

Nikita Matlakh

Junior Academy of Sciences of Ukraine Kirovograd Region, Kropyvnytskyi, Ukraine

Dmytro Trushakov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Kozlovskiy**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Marianna Fedotova**, PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Creation of a Multi-section Water Purification Filter With Automated Control of Membrane Pollution

The article is devoted to the creation of a multi-section water purification filter, which can be made by hand at home. At the same time it is necessary to apply in the filter the automated control of pollution of membranes in sections of the filter. The main purpose of the study is to develop a simple and cheap multi-section filter for drinking water purification.

The filter must have different cleaning technologies with the possibility of its own manufacture and with the possibility of automated control of membrane contamination. The task of the research is to develop and manufacture a working model of a multi-section filter for drinking water purification. The design of the filter should be multi-section with membranes containing various fillers for water purification; simple and cheap to make at home. The design of the filter should provide for automated control of the degree of contamination of the membranes in the filter sections. By analyzing the existing common household water filters, the most optimal solution for developing your own design of a household water filter has been determined. As a result of the analysis, a working model of a three-section water filter was created. The first section of the filter contains a membrane with quartz sand, the second section contains a membrane with activated carbon powder, the third section contains a membrane with small pieces of shungite (or with small pieces of silicon). As a result of an experimental study of the filtration of contaminated water using a three-section filter was determined next. The weight of water after passing through the filter decreases due to the retention of substances with a density greater than that of water (solid impurities). Also, the filtered water became clear and stopped foaming when shaken. This confirms the efficiency of the proposed filter.

The developed three-section filter can be used as a separate stand-alone water filter or in addition with household polypropylene water filters for quality filtration of impurities up to 1 micrometer.

water filter, filter membrane, automated control of filter membrane contamination

Одержано (Received) 05.10.2022

Прорецензовано (Reviewed) 24.11.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022

УДК 681.17; 681.5.015

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.177-189>

В.О. Кондратець, проф., докт. техн. наук, **Ю.М. Пархоменко**, доц., канд. техн. наук, **М.Д. Пархоменко**, доц., **А.Р. Бокій**, асп.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: parhomenkoym@ukr.net

Теоретичне обґрунтування типу променевих перетворювачів при ідентифікації зернового потоку

Стаття присвячена теоретичному обґрунтуванню типу променевих перетворювачів при ідентифікації зернового потоку у сівалках. Розглянуто умови роботи променевих перетворювачів у процесі висівання зернових культур, види і характеристики таких перетворювачів. Показано, що найкращими характеристиками володіють оптопари, створені на базі незалежних джерела і приймача інфрачервоного випромінювання у вигляді кремнієвих діодів, що працюють у діапазоні 0,75...1,1 мкм. **променеві перетворювачі, оптопари, ідентифікація зернового потоку, інфрачервоне випромінювання**

© В.О. Кондратець, Ю.М. Пархоменко, М.Д. Пархоменко, А.Р. Бокій, 2022

Постановка проблеми. Україна, посідаючи ведучі місця у виробництві зерна, в останні роки послаблює свої позиції на світовому ринку [1]. Нині не здійснюється у повному обсязі передбачений законодавством України напрямок реалізації ресурсозберігаючих технологій в енергетиці, промисловості та аграрному комплексі. Однією з причин зниження виробничих показників у зерновому господарстві є недосконалість проведення сівби, що, зокрема, зв'язано з відсутністю надійних і якісних засобів контролю потоку насіння.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Задачу автоматичного контролю потоку насіння у зернових сівалках у різні роки розв'язували Л.В. Аніскевич, Є.А. Беляєв, Г.М. Бузенков, П.М. Василенко, С.В. Кардашевський, Г.Т. Клейман, М.Г. Кінкер, В.В. Логін, О.О. Лук'яненко, М.Д. Пархоменко, В.К. Хорошенко та інші, однак вибір типів променевих перетворювачів оптичних пристроїв реєстрації особливо не обґрунтовувався. Враховуючи, що дана публікація спрямована на реалізацію засобів контролю при висіванні зернових культур, її тема є актуальною. Вона направлена на здійснення програми "Технічні засоби нового покоління для сільськогосподарського виробництва", включеної до переліку Державних цільових наукових та науково-технічних програм, визначених законом України "Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки", а також є складовою частиною результатів наукових досліджень за темою "Система комп'ютерної ідентифікації технологічного процесу висіву насіння зерновими сівалками" (0107U005469), що включена до тематичного плану Центральноукраїнського національного технічного університету.

Постановка завдання. Метою даної публікації є теоретичне обґрунтування типу променевих перетворювачів в пристроях ідентифікації зернового потоку, що формується висівними апаратами сівалок, для підвищення їх дозволяючої здатності та якості реєстрації дискретних об'єктів в потоці.

Виклад основного матеріалу. Сучасні системи контролю висіву (СКВ) такі як: «RECORD» (розроблена відділом досліджень та розвитку компанії «Трак», Україна, м. Херсон) [2], «MONADA» (ООО НПФ Монада, Україна, м. Херсон) [3], «ФАКТ» (ЧП «Руденко», Україна, м. Полтава) [4] комплектуються, з однієї сторони, бортовими системами збирання, обробки та відображення інформації, а з іншої – комплексом датчиків призначених для реєстрації параметрів процесу висіву і придатних для встановлення на різні типи вітчизняних та зарубіжних сівалок. Незважаючи на різнобічність апаратної реалізації бортових СКВ (різні типи мікроконтролерів, елементів спряження, відображення інформації тощо) і прив'язаного до неї програмного забезпечення, в цілому вони надають механізатору майже однотипну інформацію про: проходження насіння по висівним патрубкам; забивання або відсутність висіву в патрубок із зазначенням його номера; величину інтенсивності зернового потоку (для суцільного висіву); кількість "двійників" (в %), "пропусків" (в %) та норму висіву (в шт./п.м.) для сівалок точного висіву; рівень насіння і добрив у бункерах; швидкість руху сівалки (км/год); пройдений шлях (км); засіяну площу (га) тощо. Функціональні можливості бортової системи можна безперервно вдосконалювати, шляхом внесення змін в програмне забезпечення або апаратну реалізацію на більш сучасних мікроконтролерах. В недалекому майбутньому бортову систему може замінити багатофункціональний бортовий комп'ютер.

Особливо проблемними компонентами СКВ є датчики – реєстратори зернин в потоці. Темпи їх вдосконалення є більш тривалими, а шляхи – складнішими. На сьогодні в СКВ використовуються в основному ємнісні і оптичні датчики. За своєю фізичною природою ємнісні датчики є пристроями об'ємної дії – реагують на зміну діелектричної проникності пролітаючими між обкладинками конденсатора зернинами.

Швидкими темпами іде впровадження оптичних датчиків об'ємної дії, які реагують на зміну інтенсивності світлового потоку на вході фотоприймача при перетині насінинами площини контролю. Вказані датчики успішно контролюють наявність зернового потоку (з метою своєчасного виключення просівів при його зупинці) та, з відносною долею похибки, забезпечують оцінку якості сівби в сівалках точного висіву. Пристрої реєстрації об'ємної дії не придатні для розпізнавання зернин в потоці які одночасно перетинають площину його контролю, в тому числі і частину зерен–двійників просапних культур, число яких досягає 12%. Для забезпечення якості сівби необхідно мати такі пристрої реєстрації, які б ідентифікували кожен зернин в потоці і надавали достовірну інформацію про їх кількість та розподіл до засобів керування процесом висіву. Означеним вимогам відповідає запропонований в роботі принцип побудови пристрою реєстрації, який дозволяє ідентифікувати розділені зерна не лише вздовж руху потоку, але й такі, що паралельно перетинають площину контролю датчика [5].

Дослідженнями встановлено, що поштучну ідентифікацію окремих зернин в потоці можна здійснювати з високою ефективністю двома взаємно перпендикулярно розташованими системами “випромінювач-приймач”, шляхом сканування вздовж координат X, Y променів певної фізичної природи, які слід конструктивно виконувати у вигляді прямокутної рамки. При проведенні досліджень використовувалася реєструюча рамка розміром 50X100 мм. Для забезпечення необхідної дозволяючої здатності при ідентифікації об'єктів діаметром $d \geq 2\text{мм}$ по одному виміру було конструктивно розміщено 48 оптронних пар (ОП) “випромінювач-приймач”, а по іншому 16 ОП. Розмір рамки, кількість і діаметр променів визначаються конструктивними параметрами площини реєстрації датчика та геометричними розмірами зернин - об'єктів реєстрації. Порушення потоку енергії від джерела випромінювання до приймача слугує сигналом про знаходження об'єкту в площині реєстрації. Аналіз інформації, яка рядок за рядком поступає з виходів променевого перетворювачів, розміщених вздовж координат X, Y , в мікропроцесорну систему обробки даних дозволяє ідентифікувати кожен зернин в загальному потоці дискретних об'єктів. Акцентуємо увагу на тому, що принцип роботи системи з лінійок ОП базується на перериванні об'єктами оптичних променів, а не на відображенні їх від об'єктів. Незалежно від місця перетину об'єктом площини контролю, така система забезпечує формування на вході фотоприймачів не викривлені зображення реєстрованих об'єктів, що спрощує їх ідентифікацію [6]. Сканування рядків оптронних пар з заданою частотою ($f \geq 5\text{кГц}$) повинно бути неперервним. Навіть часткова втрата інформації приведе до похибки ідентифікації. В процесі проведення дослідно-конструкторських робіт аналізувалися і інші шляхи побудови датчиків реєстрації дискретних рухомих об'єктів в потоці.

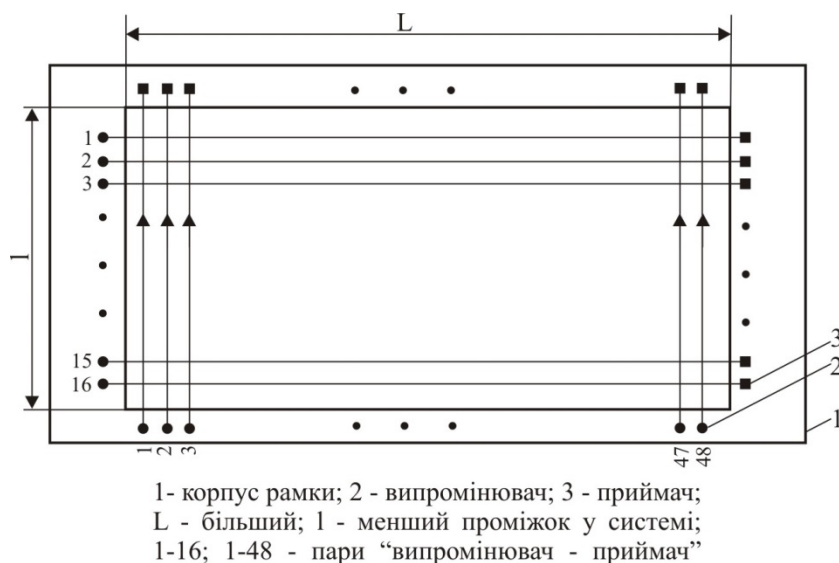


Рисунок 1 – Прямокутна рамка с джерелами випромінювання та приймачами випромінювання
 Джерело: розроблено автором

Формування і аналіз кадрових зображень в пристроях реєстрації потоку зернин виключається, внаслідок ускладнення методики автоматичної ідентифікації об'єктів від кадру до кадру. Замість лінійок ОП в пристрої реєстрації можна використовувати лінійку приладів із зарядним зв'язком (ПЗЗ), а зі сторони випромінювачів – освітлену щілину з матовим склом, яка б виконувала роль екрану (фону) з розсіяним потоком світла. До недоліків цієї конструкції слід віднести: необхідність неперервної підтримки рівня яскравості «білого» фону; не визначена і можливість сканування лінійки ПЗЗ з заданою для реєстрації пролітаючих об'єктів частотою ($f \geq 5\text{кГц}$). При реєстрації відображених променів розміри зображень об'єктів будуть залежати від координат місця перетину ними площини контролю, що ускладнює алгоритм їх ідентифікації.

Обґрунтування типу променевих перетворювачів потребує вивчення умов роботи багатопроменевої системи в посівному агрегаті, характеру впливу на неї сторонніх збурюючих факторів та можливостей використання променевих перетворювачів різних видів випромінювання. Метою даної публікації є теоретичне обґрунтування типу променевих перетворювачів призначених для реєстрації та ідентифікації потоку зернин, що формується висівними апаратами зернових сівалок.

Серед сторонніх збурюючих факторів необхідно відмітити вібрацію та зміну температури навколишнього середовища. Вібрація однаково діє на будь-який тип променевого перетворювача. Якщо рамка з вмонтованими в неї променевими перетворювачами виконана достатньо жорстко і жорстко не зв'язана з корпусними деталями сівалки, то при вібрації вона не деформується і на результати вимірювання це не впливає. Зміна температури навколишнього середовища приводить до певних коливань відстаней між парами "випромінювач-приймач", але їх осі у просторі не зміщуються і це також не впливає на функціонування променевих перетворювачів. Певна зміна густини повітря при цьому також не змінює стан перетворювачів. Сказане не стосується інших збурюючих факторів, серед яких слід розглянути саме випромінювання.

Повітря у зоні роботи сівалки є запиленим і задимленим. Трактор, рухаючись по поверхні сухого ґрунту відриває від нього частинки твердого. Частинки твердого, крім того піднімаються у повітря і рухомими сошниками та вітром. Значна частка пилу

присутня у самому посівному матеріалі і виділяється у будь-яких умовах при посіві безпосередньо у зоні контролю. Запилена повітря являє собою аерозоль, у якому дисперсним середовищем є саме повітря, а дисперсною фазою – тверді частинки пилу різного розміру. Частинки пилу у повітрі можуть знаходитись у зваженому стані впродовж достатньо тривалого часу. Крупність частинок пилу коливається у достатньо широких межах – від 0,001 до 0,1мм. Такі частинки не дифундують у спокійному повітрі і осідають у ньому з сталою швидкістю, підпорядковуючись закону Стокса. Пил володіє властивостями, характерними для аеролоїдних систем: великою поверхнею, здібністю адсорбувати пару з навколишнього середовища. Запиленість повітря визначається вагою частинок твердого у одиниці його об'єму. У процесі посіву створюється вибухобезпечний пил [7].

Задимленість зони посіву утворюється викидними газами двигуна внутрішнього згоряння трактора. Вихлопні гази двигунів відносять до димів. Вони утримують зважені у повітрі тверді частинки розміром 0,1 до 0,001мк.

Крім твердих частинок і доданих газів повітря вміщує пару води. Оскільки водяна пара і повітря за атмосферних умов унаслідок великих міжмолекулярних відстаней не взаємодіють один з одним, кожен з газів веде себе у об'ємі тіла, як би інший газ був відсутнім. Кількість молекул води у насиченій водяній парі зростає з підвищенням температури по експоненціальній залежності. Звичайно водяна пара являє собою зовсім прозорий газ. У повному об'ємі повітря може утримуватися обмежена кількість води, яка визначає абсолютну вологість насичення. У жаркі літні дні повітря може містити у 30 разів більше вологи, ніж у холодні зимові дні [8]. Вологість можна виражати як відношення маси води до маси сухого повітря – це абсолютна вологість. Більш вживаним є поняття відносної вологості, що визначається відношенням абсолютної вологості повітря до максимально можливого вмісту вологи при даній температурі. Гігроскопічність об'єкта у вологому повітрі визначається адсорбцією молекул води поверхнею, після чого вона надходить всередину об'єкта під дією капілярних сил і дифузії. Між вологістю тіл і вологістю повітря встановлюється рівновага, яка описується характерними для кожної речовини ізотермами сорбції. Рівновага вмісту води у об'єкті визначається відносною вологістю повітря, у той час коли температура і абсолютна вологість повітря мало впливають на цю рівновагу. При роботі сівалок особливо висока вологість повітря у весняний період або після сильних злив. Сівалки виконують свої функції інколи в туман, який не є водяною парою. Туман вміщує воду у вигляді зважених дрібних крапель води і являє собою пересичену водяну пару.

Забрудненість середовища в зоні контролю датчика частинками пилу, газами та парою впливає на якість роботи променевих перетворювачів. Запиленість і задимленість приводить до розсіювання і ослаблення світлового потоку. Забруднення оптичних систем пилом і кіптявою також може сильно змінювати їх стан [9]. В представленій вище оптико-електронній реєструючій рамці лінійки випромінювачів і фотоприймачів в зоні контролю захищені від пилу прозорим склом товщиною $d \leq 1,5\text{мм}$, яке також є фактором впливу на інтенсивність світлового потоку.

Зміну променевих потоків можна виразити функціонально. Якщо, наприклад, тверді зважені частини непрозорі, однакові за розміром і мають сферичну форму, то світловий потік на виході з середовища у напрямі падаючих променів визначається виразом

$$\phi = \phi_0 e^{-\pi r^2 LC} \quad (1)$$

де ϕ_0 – первинний світловий потік;

r – радіус частинок твердого;

C – концентрація частинок;

L – відстань від випромінювача до приймача [10].

Як видно з (1), ослаблення падаючого потоку ϕ_0 залежить не лише від відстані від випромінювача L , а й від розміру r і концентрації C частинок твердого. При розмірах частинок r менших довжини хвилі випромінювання величина розсіяного у напрямку перпендикулярному падаючому променю світлового потоку визначається виразом

$$\phi_p = \phi_0 \cdot k \cdot \frac{Nv^2}{\lambda^4}, \quad (2)$$

де v – об'єм частинки;

N – число частинок в одиниці об'єму простору;

λ – довжина хвилі;

k – коефіцієнт, що залежить від показників запилення частинок і навколишнього середовища, а також прийнятих одиниць вимірювання [11].

Відповідно залежності (2) розсіяний світловий потік ϕ_0 буде тим більшим при повних ϕ_0 і k , чим менша довжина хвилі λ і більший об'єм і концентрація частинок. Не виключено, що за умов роботи сівалок одночасно спрацьовують обидві залежності, ослабляючи вихідний потік ϕ_0 , що проходить через середовище у напрямку ϕ_0 . Відношення Nv^2/λ^4 дозволяє при певних середнь-статистичних параметрах середовища правильно підібрати довжину хвилі λ світлового потоку.

Основним джерелом енергії на землі є сонце яке формує неперервний спектр випромінювання. Найбільший відсоток цієї енергії, яка практично без втрат досягає Землі, припадає на ультрафіолетовий ($\lambda = 0.2 \dots 0.36$ мкм), видимий (від 0.36 мкм для фіолетового до 0.78 мкм для червоного кольорів) та інфрачервоний (від 0.78 мкм до 100 мкм) діапазони спектру сонячного випромінювання. менший відсоток – на гамма-промені ($\text{до } 10^{-5}$ мкм), рентгенівське випромінювання (від 10^{-5} до 0,2 мкм) та мікрохвилі (≤ 100 мкм). Усі означені типи променів можуть виступати в якості основних і фонових факторів впливу на роботу оптико-електронної реєструючої рамки.

Ультрафіолетові хвилі легко затримуються різними перепонами, в тому числі і склом, тому їх не беремо до уваги при визначенні джерела випромінювання в реєструючій рамці. Більша частина спектру ультрафіолетового випромінювання затримується земною атмосферою. Видиме та інфрачервоне випромінювання значно легше долає різні перепоны. В діапазоні інфрачервоного випромінювання земна атмосфера вибірково поглинає променевий потік. Наприклад, сонячне випромінювання з довжинами хвиль 1,2; 1,6; 2,0; 2,4 мкм практично повністю доходить до Землі, а з іншими довжинами поглинається. Видимий спектр сонячного випромінювання і близький до 1 мкм спектр інфрачервоного випромінювання земною атмосферою майже не затримується [12].

У природі практично все володіє інфрачервоним випромінюванням [13]. Нагріті вдень тіла випромінюють енергію у нічні години, хоча і з незначною інтенсивністю.

Інфрачервоне випромінювання (ІЧВ) утворюється в результаті коливальних і обертових рухів атомів і молекул речовини, температура якої вище абсолютного нуля (-273°C). За довжиною хвиль теплове випромінювання знаходиться в інфрачервоному діапазоні суцільного спектру $\lambda_{\text{ІЧВ}} \in 0,78 \dots 100$ мкм і умовно поділяється на три більш вузьких діапазони: довгий - $\lambda_{\text{ІЧВ}} \approx 100 \dots 5,6$ мкм в якому випромінюють «абсолютно

чорні» тіла температура яких не перевищує $T \leq 300^{\circ}C$; середній - $\lambda_{\text{ІЧВ}} \approx 5,6 \dots 1,5 \text{ мкм}$ при температурі випромінювача $300^{\circ}C < T \leq 800^{\circ}C$ в залежності від якої колір тіла змінюється від «абсолютно чорного» до червоного; короткий - $\lambda_{\text{ІЧВ}} \approx 1,5 \dots 0,78 \text{ мкм}$ який формується при зміні температури випромінювача від $800^{\circ}C$ до $1500^{\circ}C$, а колір – від червоного до оранжевого. ІЧВ не передається у середовище шляхом конвекції або теплопровідності подібно температурним хвилям, воно підпорядковується звичайним законам оптики і володіє майже всіма фізичними властивостями видимого світла, за винятком того, що невидиме для ока.

До основних показників, що визначають випромінювання нечорних тіл, відносять випромінювальну, відбивну, поглинаючу і пропускну здатність. Кількість енергії, що випромінюється, відбивається, поглинається і пропускається тілом залежать від температури, природи речовини, стану її поверхні, форми тіла і довжини хвилі. Випромінювання будь-якого джерела можна характеризувати інтегральною потужністю, спектром випромінювання і просторовою діаграмою спрямованості. У теорії випромінювання нагрітого тіла в основному розглядають абсолютно чорне тіло. Залежність спектральної інтенсивності випромінювання абсолютно чорного тіла $J_{\text{ол}}$ ($\text{Вт}/\text{м}^2$) від довжини хвилі випромінювання λ і абсолютної температури випромінювача T (К) (точка нуля якої дорівнює $-273,15^{\circ}C$) по закону Планка описується виразом

$$J_{\text{ол}} = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot (e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T}} - 1)^{-1} = \frac{dE_e}{d\lambda}, \quad (3)$$

де $c_1 = 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ Вт}/\text{м}^2$, $c_2 = 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}$.

Згідно закону Стефана–Больцмана, визначеного на підставі закону Планка (3), щільність потоку інтегрального випромінювання E_0 абсолютно чорного тіла по всім довжинам хвиль збільшується на абсолютну температуру T в четвертій ступені $E_0 = \sigma \cdot T^4$, де: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-5} \text{ ерг см}^{-2} \text{ С}^{-1} \text{ град}^{-4}$. Якщо температура чорного тіла подвоюється, то енергія його випромінювання збільшується в 16 разів. Щільність потоку інтегрального випромінювання сірого тіла визначається за співвідношенням $E = \varepsilon \cdot E_0$, де ε - коефіцієнт випромінювання сірого тіла.

Згідно залежності Віна довжина хвилі λ_m максимального випромінювання зв'язана з температурою T випромінюючої поверхні рівнянням $\lambda_m T = \text{const} = 2896 \text{ мкм} \cdot \text{К}$, звідки $\lambda_m = 2896 / (T^{\circ}C + 273) \text{ мкм}$. При роботі сівалки в польових умовах в якості факторів впливу на якість реєстрації зернового потоку слід вважати нагрівання на сонці металевих конструкцій посівного агрегату і вихлопи працюючого двигуна внутрішнього згорання трактора. Згідно закону Планка при температурах нагрітих агрегатів до $30, 40, 50, 60, 70$ і $80^{\circ}C$ вони можуть випромінювати хвилі інфрачервоного діапазону максимальної довжини $9,5, 9,2, 9,0, 8,7, 8,4$ і $8,2 \text{ мкм}$. [Шрайбер4].

Як при видимому так і при інфрачервоному випромінюванні опромінюваний предмет частину падаючої енергії ($E_{\text{пад}}$) поглинає ($E_{\text{погл}}$), в результаті чого нагрівається, частину відбиває ($E_{\text{відб}}$) і частину пропускає ($E_{\text{проп}}$). У залежності від властивостей межі розділу розрізняють два види відбивання світла. Якщо поверхня на яку падають промені має нерівності (шорсткості) менше довжини хвилі ($\lambda < 1 \text{ мк}$), то відбувається дзеркальне відбивання при якому падаючі і відбиті промені залишаються

паралельними. Якщо ж нерівності розташовані на плоскій поверхні хаотично і мають розміри порівняні з довжиною хвилі світла або більші за неї, то відбувається дифузне (розсіяне) відбивання. Зерна пшениці мають ділянки поверхні, наближені до дзеркальних. Оскільки їх поверхня опукла, то паралельні світлові промені розсіюються в різні сторони. Коефіцієнт відбивання $R = E_{\text{відб}} / E_{\text{над}}$ залежить як від матеріалу поверхні, так і від довжини хвилі. Для зерна в видимому спектрі він коливається в інтервалі $R = 0.36 \dots 0.43$ [14]. Біле тіло має коефіцієнт відбивання близький до одиниці для усіх довжин хвилі видимого та ІЧ спектру. Тіло здається чорним тому, що його коефіцієнт відбивання для усіх довжин хвиль близький до нуля $R \approx 0$, а коефіцієнт поглинання близький до одиниці $A = E_{\text{погл}} / E_{\text{над}} \approx 1$. Тіла, що мають певний кольоровий окрас, відбивають світлові промені, які за довжиною хвилі належать саме цьому кольору, завдяки чому їх так сприймає зір людини. Зерна пшениці мають окрас від жовтого до світло-коричневого кольору, а гороху – жовтий, світло-зелений або навіть червоний. Тому відбиті промені таких довжин хвиль будуть мати місце у зоні контролю.

Непрозорим вважається об'єкт коефіцієнт пропускання світла у якого близький до нуля $D = E_{\text{прон}} / E_{\text{над}} \approx 0$. При цьому падаючі на нього промені відображаються і поглинаються об'єктом. Прямолінійність розповсюдження світла приводить до створення за непрозорим об'єктом тіні - області, у яку світло не проникає. У випадку точкового джерела світла зернина, що перетинає цей потік створює різко окреслену тінь. Фотоприймальний пристрій, встановлений у напрямку такого падаючого променя, не буде освітленим, що може слугувати ознакою наявності зернини у зоні контролю. Світлові промені при перетині не збурюють один одного. Оскільки у випадку кількох незалежних джерел світла освітленість будь-якої поверхні дорівнює сумі освітленостей створюваних кожним окремим джерелом, то прямі та розсіяні промені можуть формувати зони зі значними освітленостями на різних частотах і суттєво впливати на показники контролю навіть в області окресленої тіні. В розглянутій вище оптико-електронній скануючій рамці вплив випромінювачів сторонніх оптронних пар на фотоприймач реєструючої ОП виключено фізично, шляхом зустрічного розміщення та поодинокого підключення ОП. Проте на глибину затемнення в зоні контролю ОП може впливати відображення променів від сторонніх об'єктів, що необхідно враховувати.

Такі оптичні властивості речовин, як: коефіцієнт відбивання A , пропускання D , поглинання A (Сивухин7), зв'язані співвідношенням $A + R + D = 1$, та заломлення n в інфрачервоній області спектра значно відрізняються від тих же властивостей у звичній для нас видимій області спектра. Значення цих показників залежать від природи речовини і довжини хвилі. Тому при оцінці матеріалу по відношенню до інфрачервоних променів не можна керуватися властивостями цього матеріалу по відношенню до видимого світла. Багато речовин, прозорих для видимого світла, не пропускають інфрачервоні (ІЧ) промені і навпаки. Приміром, у видимому діапазоні спектру ми можемо розпізнавати предмети розміром у кілька сантиметрів на глибині в декілька метрів, в той час як в ІЧ діапазоні з $\lambda = 0,8 \div 1 \text{ мкм}$ доступна для розпізнавання глибина залягання цього ж предмету не повинна перевищувати $30 \div 45 \text{ мм}$ (у зв'язку з чим вода часто використовується як теплозахисний фільтр). Особливо сильне поглинання тонких шарів води припадає на довжини хвиль 2; 3; 4,7; і 6,1 мкм. З іншої сторони, пластини кремнію, непрозорі у видимій області, прозорі в інфрачервоній [6].

Через повітря ІЧ-промені проходять безперешкодно. Тобто, молекули азоту і кисень самі по собі ІЧ-випромінювання (ІЧВ) не поглинають, а лише ослаблюють в

результаті розсіювання. А ось пари води, озон і інші домішки, наявні в повітрі, селективно поглинають інфрачервоне випромінювання. Найбільш інтенсивні смуги поглинання водяної пари досягають максимуму при хвилях довжиною 1,4; 1,85; 2,4 і 3,5 мкм, а для вуглекислоти – при хвилях довжиною 1,5; 1,7; 2,1 і 2,7 мкм [11]. Величина коефіцієнтів поглинання зростає при збільшенні товщини шару та концентрації (1). Наявність у повітрі зважених часток диму і пилу також призводить до ослаблення інфрачервоного випромінювання внаслідок його розсіювання на цих частках, причому величина розсіювання залежить від співвідношення розмірів часток і довжини хвилі (2). При малих розмірах часток (повітряний серпанок) ІЧВ розсіюється менше, ніж видиме випромінювання (що використовується в інфрачервоній фотографії), а при великих розмірах крапель (густий туман) ІЧВ розсіюється так само сильно, як і видиме.

Коефіцієнт прозорості скла для видимого спектру близький до одиниці – $0,92 \div 0,94$, а для ІЧВ з $\lambda \leq 2,7 \text{ мкм}$ скло прозоре до товщини $30 \div 60 \text{ мм}$. Коефіцієнт переломлення ІЧ променів у склі менше ніж для видимих променів $n_{\text{ІЧВ}} < n_{\text{ВВ}}$. Захисні екрани скануючої рамки мають товщину скла $\Delta d = 1 \div 1,5 \text{ мм}$, тому ІЧ промені при проходженні через нього мало поглинаються, і практично не відхиляються [11].

Коефіцієнт блиску є дисперсною характеристикою просторового розподілу відбитого випромінювання зернин. За наявності округлих форм відображення від зернин є розсіяним.

Коефіцієнт відображення ІЧ променів від алюмінію та міді вище ніж видимих променів $R_{\text{ІЧВ}} \geq R_{\text{ВВ}}$ ($R_{\text{ІЧВ}} \approx 0,98$). Оскільки рейки скануючої рамки з розміщеними в них лінійками оптронних пар виготовлені з алюмінію, то для виключення впливу відбитих від поверхні рейок променів в зоні дії фотоприймачів рейки необхідно зачорнити. Як було відмічено вище, при ідентифікації зернового потоку в процесі посіву рівнозначно можуть діяти в якості додаткових впливових факторів червоні, оранжеві, жовті та зелені промені, а також інфрачервоне випромінювання. Так як коефіцієнт поглинання ІЧ променів зерном $A_{\text{ІЧВ}} \approx 0,86 \div 0,92$, а коефіцієнт відображення знаходиться в межах $R_{\text{ІЧВ}} \approx 0,08 \div 0,14$ і $R_{\text{ІЧВ}} \geq R_{\text{ВВ}}$ [14], то вплив розсіяних зерном променів буде незначним.

Визначення типу багатопроменевої системи. Сівалки працюють за умов достатньо високих концентрацій запилення і кіптяви які попадають в зону контролю датчика. Світлові промені відповідно залежностям (1) і (2) втрачають частину енергії первинного світлового потоку, що суттєво зменшує сигнал на вході фотоприймального пристрою. Завислі у повітрі частинки води при тумані також ослаблюють світловий потік. Оскільки частинки пилу, води в основному є діелектричними, то вони мало впливають на інфрачервоне випромінювання. Забруднення оптичної системи пилом може зробити пристрій на світлових променях непрацездатним. Інфрачервоне випромінювання легко долає такі перепони. Встановлено, що засоби на інфрачервоних випромінювачах зберігають працездатність при запиленості до 75% [13]. Доведено експериментально, що туман перешкоджає інфрачервоному випромінюванню менше, ніж видимому світлу [9]. Вплив водяної пари і вуглекислоти на видиме світло не встановлено, однак достеменно встановлено поглинання інфрачервоного випромінювання на певних фіксованих частотах.

На вхід фото приймальних пристроїв діють як корисний сигнал, так і перешкоди. Вплив перешкод буде залежати від типу пристрою і довжини хвиль діючих променів. В існуючих випромінювачах світла не більше 10% підведеної електричної енергії можна виділити у вигляді світлового потоку, решта енергії перетворюється в тепло. Коефіцієнт корисної дії (ККД) світлодіода тим нижчий, чим коротша довжина

випромінюваної хвилі [15]. Тому самим яскравим є червоний колір, меншим ККД буде відрізнятися діод з зеленим світінням. Світлодіоди синього кольору у теперішній час масово не випускаються, оскільки їх ККД занадто низький, а виготовлення складне. ККД світлодіодів інфрачервоного діапазону може досягати 10% для деяких досить вартісних дослідних зразків і близько 5% - для світлодіодів масового використання. Це привело до того, що нині найбільш масово випускаються світловипромінюючі діоди інфрачервоного і червоного випромінювання. Достатньо широко випускаються світло випромінюючі діоди жовтого, оранжевого та зеленого кольорів [16].

Перетворення електричної енергії у світловий потік у діапазоні світлових хвиль менш ефективно порівняно з інфрачервоним випромінюванням. Нерозвиненість фотоприймальних пристроїв у діапазоні світлових хвиль (їх використовують в основному як індикатори) і низька їх чутливість порівняно з засобами інфрачервоного випромінювання не дозволяють широко використовувати відповідні оптронні пари. Тому перевагу слід віддати оптронним парам на інфрачервоному випромінюванні. Враховуючи великі базові відстані L (рис. 1), оптронні пари необхідно створювати на базі незалежних напівпровідникових випромінювачів та фотоприймачів. Діапазон їх спектру не повинен співпадати з смугами найбільшої інтенсивності поглинання водяної пари та вуглекислоти.

Так як фотоелектричні напівпровідникові приймачі випромінювання володіють селективною чутливістю, то для забезпечення прийому і реєстрації випромінювання використовують достатньо велику кількість напівпровідникових матеріалів з власною та домішковою фотопровідністю. Високим граничним значенням виявляючої здатності у діапазоні інфрачервоного спектру $0,75 \dots 1,1 \mu\text{м}$ володіє арсенід галію, однак даний показник у цьому діапазоні хвиль дещо вищий у напівпровідників на основі кремнію [5]. Тому доцільно застосовувати кремнієві фотоприймачі. На основі кремнію виготовляють фотодіоди та фототранзистори. Інтегральна чутливість фотодіодів достатньо висока (десятки міліампер на люмен). Інтегральна чутливість у фото транзисторів у десятки разів більша порівняно з фотодіодами. Фототранзистори працюють на частотах у сотні мегагерц [17]. Високі можливості фотоприймальних пристроїв можна отримати за умови, якщо їх спектральна чутливість буде повністю співпадати з спектральною випромінюючою здатністю світловипромінювача [18]. Зважаючи на можливий вплив променевих перешкод і яскравість випромінювання, надзвичайно високу чутливість у оптопарах забезпечувати не варто.

Висновки. В результаті проведеного аналізу умов ідентифікації зернового потоку при висіванні зернових культур приходимо до висновку, що в якості променевих перетворювачів доцільно використовувати оптопари з окремих елементів «джерело випромінювання»-«приймач випромінювання» інфрачервоного спектру які працюють у діапазоні $0,75 \dots 1,1 \mu\text{м}$. Виходячи з того, що пристрій реєстрації включає десятки дискретних оптопар, в якості випромінювачів і приймачів ІЧВ слід використовувати кремнієві світло і фотодіоди, як найбільш дешеві, простіші в схемному підключенні ніж фото транзистори і достатні для отримання необхідної дозвільної здатності при реєстрації та розпізнаванні потоку зернин.

На підставі аналізу геометричних і технічних параметрів існуючих джерел випромінювання та фотоприймальних пристроїв інфрачервоного спектру найбільш придатними для використання в оптико-електронній скануючій рамці датчика зернового потоку визначено світлодіоди АЛ-107Б] і фотодіоди ФД-256, ФД-265, відносні спектральні характеристики яких представлені на рис. 2.

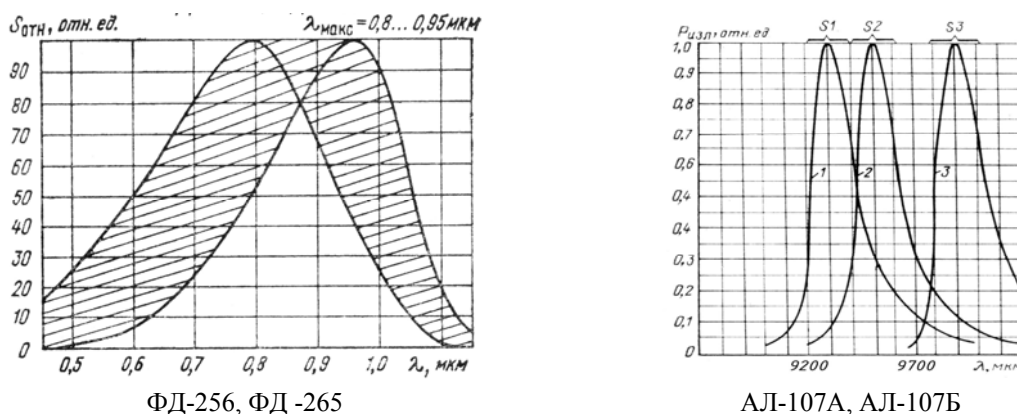


Рисунок 2 – Відносні спектральні характеристики фотодіодів ФД-256, ФД-265 та світло діодів АЛ-107А, АЛ-107Б

Джерело: [19]

З рис.2 видно, що при максимумах чутливості фотодіодів на різних довжинах хвиль кожна крива охоплює практично однаковий і достатньо широкий частотний діапазон випромінювання. Використання фотоприймальних пристроїв з кількома переходами, що мають максимум при різних довжинах хвиль, забезпечує розширення частотного діапазону максимальної чутливості, залишаючи достатньо широке поле впливу випромінювання з іншими частотами, але з меншою відносною чутливістю. Арсенідгалієві світло діоди АЛ-107А, АЛ-107Б призначені для роботи в якості джерела інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі $\lambda_{max} = 0,95 \text{ мкм}$ [19].

Параметри світло діода АЛ-107Б: потужність випромінювання -10мВт; постійна пряма напруга при $I_{np} = 100 \text{ мА}$, $T = 25^{\circ} \text{C}$ - 2В; граничний постійний або імпульсний прямий струм - 100мА; довжина хвилі $\lambda_{max} = 0,95 \text{ мкм}$; апертура випромінювання - 40° ; зовнішній діаметр – 2,4мм. Параметри фотодіода ФД-256: діаметр фоточутливого елемента – 1,37мм; діапазон чутливості $\Delta\lambda = 0,4 \div 1,1 \text{ мкм}$; $\lambda_{max} = 0,75 \div 0,9 \text{ мкм}$; $S_{lim} = 0,6 \text{ А/Вт}$ при $\lambda_{max} = 0,9 \text{ мкм}$; час реакції - $\tau \leq 2 \cdot 10^{-9} \text{ с}$. В розглянутій вище оптико-електронній скануючій рамці лінійки ОП побудовані на базі визначених світло- і фотодіодів. Практика експлуатації вказаного датчика підтвердила правильність отриманих висновків і вказала на шляхи по подальших досліджень.

Список літератури

1. Євген Солонина. Україна зібрала історичний максимум зерна: що стоїть за рекордом. 07.10.2022. URL: <https://bit.ly/3C90lsq>. (дата звернення: 09.09.2022)
2. Система контролю высева RECORD. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Херсон, ТОВ «ТРАК», 2016., 27с. URL: <http://seeding.com.ua>.
3. Система контроля высева MONADA. Документация, паспорта, инструкции, программное обеспечение. НПФ «МОНАДА. », г. Херсон, URL: <http://www.monada.ks.ua>.
4. Руденко В.П. Полтавская технология посева. Пособие для агрономов, инженеров с/х производства, конструкторов. Полтава: ООО «Копи-Центр», 2013. 54с.
5. Пархоменко Ю.М. Дослідження підходів до реалізації пристрою реєстрації та ідентифікації зернового потоку. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб. 2007. Вип.37. С. 126–131.
6. Кондратець В.О., Ю.М. Пархоменко. Підвищення дозволяючої здатності пристрою ідентифікації потоку насіння в зернових сівалках. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки. 2011. Вип. 117. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. С. 47–49.

7. Белокур И.П. Дефектология и неразрушающий контроль. К.: Выща школа, 1990. 207с.
8. Чистяков С.Ф., Радун Д.В. Теплотехнические измерения и приборы. М.: Высшая школа, 1972. 392с.
9. Канарчук В.Е. Деркачев О.Б., Чигринец А.Д. Термометрическая диагностика машин. К.: Выща школа, 1985. 168с.
10. Бастив В., Бендит Г., Берветер П. Измерения в промышленности: Справ. изд. в 3-х кн.; пер. с нем. под ред.. Д.И. Агейкина. М.: Metallurgia, 1990. Т.3: Способы измерения и аппаратура. 1990. 344с.
11. Чистяков В.С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям. М.: Энергоатомиздат, 1990. 320с.
12. Сивухин Д.В. Общий курс физики. М; Физиздат, 2005. Т.IV. 836с.
13. Шрайбер Г. Инфракрасные лучи в электронике.: пер. с франц. К.О. Сомова. М.: ДМК Пресс, 2001. 240с.
14. Ермилова Н.В. Автоматическая очистка семян сахарной свеклы: дис. на соиск. уч. степени канд.. техн.. наук: 05.13.07. Киев, 1993. 169с.
15. Логин В.В. Динамика работы фотоэлектрических датчиков контроля высева. М.: ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш, 1979. 73с. (Серия “Сельскохозяйственные машины и орудия”, Вып. 9).
16. Алексеева И.Н. Замятин В.В. В помощь радиолюбителю: сборник . М.: Патриот, 1991. 80с
17. Аксененко М.Д., Бараночников М.Л. Приёмники оптического излучения: Справочник. М.: Радио и связь, 1987. 296с.
18. Бараночников М.Л. Приёмники инфракрасного излучения. Состояние разработок и промышленного выпуска, перспективы развития и прогнозы. Аналитический обзор. М. URL: www.radioliga.com/Books/, 1985. 94 с.
19. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам. Под общей редакцией Н.Н. Горюнова. Изд. 4-е перер. и доп. М.: Энергия, 1977. 744с.

References

1. Yevhen Solonyna. Ukraina zibrala istorychnyj maksimum zerna: scho stoit' za rekordom [Ukraine collected a historic maximum of grain: what is behind the record]. (07.10.2021). *bit.ly*. Retrieved from: <https://bit.ly/3C90l5q> [in Ukrainian].
2. Sistema kontrolja vyseva RECORD. Tehnicheskoe opisanie i instrukcija po jekspluataciji [RECORD sowing control system. Technical description and instructions for use]. Herson. (2016). TOV «TRAK». *seeding.com.ua*. Retrieved from: <http://seeding.com.ua> [in Russian].
3. Sistema kontrolja vyseva MONADA.. Dokumentacija, pasporta, instrukcii, programmnoe obespechenie [The MONADA sowing control system. Documentation, passports, instructions, software]. NPF «MONADA. », g. Herson, *monada.ks.ua*. Retrieved from: <http://www.monada.ks.ua>[in Russian].
4. Rudenko. V.P. (2013). Poltavskaja tehnologija poseva. Posobie dlja agronomov, inzhenerov s/h proizvodstva, konstruktorov [Poltava sowing technology. Manual for agronomists, engineers of agricultural production, designers]. Poltava: ООО «Копи-Сентр» [in Ukrainian].
5. Parkhomenko, Yu.M. (2007). Doslidzhennia pidkhodiv do realizatsii prystroiu reiestratsii ta identyfikatsii zernovoho potoku [Study of approaches to the implementation of the grain flow registration and identification device]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia sil's'kohospodars'kykh mashyn: zahal'nodierz. mizhvidomch. nauk. – tekhn. zbirnyk – Design, manufacture and operation of agricultural machiner. Issue.37*. 126–131 [in Ukrainian].
6. Kondratets', V.O. & Parkhomenko, Yu.M. (2011). Pidvyschennia dozvoliaiuchoi zdatnosti prystroiu identyfikatsii potoku nasinnia v zernovykh sivalkakh [Increasing the resolution of the seed flow identification device in grain drills]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil's'koho hospodarstva im. Petra Vasylenka. Tekhnichni nauky. — Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Peter Vasylenko. Technical sciences, Vol.117*, “Problemy enerhozabezpechennia ta enerhozberezhennia v APK Ukrainy”. 47–49 [in Ukrainian].
7. Belokur, I.P. (1990). *Defektologija i nerazrushajushij kontrol'* [Defectology and non-destructive testing]. Kyiv: Vyshha shkol [in Ukrainian].
8. Chistjakov, S.F. & Radun, D.V. (1972). *Teplotekhnicheskie izmerenija i pribory* [Thermotechnical measurements and devices]. Moscow: Vysshaja shkola [in Russian].
9. Kanarchuk, V.E. Derkachev, O.B. & Chigrinec, A. D (1985). *Termometricheskaja diagnostika mashin* [Thermometric diagnostics of machines]. Kyiv: Vyshha shkola
10. Bastiv, V., Bendit, G. & Berveter, P. (1990). *Izmerenija v promyshlennosti: Sprav. izd. v 3-h kn.; per. s nem. pod red.. D.I. Agejkina. M.: Metallurgija, 1990. Vol. 3: Spособы izmerenija i apparatura. 344.*

11. Chistjakov, V.S. (1990). *Kratkij spravochnik po teplotehničeskim izmerenijam [Quick Reference for Thermal Measurements]*. Moskow: Jenergoatomizdat [in Russian].
12. Sivuhin, D.V. (2005). *Obshhij kurs fiziki [General physics course]*. Moskow: Fizizdat Vol. 836, 836 [in Russian].
13. Shrajber, G. (2001). *Infrakrasnye luchi v jelektronike [Infrared rays in electronics]*. (K.O. Somova Trans.). Moskow: DMK Press [in Russian].
14. Ermilova, N.V. (1993). Avtomatičeskaja očištka semjan saharnoj svekly [Automatic cleaning of sugar beet seeds]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kiev 169s. [in Russian].
15. Login, V.V. (1979). *Dinamika raboty fotoelektričeskikh datchikov kontrolja vyseva [Dynamics of operation of photoelectric sensors for seeding control]*. Moskow: CNIITJeItraktoroseI'hozmash [in Russian].
16. Alekseeva, I.N. & Zamjatin, V.V. (1991). *V pomoshh' radioljubitelju [Help for a radio amateur]*. Moskow: Patriot [in Russian].
17. Aksenenko, M.D. & Baranočnikov M.L. (1987). *Prijomniki optičeskogo izlučeniija [Optical radiation receivers]*. Moskow: Radio i svjaz' . [in Russian].
18. Baranočnikov, M.L. (1985). Prijomniki infrakrasnogo izlučeniija. Sostojanie razrabotok i promyšlennogo vypuska, perspektivy razvitija i prognozy. Analitičeskij obzor [Infrared receivers. The state of development and industrial output, development prospects and forecasts. Analytical review]. Moskow . Retrieved from www.radioliga.com/Books [in Russian].
19. Gorjunova, N.N. (Eds.) (1977). *Handbook of semiconductor diodes, transistors and integrated circuits . (4d ed.)*. Moskow: Jenergija [in Russian].

Vasyl Kondratets, Prof., DSc., **Yuriy Parkhomenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mihailo Parkhomenko**, Assoc. Prof., **Andriy Boki**y, postgraduate
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

The Theoretical Justification of Radiation-type Transformers in the Identification of the Grain Flow

The article is devoted to the theoretical substantiation of the type of beam converters in the identification of grain flow in planters. The working conditions of beam transducers in the process of sowing grain crops, types and characteristics of such transducers are considered. It is shown that the best characteristics are possessed by optocouples created on the basis of independent sources and receivers of infrared radiation in the form of silicon diodes operating in the range of 0.75...1.1 μm .

This publication is aimed at the implementation of means of control during the sowing of grain crops, its topic is relevant. It is directed to the implementation of the program "Technical means of the new generation for agricultural production", included in the list of State targeted scientific and scientific and technical programs, defined by the law of Ukraine "On priority areas of development of science and technology".

The publication examines the theoretical justification of the type of beam transducers in devices for identifying the grain flow formed by seeding devices of seed drills, in order to increase their resolution and quality of registration of discrete objects in the flow.

As a result of the analysis of the conditions for identifying the grain flow when sowing grain crops, we come to the conclusion that it is advisable to use optocouplers from separate elements "radiation source"- "radiation receiver" of the infrared spectrum that work in the range of as beam converters. Based on the fact that the registration device includes dozens of discrete optocouplers, silicon light and photodiodes should be used as IR emitters and receivers, as they are the cheapest, simpler in circuit connection than photo transistors and sufficient to obtain the necessary resolution when registering and recognizing the flow of grains.

ray converters, optocoupler, grain stream identification, infrared radiation

Одержано (Received) 19.10.2022

Прорецензовано (Reviewed) 25.10.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022