

УДК 537.523

Технологічна лінія передпосівної обробки насіння зернових в полі високочастотного коронного розряду

В.С. Шебанін, Д.Л. Кошкін, Д.О. Захаров

Миколаївський національний аграрний університет (м. Миколаїв, Україна)

В роботі проведено аналіз сучасного обладнання для передпосівної та післязбиральної обробки насіння сільськогосподарських культур. На підставі проведеного аналізу обґрунтована доцільність розробки та застосування електротехнологічних установок для обробки насіння імпульсними коронними розрядами. За рахунок використання імпульсних коронних розрядів можна отримати максимальну ефективність плазмохімічних реакції утворення озону. Використання високочастотних розрядів підвищує безпеку праці під час обслуговування установки та дозволяє зменшити розміри генератора імпульсних напруг.

Авторами статті запропоновано технологічну схему лінії для передпосівної обробки зернових яка дозволяє максимально автоматизувати процес обробки та зберігання посівного матеріалу. Головною перевагою даного способу обробки, є відсутність витратних матеріалів, так як озон генерується безпосередньо з атмосферного повітря.

Шляхом математичного моделювання розподілу напруженості електричного поля в об'ємі розрядної камери розроблено конструкцію розрядної камери яка забезпечує рівномірний розподіл напруженості електричного поля по всьому об'єму камери. В результаті чисельного аналізу характеристик електричного поля запропоновано рекомендації щодо оптимізації конструкції розрядної камери. За рахунок використання коронуючого електроду з мікроступами досягнуто створення сприятливих умов утворення коронних розрядів при менших значеннях напруги корони. Застосування установок для передпосівної та післязбиральної обробки насіння сільськогосподарської продукції дозволить відмовитись від фумігації, дозволить досягти підвищення врожайності і збільшення енергії проростання сільськогосподарських культур. Результати роботи свідчать про перспективність використання високочастотних генераторів імпульсних напруг в електротехнологічних установках для передпосівної та післязбиральної обробки насіння сільськогосподарських культур.

Ключові слова: передпосівна обробка насіння, імпульсний коронний розряд, генератор імпульсних напруг, озонування зерна, електророзрядні технології.

Актуальність роботи. В світі постійно зростає увага до розробки та впровадження електротехнологічних установок для виробництва, обробки та підвищення якості сільськогосподарської продукції. Питання підвищення врожайності сільськогосподарських культур є стратегічно важливим для України, так як вона, незважаючи на економічну кризу, залишається великою аграрно-індустріальною державою.

На даний час для передпосівної обробки насіння широко застосовуються переважно хімічні засоби, які передбачають його протруювання фунгіцидами або інсектофунгіцидами контактної або системної дії із зволоженням, іноді з додаванням плівкоутворювачів [1]. Але разом з досягненням позитивних результатів, використання хімічних засобів захисту рослин має ряд негативних наслідків, серед яких забруднення навколишнього середовища отрутохімікатами і їх накопичення як у ґрунті, так і у продукції рослинництва, трудомісткість під

час виконання робіт та тривалий період дегазації виробничих приміщень.

Тому досить актуальним залишається питання розробки та дослідження нових електротехнологічних установок для передпосівної обробки насіння в сильних електричних полях, які дозволяють при мінімізації енергетичних затрат досягти підвищення врожайності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Перспективним напрямком розвитку обладнання для передпосівної обробки насіння є обробка насінневої маси озonom. Проте сучасні електроозонатори, які застосовуються в агропромисловому комплексі, в результаті втрат мають низький ККД [2, 3]. Так, як корисною вважається робота з дисоціації кисню для утворення озону, який фіксується на виході з розрядного пристрою, то ККД не перевищує 2 - 3 % [4].

Озонування є однією з перспективних технологій, призначених для боротьби з шкідливими впливами мікробіологічної природи у сільсь-

кому господарстві, медицині, екології тощо. Озонування, як метод знезараження ретельно досліджено із санітарно-гігієнічних позицій і отримало схвалення санітарно-медичних установ усіх передових держав світу (США, Німеччина, Японія, Франція) [5, 6, 7]. Як засіб дезінфекції, дезодорації й стерилізації озон знаходить у світовій практиці широке застосування. Питанню розробки таких технологій і обладнання для них у всьому світі приділяється велика увага.

Таким чином застосування озону – алотропічної модифікації кисню – екологічно чистого окислювача є найбільш перспективним. Він бере участь у природних біопроесах і при розкладанні не залишає на об'єктах обробки шкідливих продуктів розпаду й запаху. Причому розпад озону до гранично допустимої концентрації (ГДК – 0,1 мг/м³), в нормальних умовах відбувається швидко, що має важливе значення при роботі обслуговуючого персоналу. За окислювальними властивостями озон поступається тільки фтору, деяким вільним радикалам і атомам із коротким періодом напіврозпаду, випереджаючи такі широко відомі речовини як хлор, перекис водню. Крім того, сировиною для утворення озону слугує атмосферне повітря.

Основний матеріал дослідження. На даний час в електротехнологічних установках для обробки зернової маси застосовуються переважно установки, принцип дії яких заснований на створенні постійної корони. Проте, як доведено недавніми дослідженнями, такий процес є надзвичайно енерговитратним, а генерація озону характеризується малою ефективністю. Суттєві переваги має метод, заснований на плазмохімічному утворенні озону імпульсними електричними розрядами наносекундної тривалості, незавершеними пробоям. Енергоефективність такого методу пояснюється не тільки тим, що плазма утворюється не безперервно, а лише в короткі проміжки часу, які на три-чотири порядки є меншими, ніж тривалість часу між імпульсами, але й тим, що в імпульсному режимі накопичена енергія витрачається на нагрів і прискорення іонізованих електронів, важкі частинки – іони практично не прискорюються і тим самим електронна температура плазми набагато перевищує іонну. Підвищена енергія електронів збуджує при зіткненнях молекули кисню і реалізує умови ефективного утворення озону. Останній власне і виконує бактерицидну дію безпосередньо в зоні зернової маси. Ще однією перевагою є те, що високочастотні та імпульсні розряди малої тривалості створюють меншу небезпеку для обслу-

говуючого персоналу, ніж високовольтні установи постійної напруги.

Враховуючи вищесказане, та з врахуванням технологічних особливостей процесу розроблено технологічну схему лінії для передпосівної та післязбиральної обробки зернових рис. 1.

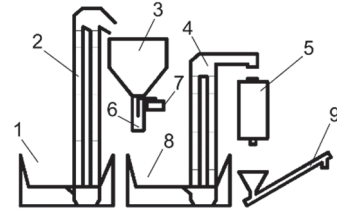


Рис. 1. Технологічна схема лінії для передпосівної обробки насіння зернових: 1, 3, 8 – бункери для завантаження зерна, 2, 4 – норії, 5 – сушарка або бункер активного вентилявання зерна, 6 – камера для обробки насіння, 7 – генератор імпульсних напруг з системою керування, 9 – вивантажувальний шнек.

Зерно спочатку завантажується в бункер 1, з якого за допомогою норії підіймається в бункер 3 з якого безпосередньо за допомогою керованих сервоприводом засувок потрапляє в камеру обробки 6. В камері обробки за допомогою генератора імпульсних напруг створюються імпульсні коронні розряди, Після обробки насіння потрапляє в бункер 8 з якого за допомогою норії 4 подається в шахтну зерносушарку або для зберігання в бункер активного вентилявання зерна. З бункера активного вентилявання зерно за допомогою шнека 9 подається на транспорт.

Іонізаційні процеси в повітряних включеннях зернової суміші можна поділити на неінтенсивні й інтенсивні [8]. Неінтенсивна іонізація характеризується нестійкістю процесу, вона то зникає, то з'являється знову. Інтенсивні іонізаційні процеси, що розвиваються при більш високій напрузі, є стійкими.

Напруга початкової (нестійкої) іонізації U_{noc} – це найменша напруга, при якій у зернової масі можуть створюватися іонізаційні процеси слабкої інтенсивності (відповідає E_{noc}).

Напруга стабільної (стійкої) іонізації U_{cm} – це найменша напруга, при якій у зернової масі можуть розвиватися іонізаційні процеси значної інтенсивності (відповідає E_{cm}).

Формула Піка (1929 р.) встановлює емпіричну залежність для критичної напруженості поля запалення корони $E_c, \text{кВ/см}$, в повітрі навколо електроду радіусу $R, \text{см}$:

$$E_c = 30\delta \left[1 + \frac{0,3}{(\delta R)^{\frac{1}{2}}} \right], \quad (1)$$

де $\delta = N/N_0$; N, N_0 – густина газу при існуючих і нормальних умовах відповідно. Для того, щоб запалилася корона, максимальна напруженість біля коронуючого електроду повинна перевищувати критичну напруженість E_c .

Більш загальний вираз для визначення початкової напруженості утворення корони навколо циліндричних або сферичних електродів радіусу R ($0,01 \text{ см} < R < 20 \text{ см}$), який дещо відрізняється від формули Піка :

$$E_c = E_0 \delta \left\{ 1 + \left[\frac{\ln Q}{A} \cdot \frac{1}{E_0 \delta R} \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^2, \quad (2)$$

де $E_0 = 24,72 \text{ кВ/см}$ – межа для позитивної іонізації; Q, A – коефіцієнти, $A = 0,012 \text{ В}^{-1}$.

Після підстановки констант і деяких спрощень даний вираз приймає вигляд

$$E_c = 25\delta \left[1 + \left(\frac{0,03}{\delta R} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2 = 25\delta \left[1 + \frac{0,35}{(\delta R)^{\frac{1}{2}}} + \frac{0,03}{\delta R} \right]. \quad (3)$$

Причому $Q = 10^4$ – кількість електронів в лавині, достатня для іонізації (відповідає густині зарядів близько 10^{10} см^3), визначається із загального критерію пробою:

$$\exp\left(\int \alpha' dr\right) = Q, \quad (4)$$

де α' – різниця між коефіцієнтом іонізації α і коефіцієнтом прилипання γ .

Домінуючими при утворенні корони є процеси непрямого утворення електронів, тобто розділення негативних метастабільних іонів, пряма електронна іонізація метастабільних станів, іонізація в результаті зіткнень між метастабільними, а також коливально обуреними молекулами. На думку авторів [3], це підтверджує той факт, що початкові умови для виникнення позитивної і негативної корони практично однакові. Відзначається, що випромінювання з довжиною хвилі 337 нм є характерним для розрядів в повітрі.

Таким чином із викладеного вище можна зробити висновки, що під дією електричних полів високої напруги у зерновій суміші, яка розташована між пластинчастими електродами, при відповідній нарузі починають відбуватися іоніза-

ційні процеси. В результаті цих часткових розрядів, що проходять у повітряних включеннях, зерно підлягає впливу як хімічних продуктів іонізації (хімічно активний озон і окисли азоту), так і безпосередньо електричних розрядів (іонне бомбардування зерна). Крім того, буде відбуватися додаткове нагрівання зерна.

Вказані процеси є одними з визначальних параметрів у режимі обробки насінневого матеріалу при запропонованому електрофізичному способі впливу.

Важливим аспектом при розробці електротехнологічної установки наведеного типу є умова, що початкова напруженість корони не повинна перевищувати напругу пробою всіх елементів розрядної камери.

Проведене математичне моделювання розподілу характеристик поля в об'ємі камери для обробки насіння розв'язує проблему теорії електричного поля, яку можна сформулювати як знаходження функції потенціалу, що задовольняє еліптичному рівнянню в часткових похідних другого порядку

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) = 0, \quad (5)$$

де ε – відносна діелектрична проникність середовища; r, z – відповідно радіальна та аксіальна координати.

Для вирішення поставленого завдання застосовано чисельний метод верхньої релаксації [9]. Реалізоване на основі цього методу програмне забезпечення успішно використовувалося для аналізу роботи різних вузлів високочастотного устаткування [10] в декартовій системі координат.

За відомим розподілом потенціалу вектор напруженості електричного поля E та його модуль визначаються з використанням наступних рівнянь

$$\vec{E} = -\text{grad } \varphi = -\left(r \vec{i} \frac{\partial \varphi}{\partial r} + z \vec{j} \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right); \quad (6)$$

$$|E| = \left[\left(\frac{\partial \varphi}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)^2 \right]^{0,5}. \quad (7)$$

Для вирішення поставленої задачі використовувалося програмне забезпечення FEMM 4.2. Спрощену схему розрядної камери для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур наведено на рис. 2.

Для однозначного вирішення проблеми були задані граничні умови Неймана на осі симетрії та нульові умови за потенціалом на всіх інших зовнішніх межах розрахункової області (рис. 2). Електричний потенціал коронуючого електроду у відносних одиницях мав значення одиниці, а некоронуючого значення нуля.

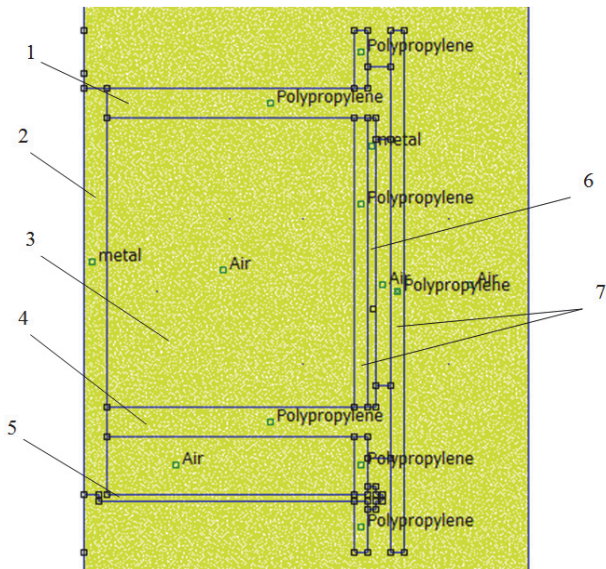


Рис. 2. Спрощена конструкція камери для обробки насіння імпульсним коронним розрядом: 1, 4 – кільця для утримання коронуючого електрода; 2 - коронуючий електрод; 3 – об'єм в якому проводиться обробка; 5 – електрод по якому підводиться живлення до коронуючого електрода; 6 – некоронуючий електрод; 7 – труби з діелектричного матеріалу.

Результати моделювання просторового розподілу електричного потенціалу в об'ємі обмежувача струму між високопотенціальним і низькопотенціальним електродами, отримані за допомогою метода верхньої релаксації співпадають з результатами моделювання, отриманими з використанням об'єктно-орієнтованого пакету FEMM і наведені на рис. 3. Кінцево-елементна сітка містила 47888 вузлів та складалася з 94908 елементів.

Проводячи аналіз результатів математичного моделювання розподілу напруженості електричного поля слід зазначити, що для підвищення надійності підключення коронуючого електрода необхідно виконувати кабелем з високовольтною ізоляцією, а саме підключення виконувати за межами камери, так як наявність потрійних точок діелектрик-метал-повітря підвищує ймовірність пробою ізоляції. Також для більш рівномірного розподілу напруженості електричного поля підключення доцільно проводити на відстані, від некоронуючого електрода, яка забезпечує значення напруженості електричного поля в кілька разів менше напруженості початку коронного розряду.

На рис. 4 зображено результати математичного моделювання розподілу напруженості електричного поля. Так видно, що за рахунок

підключення коронуючого електрода за межами камери можна досягти більш рівномірного розподілу напруженості електричного поля, що дозволить отримати більш рівномірне утворення корони. Також для підвищення ефективності утворення коронного розряду коронуючий електрод (поз. 2 рис. 2) виконаний з мікрровиступами, що сприяє підвищенню напруженості електричного поля в кілька разів, що в свою чергу призводить до більш ефективного утворення коронного розряду.

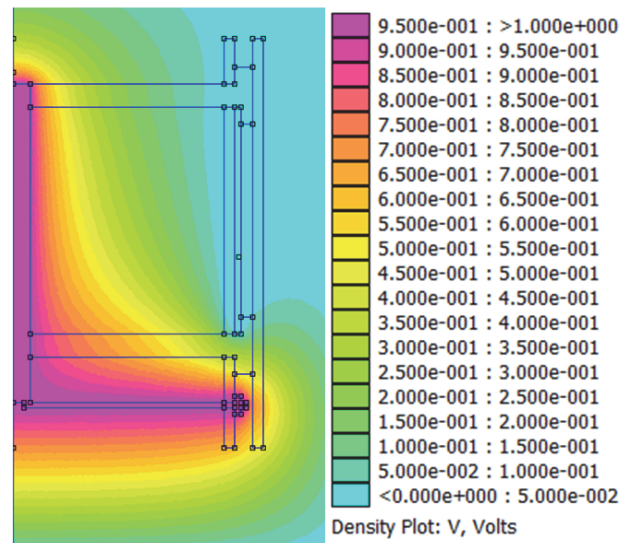


Рис. 3. Розподіл електричного потенціалу в об'ємі камери для обробки сільськогосподарської продукції

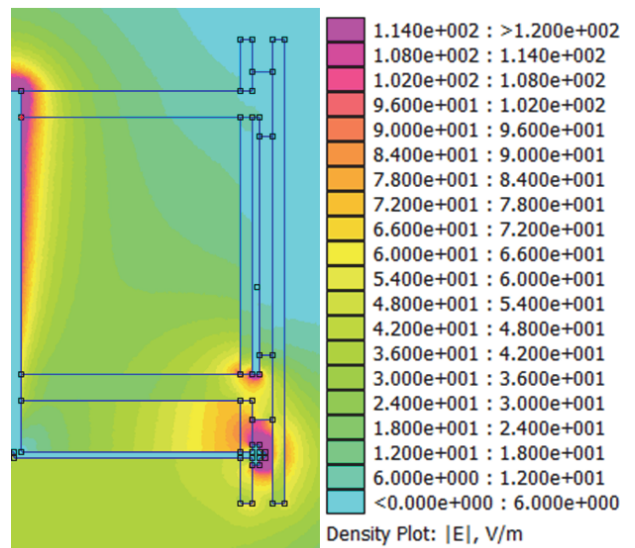


Рис. 4. Розподіл напруженості електричного поля в об'ємі камери для обробки сільськогосподарської продукції

Висновки. В даній роботі запропоновано технологічну схему лінії для передпосівної обробки зернових яка дозволяє максимально автоматизувати процес обробки та зберігання посівного матеріалу.

Шляхом математичного моделювання розподілу напруженості електричного поля в об'ємі розрядної камери розроблено конструкцію розрядної камери яка забезпечує рівномірний розподіл напруженості електричного поля по всьому об'єму камери. За рахунок використання коронуючого електроду з мікроставунами досягнуто створення сприятливих умов утворення коронних розрядів при менших значеннях напруги корони.

Література

1. Довідник із захисту рослин. Київ, «Урожай.» – 1999. – 743 с.
2. Нормов Д.А. Повышение энергетической эффективности электро-озонаторов / Д.А. Нормов, Д.А. Овсянников // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М., 2004. – № 11. – С. 29 - 30.
3. Дубовенко К.В. Моделирование імовірності пробою газової ізоляції високовольтних пристроїв систем імпульсної електроенергетики // Технічна електродинаміка. – 2006. – №2. – С. 15 - 22.
4. Пугин А.М. Анализ динамики работ в области разработки технологий и оборудования

озонирования / А.М. Пугин // Электрификация сельского хозяйства. – Уфа, 2000. – Вып. 2. – С. 44 - 49.

5. Encyclopedia of Environmental Science and Engineering. – Vol. 1: A - E / Ed. Pfafflin J.R., Ziegler E.N. – New York e. a.: Gordon and Breach Sei. Publ., 1983. – 404 p.

6. Fruman B.A. et al. Reaction of ozone with phospholipids vesicles and Human Erythrocyte Ghosts. – Arch. Biochem. Biophys., 1979, n. 197, p. 264 - 272.

7. Frison P. Ozone et gemic chemigie ozone. Chemistry and technology advances in chemistry. Washington, 1969, n. 21.

8. Берека О.М. Дослідження питомої електропровідності насінневої маси в електричних полях високої напруги / О.М. Берека // Праці Таврійського державного аграрного університету. – 2008. – Т. 7, Вип. 8. – С. 213 - 217.

9. Дубовенко К.В. Знезараження зернової продукції імпульсним коронним розрядом / Дубовенко К.В., Захаров Д.О. // Вісник національного технічного університету «ХПІ» №61 (967). – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – С. 139 - 149.

10. Дубовенко К.В. Аналіз ефективності обробки зернової продукції імпульсним коронним розрядом / Захаров Д.О., Дубовенко К.В. // Матеріали 8-ої Міжнар. науково-практ. конф. молодих учених, аспірантів і студентів. – Миколаїв: МДАУ, 2012. – С. 28 - 30.

Аннотация

Технологическая линия предпосевной обработки семян зерновых в поле высокочастотного коронного разряда

В.С. Шибанин, Д.Л. Кошкин, Д.А. Захаров

В работе проведен анализ современного оборудования для предпосевной и послеуборочной обработки семян сельскохозяйственных культур. На основании проведенного анализа обоснована целесообразность разработки и применения электротехнологических установок для обработки семян импульсными коронными разрядами. За счет использования импульсных коронных разрядов можно получить максимальную эффективность плазмохимических реакций образования озона. Использование высокочастотных разрядов повышает безопасность труда при обслуживании установки и позволяет уменьшить размеры генератора импульсных напряжений.

Авторами статьи предложена технологическая схема линии для предпосевной обработки зерновых которая позволяет максимально автоматизировать процесс обработки и хранения посевного материала. Главным преимуществом данного способа обработки, является отсутствие расходных материалов, так как озон генерируется непосредственно из атмосферного воздуха.

Путем математического моделирования распределения напряженности электрического поля в объеме разрядной камеры разработана конструкция разрядной камеры, которая обеспечивает равномерное распределение напряженности электрического поля по всему объему камеры. В результате численного анализа характеристик электрического поля предложены рекомендации по оптимизации конструкции разрядной камеры. За счет использования коронирующего электрода с микроставунами достигнуто создание благоприятных условий образования коронных разрядов при меньших значениях напряжения короны.

Применение установок для предпосевной и послеуборочной обработки семян сельскохозяйственной продукции позволит отказаться от фумигации, добиться повышения урожайности и увеличения энергии прорастания сельскохозяйственных культур. Результаты работы свидетельствуют о перспективности использования высокочастотных генераторов импульсных напряжений в электротехнологических установках для предпосевной и послеуборочной обработки семян сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: *предпосевная обработка семян, импульсный коронный разряд, генератор импульсных напряжений, озонирование зерна, электроразрядные технологии.*

Abstract

Technological line for presowing seeds treatment in the high frequency corona discharge field

V.S. Shebanin, D.L. Koshkin, D.O. Zaharov

In article the analysis of the modern equipment for preseeding and postharvest processing of crops seeds has been conducted. Expediency of development and application of electrotechnological installations for processing of seeds by pulse crown categories on the basis of the conducted analysis is proved. Maximum efficiency of plasmochemical reactions of formation of ozone due to use of pulse crown categories can be received. Safety of labor at service of installation increases use of high-frequency categories. It allows to reduce the sizes of the voltage pulse generator.

The technological scheme of the line for preseeding processing of grain is offered by authors of article. The main advantage of this treatment method is the absence of supplies, since ozone is generated directly from the air. It allows to automate as much as possible processing and storages of sowing material. Lack of expendables is the main advantage of this way of processing because ozone is generated directly from atmospheric air.

By mathematical modeling of distribution of electric field strength in volume of the discharging chamber the design of the discharging chamber is developed. It provides rectangular distribution of electric field strength on all volume of the chamber. Recommendations about optimization of a design of the recharging chamber as a result of the numerical analysis of characteristics of electric field have been offered. Due to use of a corona-forming electrode with microedges creating favorable conditions of crown formation categories at smaller values of voltage of a crown has been reached.

Application of installations for preseeding and postharvest seed treatment of agricultural production is able to afford to refuse fumigation and to achieve increase in productivity and increase in energy of germination of crops. Results of work confirm prospects of use of high-frequency pulse voltage generators in electro-technological installations for preseeding and post-harvest seeds treatment.

Keywords: *presowing and post-harvest seeds treatment, pulse corona discharge, pulse voltage generator, ozone grain seeds treatment, electro discharge technology.*

Представлено від редакції: Ю.Є. Мегель / Presented on editorial: Yu.E. Megel

Рецензент: І.О. Фурман / Reviewer: I.O. Furman

Подано до редакції / Received: 07.10.2016