівнянь даної системи, що містять зазначені добутки можна знехтувати. В результаті чого система диференціальних рівнянь значно спроститися та прийме вигляд лінійної системи, яка буде мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} & (F'_{\delta 1} - F_{\delta 2})\beta_1 - F_{\delta 2}\beta_2 - F_{\delta 4}\beta_4 = \\ & = F_{k1} - F'_{rf1} - F_{\delta 2}\alpha - F_{rf1} - F_{rf2} - R_2 - F_{rf3} - F_{rf4} - R_4; \end{aligned} \quad (2.46)$$

$$\begin{aligned} & (m_1 + m_2 + m_3 + m_4)\ddot{y}_1 - (m_2 + m_3 + m_4)(l_1 - a_1)\ddot{\beta}_1 - \\ & - (m_2 a_2 + m_3 l_2 + m_4 l_2)\ddot{\beta}_2 - (m_3 a_3 + m_4 l_3)\ddot{\beta}_3 - \\ & - m_4 a_4 \ddot{\beta}_4 - (F'_{k1} - F'_{rf1} - F_{rf1})\beta_1 + (F_{rf2} + R_2)\beta_2 + \\ & + F_{rf3}\beta_3 + (F_{rf4} + R_4)\beta_4 = -F'_{\delta 1} + F'_{rf1}\alpha - F'_{\delta 2} - F_{\delta 2} - F_{\delta 4}; \end{aligned} \quad (2.47)$$

$$\begin{aligned} & - (m_2 + m_3 + m_4)(l_1 - a_1)\ddot{y}_1 + \left[I_1 + m_2(l_1 - a_1)^2 + m_3(l_1 - a_1)^2 + m_4(l_1 - a_1)^2 + \right. \\ & \left. + 2I_{k1} \left(\frac{d_1}{r_{k1}} \right)^2 + \frac{2I'_{k1}(d_0 + d_1)[(d_0 + d_1) + a_1\alpha]}{(r'_{k1})^2} \right] \ddot{\beta}_1 + \\ & + [m_2 a_2 + m_3 l_2 + m_4 l_2](l_1 - a_1)\ddot{\beta}_2 + (m_3 a_3 + m_4 l_3)(l_1 - a_1)\ddot{\beta}_3 + \\ & + m_4(l_1 - a_1)a_4 \ddot{\beta}_4 - (-F_{rf2} - R_2 - F_{rf3} - F_{rf4} - R_4)(l_1 - a_1)\beta_1 - \\ & - (F_{rf2} + R_2)(l_1 - a_1)\beta_2 - F_{rf3}(l_1 - a_1)\beta_3 - \\ & - (F_{rf4} + R_4)(l_1 - a_1)\beta_4 = M_{C1} + (F_{\delta 2} + F_{\delta 4})(l_1 - a_1); \end{aligned} \quad (2.48)$$

$$\begin{aligned} & - (m_2 a_2 + m_3 l_2 + m_4 l_2)\ddot{y}_1 + (m_2 a_2 + m_3 l_2 + m_4 l_2)(l_1 - a_1)\ddot{\beta}_1 + \\ & + \left[I_2 + m_2 a_2^2 + m_3 l_2^2 + m_4 l_2^2 + \frac{I_{k2}(d_{l_2}^2 + d_{r_2}^2)}{r_{k2}^2} \right] \ddot{\beta}_2 + \\ & + (m_3 l_2 a_3 + m_4 l_2 l_3)\ddot{\beta}_3 + m_4 l_2 a_4 \ddot{\beta}_4 - (-F_{rf3} l_2 - F_{rf4} l_2 - R_4 l_2)\beta_2 - \\ & - F_{rf3} l_2 \beta_3 - (F_{rf4} l_2 + R_4 l_2)\beta_4 = M_{O2} + F_{\delta 4} l_2; \end{aligned} \quad (2.49)$$

$$\begin{aligned}
& -(m_3 a_3 + m_4 l_3) \ddot{y}_1 + (m_3 a_3 + m_4 l_3)(l_1 - a_1) \ddot{\beta}_1 + (m_3 a_3 l_2 + m_4 l_3 l_2) \ddot{\beta}_2 + \\
& + \left[I_3 + m_4 l_3^2 + \frac{I_{k3}}{r_{k3}^2} (d_{l_3}^2 + d_{r_3}^2) \right] \ddot{\beta}_3 + m_4 l_3 a_4 \ddot{\beta}_4 - (-F_{rf4} l_3 - R_4 l_3) \beta_3 - \\
& - (F_{rf4} l_3 + R_4 l_3) \beta_4 = M_{O3} + F_{\delta 4} l_3;
\end{aligned} \tag{2.50}$$

$$\begin{aligned}
& -m_4 a_4 \ddot{y}_1 + m_4 a_4 (l_1 - a_1) \ddot{\beta}_1 + m_4 a_4 l_2 \ddot{\beta}_2 + m_4 a_4 l_3 \ddot{\beta}_3 + \\
& + \left[I_4 + m_4 a_4^2 + \frac{I_{k4}}{r_{k4}^2} (d_{l_4}^2 + d_{r_4}^2) \right] \ddot{\beta}_4 = M_{O4}.
\end{aligned} \tag{2.51}$$

Представивши рівняння (2.46) – (2.51) через постійні коефіцієнти, вони приймуть наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned}
& A_{11} \ddot{y}_1 + A_{12} \ddot{\beta}_1 + A_{13} \ddot{\beta}_2 + A_{14} \ddot{\beta}_3 + A_{15} \ddot{\beta}_4 + \\
& + A_{16} \beta_1 + A_{17} \beta_2 + A_{18} \beta_3 + A_{19} \beta_4 = B_1, \\
& A_{21} \ddot{y}_1 + A_{22} \ddot{\beta}_1 + A_{23} \ddot{\beta}_2 + A_{24} \ddot{\beta}_3 + A_{25} \ddot{\beta}_4 + \\
& + A_{26} \beta_1 + A_{27} \beta_2 + A_{28} \beta_3 + A_{29} \beta_4 = B_2, \\
& A_{31} \ddot{y}_1 + A_{32} \ddot{\beta}_1 + A_{33} \ddot{\beta}_2 + A_{34} \ddot{\beta}_3 + A_{35} \ddot{\beta}_4 + \\
& + A_{36} \beta_1 + A_{37} \beta_2 + A_{38} \beta_3 + A_{39} \beta_4 = B_3, \\
& A_{41} \ddot{y}_1 + A_{42} \ddot{\beta}_1 + A_{43} \ddot{\beta}_2 + A_{44} \ddot{\beta}_3 + A_{45} \ddot{\beta}_4 + \\
& + A_{46} \beta_1 + A_{47} \beta_2 + A_{48} \beta_3 + A_{49} \beta_4 = B_4, \\
& A_{51} \ddot{y}_1 + A_{52} \ddot{\beta}_1 + A_{53} \ddot{\beta}_2 + A_{54} \ddot{\beta}_3 + A_{55} \ddot{\beta}_4 + \\
& + A_{56} \beta_1 + A_{57} \beta_2 + A_{58} \beta_3 + A_{59} \beta_4 = B_5, \\
& A_{61} \ddot{y}_1 + A_{62} \ddot{\beta}_1 + A_{63} \ddot{\beta}_2 + A_{64} \ddot{\beta}_3 + A_{65} \ddot{\beta}_4 + \\
& + A_{66} \beta_1 + A_{67} \beta_2 + A_{68} \beta_3 + A_{69} \beta_4 = B_6,
\end{aligned} \right\} \tag{2.52}$$

де

$$\begin{aligned}
& A_{11} = 0; A_{12} = 0; A_{13} = 0; A_{14} = 0; A_{15} = 0; \\
& A_{16} = F'_{\delta 1} - F_{\delta 2}; A_{17} = -F_{\delta 2}; A_{18} = 0; A_{19} = -F_{\delta 4}; \\
& A_{21} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4; A_{22} = -(m_2 + m_3 + m_4)(l_1 - a_1); \\
& A_{23} = -(m_2 a_2 + m_3 l_2 + m_4 l_2); A_{24} = -(m_3 a_3 + m_4 l_3); \\
& A_{25} = -m_4 a_4; A_{26} = -(F'_{k1} - F'_{rf1} - F_{rf1}); \\
& A_{27} = F_{rf2} + R_2; A_{28} = F_{rf3}; A_{29} = F_{rf4} + R_4; \\
& A_{31} = -(m_2 + m_3 + m_4)(l_1 - a_1); A_{32} = I_1 + (m_2 + m_3 + m_4)(l_1 - a_1)^2 + \\
& + 2I_{k1} \left(\frac{d_1}{r_{k1}} \right)^2 + \frac{2I'_{k1}(d_0 + d_1)[(d_0 + d_1) + a_1 \alpha]}{(r'_{k1})^2}; \\
& A_{33} = [m_2 a_2 + m_3 l_2 + m_4 l_2](l_1 - a_1); A_{34} = (m_3 a_3 + m_4 l_3)(l_1 - a_1); \\
& A_{35} = m_4(l_1 - a_1)a_4; A_{36} = -(-F_{rf2} - R_2 - F_{rf3} - F_{rf4} - R_4)(l_1 - a_1); \\
& A_{37} = -(F_{rf2} + R_2)(l_1 - a_1); A_{38} = F_{rf3}(l_1 - a_1); \\
& A_{39} = -(F_{rf4} + R_4)(l_1 - a_1); \\
& A_{41} = -(m_2 a_2 + m_3 l_2 + m_4 l_2); A_{42} = (m_2 a_2 + m_3 l_2 + m_4 l_2)(l_1 - a_1); \\
& A_{43} = I_2 + m_2 a_2^2 + m_3 l_2^2 + m_4 l_2^2 + \frac{I_{k2}}{r_{k2}^2} (d_{l_2}^2 + d_{r_2}^2); \\
& A_{44} = m_3 l_2 a_3 + m_4 l_2 l_3; A_{45} = m_4 l_2 a_4; \\
& A_{46} = 0; A_{47} = -(-F_{rf3} l_2 - F_{rf4} l_2 - R_4 l_2); A_{48} = -F_{rf3} l_2; \\
& A_{49} = -(F_{rf4} l_2 + R_4 l_2); \\
& A_{51} = -(m_3 a_3 + m_4 l_3); A_{52} = (m_3 a_3 + m_4 l_3)(l_1 - a_1); \\
& A_{53} = (m_3 a_3 + m_4 l_3) l_2; A_{54} = I_3 + m_4 l_3^2 + \frac{I_{k3}}{r_{k3}^2} (d_{l_3}^2 + d_{r_3}^2); \\
& A_{55} = m_4 l_3 a_4; A_{56} = 0; A_{57} = 0; A_{58} = -(-F_{rf4} - R_4) l_3; \\
& A_{59} = -(F_{rf4} + R_4) l_3; \\
& A_{61} = -m_4 a_4; A_{62} = m_4 a_4 (l_1 - a_1); \\
& A_{63} = m_4 a_4 l_2; A_{64} = m_4 a_4 l_3; A_{65} = I_4 + m_4 a_4^2 + \frac{I_{k4}}{r_{k4}^2} (d_{l_4}^2 + d_{r_4}^2); \\
& A_{66} = 0; A_{67} = 0; A_{68} = 0; A_{69} = 0; \\
& B_1 = F_{k1} - F'_{rf1} - F_{\delta 2} \alpha - F_{rf1} - F_{rf2} - R_2 - F_{rf3} - F_{rf4} - R_4; \\
& B_2 = -F'_{\delta 1} + F'_{rf1} \alpha - F'_{\delta 2} - F_{\delta 2} - F_{\delta 4}; B_3 = M_{C1} + (F_{\delta 2} + F_{\delta 4})(l_1 - a_1); \\
& B_4 = M_{O2} + F_{\delta 4} l_2; B_5 = M_{O3} + F_{\delta 4} l_3; B_6 = M_{O4}; \\
& M_{C1} = F'_{\delta 1} \cdot h_1 - F'_{\delta 2} \cdot h_2; M_{O2} = F_{\delta 2} \cdot h_3; M_{O3} = 0; M_{O4} = F_{\delta 4} \cdot l_4.
\end{aligned}$$

За умови $A_{11} \dots A_{15} = 0$ перше рівняння системи (2.52) стає статичним, дорівнює нулю, а тому далі не розглядається.

Розглядувана математична модель комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату описує його інерційні властивості. Про це свідчать диференціальні рівняння розрахункової моделі, які включають лише другі похідні незалежних координат (тобто \ddot{y}_1 , $\ddot{\beta}_1$, $\ddot{\beta}_2$, $\ddot{\beta}_3$, і $\ddot{\beta}_4$). Слід підкреслити, що із-за відносної малюзи маси третьої ланки досліджуемого машинно-тракторного агрегату її інерційними властивостями можна знехтувати.

З урахуванням того, що $m_3 = l_3 = \alpha_3 = 0$, система рівнянь (2.52) матиме наступний вид:

$$\left. \begin{aligned} A_{21}\ddot{y}_1 + A_{22}\ddot{\beta}_1 + A_{26}\beta_1 + A_{23}\ddot{\beta}_2 + A_{27}\beta_2 + A_{25}\ddot{\beta}_4 + A_{29}\beta_4 &= K\alpha + K_1, \\ A_{31}\ddot{y}_1 + A_{32}\ddot{\beta}_1 + A_{36}\beta_1 + A_{33}\ddot{\beta}_2 + A_{37}\beta_2 + A_{35}\ddot{\beta}_4 + A_{39}\beta_4 &= B_3, \\ A_{41}\ddot{y}_1 + A_{42}\ddot{\beta}_1 + A_{46}\beta_1 + A_{43}\ddot{\beta}_2 + A_{47}\beta_2 + A_{45}\ddot{\beta}_4 + A_{49}\beta_4 &= B_4, \\ A_{61}\ddot{y}_1 + A_{62}\ddot{\beta}_1 + A_{66}\beta_1 + A_{63}\ddot{\beta}_2 + A_{67}\beta_2 + A_{65}\ddot{\beta}_4 + A_{69}\beta_4 &= B_6, \end{aligned} \right\} \quad (2.53)$$

$$\text{де } K = F'_{r1}, \quad K_1 = -F'_{\delta 1} - F'_{\delta 2} - F_{\delta 2} - F_{\delta 4}.$$

Для спрощення розв'язання системи рівнянь (2.53) застосуємо перетворення Лапласа. Суть їх, як відомо, полягає в переході від оригінала функції до її відображення шляхом уведення спеціального оператора – комплексної перемінної $p = \frac{d}{dt}$. У підсумку це дозволяє перейти від складної системи диференційних до відносно простої системи алгебраїчних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} K_{21} \cdot y_1(p) + K_{22} \cdot \beta_1(p) + K_{23} \cdot \beta_2(p) + K_{25} \cdot \beta_4(p) &= K \cdot \alpha(p) + K_1 \cdot 1(p), \\ K_{31} \cdot y_1(p) + K_{32} \cdot \beta_1(p) + K_{33} \cdot \beta_2(p) + K_{35} \cdot \beta_4(p) &= B_3 \cdot 1(p), \\ K_{41} \cdot y_1(p) + K_{42} \cdot \beta_1(p) + K_{43} \cdot \beta_2(p) + K_{45} \cdot \beta_4(p) &= B_4 \cdot 1(p), \\ K_{61} \cdot y_1(p) + K_{62} \cdot \beta_1(p) + K_{63} \cdot \beta_2(p) + K_{65} \cdot \beta_4(p) &= B_6 \cdot 1(p), \end{aligned} \right\} \quad (2.54)$$

де

$$\begin{aligned}
K_{21} &= A_{21} \cdot p^2, & K_{31} &= A_{31} \cdot p^2, & K_{41} &= A_{41} \cdot p^2, & K_{61} &= A_{61} \cdot p, \\
K_{22} &= A_{22} \cdot p^2 + A_{26}, & K_{32} &= A_{32} \cdot p^2 + A_{36}, & K_{42} &= A_{42} \cdot p^2, & K_{62} &= A_{62} \cdot p, \\
K_{23} &= A_{23} \cdot p^2 + A_{27}, & K_{33} &= A_{33} \cdot p^2 + A_{37}, & K_{43} &= A_{43} \cdot p^2 + A_{47}, & K_{63} &= A_{63} \cdot p, \\
K_{25} &= A_{25} \cdot p^2 + A_{29}, & K_{35} &= A_{35} \cdot p^2 + A_{39}, & K_{45} &= A_{45} \cdot p^2 + A_{49}, & K_{65} &= A_{65} \cdot p.
\end{aligned}$$

Вид операторів в залежності (2.54) однозначно визначається системою рівнянь (2.52), яку після перетворення по Лапласу можна представити у вигляді поелементної структурної динамічної схеми (рис. 2.5).

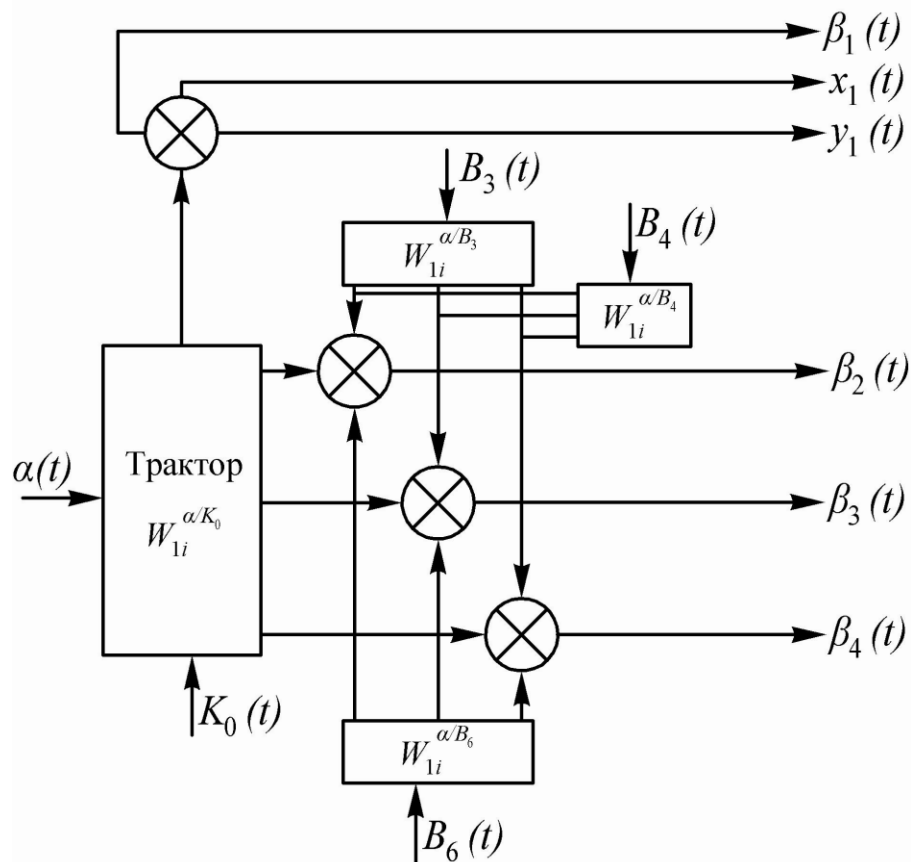


Рис. 2.5 – Структурна динамічна схема формування лінійних та кутових відхилень траєкторій характерних точок удобрувально-посівного агрегату

Система рівнянь (2.54) та структурна динамічна схема на рис. 2.5 відображає динамічний стан досліджуемого комбінованого удобрувально-посівного машинно-тракторного агрегату під впливом керуючого $[\alpha(p)]$ і збурювального вхідних змінних. До останніх відносяться одиничні впливи

$K_0 \cdot 1(p)$ і $B_3 = \cdot 1(p)$, $B_4 = \cdot 1(p)$ і $B_6 = \cdot 1(p)$. Вихідними змінними системи є координата y_1 і кути β_1 , β_2 і β_4 .

У відповідності із ГОСТ 21878-76 передаточною функцією (W_α) досліджуемого комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату, яка відображає керованість його руху, є відношення двох визначників:

$$W_\alpha = \frac{D_\alpha}{D}. \quad (2.55)$$

Функція (2.55) характеризує реакцію трактора у вигляді зміни його курсового кута (β_1) під дією керуючого впливу, яким виступає кут повороту передніх коліс трактора α .

Головний визначник системи (2.54), складений із коефіцієнтів її лівої частини, має наступний вигляд:

$$D = \begin{vmatrix} K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{25} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{35} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{45} \\ K_{61} & K_{62} & K_{63} & K_{65} \end{vmatrix}. \quad (2.56)$$

Передаточну функцію (2.55) отримаємо, використовуючи правило Мейсона. Для цього при формуванні визначника D_α у головному визначнику D другий стовпчик, який репрезентує курсовий кут трактора β_1 , замінюємо стовпчиком тих коефіцієнтів правої частини системи рівнянь (2.54), які зв'язані із елементом $\alpha(p)$. Такій умові, як бачимо, відповідає лише коефіцієнт K в першій строчці і нулями – у останніх. З урахуванням цього маємо:

$$D_{\alpha} = \begin{vmatrix} K_{21} & K & K_{23} & K_{25} \\ K_{31} & 0 & K_{33} & K_{35} \\ K_{41} & 0 & K_{43} & K_{45} \\ K_{61} & 0 & K_{63} & K_{65} \end{vmatrix}. \quad (2.57)$$

З огляду на вищевикладене, передаточна функція відпрацювання комбінованим удобрювально-посівним машинно-тракторним агрегатом керуючого впливу у підсумку є такою:

$$W_{\alpha} = \frac{p^2 (F_4 \cdot p^4 + F_2 \cdot p^2 + F_0)}{p^2 (C_6 \cdot p^6 + C_4 \cdot p^4 + C_2 \cdot p^2 + C_0)}, \quad (2.58)$$

де

$$F_4 = K (A_{31} \cdot A_{45} \cdot A_{63} - A_{31} \cdot A_{43} \cdot A_{65} + A_{41} \cdot A_{33} \cdot A_{65} - A_{41} \cdot A_{35} \cdot A_{63} - A_{33} \cdot A_{61} \cdot A_{45} + A_{43} \cdot A_{61} \cdot A_{35}),$$

$$F_2 = K (A_{31} \cdot A_{63} \cdot A_{49} - A_{31} \cdot A_{47} \cdot A_{65} - A_{41} \cdot A_{63} \cdot A_{39} + A_{41} \cdot A_{37} \cdot A_{65} - A_{33} \cdot A_{61} \cdot A_{49} + A_{43} \cdot A_{61} \cdot A_{39} + A_{61} \cdot A_{35} \cdot A_{47} - A_{61} \cdot A_{45} \cdot A_{37}),$$

$$F_0 = K (A_{61} \cdot A_{37} \cdot A_{49} - A_{61} \cdot A_{37} \cdot A_{49}),$$

$$C_6 = A_{21} \cdot A_{32} \cdot A_{43} \cdot A_{65} - A_{21} \cdot A_{32} \cdot A_{45} \cdot A_{63} - A_{21} \cdot A_{33} \cdot A_{42} \cdot A_{65} + A_{21} \cdot A_{33} \cdot A_{62} \cdot A_{45} + A_{21} \cdot A_{42} \cdot A_{35} \cdot A_{63} - A_{21} \cdot A_{43} \cdot A_{35} \cdot A_{62} - A_{22} \cdot A_{31} \cdot A_{43} \cdot A_{65} + A_{22} \cdot A_{31} \cdot A_{45} \cdot A_{63} + A_{22} \cdot A_{41} \cdot A_{33} \cdot A_{65} - A_{22} \cdot A_{41} \cdot A_{35} \cdot A_{63} - A_{22} \cdot A_{33} \cdot A_{61} \cdot A_{45} + A_{22} \cdot A_{43} \cdot A_{61} \cdot A_{35} + A_{31} \cdot A_{23} \cdot A_{43} \cdot A_{65} - A_{31} \cdot A_{23} \cdot A_{62} \cdot A_{45} - A_{31} \cdot A_{42} \cdot A_{25} \cdot A_{63} + A_{31} \cdot A_{25} \cdot A_{43} \cdot A_{62} - A_{23} \cdot A_{32} \cdot A_{41} \cdot A_{65} + A_{23} \cdot A_{32} \cdot A_{61} \cdot A_{45} + A_{23} \cdot A_{41} \cdot A_{35} \cdot A_{62} - A_{23} \cdot A_{42} \cdot A_{61} \cdot A_{35} + A_{32} \cdot A_{41} \cdot A_{25} \cdot A_{63} - A_{32} \cdot A_{25} \cdot A_{43} \cdot A_{61} - A_{41} \cdot A_{33} \cdot A_{25} \cdot A_{62} + A_{33} \cdot A_{42} \cdot A_{25} \cdot A_{61} - A_{21} \cdot A_{32} \cdot A_{63} \cdot A_{49},$$

$$\begin{aligned}
C_4 = & A_{21} \cdot A_{32} \cdot A_{47} \cdot A_{65} + A_{21} \cdot A_{33} \cdot A_{62} \cdot A_{49} + A_{21} \cdot A_{42} \cdot A_{63} \cdot A_{39} - A_{21} \cdot A_{42} \cdot A_{37} \cdot A_{65} - \\
& - A_{21} \cdot A_{43} \cdot A_{62} \cdot A_{39} + A_{21} \cdot A_{43} \cdot A_{36} \cdot A_{65} - A_{21} \cdot A_{35} \cdot A_{62} \cdot A_{47} + A_{21} \cdot A_{62} \cdot A_{45} \cdot A_{37} - \\
& - A_{21} \cdot A_{36} \cdot A_{45} \cdot A_{63} + A_{22} \cdot A_{31} \cdot A_{63} \cdot A_{49} - A_{22} \cdot A_{31} \cdot A_{47} \cdot A_{65} - A_{22} \cdot A_{41} \cdot A_{63} \cdot A_{39} - \\
& + A_{22} \cdot A_{41} \cdot A_{37} \cdot A_{65} - A_{22} \cdot A_{33} \cdot A_{61} \cdot A_{49} + A_{22} \cdot A_{43} \cdot A_{61} \cdot A_{39} + A_{22} \cdot A_{61} \cdot A_{35} \cdot A_{47} - \\
& - A_{22} \cdot A_{61} \cdot A_{45} \cdot A_{37} - A_{31} \cdot A_{23} \cdot A_{62} \cdot A_{49} + A_{31} \cdot A_{42} \cdot A_{27} \cdot A_{65} - A_{31} \cdot A_{42} \cdot A_{63} \cdot A_{29} + \\
& + A_{31} \cdot A_{25} \cdot A_{62} \cdot A_{47} - A_{31} \cdot A_{43} \cdot A_{26} \cdot A_{65} + A_{31} \cdot A_{43} \cdot A_{29} \cdot A_{29} + A_{31} \cdot A_{26} \cdot A_{46} \cdot A_{63} - \\
& - A_{31} \cdot A_{62} \cdot A_{27} \cdot A_{45} + A_{23} \cdot A_{32} \cdot A_{61} \cdot A_{49} + A_{23} \cdot A_{41} \cdot A_{62} \cdot A_{39} - A_{23} \cdot A_{41} \cdot A_{36} \cdot A_{65} - \\
& - A_{23} \cdot A_{42} \cdot A_{61} \cdot A_{39} + A_{23} \cdot A_{61} \cdot A_{36} \cdot A_{45} - A_{32} \cdot A_{41} \cdot A_{27} \cdot A_{65} + A_{32} \cdot A_{41} \cdot A_{63} \cdot A_{29} - \\
& - A_{32} \cdot A_{25} \cdot A_{61} \cdot A_{47} - A_{32} \cdot A_{43} \cdot A_{61} \cdot A_{29} + A_{32} \cdot A_{61} \cdot A_{27} \cdot A_{45} + A_{41} \cdot A_{33} \cdot A_{26} \cdot A_{65} - \\
& - A_{41} \cdot A_{33} \cdot A_{62} \cdot A_{29} - A_{41} \cdot A_{25} \cdot A_{62} \cdot A_{37} + A_{41} \cdot A_{25} \cdot A_{36} \cdot A_{63} - A_{41} \cdot A_{26} \cdot A_{35} \cdot A_{63} + \\
& + A_{41} \cdot A_{35} \cdot A_{62} \cdot A_{27} + A_{33} \cdot A_{42} \cdot A_{61} \cdot A_{29} - A_{33} \cdot A_{61} \cdot A_{26} \cdot A_{45} + A_{42} \cdot A_{25} \cdot A_{61} \cdot A_{37} - \\
& - A_{42} \cdot A_{61} \cdot A_{35} \cdot A_{27} - A_{25} \cdot A_{43} \cdot A_{61} \cdot A_{36} + A_{43} \cdot A_{61} \cdot A_{26} \cdot A_{35}, \\
C_2 = & A_{21} \cdot A_{62} \cdot A_{39} \cdot A_{49} - A_{21} \cdot A_{62} \cdot A_{47} \cdot A_{39} - A_{21} \cdot A_{36} \cdot A_{63} \cdot A_{49} + A_{21} \cdot A_{36} \cdot A_{47} \cdot A_{65} - \\
& - A_{22} \cdot A_{61} \cdot A_{37} \cdot A_{49} + A_{22} \cdot A_{61} \cdot A_{47} \cdot A_{39} + A_{31} \cdot A_{26} \cdot A_{63} \cdot A_{49} - A_{31} \cdot A_{26} \cdot A_{47} \cdot A_{65} - \\
& - A_{31} \cdot A_{62} \cdot A_{27} \cdot A_{49} + A_{31} \cdot A_{62} \cdot A_{29} \cdot A_{47} + A_{23} \cdot A_{61} \cdot A_{36} \cdot A_{49} + A_{32} \cdot A_{61} \cdot A_{27} \cdot A_{49} - \\
& - A_{32} \cdot A_{61} \cdot A_{29} \cdot A_{47} - A_{41} \cdot A_{26} \cdot A_{63} \cdot A_{39} + A_{41} \cdot A_{26} \cdot A_{37} \cdot A_{65} + A_{41} \cdot A_{62} \cdot A_{27} \cdot A_{39} - \\
& - A_{41} \cdot A_{62} \cdot A_{37} \cdot A_{29} - A_{41} \cdot A_{27} \cdot A_{36} \cdot A_{65} + A_{41} \cdot A_{36} \cdot A_{63} \cdot A_{29} - A_{33} \cdot A_{61} \cdot A_{26} \cdot A_{49} - \\
& - A_{42} \cdot A_{61} \cdot A_{27} \cdot A_{39} + A_{42} \cdot A_{61} \cdot A_{37} \cdot A_{29} - A_{25} \cdot A_{61} \cdot A_{36} \cdot A_{47} + A_{43} \cdot A_{61} \cdot A_{26} \cdot A_{39} - \\
& - A_{43} \cdot A_{61} \cdot A_{36} \cdot A_{29} + A_{61} \cdot A_{26} \cdot A_{35} \cdot A_{47} - A_{61} \cdot A_{26} \cdot A_{45} \cdot A_{37} + A_{61} \cdot A_{27} \cdot A_{36} \cdot A_{45}, \\
C_0 = & A_{61} \cdot A_{26} \cdot A_{47} \cdot A_{39} - A_{61} \cdot A_{26} \cdot A_{37} \cdot A_{49} + A_{61} \cdot A_{27} \cdot A_{36} \cdot A_{49} - A_{61} \cdot A_{36} \cdot A_{29} \cdot A_{47}.
\end{aligned}$$

Знаменник передаточної функції (2.58), який через головний визначник системи D репрезентує її власні коливання, має два нульових корені. І однозначно вказує на те, що розглядувана нами незамкнена динамічна система (тобто комбінований удобрювально-посівний агрегат) є нестійкою. І розглядати при цьому критерії стійкості Рауса-Гурвіца, Михайлова або Найквіста є недоречним. Тільки після доповнення системи диференційних рівнянь руху даної системи (2.54) математичною моделлю водія можна вести мову про її стійкість.

2.4. Методика дослідження математичної моделі комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату

Аналіз керованості руху досліджуваного агрегату будемо здійснювати за наступним алгоритмом. На основі передаточної функції (2.58) за

загальновідомою методикою теорії автоматичного регулювання динамічних систем розрахуємо відповідні амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) і фазово-частотні характеристики (ФЧХ) розглядуваного нами комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату при відпрацюванні ним керуючого впливу. Перші із них характеризують ступінь підсилення динамічною системою вхідного сигналу, а другі – величину запізнення її реакції на цей сигнал.

Оскільки за фізичною суттю даний агрегат є слідкуючою динамічною системою, то для неї заздалегідь відомі бажані (ідеальні) амплітудно-частотні характеристики і фазово-частотні характеристики. За умови відпрацювання системою коливального керуючого впливу в робочому діапазоні його частот ці характеристики мають бути такими [115]:

$$\text{АЧХ} = 1;$$

$$\text{ФЧХ} = 0.$$

Багатьма попередніми науковими дослідженнями встановлено, що для сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів як слідкуючих динамічних систем, робочий діапазон частоти керуючого впливу (позначимо її ω) зазвичай не перевищує 0,5 Гц (або $3,14 \text{ с}^{-1}$ [116]). Звідси бажана (ідеальна) амплітудно-частотна характеристика агрегату в діапазоні частот коливань кута повороту керованих коліс агрегатуючого трактора до $3,14 \text{ с}^{-1}$ має дорівнювати 1, а поза цією частотою – 0. Фізично це означає, що при зміні частоти коливань вхідного параметру α від $\omega = 0$ до $\omega = 3,14 \text{ с}^{-1}$ курсовий кут енергетичного засобу (як реакція на вхідний керуючий вплив) має дорівнювати куту повороту його керованих коліс, тобто $\varphi = \alpha$. За умови $\varphi > \alpha$ або $\varphi < \alpha$ маємо відповідно пере- або недорегулювання динамічною системою вхідного сигналу, що у однаковій мірі є небажаним.

Слід підкреслити, що реальні амплітудно-частотні характеристики, в більшості випадків, можуть відрізнятися від бажаних (ідеальних) характеристик. Але алгоритм математичного моделювання при цьому залишається однозначним і незмінним. А саме: те схемне рішення машинно-тракторного агрегату, або те значення того чи іншого конструктивно-технологічного характеру є переважним, яке наближає дійсні амплітудно-частотні і фазово-частотні характеристики до ідеальних.

За допомогою розробленої нами розрахункової математичної моделі горизонтального руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату керованість його руху можна оцінити з урахуванням впливу будь-якого із параметрів, що входять до коефіцієнтів K і A_j системи рівнянь (2.54). Але на даному етапі розглянемо тільки наступні параметри:

– коефіцієнт опору коченню f ходової системи агрегатуючого трактора, а також тукової та зернової сівалок. У математичній моделі плоскопаралельного руху машинно-тракторного агрегату, що досліджується вказаний коефіцієнт репрезентує сили опору коченню його ланок: F'_{rf1} , F_{rf1} , F_{rf2} і F_{rf4} ;

– a_2 , a_4 – відстані від точок причепу тукової і зернової сівалок до центрів їх мас (див. рис. 2.1-2.3);

– l_2 , l_4 – довжини сниць тукової та зернової сівалок.

Оскільки маси причіпних машин (тукової і зернової сівалок) m_2 і m_4 відповідним чином зв'язані з тяговим класом використовуваного агрегатуючого трактора (у даному випадку – це тяговий клас трактора 1,4), то встановлення впливу зміни цих параметрів на керованість руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату даним етапом досліджень не передбачено.

2.5. Визначення кінематичних і конструктивних параметрів комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату

Аналіз отриманих фазово-частотних характеристик досліджуваної динамічної системи показав, що запізнення її реакції на керуючий вплив є постійним і рівним -180° або $-3,14$ рад (рис. 2.6).

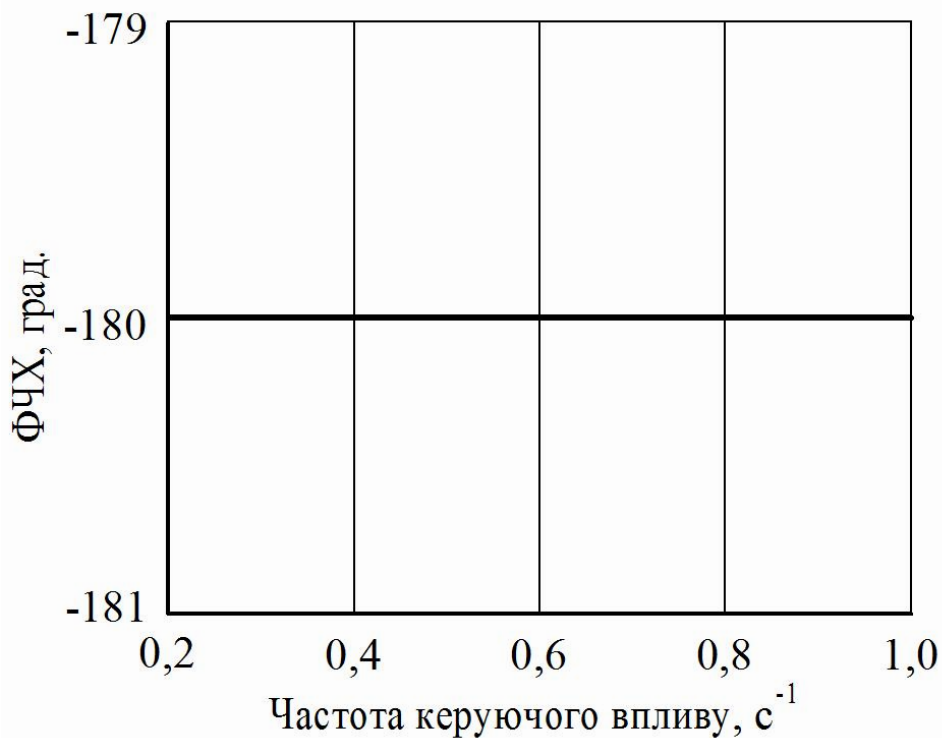


Рис. 2.6 – Фазово-частотні характеристики відтворення динамічною системою керуючого впливу

Взагалі такий перебіг фази відпрацювання керуючого впливу притаманний консервативним динамічним системам з практично відсутніми дисипативними процесами. Формально розглядувана нами система є саме такою, оскільки вплив на неї дисипативних сил нами прийнятий незначним.

Аналіз отриманих розрахунків амплітудно-частотних характеристик показує наступне. За однієї і тієї ж частоти коливань керуючого впливу коефіцієнт його підсилення динамічною системою тим більший, чим більшим є

коефіцієнт опору коченню f (рис. 2.7).

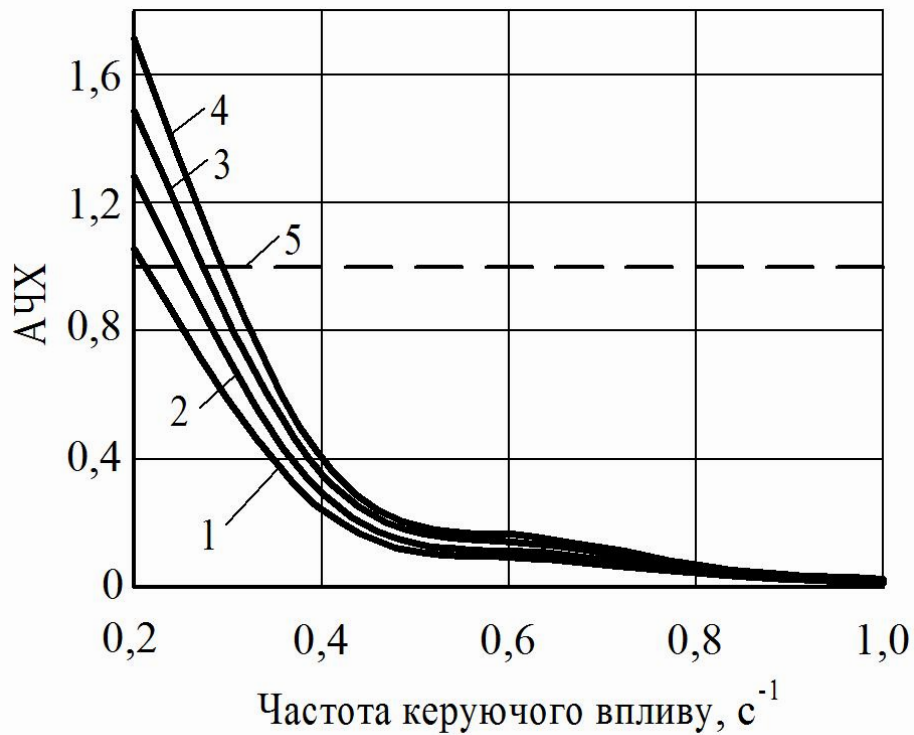


Рис. 2.7 – Амплітудно-частотні характеристики відтворення динамічною системою керуючого впливу за різних значенням коефіцієнта опору коченню:

1 – 0,10; 2 – 0,12; 3 – 0,14; 4 – 0,16;

5 – бажана (ідеальна) амплітудно-частотна характеристика

Так, наприклад, за руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату на відносно твердому агротехнічному фоні ($f = 0,10$, крива 1 рис. 2.7) поворот передніх керованих коліс трактора з частотою $0,2 \text{ с}^{-1}$ обумовлює його реакцію у вигляді зміни курсового кута з коефіцієнтом підсилення 1,1. Водночас, при роботі агрегату на розпушеному фоні ($f = 0,16$, крива 4 рис. 2.7) коефіцієнт підсилення динамічною системою (трактором) розглядуваного вхідного сигналу тієї ж частоти (тобто $0,2 \text{ с}^{-1}$) зростає до позначки 1,7, все більше віддаляючись при цьому від ідеального стану (крива 5, рис. 2.7).

При збільшенні частоти повороту керованих коліс агрегатуючого

трактора ступінь впливу агрофону, по якому переміщується даний комбінований машинно-тракторний агрегат, зменшується. За умови $\omega > 0,3 \text{ с}^{-1}$ дійсні амплітудно-частотні характеристики стають меншими за 1. Динамічна система переходить до режиму недорегулювання вхідного сигналу, що є явищем небажаним.

Водночас, для кожного стану агротехнічного фону, репрезентованого своїм значенням коефіцієнту опору коченню f , існує така бажана (ω_o) частота повороту керованих коліс агрегатуючого трактора, за якої дійсна амплітудно-частотна характеристика відповідає ідеальній. Графічна інтерпретація цієї залежності має вид, відображений на рис. 2.8.

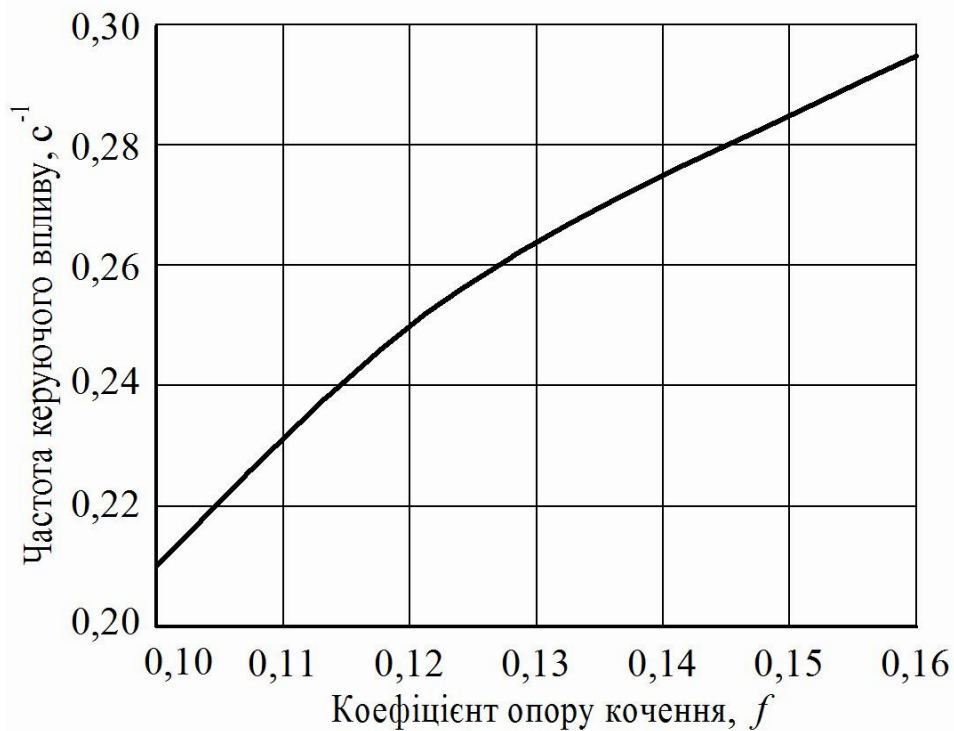


Рис. 2.8 – Залежність бажаної частоти повороту керованих коліс агрегатуючого трактора комбінованого удобрювально-посівного агрегату від умов його руху (коефіцієнта опору коченню f)

Як показує аналіз графічно отриманої функції $\omega_o = f(f)$, в залежності від агротехнічного фону частота коливань керуючого впливу має змінюватися в

межах $0,210 \dots 0,295 \text{ c}^{-1}$. Слід підкреслити, що нижня позначка цього діапазону (тобто $0,21 \text{ c}^{-1}$) співпадає з рекомендованою дослідниками частотою повороту керованих коліс трактора машинно-тракторного агрегату під час виконання ним руху на поворотній смузі [117].

Певна річ, що витримати потрібну частоту ω_0 в умовах реальної практики у ручному режимі керування трактором украй проблематично. Нині для цього краще застосовувати GPS-навігатор з системою автоматичного підкерування типу UniDrive або іншою.

Як уже підкреслювалось вище, певний вплив на керованість руху розглядуваного комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату можуть здійснювати такі його конструкційні параметри, як a_2 і l_2 (рис. 2.1). Перший із них, за умови близькості розміщення центру ваги причіпної удобрювальної сівалки 2 до осі її ходової системи, по суті справи є довжиною сніці. Другий визначає поздовжню координату причеплення до трактора зернової сівалки 4 (див. рис. 2.1).

Із теорії динаміки причіпних машин відомо, що для забезпечення кращої стійкості їх плоскопаралельного руху у горизонтальній площині параметри a_2 і l_2 мають бути якомога більшими. Водночас, зростаючи при цьому кінематична довжина комбінованого агрегату обумовлює збільшення ним невірбничих витрат часу при здійсненні маневру на поворотній смузі. З огляду на це компромісне рішення щодо величин параметрів a_2 і l_2 можна приймати лише після оцінки їх впливу на керованість руху досліджуваного удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату.

Аналіз результатів математичного моделювання показує, що збільшення конструкційного параметру a_2 з 1,15 м до 3,15 м на частотах коливань керуючого впливу $\omega < 0,24 \text{ c}^{-1}$ бажано, а на частотах $\omega \geq 0,3 \text{ c}^{-1}$ – небажано зменшує дійсні амплітудно-частотні характеристики (рис. 2.9).

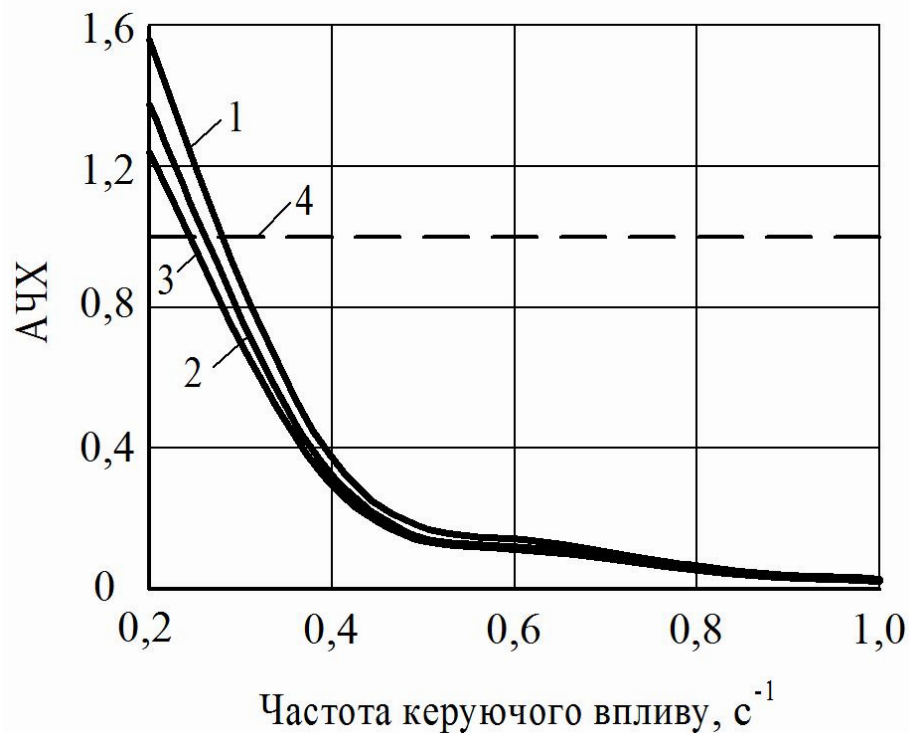


Рис. 2.9 – Амплітудно-частотні характеристики відтворення динамічною системою керуючого впливу за різним значенням конструкційного параметру a_2 :
 1 – 3,15 м; 2 – 2,15 м; 3 – 1,15 м;
 4 – бажана (ідеальна) амплітудно-частотна характеристика

Так, за $\omega = 0,2 \text{ с}^{-1}$ при $a_2 = 3,15 \text{ м}$, амплітудно-частотна характеристика відпрацювання динамічною системою керуючого впливу становить 1,58 (крива 1, рис. 2.9). В дійсності це означає, що курсовий кут β_1 агрегуючого трактора даного комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату (див. рис. 2.1) по відношенню до кута повороту α його керованих коліс буде змінюватися з підсиленням у 1,58 разів.

Іншими словами, розглядувана динамічна система функціонуватиме з перерегулюванням (тобто надмірним підсиленням) вхідного сигналу на 58%, що, як відомо із теорії автоматичного керування слідкуючих динамічних систем, небажано.

Водночас, зі зменшенням параметру a_2 до 1,15 м вказане небажане перерегулювання буде удвічі меншим, оскільки амплітудно-частотна характеристика досліджуваної системи при цьому опуститься до позначки 1,23 (крива 3, рис. 2.9).

За установлення частоти коливань повороту керованих коліс енергетичного засобу на рівні $\omega = 0,3 \text{ с}^{-1}$ амплітудно-частотна характеристика відпрацювання удобрювально-посівним агрегатом керуючого впливу при $a_2 = 1,15 \text{ м}$ взагалі є ідеальною, тобто дорівнює 1 (крива 1, рис. 2.9). Збільшення розглядуваного конструкційного параметру a_2 до 3,15 м на цій же частоті ω зменшує амплітудно-частотну характеристику до позначки 0,7 (крива 3, рис. 2.9). У даному випадку динамічна система відтворює керуючий вплив із недорегулюванням на 30%, що є фактом небажаним.

І лише в діапазоні частот коливань кута α повороту керованих коліс трактора ω від $0,24 \text{ с}^{-1}$ до $0,30 \text{ с}^{-1}$ (див. рис. 2.9) можна підібрати таке значення конструкційного параметру a_2 , яке сприятиме практично ідеальній керованості руху даного комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату.

Якісно схожий висновок можна зробити і стосовно вибору конструкційного параметру l_2 (рис.2.10). Відмінність при цьому полягає у тому, що частотний діапазон коливань керуючого впливу, у якому дійсні амплітудно-частотні характеристики розглядуваної динамічної системи (тобто розглядуваного комбінованого машинно-тракторного агрегату) відповідають ідеальним, є дещо вужчим. Як випливає із аналізу кривих рис. 2.10, він (діапазон) становить приблизно $0,23 \dots 0,26 \text{ с}^{-1}$.

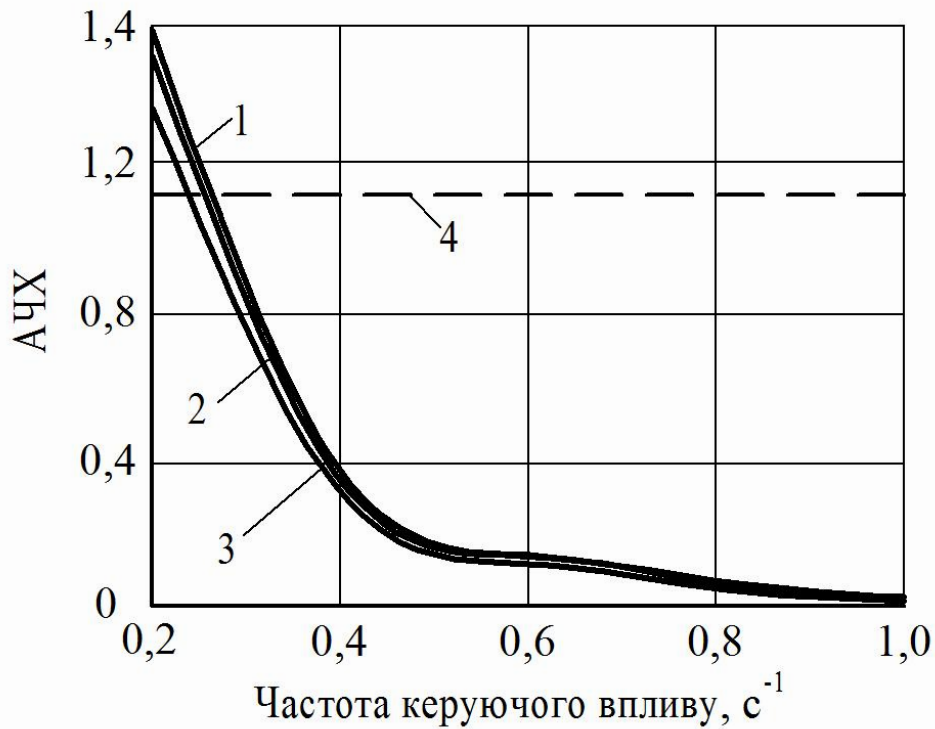


Рис. 2.10 – Амплітудно-частотні характеристики відтворення динамічною системою керуючого впливу

за різним значенням конструкційного параметру l_2 :

1 – 3,15 м; 2 – 2,15 м; 3 – 4,15 м;

4 – бажана (ідеальна) амплітудно-частотна характеристика

Якщо збільшення конструкційного параметру a_2 обумовлює однозначну поведінку відповідних амплітудно-частотних характеристик динамічної системи, то така ж зміна параметру l_2 – ні. Так, за частоти $\omega = 0,2 \text{ c}^{-1}$, наприклад, амплітудно-частотна характеристика $f(a_2)$ є від'ємнокорельованою і майже лінійною (крива 1, рис. 2.11).

Водночас, амплітудно-частотна характеристика $f(l_2)$ на частоті $\omega = 0,2 \text{ c}^{-1}$ є криволінійною і певною мірою наближеною до параболічної (крива 2, рис. 2.11). І такий характер залежності амплітудно-частотної характеристики від конструкційного параметру l_2 зберігається, як впливає із аналізу рис. 2.8), при збільшенні частоти коливань кута повороту керованих коліс трактора щонайменше до $0,5 \text{ c}^{-1}$.

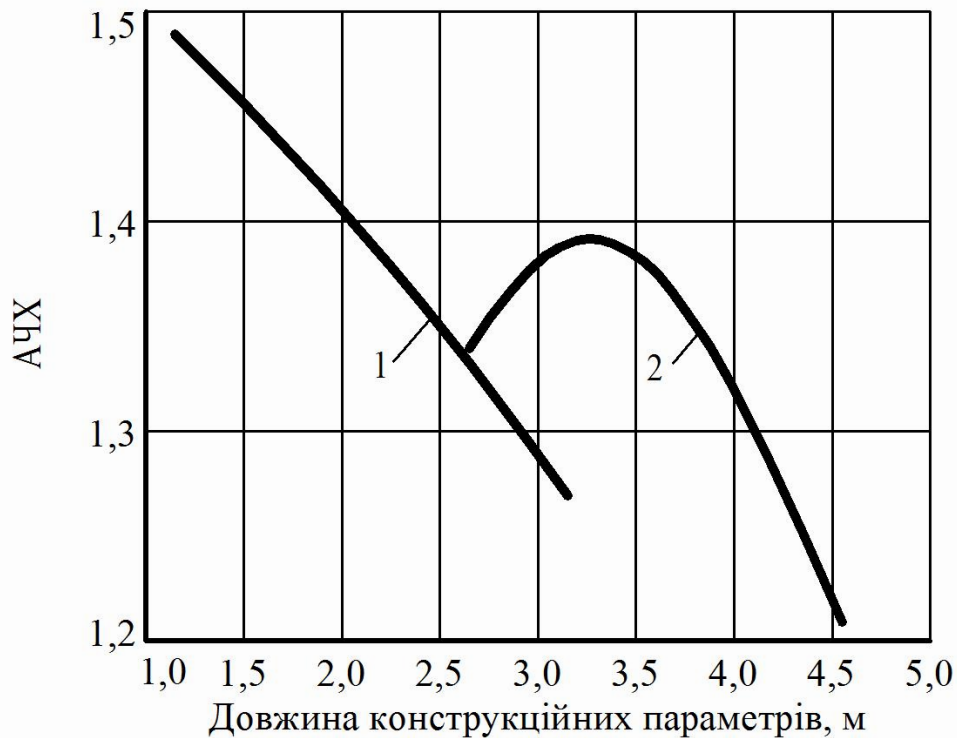


Рис. 2.11 – Амплітудно-частотні характеристики відтворення динамічною системою керуючого впливу частоти $0,2 \text{ с}^{-1}$ за різного значення конструкційних параметрів a_2 (1) і l_2 (2)

Характер зміни кривої 2 (рис. 2.11) вказує на те, що при виборі конструкційного параметра l_2 перевагу слід віддавати його більшим значенням. У цьому випадку значення дійсної амплітудно-частотної характеристики динамічної системи є більш близькою до 1.

Водночас, збільшення параметра l_2 обумовлює поворот зернової сівалки 4 відносно тукової сівалки 2 (див. рис. 2.1) без їх зіткнення під час руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату на поворотній смузі. У підсумку це означає, що межею збільшення конструкційного параметру l_2 є таке його значення, яке обумовлюватиме безаварійну поворотність комбінованого агрегату.

Аналіз результатів моделювання керованого руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату в горизонтальній площині показує, що вплив

на цей процес конструкційних параметрів a_4 і l_4 (див. рис. 2.1), як і конструкційних параметрів a_2 і l_2 , якісно і кількісно є аналогічним.

Висновки по розділу

1. Розроблена математична модель плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату, яка дозволяє обґрунтувати його конструктивні і кінематичні параметри з позиції його стійкого руху у горизонтальній площині. Встановлено, що динамічна система комбінованого удобрювально-посівного агрегату є консервативною з практично відсутніми дисипативними процесами. З позиції стійкого руху розроблена математична модель його функціонування у поздовжньо-горизонтальній площині дозволяє обґрунтувати конструктивні і кінематичні параметри.

2. В результаті теоретичних досліджень встановлено, що в залежності від поверхні оброблюваного поля частота коливань керуючого впливу – кута повороту керованих коліс комбінованого удобрювально-посівного агрегату – має знаходитися у діапазоні $0,210 \dots 0,295 \text{ с}^{-1}$. При цьому більші його значення характерні для роботи агрегату на більш розпушеному агротехнічному фоні, а менші – на більш твердому.

3. На частотах коливань кута повороту керованих коліс агрегатуючого трактора менших за $0,24 \text{ с}^{-1}$ бажано збільшення відстані від точок причепу тукової і зернової сівалок до центрів їх мас з 1,15 м до 3,15 м, а на частотах більших за $0,3 \text{ с}^{-1}$ – небажано, оскільки динамічна система відтворює керуючий вплив із недорегулюванням. Якісно схожий результат спостерігається щодо вибору довжини сниці тукової і зернової сівалок, але бажаний частотний діапазон коливань кута повороту керованих коліс агрегатуючого трактора є дещо вужчим $0,23 \dots 0,26 \text{ с}^{-1}$. При цьому межею збільшення довжини сниці тукової сівалки є таке його значення, яке обумовлюватиме безаварійну поворотність комбінованого агрегату.

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма проведення експериментальних досліджень

Відповідно до мети і завдань роботи, визначено програму експериментальних досліджень, яка включає:

– дослідження впливу режимів роботи комбінованого агрегату на якісні показники сівби зернових культур;

– проведення експериментальних досліджень по обґрунтуванню доцільності суміщення операцій сівби зернових культур з одночасним внесенням стартової і основної дози добрив за один прохід комбінованого агрегату.

Для цього необхідно розв'язати такі основні методичні завдання:

– обґрунтувати методику умови проведення досліджень;

– обґрунтувати методику дослідження впливу швидкості руху комбінованого агрегату та глибини сівби на якісні показники сівби;

– обґрунтувати методику визначення впливу різних схем сівби і внесення мінеральних добрив на врожайність зернових культур.

Експериментальні дослідження проводилися на дослідних ділянках Дослідного господарства “Оленівське” Фастівського району, Київської області.

Об'єктом експериментальних досліджень є насіння і добрива та робочий процес внесення мінеральних добрив та сівби зернових культур запропонованим комбінованим агрегатом.

При лабораторно-польових експериментальних дослідженнях процесу сівби в якості зернової культури, що висівається, вибрано ячмінь, а для кращої оцінки розподілу мінеральних добрив у борозні і з точки зору безпеки їх замінили на насіння сої.

Показником якості роботи при лабораторно-польових експериментальних

дослідженнях комбінованого агрегату прийнято рівномірність розподілу насіння і мінеральних добрив по довжині рядка, коефіцієнт варіації глибини висіву насіння зернових культур і мінеральних добрив та коефіцієнти відхилення розміщення насіння і добрив від осі рядка. При польових експериментальних дослідженнях щодо доцільності застосування у виробничих умовах запропонованого посівного агрегату в якості показника ефективності прийнято величину врожайності зернових культур в період повної зрілості.

3.2. Схема експериментального зразка комбінованого агрегату

Для дослідження процесу сівби зернових культур і внесення мінеральних добрив стартової і основної дози, які суміщені із сівбою зернових культур, розроблено експериментальну установку – комбінований удобрювально-посівний агрегат у складі двох зернотукових сівалок (рис. 3.1). На рис. 3.2 дано вигляд експериментальної установки під час проведення досліджень



Рис. 3.1 – Загальний вигляд експериментальної установки

Перша сівалка даного комбінованого посівного агрегату забезпечує внутрішньогрунтове внесення необхідної основної дози мінеральних добрив на глибину 7...9 см з міжряддям 25 см, а друга – сівбу зернових культур на глибину 2...6 см з міжряддям 12,5 см із одночасним внесенням стартової дози мінеральних добрив. Отже, перша сівалка формувала висів добрив в кожен другий рядок другої сівалки, яка виконувала звичайний процес зернотукової сівалки.



Рис. 3.2 – Експериментальна установка під час проведення досліджень

Для агрегування сівалок між собою і з трактором сконструйовано та виготовлено спеціальна зчіпка, на конструкцію якої був отриманий патент України, застосування якої дозволить забезпечувати необхідну маневреність комбінованого агрегату при роботі і транспортуванні.

Дійсна швидкість руху комбінованого посівного агрегату контролювалася під час проведення польових експериментальних досліджень за допомогою шляховимірювального колеса (рис. 3.3).



Рис. 3.3 – Шляховимірювальне колесо для контролю швидкості руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату

Енергетичний засіб (трактор) за своїми технічними характеристикам має забезпечувати роботу даного комбінованого удобрювально-посівного агрегату на робочих швидкостях руху 3,6 км/год. (1,0 м/с), 7,2 км/год. (2,0 м/с) та 10,8 км/год. (3,0 м/с) з забезпеченням необхідної точності дотримання швидкості руху.

3.3. Загальна методика експериментальних досліджень

Експериментальні польові дослідження, які визначені в програмі, передбачають застосування як стандартних, так і часткових методик:

- методику визначення умов проведення досліджень;
- методику визначення основних агротехнічних показників;
- методику проведення лабораторно-польових досліджень по визначенню впливу параметрів і режимів роботи агрегату на якість сівби;
- методику проведення польових досліджень по обґрунтуванню доцільності поєднання технологічних операцій за один прохід комбінованого посівного агрегату.

Загальна методика проведення польових експериментальних досліджень передбачала вибір необхідних приладів, устаткування, пристосування та методики, які будуть використані для фіксації та вимірюванні параметрів.

Основними засобами, які були використані при польових експериментальних дослідженнях є:

- рулетка, з точністю вимірювання 1 мм;
- лінійка металева, з точність вимірювання 1 мм;
- ваги електронні, з точністю вимірювання 0,01 г;
- твердомір Ревякіна;
- лабораторні бюкси – 30 шт.;
- шляховимірювальне колесо;
- датчик ГСП тощо.

3.3.1. Методика визначення умов проведення досліджень

Методика визначення умов проведення досліджень комбінованого посівного агрегату передбачає встановлення типу ґрунту, рельєфу і мікрорельєфу, вологості і твердості ґрунту та інших показників, які характеризують дослідну ділянку.

Тип ґрунту, рельєф і розмір ділянки, де проводилися експериментальні дослідження, визначалися згідно карт і даних господарства. Згідно проведеного аналізу ґрунту на дослідних ділянках встановлено його однорідність за структурою та складом і відповідність за типом чорноземам. Положення дослідних ділянок визначалися в світовій системі географічних координат із застосуванням датчика координат ГСП, який також дозволяє визначати розміри і конфігурації, а також площу дослідних ділянок.

Розміри дослідних ділянок вибиралися так, щоб забезпечити повне виконання всіх запланованих досліджень, які передбачені розробленою програмою та відповідають методиці.

При обґрунтуванні методики визначення умов проведення експериментальних досліджень було використано стандартні методики згідно ГОСТ 20315-75 “Сельскохозяйственная техника. Методика определения условий испытаний”, ДСТУ ISO 7256-2:2005 “Обладнання для сівби. Методи випробування. Частина 2. Сівалки рядкові” (ISO 7256-2:1984, IDT) та ДСТУ 7323:2013 “Сівалки тракторні. Основні показники та характеристики”.

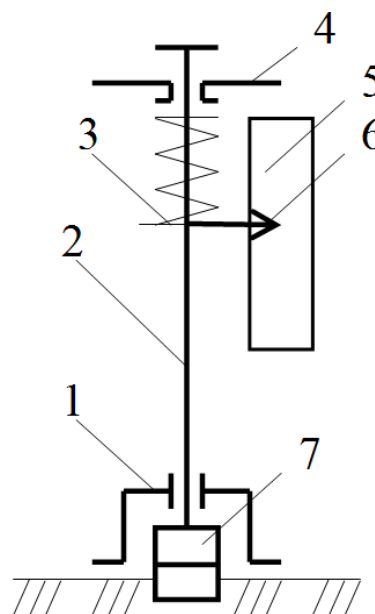
Для визначення вологості ґрунту, що є однією із суттєвих характеристик дослідної ділянки при дослідженні процесу сівби, проводили забір проб ґрунту у лабораторні бюкси із шарів 0...5 см і 5...10 см в десятикратній повторності. Бюкси з вологим ґрунтом зважувалися на електронних лабораторних вагах з точністю вимірювань до 0,01 г. Після цього ґрунт в бюксах просушувався в сушильній шафі при температурі 105°C протягом 8 год. Після просушування та охолодження бюкси з ґрунтом повторний раз зважують і за відомими виразами визначають вологість ґрунту W%. Перевірка точності електронних лабораторних

вагів здійснювали перед і після проведення досліджень згідно стандартних методик.

Твердість ґрунту вимірювали із використанням твердоміру Ревякіна (рис. 3.4) по діагоналі поля через кожні 50 м.



а)



б)

Рис. 3.4 – Твердомір Ревякіна:

а) загальний вигляд; б) схема твердоміра:

1 – опора; 2 – шток; 3 – пружина; 4 – рукоятка штока; 5 – пластина;

6 – олівець; 7 – деформатор-наконечник

Засміченість дослідних ділянок визначалася до проходу агрегатів шляхом зважування бур'янів зібраних на облікових ділянках. Попередній обробіток і культуру-попередник визначали згідно сівозміни і журналу агронома.

Технологічне налаштування досліджуваного агрегату по глибині висіву насіння і глибині закладання добрив, а також норма висіву насіння та доза

внесення добрив проводили у відповідності до агротехнічних вимог до сівби та особливостям на налаштувальному майданчику.

Лабораторно-польові дослідження робочого процесу агрегату проводилися при сівбі ячменю із застосуванням у якості фізичної моделі добрив насіння сої, яке за своїми властивостями дозволить якісно оцінити положення добрив у борозні рядка.

При експериментальному обґрунтуванні доцільності поєднання операцій по внесенню добрив і сівби насіння за один прохід агрегату висівали насіння ярої пшениці і ячменю.

Дослідження комбінованого удобрювально-посівного агрегату проводилися при швидкостях руху, які визначені для зазначеної операції згідно інструкції по експлуатації.

Визначення агротехнічних показників роботи агрегату передбачали контроль таких параметрів:

- робоча ширина захвату комбінованого агрегату;
- глибина висіву насіння і добрив;
- фактичну норму висіву насіння (шляхом визначення кількості насіння на 1 погонному метрі рядка);
- фактичну дозу внесення добрив за стандартною методикою.

Робоча ширина захвату комбінованого удобрювально-посівного агрегату визначалася вимірюванням рулеткою з точністю до 1 мм ширини поля, засіяного даним агрегатом за один прохід. Для цього в декількох місцях проходу комбінованого агрегату в крайніх точках встановлювали пластини, відстань між якими і є шириною захвату агрегату.

Визначення положення добрив та насіння у ґрунті виконувалося вручну, шляхом розкриття борозни (рис. 3.5). Вимірювання глибини висіву насіння і глибини закладання добрив у борозни при роботі агрегату здійснювалися також шляхом розкриття борозни на відповідно означених ділянках висіву (рис. 3.6) і вимірювання за допомогою лінійки з точністю до 1 мм глибини розміщення посівного матеріалу відносно плоскої металевої лінійки, яка укладалася поверх

борозни і визначало положення поверхні ґрунту. По цій величині здійснюється контроль за дотриманням встановленої величини і нерівномірність розподілу насіння і добрив по глибині відносно встановленої величини. Це дозволило проводити корегування регульованої величини глибини ходу сошників згідно агротехнічних вимог.



Рис. 3.5 – Визначення положення добрив та насіння у ґрунті



а)

б)

Рис. 3.6 – Експериментальне визначення глибини розміщення у ґрунті:

а) насіння; б) добрив

Також шляхом замірів було проведено визначення рівномірності висіву та відхилення від осьової лінії рядка шляхом розкриття борозни на відповідну довжину з використанням лінійки з похибкою 1 мм (рис. 3.7).



а)

б)

Рис. 3.7 – Експериментальне визначення параметрів висіву насіння:

а) рівномірності висіву; б) відхилення від осьової лінії рядка

3.3.2. Методика обробки результатів польових дослідів

Внаслідок аналізу відомих досліджень роботи посівних агрегатів та стандартних методик, а також на основі експертної оцінки було визначено основними факторами при лабораторно польових експериментальних дослідженнях:

- швидкість руху комбінованого посівного агрегату;
- глибина висіву насіння;
- глибина закладання добрив.

На основі проведених розрахунків, попередніх досліджень та аналізу апріорної інформації встановлено рівні варіювання факторів:

- швидкість руху агрегату: нижній – 1,0 м/с (3,6 км/год), середній – 2,0 м/с (7,2 км/год), верхній – 3,0 м/с (10,8 км/год);
- глибина висіву насіння: нижній – 2 см, середній – 4 см, верхній – 6 см;

– глибина закладання мінеральних добрив: нижній – 7 см, середній – 8 см, верхній – 9 см.

Експериментальні дослідження були реалізовані по стандартній матриці 2×3 [121, 122, 125-130, 133]. Кількість дослідів – 9. Повторність дослідів визначалася згідно встановленої методики [119, 121, 122, 125, 126, 129, 132, 133] для забезпечення необхідної точності досліджень і складають не менше 3.

Для кожної серії дослідів визначали середнє арифметичне значення вимірюваної величини як добуток цих значень на їх частоти

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot f(x_i). \quad (3.1)$$

Оцінка розсіювання дійсних значень вимірюваних величин щодо їх середнього значення характеризується середньоквадратичним відхиленням і дисперсією [119, 122, 123, 126, 127, 128, 131, 133].

Дисперсія дискретної випадкової величини визначається як сума добутків квадратів відхилення дійсного значення від математичного очікування на відповідну ймовірність:

$$D_x = \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2 \cdot p(x_i). \quad (3.2)$$

Тоді для неперервної випадкової величини вираз (3.2) матиме вигляд:

$$D_x = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - M_x)^2 \cdot \varphi(x) dx. \quad (3.3)$$

Тоді при емпіричному визначенні випадкових величин:

$$\sigma_x^2 = S_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \cdot f_i, \quad \text{при } n > 30,$$

$$\sigma_x^2 = S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \cdot f_i, \text{ при } n < 30.$$

Дисперсія згідно (3.2) – (3.4) має розмірність квадрату розмірності випадкової величини.

Середньоквадратичне відхилення визначається як квадратний корінь дисперсії (3.4), що взятий із додатнім знаком:

$$\sigma_x = +\sqrt{D_x}. \quad (3.5)$$

Варіабельність вимірюваних величин характеризується коефіцієнтом варіації, який визначається відношенням середньоквадратичного відхилення (3.5) до математичного очікування (середнього арифметичного) згідно (3.1) відповідної випадкової величини:

$$V = \frac{\sigma_x}{M_x} (\times 100\%). \quad (3.6)$$

Отримавши дослідні дані необхідно перевірити їх відтворюваність та адекватність отриманих регресійних моделей [118-120, 123, 128, 130, 133].

Для оцінки відтворюваності застосовують критерій Кохрена:

$$G = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1} S_u^2} \leq G_{таб}(0,05; n; f_u), \quad (3.7)$$

де $G_{таб}(0,05; n; f_u)$ – табличне значення критерію Кохрена при 5%-ому рівні значимості, при числі дослідів n і числі степенів свободи;

$f_u = m - 1$ – із числом повторностей m ;

$S_u^2, S_{u \max}^2$ – дисперсія на u -ому рівні і її максимальне значення.

Дисперсія у (3.7) в свою чергу визначається таким чином:

$$S_u^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_{uik} - \bar{y}_u)^2, \quad (3.8)$$

де y_{uik} – значення вихідного параметру на відповідній повторності.

Тоді, в загальному вигляді, похибку досліду розраховують за допомогою наступного виразу:

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n S_u^2. \quad (3.9)$$

Після визначення статистичних показників по кожній серії дослідів проводилася обробка результатів з отриманням регресійної моделі у виді полінома 2 степені, що характеризує вплив факторів і їх взаємодії на якісні показники роботи комбінованого посівного агрегату. Рівняння регресії в загальному вигляді має наступний вид:

$$Y = b_0 + b_p X_p + \dots + b_{pr} X_p X_r + \dots \quad (3.10)$$

Коефіцієнти в рівнянні (3.10) визначаються згідно наступних виразів:

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{y}_u, \\ b_p &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_p \bar{y}, \\ b_{pr} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_p X_r \bar{y}. \end{aligned} \quad (3.11)$$

Зазначене рівняння регресії (3.10) є емпіричною моделлю процесу і описує вплив окремих факторів та їх взаємодій на якісні показники роботи.

Перевірка адекватності рівняння регресії (3.10) проводять за критерієм Фішера:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F_{таб}(0,05; f_{ad}; f_y), \quad (3.12)$$

де $S_{ad}^2 = \frac{1}{f_{ad}} \sum_{u=1}^n (y - \bar{y}_u)^2$ – дисперсія адекватності;

$f_{ad} = n - k - 1$ – число ступенів свободи дисперсії адекватності при кількості факторів рівному k ;

$f_y = n(m - 1)$ – число ступенів свободи дисперсії відтворюваності.

Провівши перевірку адекватності необхідно оцінити значимість коефіцієнтів регресії (3.11), використавши при цьому критерій Стюдента.

Коефіцієнт регресії значимий, якщо:

$$|b_i| \geq t_{таб}(0,05; f_y) \frac{S_y}{\sqrt{n}}, \quad (3.13)$$

де $t_{таб}(0,05; f_y)$ – табличне значення критерію Стюдента при 5%-ому рівні значимості.

Оскільки дія окремих факторів і їх взаємодій із урахуванням випадкових збурень та не врахованих факторів повністю не досліджена, при обробці дослідних даних зберігатимемо всі доданки у рівнянні (3.10).

Додатково з метою визначення зв'язку між величинами (між вихідним параметром і фактором, а також факторами між собою) було проведено кореляційний аналіз шляхом визначення такого коефіцієнту кореляції між величинами x і y :

$$r_{xy} = \frac{K_{xy}}{S_x S_y}, \quad (3.14)$$

де S_x, S_y – середньоквадратичне відхилення відповідних величин;

K_{xy} – кореляційний момент.

Якщо коефіцієнт кореляції згідно (3.14) буде дорівнювати нулю, то величини є некорельовані, при умові що коефіцієнт кореляції більший 0,7 – кореляційний зв'язок сильний, 0,3-0,7 – середній, менше 0,3 – слабкий.

При цьому середньоквадратична похибка коефіцієнту кореляції визначається таким чином:

$$S_r = \sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{n - 2}}. \quad (3.15)$$

Зв'язок між величинами істотний при умові, що розрахунковий критерій Стьюдента більший за його табличне значення. Тобто:

$$t_r = \frac{r_{xy}}{S_r} \geq t_{таб}. \quad (3.16)$$

При одночасній дії кількох величин на параметр оптимізації доцільно застосовувати множинний коефіцієнт кореляції. Тісноту зв'язку величини x з величинами y, z можна визначити за таким виразом:

$$R_{x,yz} = \sqrt{\frac{r_{xy}^2 + r_{xz}^2 - 2r_{xy}r_{xz}r_{yz}}{1 - r_{yz}^2}}, \quad (3.17)$$

і величиною позитивною з межами можливої зміни від 0 до 1. Нульове значення множинного коефіцієнту кореляції означає відсутність лінійного зв'язку між величинами, але можливий при цьому нелінійний. Якщо ж цей коефіцієнт рівний 1, то існує лінійний зв'язок, а всі експериментальні дані лежать в одній площині, яка в свою чергу є поверхнею відгуку.

Квадрат коефіцієнту кореляції є детермінацією, яка показує частку змін протікання і виражає залежність однієї величини від іншої.

При проведенні обробки результатів експериментальних досліджень було використано пакети прикладних програм EXCEL, STATISTICA v 10.0 та MathCAD.

3.4. Методика проведення польових досліджень по обґрунтуванню доцільності сумісності технологічних операцій за один прохід агрегату

Для обґрунтування доцільності сумісності операцій сівби зернових культур із внесенням основної та стартової дози мінеральних добрив одним комбінованим агрегатом було поставлено польовий дослід [122, 124, 125, 130, 133] у виробничих умовах на дослідних полях при сівбі ярої пшениці і ячменю.

Для експериментальної сівби на даному полі було виділено ділянки, які засівали протягом одного дня за схемами:

– схема 1 – з передпосівним обробітком ґрунту без внесення гранульованих мінеральних добрив (контроль);

– схема 2 – з суцільним поверхневим внесенням стартової дози добрив, передпосівною культивуацією і сівбою насіння з одночасним внесенням у ґрунт основної дози добрив;

– схема 3 – стандартний передпосівний обробіток ґрунту і сівба насіння з одночасним внесенням у ґрунт стартової і основної дози добрив.

Комбінований удобрювально-посівний машинно-тракторний агрегат були налаштовані на задану глибину закладення насіння у борозну, норму висіву насіння і дозу внесення мінеральних добрив згідно даних агрономічної служби.

При проведенні польових експериментальних досліджень контрольованою величиною визначено врожайність зернових культур, яку визначали шляхом укладання на відповідних ділянках поля рамки розміром 1 м × 1 м і зважуванням окремо складових отриманого врожаю. Отримане значення врожайності порівнювалося із величиною врожаю, яка отримане при збиранні всього врожаю самохідним зернозбиральним комбайном САМПО.

Висновки по розділу:

1. Обґрунтовано загальну методику експериментальних досліджень комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату, який призначений для сівби зернових культур із суміщенням в одному проході: внесення стартової і основної дози гранульованих мінеральних добрив.

2. Описано методику по визначенню умов проведення експериментальних польових досліджень і основних агротехнічних показників оцінки якості роботи даного агрегату із використанням метрологічного обладнання з достатньою точністю вимірювання, а також методику обробки отриманих дослідних даних.

3. Розроблена методика проведення експериментальних досліджень по обґрунтуванню доцільності суміщення технологічних операцій в одному проході комбінованого агрегату згідно запропонованої схеми. Дана схема застосовується для різних варіантів внесення добрив, у тому ж числі із застосуванням комбінованого агрегату.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХ АНАЛІЗ

Експериментальні дослідження проводилися відповідно до прийнятої методики (розділ 3) і склалися з двох етапів:

- проведення лабораторно-польових досліджень впливу параметрів і режимів роботи комбінованого удобрювально-посівного агрегату на якість сівби;
- проведення польових досліджень по обґрунтуванню доцільності поєднання технологічних операцій внесення стартової дози добрив та сівби зернових культур із внесенням основної дози мінеральних добрив за один прохід комбінованого удобрювально-посівного агрегату.

4.1. Результати експериментальних досліджень впливу параметрів і режимів роботи комбінованого посівного агрегату на якість сівби

Протягом першого етапу лабораторно-польових експериментальних досліджень було проведено дослідження впливу параметрів і режимів роботи комбінованого удобрювально-посівного агрегату на показники якості сівби ячменю з одночасним внесенням у ґрунт стартової і основної дози мінеральних добрив.

При цьому прийнято основними факторами глибину висіву насіння і добрив, а також робочу швидкість поступального руху агрегату. Глибина висіву насіння приймалася 2 см, 4 см та 6 см, глибина висіву добрив – 7 см, 8 см та 9 см, а швидкість руху машинно-тракторного агрегату – 1,0 м/с, 1,5 м/с та 2,0 м/с (тобто, відповідно 3,6 км/год, 5,4 км/год та 7,2 км/год).

Якісним показником роботи було прийнято коефіцієнти варіації (в %) розміщення насіння і мінеральних добрив вздовж рядка (борозни), відхилення насіння і добрив відносно осі рядка та глибини укладання насіння і добрив у борозну. При цьому для контролю розміщення мінеральних добрив у борозні висівалося насіння сої.

Польові дослідження проводилися при сівбі ячменю на ділянках з попередньою оранкою і передпосівною культивацією. Умови проведення досліджень наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Умови проведення лабораторно-польових експериментальних досліджень

Показник	Значення
Попередній обробіток	передпосівна культивація
Тип ґрунту	чорнозем
Рельєф поля	рівний
Мікрорельєф	вирівняний
Вологість ґрунту, %:	
у шарі 0...5 см	21,3...22,6
у шарі 5...10 см	23,4...24,6
Твердість ґрунту, МПа:	
у шарі 0...5 см	0,26...0,48
у шарі 5...10 см	1,43...1,64
Забур'яненість поля, г/кв. м	11

Ґрунтово-кліматичні умови при дослідженні комбінованого посівного агрегату були типовими для Фастівського району Київської області.

Оцінка якості виконуваного технологічного процесу комбінованим посівним агрегатом проводилася шляхом розгортанням рядків після висіву і вимірюванням відстані між насінням в рядку, відхилення положення насіння і добрив в борозні відносно осі рядка та глибини висіву насіння і закладання добрив.

При цьому, гребенистість поверхні поля після проходження агрегату коливається в межах 2,4...5,7 см, а після проростання встановлена відносна польова схожість складає до 87%. В цілому, в процесі досліджень встановлено, що комбіновані посівні агрегати мають задовільну якість виконання

технологічного процесу, процес протікав стійко, без забивання висіваючих апаратів і сошників.

Результати досліджень оброблялися і подаються у вигляді наступних функціональних залежностей:

– рівномірності розподілу насіння ячменю вздовж рядка (рис. 4.1, 4.2, 4.3):

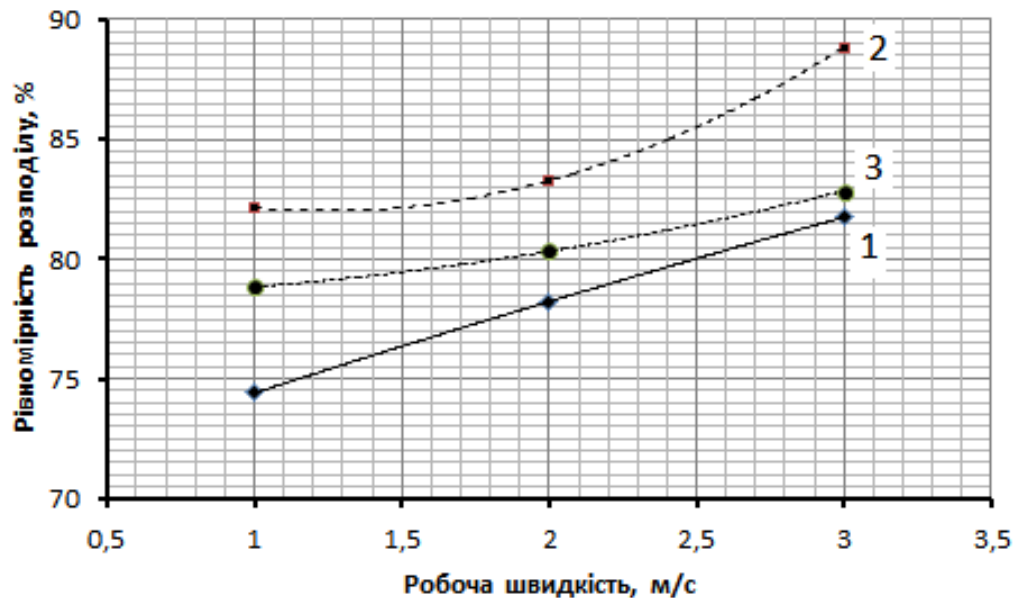


Рис. 4.1 – Залежність рівномірності розподілу насіння ячменю вздовж рядка від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату при різній глибині висіву насіння:

1 – при $H = 2$ см; 2 – при $H = 4$ см; 3 – при $H = 6$ см

Таким чином, отримані данні польових експериментальних досліджень, в цілому, узгоджуються з результатами, що отримані попередніми дослідниками [136, 137].

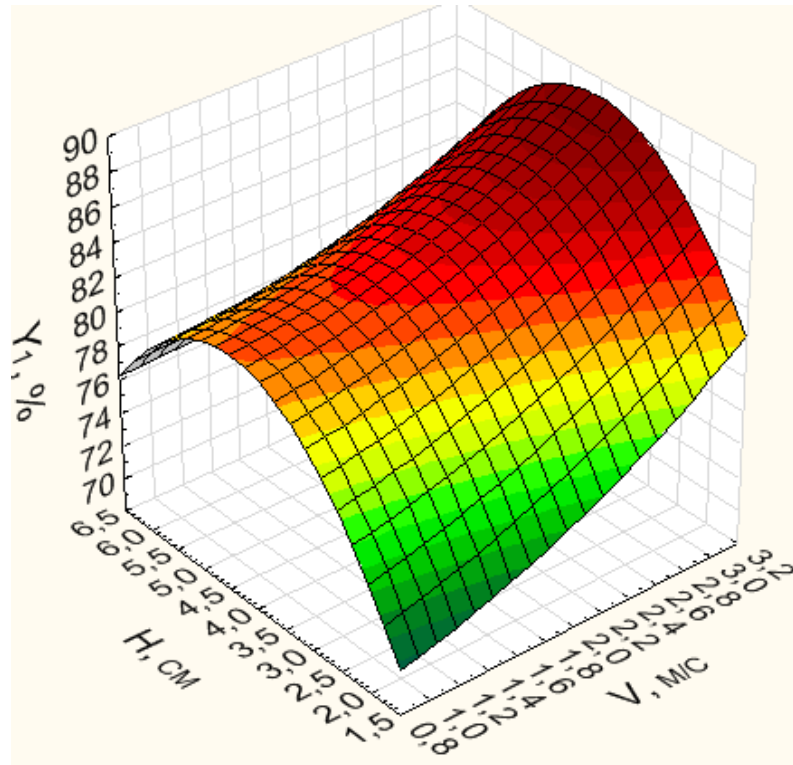


Рис. 4.2 – Поверхня відгуку залежності рівномірності розподілу насіння ячменю вздовж рядка від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибині висіву насіння

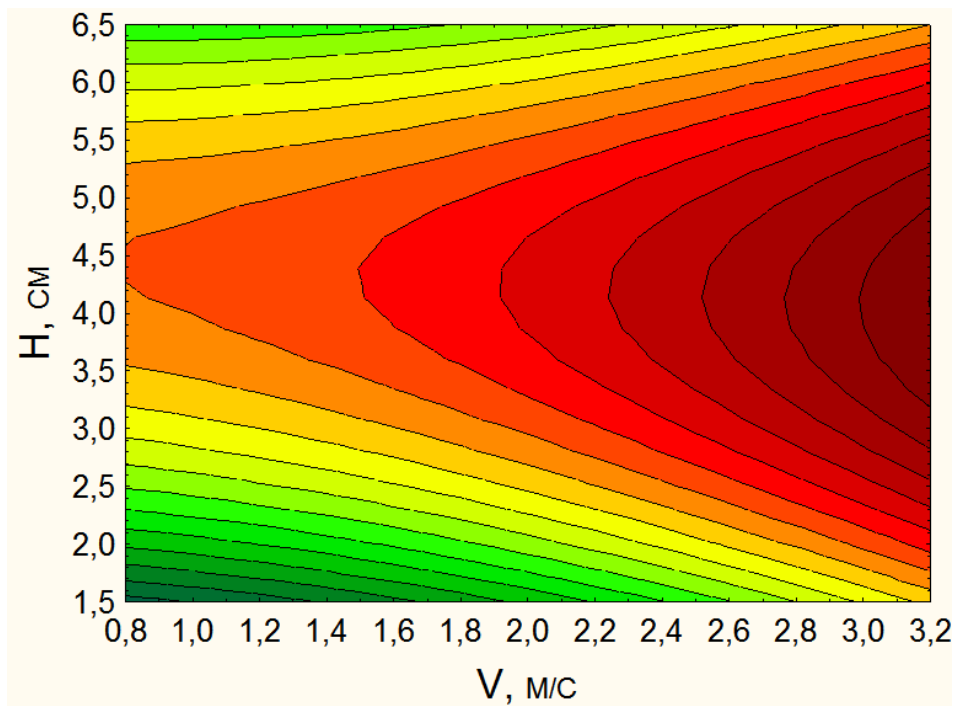


Рис. 4.3 – Двовірний переріз залежності рівномірності розподілу насіння ячменю вздовж рядка від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибині висіву насіння

На основі аналізу отриманих графічних залежностей (рис. 4.1, 4.2, 4.3) можна зробити висновок, що про зростання рівномірності висіву насіння із збільшенням швидкості поступального руху удобрювально-посівного агрегату, але при збільшенні глибини висіву насіння від 2 см до 4 см цей показник якості роботи збільшуватиметься, а при подальшому збільшенні глибини – рівномірність зменшуватиметься.

Зазначена залежність описуватиметься рівнянням регресії у виді поліному другої степені наступного вигляду:

$$YI = 54,33 + 1,21 V + 12,1783 H + 0,865 V V - 0,4163 V H - 1,3388 H H. \quad (4.1)$$

– рівномірності розподілу мінеральних добрив (насіння сої) вздовж рядка (рис. 4.4, 4.5, 4.6):

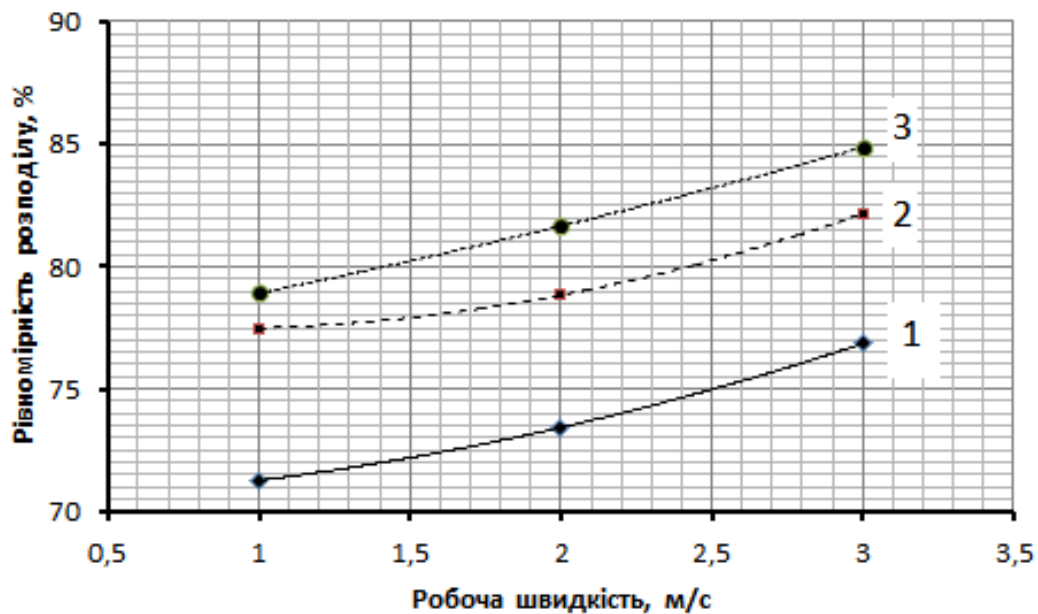


Рис. 4.4 – Залежність рівномірності розподілу добрив (насіння сої) вздовж рядка від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату при різній глибині закладання добрив у ґрунт:

1 – H = 7 см; 2 – H = 8 см; 3 – H = 9 см

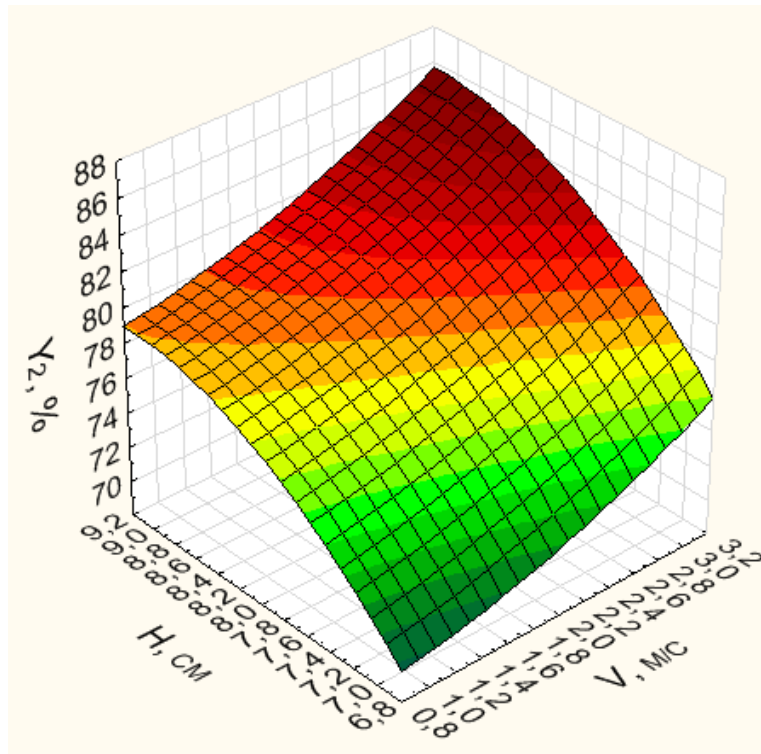


Рис. 4.5 – Поверхня відгуку залежності рівномірності розподілу добрив (насіння сої) вздовж рядка від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини закладання добрив у ґрунт

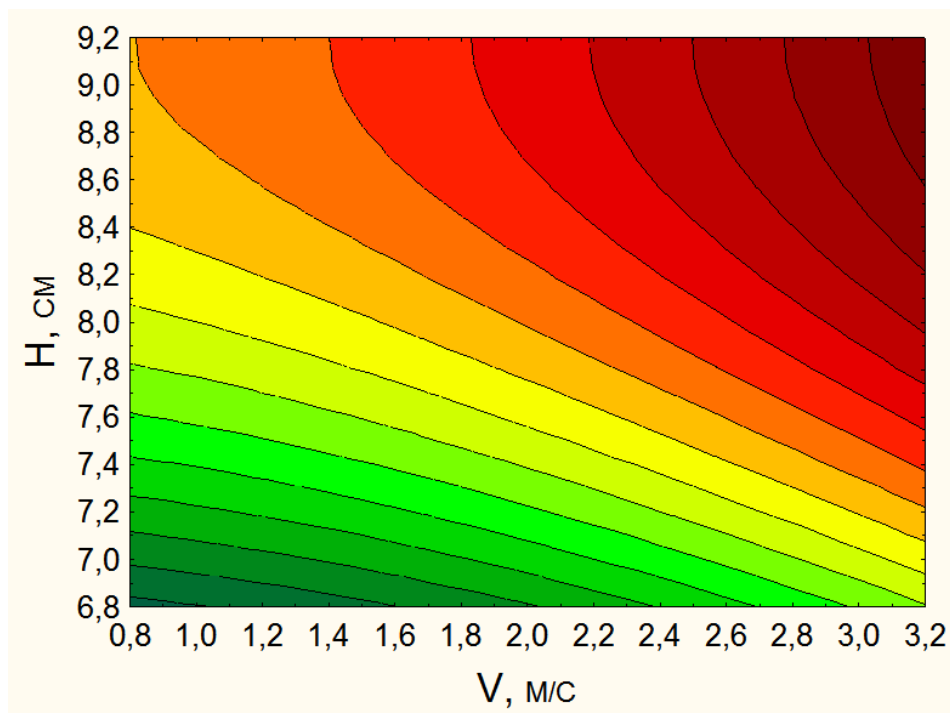


Рис. 4.6 – Двомірний переріз залежності рівномірності розподілу добрив (насіння сої) вздовж рядка від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини закладання добрив у ґрунт

В результаті досліджень (рис. 4.4, 4.5, 4.6) встановлено, що із збільшенням швидкості руху удобрювально-посівного агрегату і глибини закладання мінеральних добрив у ґрунт рівномірність їх розподілу на дні борозни збільшуватиметься.

Рівняння регресії, що описуватиме цю залежність, матиме такий вигляд:

$$Y_2 = -60,6811 - 0,4867 V + 30,41 H + 0,6167 V V + 0,09 V H - 1,6633 H H. \quad (4.2)$$

– коефіцієнту варіації глибини висіву насіння ячменю (рис. 4.7, 4.8, 4.9):

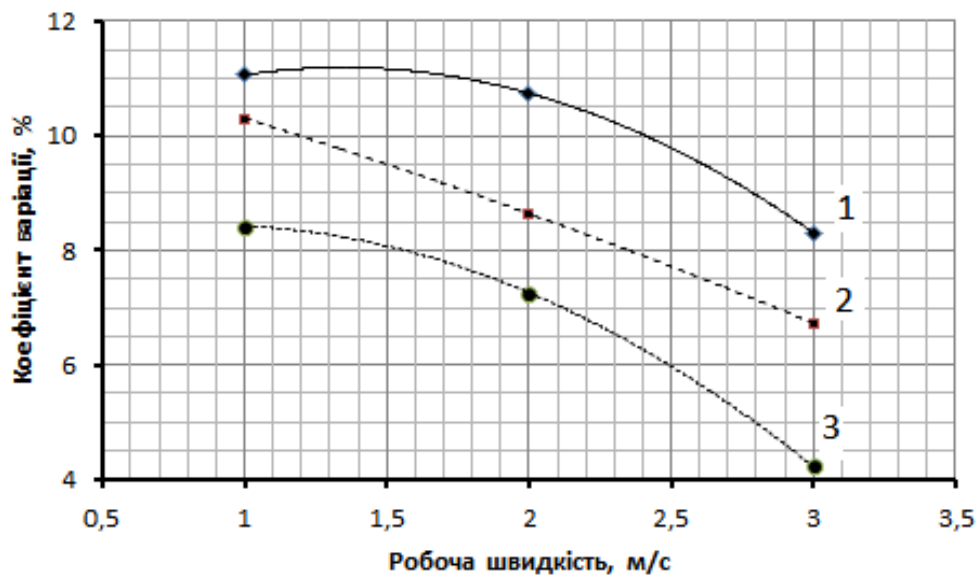


Рис. 4.7 – Залежність коефіцієнту варіації глибини висіву насіння ячменю від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату

при різній глибині висіву насіння:

1 – H = 2 см; 2 – H = 4 см; 3 – H = 6 см

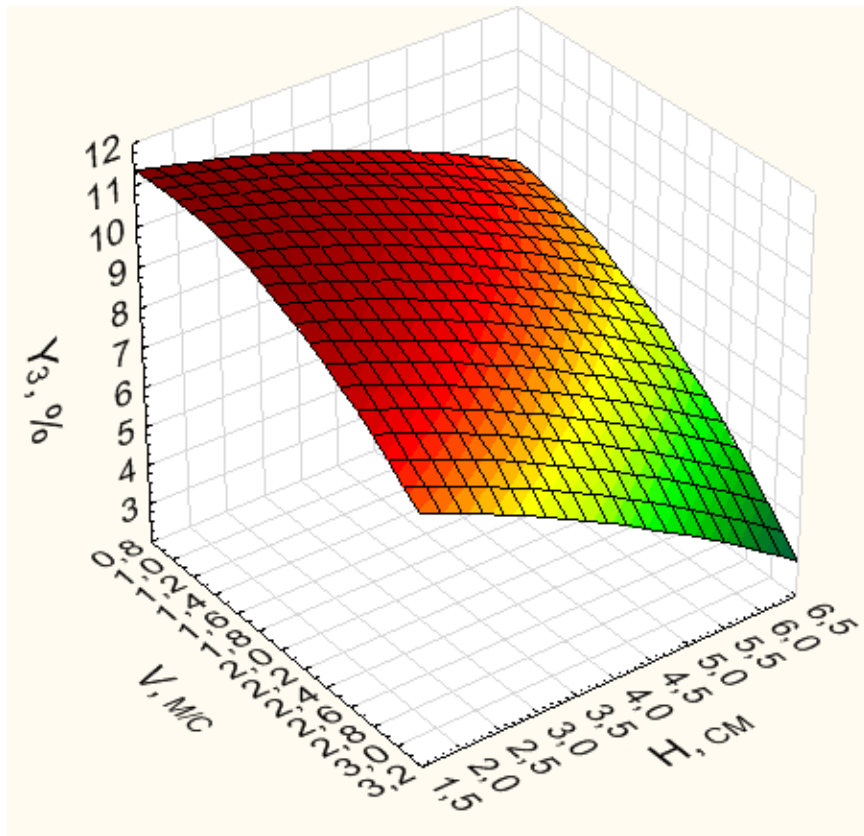


Рис. 4.8 – Поверхня відгуку залежності коефіцієнту варіації глибини висіву насіння ячменю від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини висіву насіння

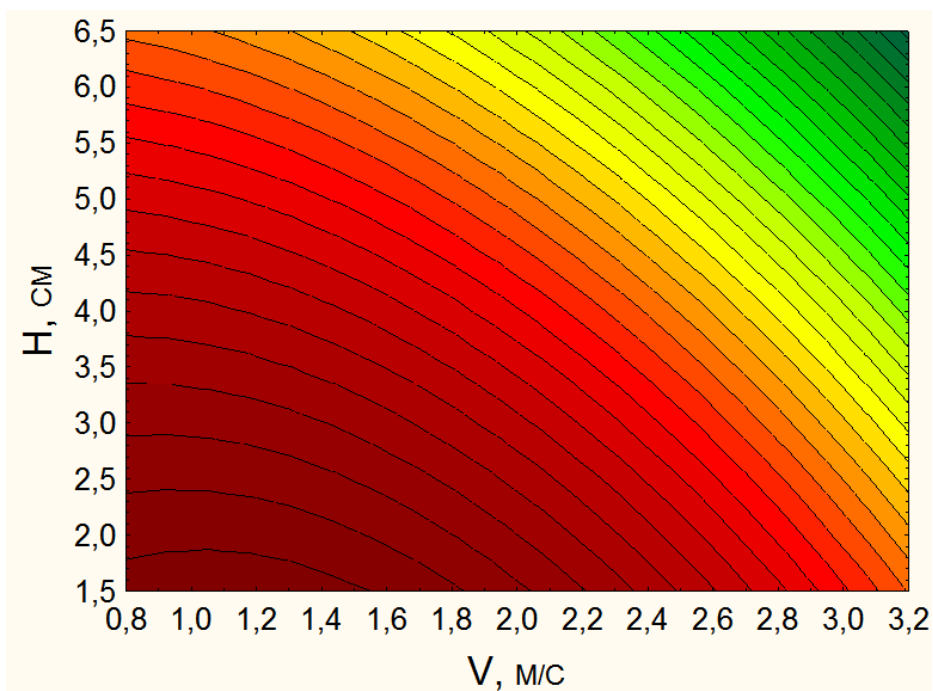


Рис. 4.9 – Двовірний переріз залежності коефіцієнту варіації глибини висіву насіння ячменю від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини висіву насіння

Аналіз одержаних результатів (рис. 4.7, 4.8, 4.9) визначають зменшення відхилення глибини висіву насіння від встановленого із збільшенням швидкості руху агрегату і глибини висіву насіння.

Функціональна залежність для даного випадку матиме наступний вигляд:

$$Y_3 = 10,79 + 1,7883 V - 0,05 H - 0,705 V V - 0,18 V H - 0,055 H H. \quad (4.3)$$

– коефіцієнту варіації глибини висіву мінеральних добрив (насіння сої) (рис. 4.10, 4.11, 4.12):

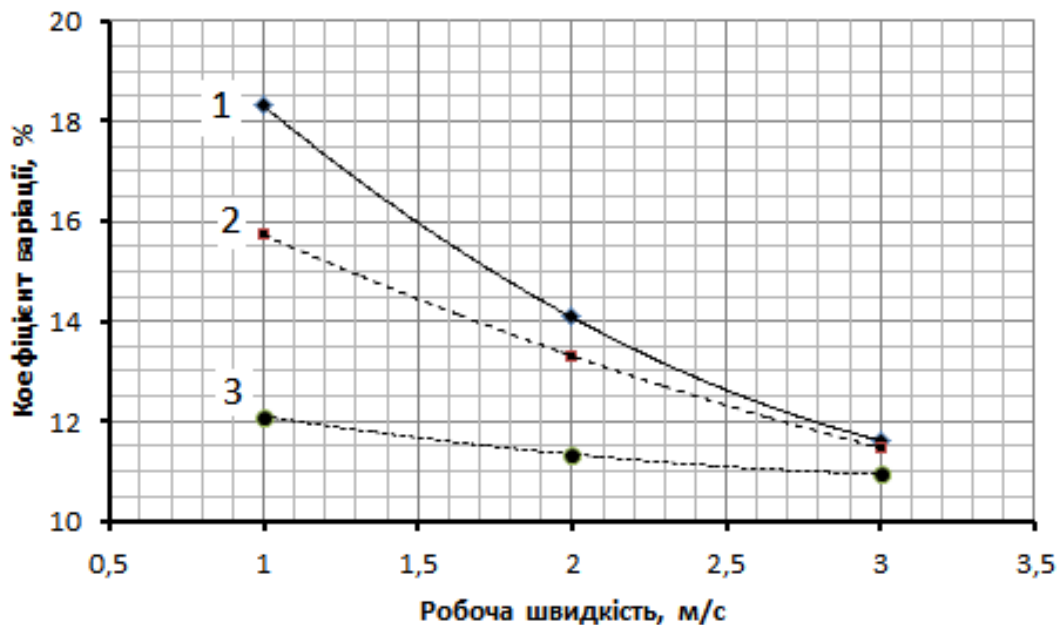


Рис. 4.10 – Залежність коефіцієнту варіації глибини висіву добрив (насіння сої) вздовж рядка від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату при різній глибині закладання добрив у ґрунт:

1 – Н = 7 см; 2 – Н = 8 см; 3 – Н = 9 см

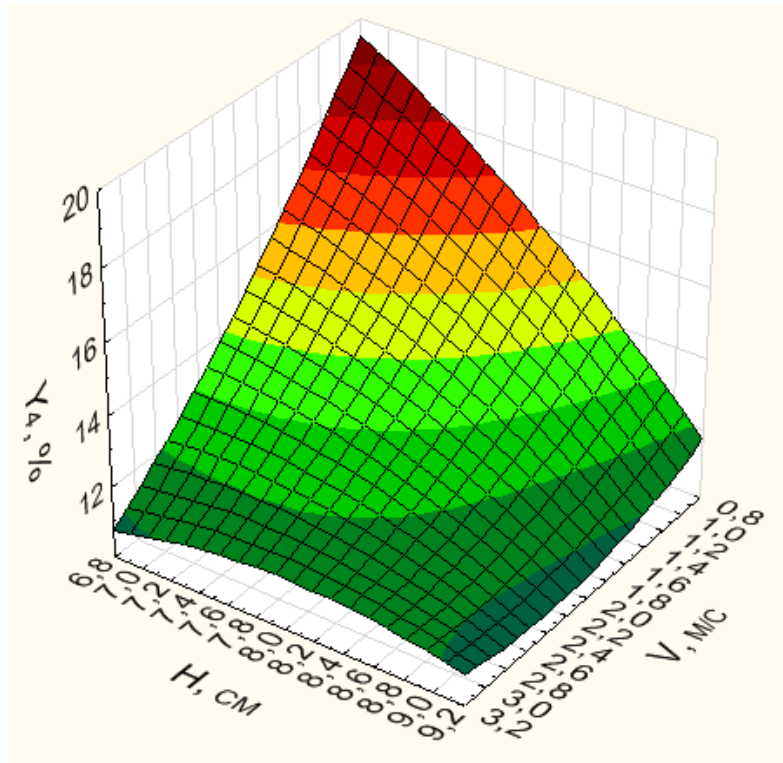


Рис. 4.11 – Поверхня відгуку залежності коефіцієнту варіації глибини висіву добрив (насіння сої) від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини закладання добрив у ґрунт

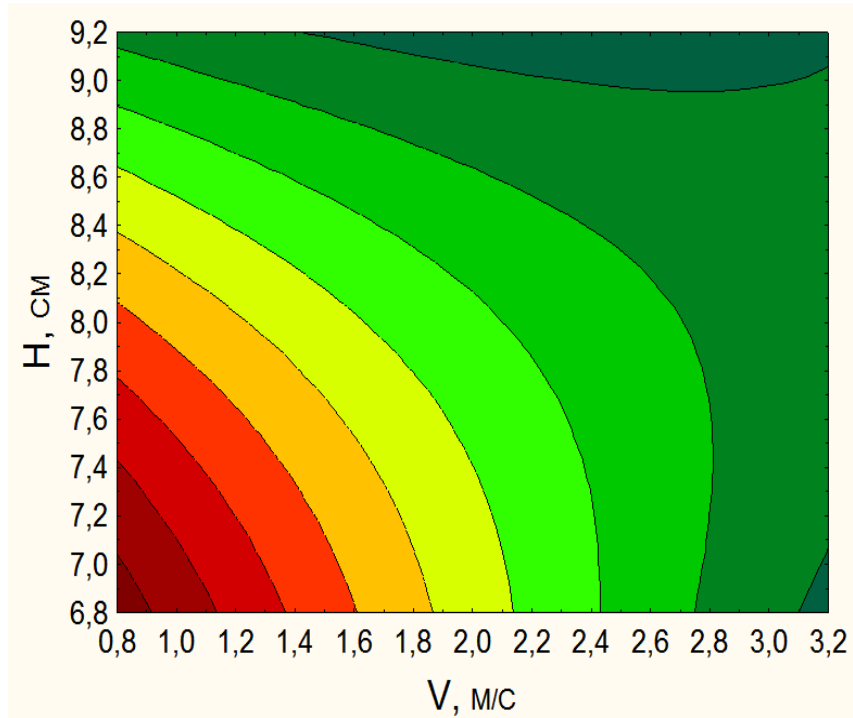


Рис. 4.12 – Двомірний переріз залежності коефіцієнту варіації глибини висіву добрив (насіння сої) від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини закладання добрив у ґрунт

Аналогічно як і для насіння ячменю, зменшенням відхилення глибини закладання мінеральних добрив у ґрунт від встановленого досягається збільшенням швидкості руху удобрювально-посівного агрегату і глибини закладання мінеральних добрив у ґрунт (рис. 4.10, 4.11, 4.12).

Рівняння регресії цієї залежності матиме такий вигляд:

$$Y_4 = 25,7444 - 14,89 V + 2,6967 H + 0,4533 V V + 1,3825 V H - 0,4417 H H. \quad (4.4)$$

– коефіцієнту варіації відхилення від осі рядка насіння ячменю (рис. 4.13, 4.14, 4.15):

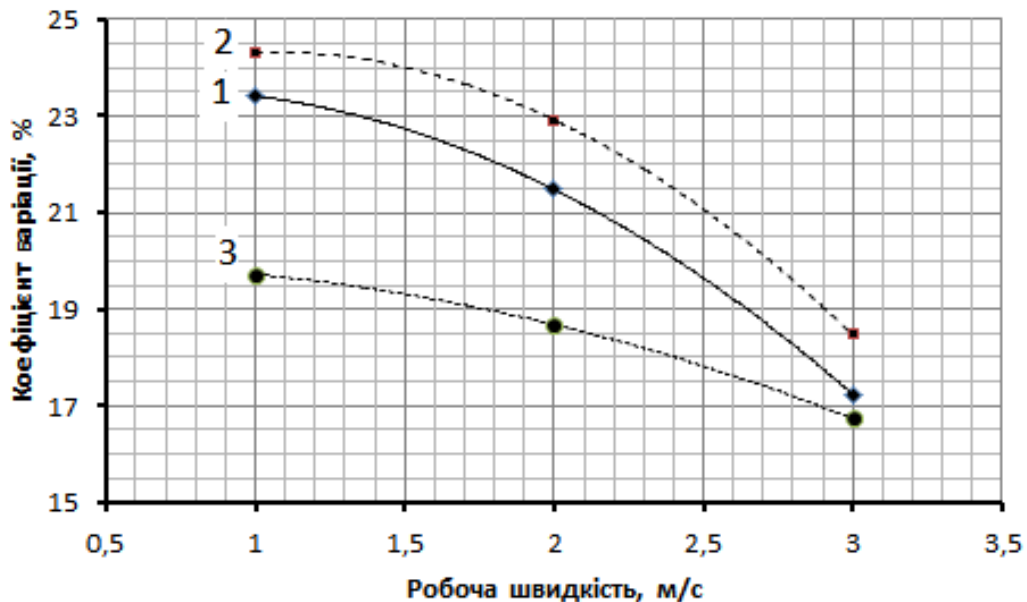


Рис. 4.13 – Залежність коефіцієнта варіації відхилення від осі рядка насіння ячменю від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату при різній глибині висіву насіння:

1 – $H = 2$ см; 2 – $H = 4$ см; 3 – $H = 6$ см

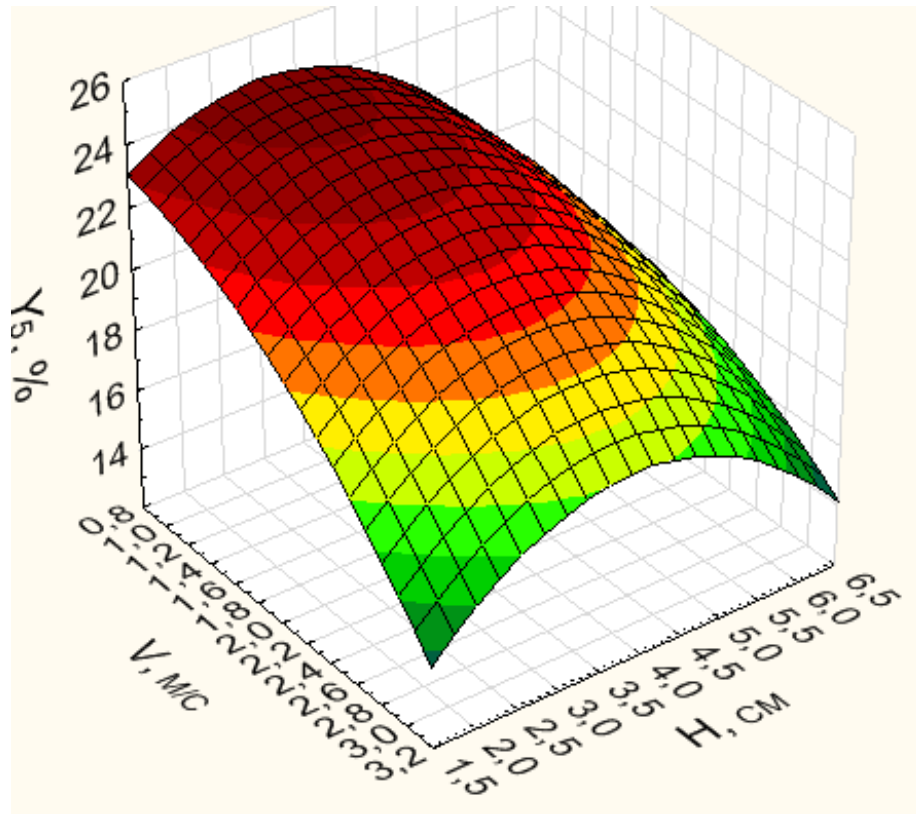


Рис. 4.14 – Поверхня відгуку залежності коефіцієнту варіації відхилення від осі рядка насіння ячменю від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини висіву насіння

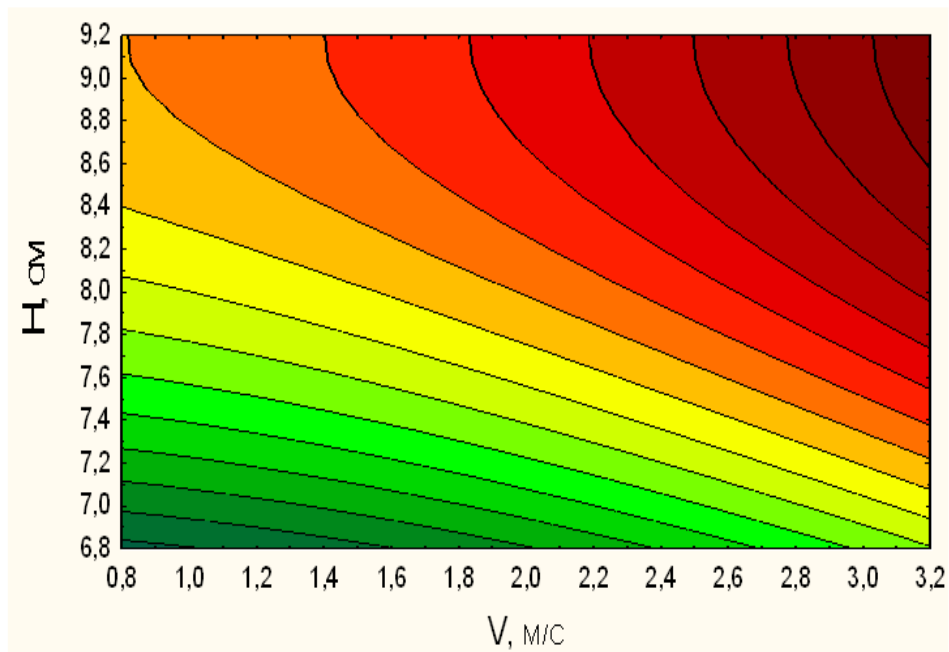


Рис. 4.15 – Двовірний переріз залежності варіації відхилення від осі рядка насіння ячменю від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини висіву насіння

Результати досліджень (рис. 4.13, 4.14, 4.15) визначають зниження коефіцієнту варіації відхилення від осі рядка насіння ячменю із збільшенням швидкості удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату. Але зі збільшенням глибини висіву від 2 см до 4 см коефіцієнт варіації зростає, а при подальшому збільшенні глибини – коефіцієнт варіації зменшується.

Рівняння регресії цієї залежності представлено у наступному вигляді:

$$Y5 = 19,5111 + 0,07 V + 3,3433 H - 1,0417 V V + 0,3987 V H - 0,5904 H H. \quad (4.5)$$

– коефіцієнту варіації відхилення від осі рядка мінеральних добрив (насіння сої) (рис. 4.16, 4.17, 4.18):

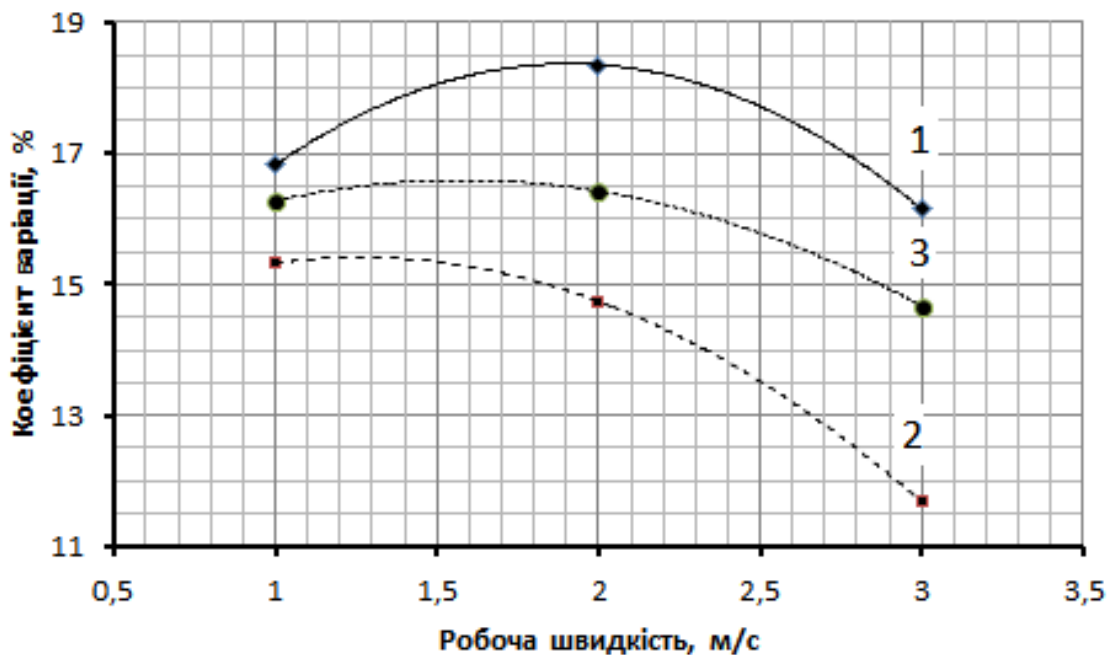


Рис. 4.16 – Залежність коефіцієнту варіації відхилення від осі рядка мінеральних добрив (насіння сої) від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату при різній глибині закладання добрив у ґрунт:

1 – $H = 7$ см; 2 – $H = 8$ см; 3 – $H = 9$ см

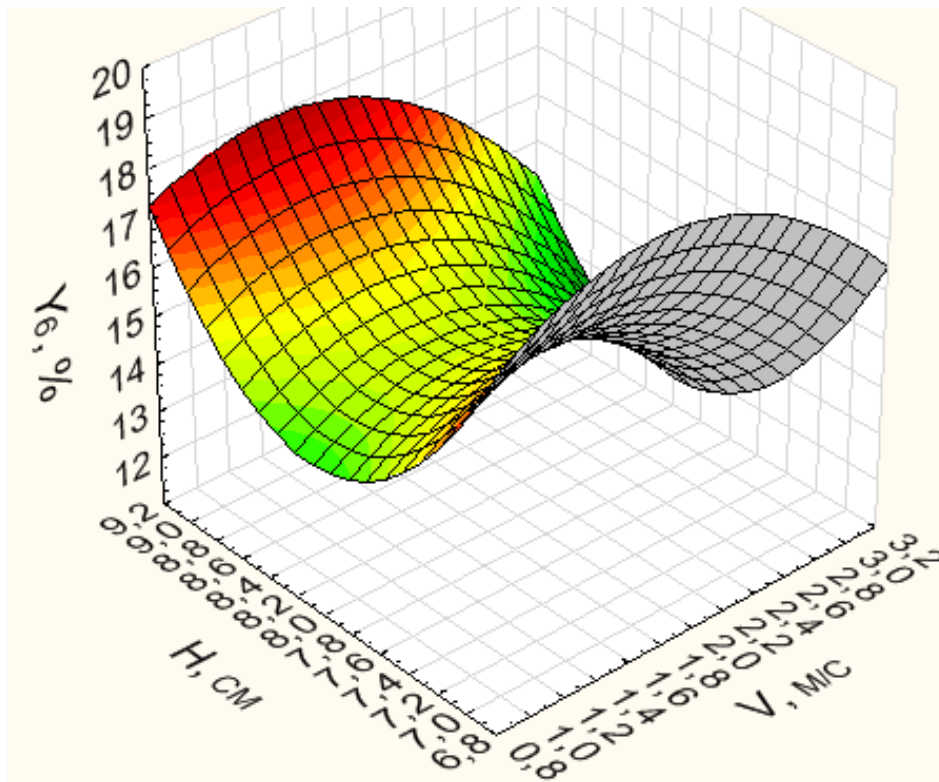


Рис. 4.17 – Поверхня відгуку залежності коефіцієнту варіації відхилення від осі рядка мінеральних добрив (насіння сої) від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини закладання добрив у ґрунт

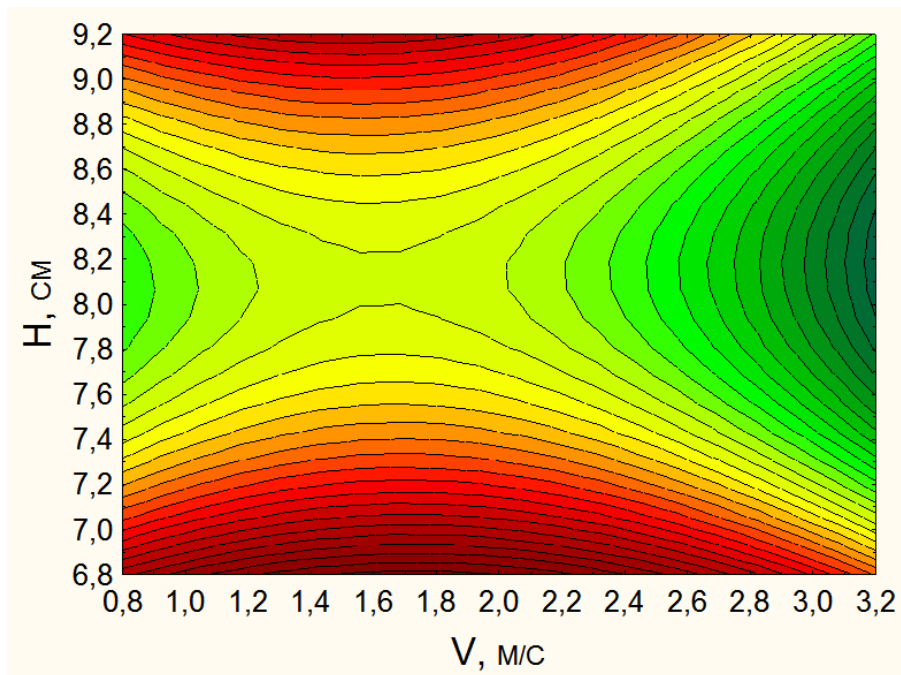


Рис. 4.18 – Двомірний переріз залежності коефіцієнту варіації відхилення від осі рядка мінеральних добрив (насіння сої) від швидкості руху удобрювально-посівного агрегату та глибини закладання добрив у ґрунт

Рівняння регресії для цієї залежності матиме такий вигляд:

$$Y_6 = 175,0711 + 6,2817 V - 40,7283 H - 1,3517 V V - 0,2325 V H + 2,5333 H H. \quad (4.6)$$

Наведені графічні (рис. 4.1 – 4.18) і функціональні залежності (4.1) – (4.6) визначають зменшення коефіцієнту варіації відхилення від осі рядка добрив (насіння сої) із збільшенням швидкості руху агрегату. Але збільшення глибини закладання насіння із 7 см до 8 см призводить до зменшення коефіцієнту варіації, а при збільшенні глибини до 9 см – коефіцієнт варіації збільшуватиметься.

Зазначені емпіричні математичні моделі (4.1) – (4.6), які описують зміну показників якості сівби комбінованим удобрювально-посівним машинно-тракторним агрегатом, адекватні в факторному просторі: $V \in 1,0 \dots 3,0$ м/с, $H \in 2 \dots 9$ см.

На основі факторного аналізу одержаних рівнянь регресії (4.1) – (4.6) встановлено, що раціональними значеннями швидкості руху комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату є $2,5 \dots 3,0$ м/с, глибини висіву насіння – $4 \dots 5$ см і глибини закладання добрив у ґрунт – $8 \dots 9$ см.

4.2. Результати експериментальних досліджень по обґрунтуванню доцільності поєднання технологічних операцій за один прохід комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату

При обґрунтуванні доцільності поєднання технологічних операцій за один прохід удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату на початковому етапі були проведені польові порівняльні експериментальні дослідження якісних показників роботи стандартної сівалки (базовий варіант) і досліджуваного удобрювально-посівного агрегату (модернізований варіант).

Дослідження проводилися при сівбі ячменю. Умови проведення польових

експериментальних досліджень наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2.

Умови проведення польових експериментальних досліджень

Показник	Значення
Попередній обробіток	передпосівна культивуація
Тип ґрунту	чорнозем
Рельєф поля	рівний
Мікрорельєф	вирівняний
Вологість ґрунту, %:	
у шарі 0...5 см	17,4...18,7
у шарі 5...10 см	20,1...22,3
Твердість ґрунту, МПа:	
у шарі 0...5 см	0,20...0,35
у шарі 5...10 см	1,38...1,57
Забур'яненість поля, г/кв. м	13

На основі результатів лабораторно-польових експериментальних досліджень встановлено раціональні значення параметрів виконання процесу: глибина висіву насіння – 5 см, глибина висіву добрив – 8 см і швидкість руху удобрювально-посівного агрегату – 10 км/год (2,78 м/с).

Показниками якості виконання операцій прийнято коефіцієнт варіації глибини висіву насіння (%), рівномірність розподілу насіння в рядку (%) та схожість насіння (%).

Для цього в процесі сівби піднімалися загортачі і шляхом вимірювання в п'яти точках поля з п'ятикратною повторністю контролювали глибину висіву насіння і кількість насінин на 1 погонному метрі рядка.

Після отримання сходів (рис. 4.19) розкривався рядок в п'яти точках поля і визначали кількість пророщеного та не пророщеного насіння.



Рис. 4.19 – Стан посівів в період визначення схожості

Результати досліджень занесені до таблиці. 4.3.

Таблиця 4.3

Порівняння показників якості сівби

Показник	Одиниця вимірювання	Базовий варіант	Модернізований варіант
Коефіцієнт варіації глибини висіву насіння	%	8,2	4,7
Рівномірність розподілу насіння в рядку	%	63,8	84,9
Схожість насіння	%	80,4	87,3

При дослідженнях в польових умовах встановлено можливість огріхів взаємного розміщення рядків проходів двох сівалок даного удобрювально-посівного агрегату внаслідок недосконалої конструкції зчіпки.

Також були проведені досліді по обґрунтуванню доцільності суміщення зазначених вище технологічних операцій в одному проході агрегату. Для цього на полі було виділено дослідні ділянки, на яких виконувалася сівба ярої пшениці і ячменю за трьома основними схемами:

1) сівба після культивуації без внесення добрив (контроль = схема I);

2) суцільне внесення стартової норми мінеральних добрив розкидним способом + передпосівна культивуація + комбінована сівба з одночасним внесення основної норми добрив (схема II);

3) передпосівна культивуація + комбінована сівба дослідним посівним агрегатом з одночасним внесення стартової і основної норми добрив (схема III).

Оцінку ефективності проводили по величині врожайності (ц/га), що визначали за стандартною методикою в період повної зрілості шляхом їх ручного збирання із площі, яка обмежується рамкою (1 м) × (1 м) і зважуванням.

Результати дослідів наведені у вигляді діаграм (рис. 4.20, 4.21).

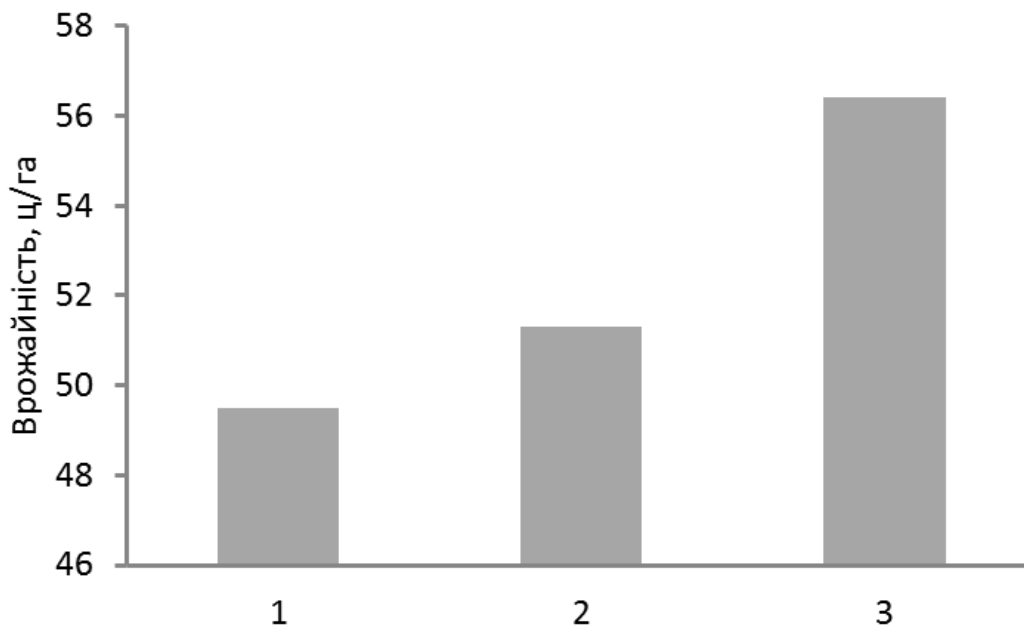


Рис. 4.20 – Діаграма врожайності ярої пшениці при сівбі за прийнятими схемами

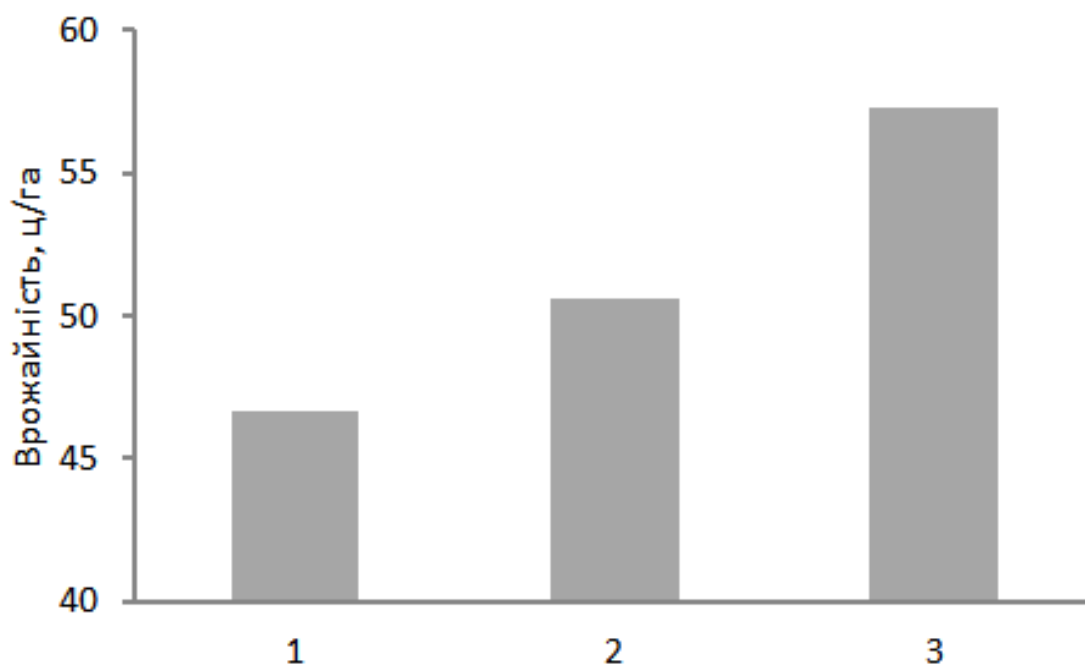


Рис. 4.21 – Діаграма врожайності ячменю при сівбі за прийнятими схемами

В результаті польових експериментальних досліджень встановлено, що при застосуванні комбінованого посівного агрегату для одночасної сівби із внесенням стартової і основної дози мінеральних добрив врожайність ярої пшениці складає 56,4 ц/га, а ячменю – 57,3 ц/га. При цьому, у порівнянні із застосуванням суцільного внесення стартової норми мінеральних добрив розкидним способом, передпосівної культивуації та комбінованої сівби з одночасним внесенням основної норми добрив врожайність ярої пшениці збільшилася на 5,1 ц/га, а ячменю – на 6,7 ц/га. Збільшення ж врожайності при модернізованій схемі сівби у порівнянні із сівбою без внесення мінеральних добрив складає відповідно для ярої пшениці – 6,9 ц/га, а для ячменю – 10,6 ц/га.

При проведенні польових експериментальних досліджень шляхом хронометражу та спеціально проведених вимірювань із застосуванням рулетки були також визначені деякі маневрові та експлуатаційні показники даного удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату, значення яких занесені до таблиці 4.4.

Технологічні та експлуатаційні показники комбінованого
удобрювально-посівного агрегату

Показник	Значення
Радіус повороту, м	6,5...8,9
Тривалість розвороту, с	18,4...24,7
Середня швидкість на поворотній смузі, м/с	1,78
Середнє відхилення траєкторії другої сівалки відносно траєкторії першої, см:	
при повороті	23,7
при робочому ході	3,6
Питомі витрати палива, л/га	3,77
Коефіцієнт використання часу зміни	0,85

Як бачимо з даних таблиці 4.4 радіус повороту даного комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату не перевищує 9 м, що заперечить петльові його повороти, а відхилення траєкторії другої сівалки відносно першої також має незначну величину і складає 23,7 см.

Зазначені результати польових експериментальних досліджень підтверджують доцільність суміщення технологічних операцій в одному проході комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату.

Висновки по розділу:

1. На основі проведених лабораторно-польових експериментальних досліджень впливу швидкості руху комбінованого посівного агрегату, глибини висіву насіння і глибини закладання мінеральних добрив у ґрунт на рівномірність розподілу насіння і добрив вздовж рядка, а також відхилення глибини висіву посівного матеріалу від встановленої норми та відхилення укладання насіння і добрив на дно борозни від осі рядка отримано рівняння регресії та обґрунтовано

раціональні значення параметрів сівби насіння ячменю комбінованим удобрювально-посівним машинно-тракторним агрегатом:

- швидкість руху агрегату – 2,5...3,0 м/с;
- глибина висіву насіння – 4...5 см;
- глибина закладання добрив у ґрунт – 8...9 см.

2. В результаті польових експериментальних досліджень встановлено, що при застосуванні комбінованого удобрювально-посівного агрегату для одночасного сівби із внесенням стартової і основної норми мінеральних добрив врожайність ярої пшениці збільшилася на 5,1 ц/га, а ячменю – на 6,7 ц/га у порівнянні із застосуванням суцільного внесення стартової норми мінеральних добрив розкидним способом, передпосівної культивації та комбінованої сівби з одночасним внесенням основної норми добрив. У порівнянні із сівбою без внесення мінеральних добрив врожайність ярої пшениці збільшилася на 6,9 ц/га, а ячменю – на 10,6 ц/га. Отримані результати польових досліджень підтверджують доцільність суміщення технологічних операцій сівби насіння зернових культур із внутрішньогрунтовим внесенням стартової і основної норми добрив в одному проході комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ
КОМБІНОВАНОГО УДОБРЮВАЛЬНО-ПОСІВНОГО АГРЕГАТУ
ТА РЕЗУЛЬТАТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

Економічні показники, які характеризують ефективність застосування комбінованого посівного агрегату визначалися згідно стандартних методик [134, 135], а також ДСТУ 4397:2005 “Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробовування”, ГСТУ 3-37-4-94 “Трактори та машини сільськогосподарські. Методи економічної оцінки” тощо.

Для розрахунку економічної ефективності за базовий варіант приймемо технологію із застосуванням напівпричіпного розкидача гранульованих мінеральних добрив МВУ-5, який агрегується з трактором МТЗ-82.1, а для реалізації сівби – зерно-тукову сівалку Астра-3,6 виробництва “Елворті” з трактором МТЗ-82.1.

За модернізований варіант приймемо комбінований посівний агрегат у складі двох зерно-тукових сівалок Астра-3,6 з трактором МТЗ-82.1.

Прямі експлуатаційні витрати C (грн/га) визначаються як сума затрат на оплату праці – C_1 , на паливо-мастильні матеріали – C_2 , на реновацію машини і енергетичного засобу (трактора) – C_3 , а також на їх ремонт і технічне обслуговування – C_4 .

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4, \text{ грн/га.} \quad (5.1)$$

Складові прямих експлуатаційних витрат визначаються:

– на оплату праці:

$$C_1 = \frac{\sum L_i C T_i}{W_3}, \text{ грн/га,} \quad (5.2)$$

де L_i – кількість робітників відповідного класу, зайнятих на цій роботі, люд.;

CT_i – погодинна ставка робітника цього класу, грн/год. люд;

$$C_2 = NqnЦ_{II}, \text{ грн/га,} \quad (5.3)$$

де n – коефіцієнт використання потужності трактора ($n = 0,8$);
 $Ц_{II}$ – комплексна вартість пального, грн/кг.

Прийmemo при розрахунку ціну 1 л дизельного пального для сільгоспвиробників – 19,68 грн/л.

$$C_3 = \frac{B_T a_T}{W_3 T_{PT}} + \frac{B_M a_M}{Q_M}, \text{ грн/га,} \quad (5.4)$$

де a_T, a_M – норма відрахувань на реновацію трактора і машини ($a_T = a_M = 16,6\%$ або $0,166$).

$$C_4 = \frac{B_T b_T}{W_3 T_{PT}} + \frac{B_M b_M}{Q_M}, \text{ грн/га,} \quad (5.5)$$

де b_T, b_M – норма відрахувань на ремонт та технічне обслуговування трактора і машини ($b_T = 34\%$ або $0,34$, $b_M = 15\%$ або $0,15$).

Тоді, приведені експлуатаційні витрати розраховуються таким чином:

$$П = e \cdot K + C, \text{ грн/га,} \quad (5.6)$$

де e – нормативний коефіцієнт ефективного використання капітальних вкладень ($e = 0,15$);

K – розмір капітальних вкладень, грн/га.

$$K = \frac{B_T}{W_3 T_{PT}} + \frac{B_M}{Q_M}, \text{ грн/га,} \quad (5.7)$$

де B_T, B_M – балансова вартість трактора і машин, грн;

Q_M – сезонне навантаження машин, га.

Тоді, загальний економічний ефект від впровадження комбінованого посівного агрегату визначається як сума зменшення прямих експлуатаційних затрат модернізованого варіанту у порівнянні з базовим та ефект від зростання врожайності при цьому

$$E_{zag} = (P_b - P_m) - E_{dod}, \text{ грн/га}, \quad (5.8)$$

де P_b, P_m – приведені експлуатаційні затрати базового і модернізованого варіантів, грн/га;

E_{dod} – додатковий ефект від застосування агрегату, грн/га. Визначається як добуток приросту врожайності на закупівельну ціну 1 ц зерна.

При цьому прийmemo ціну 1 ц зерна ярої пшениці – 520 грн, а ячменю – 455 грн.

Результати розрахунків, проведених згідно вказаних залежностей та прийнятих показників, занесемо до таблиці 5.1.

Результати розрахунку показників економічної ефективності

Показник	Базовий варіант		Модернізований варіант
	– розкидання добрив	– сівба	
Продуктивність, га/год.	12	2,52	2,52
Питома витрата палива, л/га	2,12	2,94	3,77
Затрати на оплату праці, грн/га	3,77	5,46	5,46
Затрати на ПММ, грн/га	41,72	57,86	74,19
Затрати на реновацію, грн/га	61,44	95,49	138,33
Затрати на ремонт і ТО, грн/га	62,53	119,64	184,64
Сумарні прямі експлуатаційні затрати, грн/га	169,46	278,65	402,62
Розмір капітальних вкладень, грн/га	370,34	575,54	1009,09
Приведені експлуатаційні витрати, грн/га	225,01	364,98	553,98
Зменшення приведених експлуатаційних витрат, грн/га	36,00		
Економічний ефект від збільшення врожайності, грн/га	2652,00/3048,50		
Загальний економічний ефект, грн/га	2688,00/3084,50		

Отже, в результаті розрахунків встановлено, що загальний економічний ефект від використання комбінованого посівного агрегату із урахуванням ефекту від збільшення врожайності складає 2688,00 грн/га при вирощуванні ярої пшениці і 3084,50 грн при вирощуванні ячменю.

Виробнича перевірка і впровадження причіпного комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату здійснено на площі 120 га у Державному підприємстві дослідному господарстві “Оленівське” Фастівського району Київської області (Додаток А. Акт виробничої перевірки причіпного комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату, акт впровадження).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведене нове вирішення наукового завдання, суть якого полягає у підвищенні техніко-економічних показників роботи двомашинного комбінованого удобрювально-посівного агрегату для одночасної сівби зернових культур із внесенням у ґрунт основної і стартової норми гранульованих мінеральних добрив шляхом обґрунтування його схеми його схеми та конструктивно-технологічних параметрів. На основі проведених досліджень зроблено такі основні висновки.

1. Підвищення ефективності використання основної дози мінеральних добрив доцільно здійснювати шляхом її розміщення у ґрунті нижче одночасно висіяного насіння у вигляді стрічки, тобто в зоні розміщення кореневої системи зернових культур. Для практичної реалізації цього напрямку потрібний комбінований двомашинний удобрювально-посівний машинно-тракторний агрегат, конструкція якого забезпечувала б підвищення техніко-економічних показників роботи.

2. Обґрунтована схема удобрювально-посівного агрегату включає агрегатуєчий трактор, сівалку для внесення у ґрунт основної дози мінеральних добрив, до рами якої шарнірно приєднана сниця сівалки сільськогосподарських культур. Завдяки такому виконанню комбінованого агрегату для внутрішньогрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту одночасно з сівбою сільськогосподарських культур стартова доза мінеральних добрив забезпечує ефективне живлення паростків зернових культур, що обумовлює їх прискорений ріст і розвиток, а по мірі росту цих рослин аж до дозрівання урожаю їх коріння живиться добривами основної дози, які знаходяться на більшій глибині і тому у вологому ґрунті, що забезпечує їх розчинення і ефективне використання рослинами.

3. Розроблена математична модель плоскопаралельного руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату, яка дозволяє обґрунтувати його конструктивні і кінематичні параметри з позиції його стійкого руху у горизонтальній площині.

Встановлено, що динамічна система комбінованого удобрювально-посівного агрегату є консервативною з практично відсутніми дисипативними процесами. З позиції стійкого руху розроблена математична модель його функціонування у поздовжньо-горизонтальній площині дозволяє обґрунтувати конструктивні і кінематичні параметри.

4. В результаті теоретичних досліджень встановлено, що в залежності від поверхні оброблюваного поля частота коливань керуючого впливу – кута повороту керованих коліс комбінованого удобрювально-посівного агрегату – має знаходитися у діапазоні $0,210 \dots 0,295 \text{ с}^{-1}$. При цьому більші його значення характерні для роботи агрегату на більш розпушеному агротехнічному фоні, а менші – на більш твердому.

5. На частотах коливань кута повороту керованих коліс агрегатуючого трактора менших за $0,24 \text{ с}^{-1}$ бажано збільшення відстані a_2 від точок причепу тукової і зернової сівалок до центрів їх мас з 1,15 м до 3,15 м, а на частотах більших за $0,3 \text{ с}^{-1}$ – небажано, оскільки динамічна система відтворює керуючий вплив із недорегулюванням. Якісно схожий висновок можна зробити і стосовно вибору довжини сниці тукової і зернової сівалок. Відміна при цьому полягає у тому, що бажаний частотний діапазон коливань кута повороту керованих коліс агрегатуючого трактора є дещо вузьким $0,23 \dots 0,26 \text{ с}^{-1}$. При цьому межею збільшення довжини сниці тукової сівалки є таке його значення, яке обумовлюватиме безаварійну повороткість комбінованого агрегату.

6. За результатами лабораторно-польових експериментальних досліджень, які були проведені на розробленій експериментальній установці згідно прийнятої методики, отримано математичні моделі впливу швидкості руху комбінованого удобрювально-посівного агрегату, глибини висіву насіння і глибини закладання добрив у ґрунт на рівномірність розподілу насіння і добрив вздовж рядка, а також відхилення глибини висіву посівного матеріалу від встановленої та відхилення укладання насіння і добрив на дно борозни від осі рядка. Згідно аналізу отриманих результатів було обґрунтовано раціональні значення параметрів сівби насіння ячменю комбінованим удобрювально-посівним агрегатом: швидкість

руху агрегату – 2,5...3,0 м/с; глибина висіву насіння – 4...5 см; глибина закладання добрив у ґрунт – 8...9 см.

7. В результаті польових досліджень встановлено, що при застосуванні комбінованого удобрювально-посівного агрегату для одночасної сівби із внесенням стартової і основної норми добрив врожайність ярої пшениці збільшилася на 5,1 ц/га, а ячменю – на 6,7 ц/га у порівнянні із застосуванням суцільного внесення стартової норми добрив розкидним способом, передпосівної культивуації та комбінованої сівби з одночасним внесенням основної норми мінеральних добрив. У порівнянні із сівбою без внесення мінеральних добрив врожайність ярої пшениці збільшилася на 6,9 ц/га, а ячменю – на 10,6 ц/га відповідно. Отримані результати польових досліджень підтверджують доцільність суміщення технологічних операцій сівби насіння зернових культур із внутрішньогрунтовим внесенням основної і стартової норми мінеральних добрив в одному проході комбінованого удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату.

8. Загальний економічний ефект від використання комбінованого удобрювально-посівного агрегату із урахуванням ефекту від збільшення врожайності складає 2688,00 грн/га при вирощуванні ярої пшениці і 3084,50 грн/га при вирощуванні ячменю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Наумов Ю.Ф. Энергоспоживання в Україні / Ю.Ф. Наумов, А.В. Усенко // Організаційно-економічні проблеми розвитку АПК: Колективна монографія у чотирьох частинах / За ред. П.Т. Саблука. – К.: ІАЕ, 2001. – С. 321-323.
2. Бондар С.М. Основні проблеми машиновикористання в сучасних технологіях обробітку ґрунту Полісся України / С.М. Бондар, І.І. Мельник // Науковий вісник НАУ, Вип. 33. – К.: НАУ. – 2000. – С. 101-107.
3. Наумов Ю.Ф. Некоторые аспекты энергопотребления в современных условиях / Ю.Ф. Наумов, А.В. Усенко // Збірник наукових праць Луганського державного аграрного університету. – Луганськ: Видавництво ЛДАУ, “Элтон-2”. – 2001, № 9. – С. 34-37.
4. Наумов Ю.Ф. Энергосбережение в сельском хозяйстве Украины / Ю.Ф. Наумов, А.В. Усенко // Науковий вісник Національного аграрного університету / Редкол.: Д.О. Мельничук та ін. – Вип. 44. – К.: НАУ, 2001. – Ч.4: Ціноутворення та інфраструктура ринку. – С. 229-231.
5. Усенко А.В. Тенденції та закономірності енергоспоживання в сільському господарстві Луганської області / А.В. Усенко // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. – Луганськ: Видавництво ЛДАУ, “Элтон-2”. – 2003, №11. – С. 167-169.
6. Усенко А.В. Нормування витрат сукупної енергії при вирощуванні овочевих культур / А.В. Усенко // Економіка АПК. – 2003, № 10. – С. 96-97.
7. Наумов Ю.Ф. Состояние и пути улучшения энергетической эффективности производства продукции АПК в Луганской области / Ю.Ф. Наумов, А.В. Усенко // Проблеми ефективного функціонування АПК в умовах нових форм власності та господарювання: Кол. монографія в двох томах / За ред.: П.Т. Саблука, В.Я. Амбросова, Г.Є. Мазнева. – К.: ІАЕ, 2001. – Т.1. – С. 321-324.
8. Краснощеков Н.В. Повышение производительности машинных

агрегатов – приоритетное направление технической политики в АПК / Н.В. Краснощеков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002, №1. – С. 9-11.

9. Эксплуатационные показатели новых технических средств для растениеводства (рекомендации) / А.Т. Табашников [и др.] – Краснодар: ФГОУ ВПО “Кубанский ГАУ”, 2005. – 60 с.

10. Бондар С.М. Основні проблеми машиновикористання в сучасних технологіях обробітку ґрунту Полісся України / С.М. Бондар, І.І. Мельник // Науковий вісник НАУ, Вип. 33. – К.: НАУ. – 2000. – С. 101-107.

11. Бондар С.М. Хронографічні дослідження механізованих процесів основного обробітку ґрунту / С.М. Бондар, І.І. Мельник, А.В. Шостак [та ін.] // Сб. науч. трудов Керченского морского технологического института “Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий”. Выпуск 2. – Керчь: КМТИ, 2001. – С. 85-90.

12. Павлишин М. Комбіновані енергетичні системи з нетрадиційними джерелами енергії / М. Павлишин // Техніка і технології АПК: науково-виробничий журнал. – 2009, №1. – С. 10-13.

13. Самородов В. Перспективний напрямок створення комбінованих та ширококозахватних МТА / В. Самородов, В. Надикто // Техніка АПК. – 2006, №4. – С. 6-9.

14. Кушнарєв А. Методологические предпосылки выбора способа обработки почвы / А. Кушнарєв, В. Погорельый // Техніка АПК. – 2008, №1. – С. 17-21.

15. Дроздов В.Н. Обработка почвы комбинированными машинами и агрегатами / В.Н. Дроздов, Ю.И. Кузнецов, В.М. Зайцев. // М.: Росагропромиздат, 1988. – 72 с.

16. Перспективы использования комбинированных машинно-тракторных агрегатов / В. Кюрчев [и др.] // Научни известия. – Варна (Болгария), 2013. – Т. XXI, Вып. 5 (142). – С. 104-108.

17. Kyurchev V. Technical change and financial efficiency: plowing-rotary tractors in Ukraine / V. Kyurchev // Journal of Finance and Accounting (USA). – 2014. – № 2(1). – p.p. 8-12.

18. Мітков В. Комбіновані агрегати – це перспективно / В. Мітков, Б. Мітков, В. Тюлев // Агроексперт: видання з питань української та світової сільськогосподарської практики. – 2010, №12. – С. 114-116.

19. Макаренко М. Комбіновані енергозасоби / М. Макаренко // FARMER. – 2011, № 4. – С. 76-78.

20. Надыкто В.Т. Перспективное направление создания комбинированных и широкозахватных МТА / В.Т. Надыкто // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008, №3. – С. 26-30.

21. Мойсеєнко В. Вітчизняні комбіновані ґрунтообробні агрегати / В. Мойсеєнко, С. Дудака // Пропозиція: український журнал з питань агробізнесу. – 2013, №9. – С. 108-111.

22. Рубець А. Підвищення ефективності використання МТА, або де закопують гроші сільгоспвиробники / А. Рубець, В. Демешук // Пропозиція: український журнал з питань агробізнесу. – 2012, №9. – С. 84-88.

23. Смолінський С. Комбіновані ґрунтообробні агрегати / С. Смолінський, А. Смолінська, В. Марченко // Агроексперт: видання з питань української та світової сільськогосподарської практики. – 2016, №2. – С. 66-69.

24. Черепухін В. Експлуатаційно-технологічні показники перспективних МТА в нових технологіях вирощування зернових культур / В. Черепухін // Техніка АПК: науково-технічний журнал. – 2008. – №9/10. – С. 25-29.

25. Карабаницкий А.П. Современный подход к вопросу комплектования машинно-тракторных агрегатов / А.П. Карабаницкий, В.А. Жихарь // Тр. КубГАУ. – 2009. Вып. №3 (18). – С. 193-196.

26. Писаренко А.Е. Модульный принцип разработок – качество и надежность сельскохозяйственной техники / А.Е. Писаренко // Техника в сельском хозяйстве. – 2000, №1. – С. 28-31.

27. Надикто В.Т. Енергонасиченість тракторів та шляхи її реалізації / В.Т. Надикто // Техніка і технології в АПК. – 2011, №9. – С. 8-11.

28. Надикто В.Т. Прогноз розвитку енергонасиченості сільськогосподарських тракторів / В.Т. Надикто, О.В. Величко // Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. №1 (100). – Глеваха, 2015. – С. 146-151.

29. Коваль С. Нові універсальні енергетичні засоби / С. Коваль // Agroexpert: видання з питань української та світової сільськогосподарської практики. – 2012. – № 8. – С. 63-68.

30. Кюрчев В. Методика оцінки технологічної придатності тракторів для роботи у складі комбінованих МТА / В. Кюрчев // Техніка і технології АПК: науково-виробничий журнал. – 2012. – № 3. – С. 42-44.

31. Ткач О.В. Використання комбінованих агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту / О.В. Ткач // Збірник наукових праць Інституту цукрових буряків “Наукові основи виробництва цукрових буряків та інших культур бурякової сівозміни в сучасних економічних та екологічних умовах” – Книга 2. – К.: ЩБ, 1998. – С. 114-119.

32. Думич В. Комбінований агрегат для ґрунтообробітку / В. Думич, М. Борис // FARMER. – 2014. – №10. – С. 128-131.

33. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки / Р.Б. Гевко, І.Г. Ткаченко, С.В. Синій, В.М. Булгаков, Р.М. Рогатинський, О.Б. Павелчак. – Луцьк: ЛДТУ, 1999. – 168 с.

34. Сухина А. Підживлювач – власними руками, або секрети розумної економії / А. Сухина // Пропозиція: український журнал з питань агробізнесу. – 2016. – №4. – С. 170-173.

35. Мельник Р.В. Параметри забезпечення ефективності застосування широкозахватних машинно-тракторних агрегатів у керованому землеробстві / Р.В. Мельник // Національний науковий центр “Інститут механізації та електрифікації сільського господарства”, Міжвідомчий тематичний науковий збірник, Випуск 91, 2007. – С. 54-57.

36. Залужний В. Формування структури комбінованих ґрунтообробних машин та агрегатів / В. Залужний // Вісн. Львів. держ. аграр. ун-ту: Агроінженерні дослідження. – 2005. – № 9. – С.113-123.

37. Погорілий Л. Технічні і технологічні аспекти розвитку комбінованих зернових сівалок / Л. Погорілий, Л. Шустік // Техніка АПК. – 2003. – №2. – С. 4-6.

38. Саченко В.І. До обґрунтування багатофункціональних ґрунтообробно-посівних машин / В.І. Саченко // Міжвідомчий тематичний наук. зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха: ННЦ “ІМЕСГ”, 2001. – Вип. 85. – С. 43-48.

39. Кюрчев В.М. Комбіновані машинно-тракторні агрегати на базі трактора ХТЗ-120 / В.М. Кюрчев, А.І. Панченко, В.Т. Надикто // Техніка АПК. – 2003. – №8. – С. 13-14.

40. Dubrovin V. Maszyny z regulowana jakoscia wykonywania procesow technologicznych w produkcji roslinnej / V. Dubrovin, V. Myronenko // Materialach XI Miedzynarodowe Symposjum “Ekologiczne aspekty mechanizacji produkcji roslinnej”; Warszawa, 2005. – p.p. 206-209.

41. Dubrovin V. Quality implementation management of the technological processes in plant growing / V. Dubrovin, V. Myronenko // Proceedings of the 10 International Conference “New technological processes and investigation methods for agricultural engineering”; Kaunas, 2005. – p.p. 193-197.

42. Сидорчук О. Етапи побудови концептуальної моделі роботи машинно-тракторного агрегату / О. Сидорчук, Б. Затхей, Я. Панюра [та ін.] // Еколого-економічні проблеми розвитку АПК: Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 10-й річниці Конф. ООН з питань охорони навколишнього середовища та розвитку. У 2 т. – Львів: ЛДАУ, 2002. – Т. 1. – С. 307-311.

43. Адамчук В.В. Дослідження руху комбінованого посівного агрегату з одночасним унесенням мінеральних добрив / В.В. Адамчук, Є.А. Петриченко // Вісник аграрної науки: науково-теоретичний журнал Національної академії аграрних наук України. – 2015. – №3. – С. 47-51.

44. Надикто В.Т. Перспективи використання трактора ХТЗ-120 в складі комбінованих агрегатів / В.Т. Надикто, В.Б. Мітков, О.І. Генів // Праці ТДАТА. – Вип. 11. – Мелітополь, 2003. – С. 13-17.

45. Надикто В.Т. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві / В.Т. Надикто [та ін.]. – Мелітополь: ТОВ “Видавничий будинок “ММД”, 2005. – С. 242-321.

46. Залужний В. Класифікаційні ознаки комбінованих машин / В. Залужний, О. Сидорчук, В. Тимочко // Вісник Львів. держ. аграр. ун-ту: Агроінженерні дослідження. – 2002. – №6. – С. 147-152.

47. Сидорчук О. Науково-методичні підстави синтезу комбінованих ґрунтообробних машин / О. Сидорчук, В. Залужний // Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. Наукове видання. – 2004. – №8. – С. 224-230.

48. Кіяшко В.М. Обґрунтування технологічної схеми комбінованої машини / В.М. Кіяшко // Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні: Вісн. Харк. держ. техн. ун-ту с. г. – Вип. 24. – Х., 2004. – С. 11-15.

49. Nevko R.B., Tkachenko I.G., Synii S.V., Flonts I.V. DEVELOPMENT OF DESIGN AND INVESTIGATION OF OPERATION PROCESSES OF SMALL-SCALE ROOT CROP AND POTATO HARVESTERS. – INMATEH: Agricultural engineering, vol. 49, No. 2/2016, pp. 53-60.

50. Пащенко В.Ф. Динаміка функціонування комбінованої ґрунтообробної машини / В.Ф. Пащенко, В.В. Кім, В.М. Кіяшко // Вібрації в техніці та технологіях / ВГАУ: Всеукр. наук. техн. журн. – № 4(36). – Вінниця, 2004. – С. 114-116.

51. Пащенко В.Ф. Результати польових випробувань модернізованої комбінованої ґрунтообробної машини АГРО-3 / В.Ф. Пащенко, В.В. Кім, І.М. Дорожко [та ін.] // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісн. Харк. держ. техн. ун-ту с. г. – Вип. 29. – Х., 2004. – С. 166-169.

52. Залужний В.І. Особливості конструювання і використання ґрунтообробних комбінованих агрегатів з пасивними робочими органами / В.І. Залужний, М.І. Грицишин // *Машиновипробування на службі прогресу машинобудування і сільськогосподарського виробництва: Зб. наук. праць. – Дослідницьке: УкрНДПВТ, 1997. – С. 87-92.*

53. Гевко Р.Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів бурякозбиральних машин: дис. ... доктора технічних наук: 05.05.11 / Роман Богданович Гевко. – Національний аграрний університет. – Київ, 1999. – 316 с.

54. Петровец В.Р. Комбинированный агрегат для возделывания зерновых культур / В.Р. Петровец, Н.В. Чайчиц // *Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – № 8. – С. 47-50.*

55. Соловей Е.В. Эффективность применения передней навески машин для междурядной обработки пропашных культур / Е.В. Соловей // *Сборник научных трудов. Т. 99. – М.: ВИМ. – 1983. – С. 100-109.*

56. Баранович Б.М. Снижение уплотнения почвы ходовыми системами машинно-тракторных агрегатов / Б.М. Баранович, В.М. Чудиновских, В.С. Черноглазов // *Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. – №3. – С. 62-64.*

57. Абдула С.Л. Використання трактора ХТЗ-120 у складі комбінованих агрегатів / С.Л. Абдула, В.Т. Надикто // *Вісті академії інженерних наук України. – 2004. – №1. – С. 19-22.*

58. Кюрчев В. Новий посівний МТА на основі трактора серії ХТЗ-160 / В. Кюрчев // *Техніка і технології АПК: науково-виробничий журнал. – 2010. – №12. – С. 9-12.*

59. Жатвенно-луцильный агрегат на базе трактора ХТЗ-120 / В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев, А.М. Аюбов [и др.] // *Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. – № 11. – С. 23–25.*

60. Надикто В. Комбіновані агрегати перед рушієм / В. Надикто // *FARMER. – 2010. – №6. – С. 80-82.*

61. Надикто В. Нові комбінації МТА / В. Надикто, В. Кюрчев, В. Аносов // FARMER. – 2014. – №8. – С. 92-93.
62. Кюрчев В. Новий посівний МТА на основі трактора серії ХТЗ-160 / В. Кюрчев // Техніка і технології АПК: науково-виробничий журнал. – 2010. – №12. – С. 9-12.
63. Кюрчев В. Ґрунтообробні агрегати на основі тракторів ХТЗ / В. Кюрчев, В. Надикто // Пропозиція. – 2007. – № 10. – С. 84-95.
64. Надикто В.Т. Агрегаты на основе трактора ХТЗ-120 / В.Т. Надикто, Ю.К. Шаповалов, Н.Г. Амелин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2000. – № 8. – С. 12-13.
65. Кистечок А.Д. Исследование тягово-энергетических и агротехнических показателей работы пахотного агрегата по схеме “push-pull” / А.Д. Кистечок, В.Т. Надикто // Агропанорама (Беларусь), 2016, №5 (117). – С. 2-6.
66. Бондар С.М. Моделювання комплексів машин для основного обробітку ґрунту в системі сівозмін: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.05.11 / С.М. Бондар; УААН. Нац. наук. центр “Ін-т механізації та електрифікації сільськ. госп.” (ННЦ “ІМЕСГ”). – Глеваха, 2005. – 22 с.
67. Василенко П.М. Введение в земледельческую механику / П.М. Василенко. – К.: Сельхозобразование, 1996. – 252 с.
68. Василенко П.М. Методика построения расчетных моделей функционирования механических систем (машин и машинных агрегатов). Учебное пособие / П.М. Василенко, В.П. Василенко. – К.: УСХА, 1980. – 137 с.
69. Чудаков Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / Д.А. Чудаков. – М.: Колос, 1976. – 384 с.
70. Пожидаев С.П. Дослідження точності руху просапного агрегату на базі трактора Т-150К / С.П. Пожидаєв, Г.В. Шкарівський // Механізація та електрифікація сільського господарства. – К., 1992. – Вип. 75. – С. 12-16.
71. Гуськов В.В. Оптимальные параметры сельскохозяйственных тракторов // В.В. Гуськов – М.: Машиностроение, 1996. – 194 с.

72. Фаробин А.Я. Теория поворота транспортных машин / А.Я. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1970. – 174 с.

73. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г.М. Кутьков. – М.: КолоС, 2004. – 504 с.

74. Гячев Л.В. Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов / Л.В. Гячев. – М.: Машиностроение, 1981. – 206 с.

75. Баев И.В. Обоснование параметров агрегатирования и режима движения трехмашинных полунавесных агрегатов с трактором Т-150К на посевах и на междурядной обработке пропашных культур: автореф. дис... на соиск. уч. степ. канд. техн. наук / И.В. Баев. – Харьков, ХИМЭСХ, 1989. – 20 с.

76. Лебедев А.Т. Обеспечение устойчивости движения и управляемости шарнирно-сочлененных тракторов в составе МТА / А.Т. Лебедев, О.В. Щербак, Н.П. Артемов // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України – смт. Дослідницьке, 2003. – Вип. 6(20). – С. 349-355.

77. Лебедев А.Т. Тяговый КПД трактора при неравномерном распределении реакций между колесами / А.Т. Лебедев, Н.П. Артемов, А.А. Гриненко // Тракторна енергетика в рослинництві. Вісник ХДТУСГ. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – Вип. 6. – С. 49-56.

78. Бойко М.Ф. До розробки математичної моделі стійкості руху трактора з шарнірно з'єднаною рамою при нерівномірному розподілу навантажень на колесах / М.Ф. Бойко, М.П. Артёмов // Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХДТУСГ. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – Вип. 20. – С. 28-31.

79. Кухтов В.Г. Методика оценки нагруженности и оптимизация конструкции корпуса шарнирного сочленения трактора Т-150К / В.Г. Кухтов, О.В. Щербак, Н.П. Артемов [и др.] // Совершенствование машин для земляных и дорожных работ. Сб. науч. труд. ХНАДУ. – Харьков: ХНАДУ, 2003. – Вып. 11. – С. 72-76.

80. Шабельник Б.П. До методики розрахунку шляху машино-тракторного агрегату при криволінійному русі порівняно з прямолінійним / Б.П. Шабельник,

М.П. Артёмов // Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні. Вісник ХДТУСГ. – Харків.: ХДТУСГ, 2004. – Вип. 24 – С. 314-319.

81. Бойко Н.Ф. К вопросу влияния внешних сил на устойчивость движения шарнирно-сочлененного трактора в составе пахотного агрегата / Н.Ф. Бойко, Н.П. Артемов // Сб. науч. труд. Вестник ХНАДУ. – Харьков: ХНАДУ, 2004 – Вып. 27. – С. 35-38.

82. Булгаков В.М. Теорія руху льонозбиральних комбайнів. Монографія / В.М. Булгаков, А.Ю. Горбовий. – Львів: Видавництво ЛВЦНТІ, 2007. – 115 с.

83. Адамчук В.В. Механіко-технологічні і технічні основи підвищення ефективності внесення твердих мінеральних добрив та хімеліорантів: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.05.11 / В.В. Адамчук; Нац. аграр. ун-т. – К., 2006. – 40 с.

84. Адамчук В.В. Модель диференційованого розсіювання мінеральних добрив / В.В. Адамчук // Зб. наук. праць Національного аграрного університету: Механізація сільськогосподарського виробництва. – К.: НАУ, 2002. – Т. XI. – С. 66-75.

85. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин: учеб. для студентов машиностроительных спец. вузов / Г.А. Смирнов. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.

86. Маршалов Э.С. Моделирование движения МТА в составе автотракторной машины и фронтально навесного культиватора / Э.С. Маршалов // Совершенствование систем автомобилей, тракторов и агрегатов: Материалы II Международной конференции: Академия транспорта РФ, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. – С. 93-96.

87. Алешин Б.С. Ориентация и навигация подвижных объектов / Б.С. Алешин, К.К. Веремеенко, А.И. Черноморский. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 424 с.

88. Popp K. Ground Vehicle Dynamics / Karl Popp and Werner Schiehlen. – Springer, 2010. – 353 p.

89. Wong J.Y. Theory of ground vehicles / J.Y. Wong. – 3rd ed. – John Wiley & Sons, Inc., 2001. – 558 p.
90. Rajamani R. Vehicle dynamics and control / Rajesh Rajamani. – Springer, 2006. – 485 p.
91. Taylor J.H. Benefits of permanent traffic lanes in a controlled traffic crop production system / J.H. Taylor // Soil and Tillage Research, v. 3., 1983. – p.p. 385-395.
92. Tullberg J.N. Wheel traffic effects on tillage draft / J.N. Tullberg // Journal of Agricultural Engineering Research, v. 75, 2000. – p.p. 375-382.
93. Tullberg J.N. Tillage and traffic effects on runoff / Tullberg J.N., Ziebarth P.J. // Australian Journal of Soil Research, v. 39(2), 2001. – p. 249-257.
94. Williford J.R., 1980. A controlled-traffic system for cotton production // Transactions of the ASAE, v. 23, p.p. 65-70.
95. Артёмов М.П. Щодо впливу зовнішніх сил на динаміку руху комбінованих сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів / М.П. Артёмов // Харків: Вісник ХНТУСГ. Тракторна енергетика в рослинництві. – 2007. – Випуск 60. – С. 32-40.
96. Лебедев А.Т. Математична модель руху комбінованого посівного агрегату в складі трактора ХТЗ-150К-09 та сівалки прямої сівби АПП-6 при впливі оператора на рульове керування / А.Т. Лебедев, Р.В. Антощенко // Системи обробки інформації – Х.: ХУПС, 2009. – Вип. 3 (77). – С. 135-138.
97. Лебедев А.Т. Математична модель руху комбінованого посівного агрегату в складі трактора ХТЗ-150К-09 та сівалки прямої сівби АПП-6 при прямолінійному русі першої піврами трактора / А.Т. Лебедев, Р.В. Антощенко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАУ, 2009. – Вип. 9, том 1. – С. 151-157.
98. Надыкто В.Т. Основы агрегатирования модульных энергетических средств. Монография / В.Т. Надыкто. – Мелітополь: КП “ММД”, 2003. – 240 с.

99. Надикто В.Т. Дослідження динамічної поворотності двомашинного МТА / В.Т. Надикто, В.М. Масалабов // Науковий вісник ТДАТУ, 2012. – Вип. 2, Том 3. – С. 15-26.

100. Чорна Т.С. Математична модель асиметричного просапного агрегату / Т.С. Чорна // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Вип. 8, т. 2 – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – С. 136-146.

101. Чорна Т.С. Аналіз динаміки горизонтальних коливань асиметричних просапних агрегатів / Т.С. Чорна // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Вип. 9, т. 4. – Мелітополь: ТДАТУ. – 2009. – С. 139-145.

102. Антощенко В.Н. К вопросу построения математической модели комбинированного машинно-тракторного агрегата / В.Н. Антощенко, Р.В. Антощенко // Тракторная энергетика в растениеводстве: Сб. научн. тр. – Х.: ХГТУСХ, 2003. – Вып. 6. – С. 80-85.

103. Антощенко Р.В. Енергетичний коефіцієнт корисної дії мобільного енергетичного засобу в складі комбінованого сільськогосподарського агрегату / Р.В. Антощенко // Весник Национального технического университета “ХПИ”: Тематический выпуск “Автомобиле- и тракторостроение”. - Харьков, 2007. – Вып. 12. – С. 39-44.

104. Антощенко В.М. Методика визначення енерговитрат машино-тракторного агрегату / В.М. Антощенко, Р.В. Антощенко // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ. – Х.: ХНТУСГ. – 2008. – Вип. 75, т. 1. – С. 264-269.

105. Антощенко Р.В. Аналіз навігаційних пристроїв як систем автоматичного напрямку руху машинно-тракторного агрегату при використанні у системі точного землеробства / Р.В. Антощенко // Системи управління, навігації та зв'язку – К: ЦНДІ НУ, 2008. – Вип. 3 (7). – С. 24-26.

106. Антощенко Р.В. Експериментальні дослідження комбінованого посівного агрегату в складі трактора ХТЗ-150К-09 та сівалки прямої сівби АПП-6 / Р.В. Антощенко // Технічний сервіс АПК, техніка та технології у

сільськогосподарському машинобудуванні: Зб. наук. пр. ХНТУСГ, Харків, 2009. – Вип. 76. – С. 335-339.

107. Баранов Г.Л. Аналітичне моделювання для стабілізації руху на полі сільськогосподарських широкозахватних агрегатів / Г.Л. Баранов, Р.В. Мельник // “Комп’ютерні системи та мережні технології”, Збірник наукових праць Національного авіаційного університету. – Київ, 2008. – С. 37-43.

108. Мельник Р.В. Аналітичні критерії стабілізації збуреного руху сільськогосподарських широкозахватних агрегатів на полі / Р.В. Мельник, Г.Л. Баранов, В.А. Вольський // Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету, 2008. – С. 46-51.

109. Присяжнюк М.В. Особливості проведення весняно-польових робіт в зоні степу в 2012 році / М.В. Присяжнюк [та ін.]. – Дніпропетровськ: ДУ ІСГСЗ НААН України, 2012. – 111 с.

110. Лихочвор В. Система удобрення озимої пшениці / В. Лихочвор // Агробізнес сьогодні. – 2014. – №7(278). – С. 24-57.

111. Василенко П.М. Введение в земледельческую механику / П.М. Василенко. – К.: Сельхозобразование, 1996. – 252 с.

112. Василенко П.М. Об уравнениях движения мобильных машинных агрегатов. Сборник трудов по земледельческой механике. Том II / П.М. Василенко. – М.: Сельхозгиз, 1952. – С. 76-84.

113. Василенко П.М. Элементы теории устойчивости движения прицепных сельскохозяйственных машин и орудий. Сборник трудов по земледельческой механике. Том II / П.М. Василенко. – М.: Сельхозгиз, 1954 – С. 202-211.

114. Василенко П.М. Методика построения расчетных моделей функционирования механических систем (машин и машинных агрегатов). Учебное пособие / П.М. Василенко, В.П. Василенко. – К.: УСХА, 1980. – 137 с.

115. Солодовников В.В. Основы теории и элементов систем автоматического регулирования. Учебное пособие для вузов / В.В. Солодовников, В.Н. Плотников, А.В. Яковлев. – М.: Машиностроение, 1985. – 536 с.

116. Габай Е.В. Математическая модель и анализ качества управления направлением движения МТА с рассредоточенными по ширине захвата активными колесами / Е.В. Габай. – В сб.: Научные основы создания мобильных энерготехнологических средств (МЭС). Труды НАТИ. М., 1983. – С. 38-42.

117. Иофинов С.А. Справочник по эксплуатации машинно-тракторного парка / С.А. Иофинов, Э.П. Бабенко // – М.: Агропромиздат, 1986. – 272 с.

118. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условиях / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова // – М.: Наука, 1976. – 279 с.

119. Белый И.В. Основы научных исследований и технического творчества / И.В. Белый, К.П. Власов, В.Б. Клепиков // – Х.: Вища школа. Изд. при Харьковском университете, 1989. – 200 с.

120. Булгаков В.М. Основы научных исследований / В.М. Булгаков, Д.Г. Войтюк, В.Ф. Бабицкий // – К.: Видавництво НАУ, 1999. – 326 с.

121. Василенко П.М. Основы научных исследований. (Механизация сельского хозяйства) / П.М. Василенко, Л.В. Погорельый // К.: Вища школа, 1985. – 266 с.

122. Веденяпин С.В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных / С.В. Веденяпин // М., Колос, 1967. – 159 с.

123. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский // – М.: Финансы и статистика, 1981. – 520 с.

124. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов // – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

125. Завалишин Ф.С. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства / Ф.С. Завалишин, И.Г. Манцев // – М.: Колос, 1982. – 228 с.

126. Зажигаев Л.С. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента / Л.С. Зажигаев, А.А. Кишьян // – М.: Атомиздат,

1978. – 154 с.

127. Калоша В.К. Математическая обработка результатов эксперимента / В.К. Калоша, С.И. Лобко // – Минск: Вышэйшая школа, 1982. – 105 с.

128. Ковшов В.Н. Постановка инженерного эксперимента / В.Н. Ковшов // К.-Донецк: Вища школа, 1982. – 120 с.

129. Красовский Г.И. Планирование эксперимента / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов // – Минск: Изд. БГУ им. Ленина, 1982. – 302 с.

130. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников // – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

131. Митков А.Л. Статистические методы в сельхозмашиностроении / А.Л. Митков, С.В. Кардашевский // – М.: Машиностроение, 1978. – 360 с.

132. Хайлис Г.А. О выборе числа повторностей при проведении опытов. / Г.А. Хайлис // – Мех. и электриф. сельского хозяйства, 1980, №7. – с. 52-53.

133. Хайліс Г.А. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навчальний посібник / Г.А. Хайліс, Д.М. Коновалюк // – К.: НМК ВО, 1992. – 320 с.

134. Эксплуатация машинно-тракторного парка: Учебное пособие для с.х. вузов. / Под ред. Ю.В. Будько. – Минск: Ураджай, 1991. – 336 с.

135. Эксплуатация машинно-тракторного парка: Учебное пособие. / Под общ. ред. Р.Ш. Хабатова. – М.: ИНФРА, 1999. – 208 с.

136. Атомян В.М. Исследование свободного истечения и высева семян зерновыми сеялками с катушечными высевающими аппаратами / В.М. Атомян // – Ереван: Изд. Главного управления с.-х. наук МСХ Арм. ССР, 1960. – 164 с.

137. Степук Л. Исследование катушечного высевающего аппарата для внесения минеральных удобрений / Л. Степук, Э. Дыба, П. Бегун, В. Микульский // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2016. – Вип. 20 (34). – С. 191-202.

ДОДАТКИ

ЗАТВЕРДЖУЮ

директор Національного наукового
 центру «Інститут механізації та
 електрифікації сільського
 господарства»



Грека В.Й., академік НААН

В.В. Адамчук
 01 2017 р.

АКТ

**виробничої перевірки причіпного комбінованого удобрювально-
 посівного машинно-тракторного агрегату**

1. Найменування НДР, поставленої на виробничу перевірку: «Причіпний комбінований удобрювально-посівний машинно-тракторний агрегат».

2. Місце проведення перевірки: Київська область, Фастівський район, с. Оленівка, ДПДГ «Оленівське» Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства».

3. Відповідальні за проведення виробничої перевірки: директор ДПДГ «Оленівське» Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Грек В.Й., завідувач Відділу механізації обробітку ґрунту та сівби сільськогосподарських культур, к.т.н., ст. наук. спів. Насонов В.А., відповідальний виконавець теми, к.т.н., ст. наук. спів. Говоров О.Ф. та аспірант Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Петриченко Є.А.

4. Умови проведення перевірки:

- вид виконуваної роботи – посів зернових з одночасним внесенням мінеральних добрив;
- агротехнічний фон – поле, підготовлене під посів;
- тип ґрунту – темно-каштановий, залишково-солонцюватий;
- щільність ґрунту, г/см³: 1,25...1,33;
- наявність стерні, г/м²: 60...80.

5. Об'єм виробничої перевірки: площа посіву становила 120 га.

6. Строки проведення перевірки: перша декада березня 2016 р.

7. Методика виробничої перевірки: визначення експлуатаційно-технологічних показників комбінованого агрегату для внутрішньоґрунтового

мінерального удобрення з одночасною сівбою зернових культур на основі оброблення та аналізу даних хронометражних спостережень за його роботою.

8.3 яким контролем проводили порівняння результатів перевірки: експлуатаційно-технологічні показники нового причіпного комбінованого посівного агрегату порівнювали з аналогічними одноопераційними агрегатами на основі цього ж трактора із сільськогосподарською машиною для внесення мінеральних добрив і зерновою сівалкою.

9. Результати обліку, які характеризують ефективність перевіреної НДР у порівнянні з контролем:

Результати польових випробувань показали, що у порівнянні з одно операційними агрегатами витрати праці на посів з одночасним внесенням мінеральних добрив новим причіпним комбінованим агрегатом є меншими у 1,80...1,85 рази, економія витрат палива становила 20...22%, а прямих витрат – 18%. Порушень безпеки праці новим причіпним комбінованим посівним агрегатом не було. Якісні показники його роботи не виходили за межі агротехнічних вимог.

У цілому виробничі випробування підтвердили технічну здійсненність і техніко-економічну доцільність застосування нового комбінованого агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення з одночасною сівбою зернових культур.



В.Й. Грек

В.А. Насонов

О.Ф. Говоров

Є.А. Петриченко



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **110432** (13) **C2**

(51) МПК (2015.01)

A01C 21/00**A01B 49/06** (2006.01)**A01C 7/06** (2006.01)**A01B 63/14** (2006.01)**A01B 59/042** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2014 08883</p> <p>(22) Дата подання заявки: 06.08.2014</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.12.2015</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 25.12.2014, Бюл.№ 24</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.12.2015, Бюл.№ 24</p>	<p>(72) Винахідник(и): Адамчук Валерій Васильович (UA), Насонов Василь Андрійович (UA), Говоров Олександр Федорович (UA), Петриченко Євгеній Анатолійович (UA), Мойсесенко Володимир Костянтинівич (UA)</p> <p>(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР "ІНСТИТУТ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА" НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ, вул. Вокзальна, 11, смт Глеваха, Васильківський р-н, Київська обл., 08631 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: RU 2293461 C1, 20.02.2007 CA 2357767 A1, 05.03.2003 DE 19806769 A1, 19.08.1999 SU 1547727 A1, 07.03.1990 CN 2427951 Y, 02.05.2001 GB 1406241 A, 17.09.1975 FR 2521816 A1, 26.08.1983 Сисолін П.В., Сало В.М., Кропивний В.М. Сільськогосподарські машини. К.: Урожай. – 2001. Лурье А.Б., Гусинцев Ф.Г., Давидсон Е.И. Сельскохозяйственные машины. – ?.: Колос. – 1976.</p>
--	--

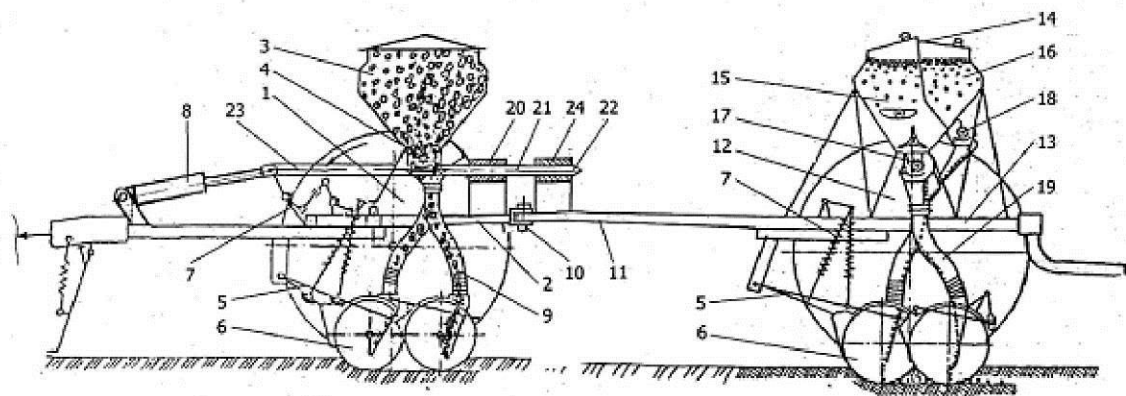
UA 110432 C2

(54) АГРЕГАТ ДЛЯ ВНУТРІШНЬОҐРУНТОВОГО КОМПЛЕКСНОГО МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ ҐРУНТУ З ОДНОЧАСНОЮ СІВБОЮ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР**(57) Реферат:**

Винахід належить до сільськогосподарського машинобудування.

Заявлений агрегат для внутрішньоґрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту одночасно з сівбою сільськогосподарських культур включає сівалку з сошниками для внесення у ґрунт основної дози мінеральних добрив і сівалку сільськогосподарських культур з пристроєм для внесення у ґрунт стартової дози мінеральних добрив. Сівалка сільськогосподарських культур приєднана до рами сівалки для внесення добрив сницею з вертикальним шарніром, вісь якого розміщена на відстані, що дорівнює половині ширини міжряддя, створеного суміжними сошниками сівалки для внесення добрив, від середньої лінії, що проходить

паралельно до напрямку робочого руху агрегату і рівновіддалена від крайніх сошників сівалки для внесення добрив. До рами сівалки для внесення добрив нерухомо закріплений направляючий елемент з отвором, вісь котрого паралельна до середньої лінії і перетинається з віссю вертикального шарніра. В отворі направляючого елемента встановлений блокуючий повзун, який штангою кінематично з'єднаний з механізмом підйому сошників сівалки для внесення добрив. До сніці сівалки сільськогосподарських культур нерухомо закріплений фіксуєчий елемент з отвором, ідентичним отвору направляючого елемента і співвісного з ним в робочому стані агрегату. Застосування винаходу дозволяє вносити насіння посередині міжрядь внесеної у ґрунт основної дози мінеральних добрив.



Фіг. 1

Винахід належить до галузі сільськогосподарського машинобудування і може використовуватись при створенні машин для комплексного внутрішньогрунтового внесення мінеральних добрив з одночасною сівбою сільськогосподарських культур.

5 Відоме обладнання для комплексного мінерального удобрення ґрунту, яке включає відцентрову машину для поверхневого удобрення ґрунту, наприклад, 1РМГ-4, і важкі борони або культиватор [кн. Лурье А.Б., Гусинцев Ф.Г., Давидсон Е.И. Сельскохозяйственные машины. - М.: Колос, 1976. - С. 77-79, 85-88].

При роботі такого обладнання відцентровою машиною розсівається по поверхні поля повний комплекс мінеральних добрив, які загортаються у ґрунт важкими боронами або культиватором.

10 Недоліком такого обладнання є те, що мінеральні добрива розсіваються по поверхні поля недостатньо рівномірно, а також загортаються у ґрунт на різну і недостатню глибину. Тому при проростанні насіння на таким чином удобреному полі паростки рослин недостатньо забезпечуються поживними речовинами, що обумовлює уповільнення їх росту і розвитку та зниження зимостійкості. Крім того, в процесі вегетації рослин верхній шар ґрунту висихає, а

15 тому мінеральні добрива, що знаходяться у цьому шарі не розчиняються і не використовуються рослинами, що знижує ефективність удобрення ґрунту.

Відоме також обладнання для комплексного мінерального удобрення ґрунту і сівби сільськогосподарських культур, яке включає сівалку для поверхневого розсівання основної дози мінеральних добрив, наприклад РТТ-4,2, важкі борони або культиватор і сівалку з пристроєм

20 для одночасного висіву насіння сільськогосподарських культур та внесення стартової дози мінеральних добрив в рядки сумісно з насінням [кн. Лурье А.Б., Гусинцев Ф.Г., Давидсон Е.И. Сельскохозяйственные машины. - М.: Колос, 1976. - С. 77-85 і кн. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропившій В.М. Сільськогосподарські машини. К.: Урожай. - 2001. - С.257-259].

Використання в цьому обладнанні сівалки для розсівання основної дози мінеральних добрив

25 забезпечує більш рівномірне розподілення основної дози мінеральних добрив по поверхні ґрунту, а використання сівалки сільськогосподарських культур з пристроєм для внесення стартової дози мінеральних добрив в рядки сумісно з насінням забезпечує паростки рослин при проростанні насіння в достатній кількості поживними речовинами, що забезпечує прискорення їх

30 росту і розвитку.

Однак і в цьому випадку значна частина основної дози внесених добрив розміщується вище висіяного насіння, що ускладнює використання їх поживних речовин корінням культурних

35 рослин, які проростають вниз і тому ці поживні речовини використовуються бур'янами. Крім того, в процесі вегетації рослин верхній шар ґрунту висихає і тому частина мінеральних добрив, які знаходяться в ньому не розчиняються і не використовуються взагалі, що знижує ефективність використання основної дози мінеральних добрив.

Відоме також обладнання для комплексного мінерального удобрення ґрунту і сівби сільськогосподарських культур, яке включає сівалку з сошниками для внесення в ґрунт основної

40 маси мінеральних добрив і сівалку сільськогосподарських культур з пристроєм для внесення у ґрунт стартової дози мінеральних добрив [пат. RU 2293461 С1, 20.02.2007].

Це обладнання є найближчим аналогом заявленого винаходу.

Задачею винаходу є агрегат для внутрішньогрунтового комплексного мінерального

45 удобрення ґрунту одночасно з сівбою сільськогосподарських культур, в якому шляхом розміщення у ґрунті основної дози мінеральних добрив нижче одночасно висіяного насіння, тобто в зоні розміщення коріння зернових культур, підвищується ефективність використання основної дози мінеральних добрив.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що в агрегаті для внутрішньогрунтового

50 комплексного мінерального удобрення ґрунту одночасно з сівбою сільськогосподарських культур, який містить сівалку з сошниками для внесення у ґрунт основної дози мінеральних добрив і сівалку сільськогосподарських культур з пристроєм для внесення в ґрунт стартової дози мінеральних добрив, відповідно до винаходу, причіпний пристрій сівалки сільськогосподарських культур приєднаний до рами сівалки для внесення добрив вертикальним шарніром, вісь якого розміщена на віддалі, що дорівнює половині відстані між суміжними сошниками, від середньої лінії, що проходить паралельно до напрямку робочого руху агрегату і

55 рівновіддалена від крайніх сошників сівалки для внесення добрив, а до її рами нерухомо закріплений направляючий елемент з отвором, вісь котрого паралельна до середньої лінії і перетинається з віссю вертикального шарніра, і в отворі направляючого елемента встановлений блокуючий повзун, який штангою кінематично з'єднаний з механізмом підйому сошників сівалки для внесення добрив, а до сніці сівалки сільськогосподарських культур нерухомо закріплений фіксуєючий елемент з отвором, ідентичним отвору направляючого

60 елемента і співвісного з ним в робочому стані агрегату, причому блокуючий повзун

виготовлений із пружного матеріалу, а задній кінець блокуючого повзуна, відносно напрямку руху агрегату, виконаний конічним.

5 Завдяки такому виконанню агрегату для внутрішньоґрунтового комплексного мінерального
удобрення ґрунту одночасно з сівбою сільськогосподарських культур спочатку забезпечується
внесення у ґрунт основної дози мінеральних добрив на більшу глибину (60-150 мм), а потім у
середину міжрядь внесеної основної дози добрив висівається насіння сумісно з стартовою
10 дозою мінеральних добрив на меншу глибину (20-60 мм). При цьому стартова доза мінеральних
добрив забезпечує ефективне живлення паростків зернових культур, що обумовлює їх
прискорений ріст і розвиток, а по мірі росту цих рослин аж до дозрівання урожаю їх коріння
живиться добривами основної дози, які знаходяться на більшій глибині і тому у вологому ґрунті,
що забезпечує їх розчинення і ефективне використання рослинами.

Приклад реалізації винаходу пояснюється кресленнями, де:

15 фіг. 1 - агрегат для внутрішньоґрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту з
одночасною сівбою сільськогосподарських культур (вид збоку);

15 фіг. 2 - агрегат для внутрішньоґрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту
одночасною з сівбою сільськогосподарських культур (вид зверху).

Агрегат для внутрішньоґрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту одночасно
з сівбою сільськогосподарських культур включає сівалку 1 для внесення у ґрунт основної дози
мінеральних добрив, яка містить раму 2, на котрій встановлений бункер 3 для мінеральних
20 добрив з висівними апаратами 4 для їх висівання. До рами 2 на повідцях 5 шарнірно закріплені
сошники 6, обладнані механізмом 7 для підняття їх в транспортне положення, який приводиться
в дію гідроциліндром 8. Висівні апарати 4 струмопроводами 9 сполучені з сошниками 6. До рами
2 сівалки 1 шарніром 10 приєднана сниця 11 сівалки сільськогосподарських культур 12.
Зазначена сівалка 12 включає раму 13, на якій встановлено ящик 14, котрий розділений на два
25 відсіки - відсік 15 для насіння сільськогосподарських культур та відсік 16 для стартової дози
мінеральних добрив. Ці відсіки обладнані висівними апаратами 17 для висівання насіння і 18
для висівання мінеральних добрив. До рами 13 цієї сівалки також повідцями 5 шарнірно
закріплені сошники 6, обладнані механізмом 7 для їх підняття у транспортне положення. При
цьому висівні апарати 17 і 18 з'єднані насіннепроводами 19 з сошниками 6.

30 Вісь шарніра 10 розміщена на віддалі, що дорівнює половині відстані між суміжними
сошниками 6 від середньої лінії, що проходить паралельно до напрямку робочого руху агрегату
і рівновіддалена від крайніх сошників сівалки 1 для внесення основної дози добрив. До рами 2
сівалки 1 нерухомо закріплений направляючий, елемент 20 з отвором, вісь якого паралельна до
середньої лінії і перетинається з віссю вертикального шарніра 10. В отворі направляючого
35 елемента 20 встановлений блокуючий повзун 21, виготовлений із пружного матеріалу, причому
його задній кінець 22, відносно напрямку руху агрегату, виконаний конічним. Повзун 21 штангою
23 кінематично з'єднаний з механізмом підйому 7 сошників 6 сівалки 1 для внесення добрив. До
сниці 11 сівалки сільськогосподарських культур 12 нерухомо закріплений фіксуєчий елемент 24
з отвором, ідентичним отвору направляючого елемента 20 і співвісного з ним в робочому стані
40 агрегату.

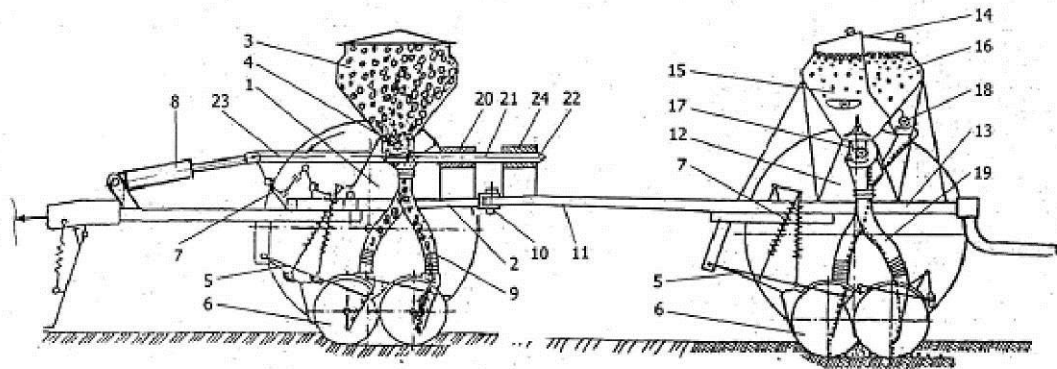
Перед початком роботи агрегату в ящик 3 сівалки 1 завантажуються мінеральні добрива
основної дози їх внесення, а у відсік 15 ящика 14 сівалки 12 завантажуються необхідне насіння
сільськогосподарських культур, а у відсік 16 ящика 14 завантажуються мінеральні добрива
стартової дози.

45 Після цього агрегат заїжджає у загінку і сошники 6 обох сівалок механізмами 7 опускаються
в робоче положення. Одночасно з цим за рахунок кінематичного зв'язку через штангу 23 між
механізмом 7 підйому сошників 6 і повзуном 21, останній переміщується назад відносно
напряму руху агрегату, і повзун 21 заходить у фіксуєчий елемент 24 і шарнір 10 повністю
50 блокується, в результаті чого рама 2 сівалки 1 і рама 13 сівалки 12 з'єднуються як одне
нерухоме ціле. При русі агрегату в загінці спочатку сошниками 6 сівалки 1 в рядки на більшу
глибину (60-150 мм) вноситься основна доза мінеральних добрив, а потім у середину міжрядь
внесеної основної дози добрив висівається сошниками 6 сівалки 12 насіння
сільськогосподарських культур і вноситься стартова доза мінеральних добрив в одні рядки
сумісно з насінням на оптимальну глибину загортання насіння - 20-80 мм (фіг.2). В кінці загінки
55 механізмом 7 сошники 6 піднімаються в транспортне положення і штангою 23 повзун 21
виводиться із фіксуєчого елемента 24, в результаті чого шарнір 10 розблоковується і на
поворотній смузі агрегат робить розворот, при якому сівалки 1 і 12 рухаються по окремих
тракторіях.

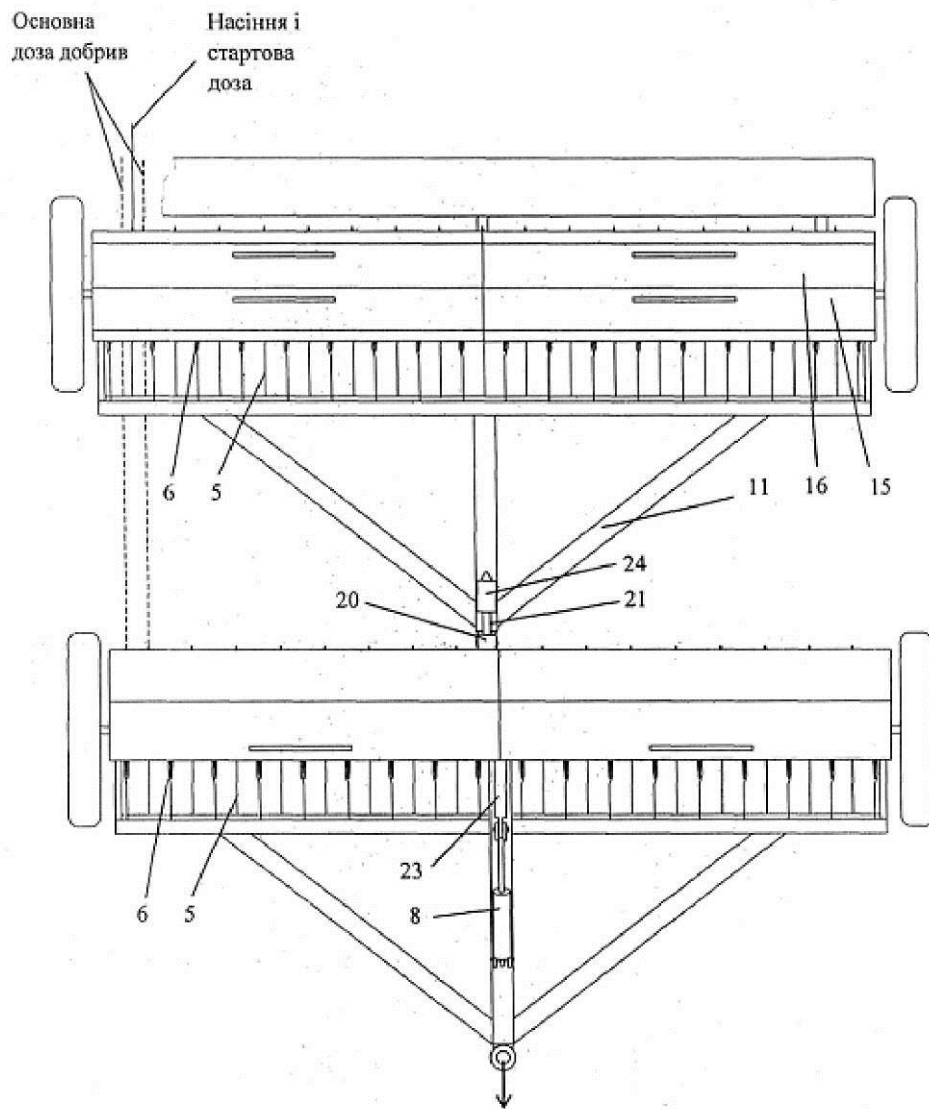
60

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Агрегат для внутрішньоґрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту одночасно з сівбою сільськогосподарських культур, який включає сівалку з сошниками для внесення у ґрунт основної дози мінеральних добрив і сівалку сільськогосподарських культур з пристроєм для внесення у ґрунт стартової дози мінеральних добрив, який **відрізняється** тим, що сівалка сільськогосподарських культур приєднана до рами сівалки для внесення добрив сницею з вертикальним шарніром, вісь якого розміщена на відстані, що дорівнює половині ширини міжряддя, створеного суміжними сошниками сівалки для внесення добрив, від середньої лінії, що проходить паралельно до напрямку робочого руху агрегату і рівновіддалена від крайніх сошників сівалки для внесення добрив, при цьому до рами сівалки для внесення добрив нерухомо закріплений направляючий елемент з отвором, вісь котрого паралельна до середньої лінії і перетинається з віссю вертикального шарніра, а в отворі направляючого елемента встановлений блокуючий повзун, який штангою кінематично з'єднаний з механізмом підйому сошників сівалки для внесення добрив, при цьому до сниці сівалки сільськогосподарських культур нерухомо закріплений фіксуєючий елемент з отвором, ідентичним отвору направляючого елемента і співвісного з ним в робочому стані агрегату.
2. Агрегат за п. 1, який **відрізняється** тим, що блокуючий повзун виготовлений із пружного матеріалу.
3. Агрегат за п. 1, який **відрізняється** тим, що задній кінець блокуючого повзуна, відносно напрямку руху агрегату, виконаний конічним.



Фіг. 1



Фиг. 2

Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ:

1. Адамчук В.В. Дослідження руху комбінованого посівного агрегату з одночасним унесенням мінеральних добрив / В.В. Адамчук, Є.А. Петриченко // Вісник аграрної науки, 2015, № 3. – С. 27-32.

2. Адамчук В.В. Теоретичне дослідження плоскопаралельного руху комбінованого посівного агрегату / В.В. Адамчук, Є.А. Петриченко // Загальнодержавний збірник “Механізація та електрифікація сільського господарства” ННЦ “ІМЕСГ”, Вип. №2 (101), Глеваха, 2015. – С. 13-21.

3. Адамчук В.В. Теорія руху причіпного комбінованого посівного агрегату / В.В. Адамчук, Є.А. Петриченко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. “Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва”, Вип. 163, Харків, 2015. – С. 195-212.

4. Петриченко Є.А. Розробка конструктивно-технологічної схеми агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення з одночасною сівбою зернових культур / Є.А. Петриченко // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2016. – вип. 6, Том 3. – С. 178-184.

5. Петриченко Є.А. Дослідження агрегату для внутрішньогрунтового мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою / Є.А. Петриченко // Вісник аграрної науки, 2017, № 1. – С. 68-71.

6. Петриченко Є.А. Результати експериментальних досліджень нового комбінованого машинно-тракторного агрегату / Є.А. Петриченко // Всеукраїнський науково-технічний журнал: Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця, 2017, Випуск 1 (96). – С. 24-29.

7. Петриченко Є.А. Експериментальне дослідження показників роботи комбінованого удобрювально-посівного агрегату / Є.А. Петриченко // Вісник аграрної науки, 2017, № 4. – С. 70-73.

8. Beloev Hristo. Theory of movement of the combined seeding unit / Hristo Beloev, Boris Borisov, Valerii Adamchuk, Ivgenii Petrychenko // Agriculture and Agricultural Science Procedia. – Volume 7 (2015) Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture, (Gembloux, Belgium). – p.p. 21-26.

9. Adamchuk V. Study plane-parallel motion movement combined seeding unit / V. Adamchuk, I. Petrychenko, M. Korenko, H. Beloev, B. Borisov // MECHANIZATION IN AGRICULTURE. International scientific, scientific applied and informational journal. Year LXI, ISSN 0861-9638, issue 2/2015, Bulgaria, Sofia. – p.p. 3-6.

10. Патент України №110432, МПК А01С 21/00. Агрегат для внутрішньогрунтового комплексного мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою сільськогосподарських культур / В.В. Адамчук, В.А. Насонов, О.Ф. Говоров, Є.А. Петриченко, В.К. Мойсеєко. – а 201408883; заявл. 06.08.2014; опубл. 25.12.2015. – Бюл. № 24.

11. Герук С.Н. Анализ конструкций агрегатов для предпосевной обработки почвы и посева / С.Н. Герук, Е.А. Петриченко // Материалы Международной научно-технической конференции “Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве”, (Минск, 22-23 октября 2014 г.), Том 2. – Минск, НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2014. – С. 147-152.

12. Adamchuk Valerii. Study of plane-parallel motion of machine combination / Valerii Adamchuk, Ievgenii Petrychenko, Jüri Olt, Alexander Liyvapuu // Proceedings of the 3rd International Conference “Optimization and Analysis of Structures” III. Tartu, Estonia, August 23-25, 2015. Editors: J. Lellep, E. Puman. – p.p. 10-16.

13. Петриченко Є.А. Математична модель плоскопаралельного руху комбінованого посівного та удобрювального машинно-тракторного агрегату / Є.А. Петриченко // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції

“Підготовка ґрунту в системі ресурсозберігаючих технологій”. – Кіровоград: КНТУ, 2016. – С. 34-35.

14. Петриченко Є.А. Польові випробування агрегату для комбінованого мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою/ Є.А. Петриченко // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції за результатами досліджень 2015 року “Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК”. – Мелітополь: ТДАТУ, 2016. – С. 131-132.

15. Петриченко Є.А. Експериментальні дослідження нового агрегату для комбінованого мінерального удобрення ґрунту з одночасною сівбою / Є.А. Петриченко // Тези доповідей Національного університету біоресурсів і природокористування України. – Київ: НУБіП, 2017. – С. 24-25.

ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ:

1. Міжнародні науково-технічні конференції “Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві” (2014-2016 рр., смт. Глеваха, ННЦ “ІМЕСГ”) – доповіді на секціях;

2. 5th International Conference on “Biosystems Engineering 2014” (Tartu, Estonia, 8-9 May, 2014) – доповідь на секції конференції;

3. Международная научно-техническая конференция “Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве” (г. Минск, Беларусь, 22-23 октября 2014 г.) – доповідь співавтора на секції конференції;

4. Ювілейна науково-практична конференція “Технічний прогрес в АПК” (Харків, ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 19 березня 2015 р.) – доповідь на секції конференції;

5. III International scientific and technical congress “AGRICULTURAL MACHINERY” (Varna, Bulgaria, 22-25. 06. 2015) – стендова доповідь;

6. 3th International Conference “Optimization and Analysis of Structures” OAS 2015 (Tartu, Estonia, 23-25 August, 2015) – доповідь зроблена співавтором на пленарному засіданні конференції;

7. 7th International Scientific Symposium on Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture (Gembloux, Belgium, 25-27 November 2015) – доповідь зроблена співавтором на секційному засіданні конференції;

8. Міжнародна науково-практична конференція “Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК” (м. Мелітополь, ТДАТУ, 14-25 квітня 2016 р.) – доповідь на секційному засіданні конференції;

9. Всеукраїнська науково-практична конференція “Підготовка ґрунту в системі ресурсозберігаючих технологій” (м. Кропивницький, КНТУ, 3-4 листопада 2016 р.) – доповідь зроблена на секційному засіданні конференції;

10. Всеукраїнська науково-технічна конференція “Сучасні аспекти розвитку техніки, енергетики та транспорту в АПК” (м. Вінниця, ВНАУ, 23-24 березня 2017 р.) – доповідь зроблена на пленарному засіданні конференції;

11. Наукова конференція викладачів та аспірантів Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ, 29 березня 2017 р.) – доповідь зроблена на засіданні конференції;

12. В повному обсязі дисертаційна робота обговорена та схвалена на розширеному засіданні відділів механізації обробітку ґрунту та сівби сільськогосподарських культур і науково-технічного забезпечення застосування добрив та засобів захисту рослин Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» 30 березня 2017 р.