

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК
АГРАРНОЇ НАУКИ ПРИЧОРНОМОР'Я
Науковий журнал

*Виходить 4 рази на рік
Видається з березня 1997 р.*

Випуск 3 (86) 2015

Миколаїв
2015

Засновник і видавець: Миколаївський національний аграрний університет.

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ №19669-9469ПР від 11.01.2013 р.

Збірник включено до переліку наукових фахових видань України, затвердженого наказом міністерства освіти і науки України від 13.07.2015 №747.

Головний редактор: В.С. Шибанін, д.т.н., проф., чл.-кор. НААНУ

Заступники головного редактора:

І.І. Червен, д.е.н., проф.

І.П. Агаманюк, д.т.н., доц.

В.П. Клочан, к.е.н., доц.

М.І. Гиль, д.с.-г.н., проф.

В.В. Гамаюнова, д.с.-г.н., проф.

Відповідальний секретар: Н.В. Потриваєва, д.е.н., проф.

Члени редакційної колегії:

Економічні науки: О.В. Шибаніна, д.е.н., проф.; Н.М. Сіренко, д.е.н., проф.; О.І. Котикова, д.е.н., проф.; Джулія Олбрайт, PhD, проф. (США); І.В. Гончаренко, д.е.н., проф.; О.М. Вишневська, д.е.н., проф.; А.В. Ключник, д.е.н., проф.; О.Є. Новіков, д.е.н., доц.; О.Д. Гудзинський, д.е.н., проф.; О.Ю. Єрмаков, д.е.н., проф.; В.І. Топіха, д.е.н., проф.; В.М. Яценко, д.е.н., проф.; М.П. Сахацький, д.е.н., проф.; Р. Шаундерер, Dr.sc.Agr. (Німеччина)

Технічні науки: Б.І. Бутаков, д.т.н., проф.; К.В. Дубовенко, д.т.н., проф.; В.І. Гавриш, д.е.н., проф.; В.Д. Будаков, д.т.н., проф.; С.І. Пастушенко, д.т.н., проф.; А.А. Ставинський, д.т.н., проф.; А.С. Добишев, д.т.н., проф. (Республіка Білорусь).

Сільськогосподарські науки: В.С. Топіха, д.с.-г.н., проф.; Т.В. Підпала, д.с.-г.н., проф.; А.С. Патрева, д.с.-г.н., проф.; В.П. Рибалко, д.с.-г.н., проф., академік НААН України; І.Ю. Горбатенко, д.б.н., проф.; І.М. Рожков, д.б.н., проф.; І.П. Шейко, д.с.-г.н., професор, академік НАН Республіки Білорусь (Республіка Білорусь); С.Г. Чорний, д.с.-г.н., проф.; М.О. Самойленко, д.с.-г.н., проф.; А.К. Антипова, д.с.-г.н., проф.; В.І. Січкач, д.б.н., проф.; А.О. Лимар, д.с.-г.н., проф.; В.Я. Щербаков, д.с.-г.н., проф.; Г.П. Морару, д.с.-г.н. (Молдова)

Рекомендовано до друку вченою радою Миколаївського національного аграрного університету. Протокол № 1 від 27.08.2015 р.

Посилання на видання обов'язкові.

Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів.

Адреса редакції, видавця та виготовлювача:

54020, Миколаїв, вул. Паризької комуни, 9,

Миколаївський національний аграрний університет,

тел. 0 (512) 58-05-95, <http://visnyk.mnau.edu.ua>, e-mail: visnyk@mnau.edu.ua

© Миколаївський національний аграрний університет, 2015

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАРЯДНОГО КОЛА ЗАГЛИБНИХ ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНИХ ПРИСТРОЇВ

О.В. Хвощан, кандидат технічних наук

А.В. Тиндюк, студент

Миколаївський національний аграрний університет

Розглянуто математичну модель зарядного кола заглибних електророзрядних пристроїв. Виконано моделювання перехідних процесів в колах заряду високовольтних електророзрядних заглибних систем, які мають у своєму складі напівпровідникові частотні перетворювачі, трансформатори і електричні кабелі значної довжини. Проведено оптимізацію параметрів зарядної схеми для передавання до навантаження (накопичувальної ємності) максимальної потужності.

Ключові слова: зарядне коло, накопичувальна ємність, трансформатор, індуктивність, довга лінія, потужність.

Постановка проблеми. Використання свердловин для вилучення рідких та газоподібних корисних копалин, артезіанської води є давнім винаходом людства. В останні десятиріччя криза в паливно-енергетичному комплексі України ставить особливо гострі питання щодо більш повного вилучення запасів вуглеводневої сировини. Серед безлічі методів підвищення нафтовидобутку [1] досить широке поширення отримав електророзрядний спосіб обробки нафтових і газових свердловин [2-4]. Аналогічну технологію використовують для очищення артезіанських свердловин [5], вода з яких йде на сільськогосподарські промислові та медичні цілі. Глобальне використання методу стримується значними масогабаритними характеристиками високовольтного устаткування, що істотно погіршує експлуатаційні можливості обладнання, недостатньою наявністю науково обґрунтованих підходів до підвищення ефективності передачі енергії при віддаленому (до 5000 м) розташуванні джерела живлення від об'єкта обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій дозволив установити, що провідним світовим розробником електророзрядного обладнання для обробки свердловин є Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України (м. Миколаїв). В Інституті ведуться роботи з розробки, впровадження і вдосконалення

технології і устаткування для декольматації артезіанських, нафтовидобувних, нагнітальних і газових свердловин [1-5]. Аналіз літературних джерел показав необхідність проведення окремих досліджень, спрямованих на визначення оптимальних енергетичних параметрів зарядних кіл заглибних пристроїв, які містять лінії з розподіленими параметрами, частотні перетворювачі та трансформатори, з метою підвищення надійності та стабільності роботи генератора імпульсних струмів (ГІС).

Метою дослідження є вибір оптимальних параметрів зарядних схем, що містять кабельну лінію, частотні перетворювачі та трансформатори для зменшення габаритних розмірів заглибної частини високовольтних свердловинних комплексів, підвищення ефективності передачі енергії і потужності заряду накопичувальної ємності.

Постановка задачі та моделювання процесів. Оптимізація вибору параметрів зарядного кола заглибної установки здійснювалась в умовах роботи зарядної схеми від перетворювача частоти (ПЧ) з вихідною напругою прямокутної форми і амплітудою $U_{пч} = 500$ В, що представляє собою з'єднання трифазної мостової схеми випрямлення і транзисторного інвертора напруги. В якості сполучної лінії було обрано геофізичний кабель КГЗ-60-90 ГОСТ 6020-82 [6] з параметрами: $R_{ж} = 28,5$ Ом/км, $L_0 = 3,1 \cdot 10^{-3}$ Ф/км, $C_0 = 0,102 \cdot 10^{-6}$ Ф/км.

Задача зводиться до оптимізації параметрів зарядного пристрою (проміжної частоти передачі енергії f , величин регулюючого дроселя L , параметрів високовольтного трансформатора TV2 і струмообмежувальної ємності C_1), схема якого наведена на рис. 1, для здійснення зарядки конденсатора C з накопиченою енергією 103 Дж до напруги $3 \cdot 10^4$ В з потужністю не менше 200 ВА.

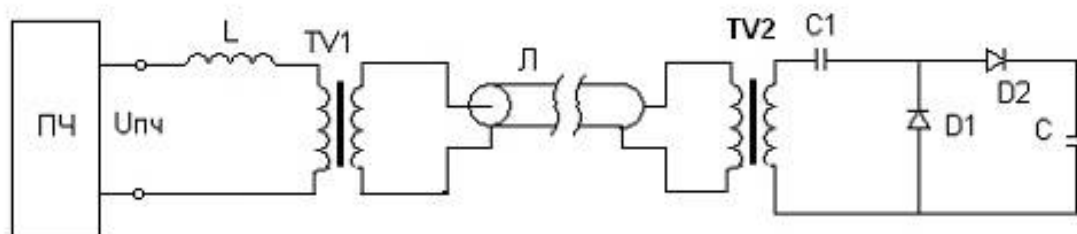


Рис. 1. Принципова схема зарядного кола установки для обробки свердловин

Представлену схему зарядного кола електророзрядної установки описують системою рівнянь (1) - (3):

$$L \cdot K_1 \cdot \frac{di(0,t)}{dt} + \frac{1}{K_1} u(0,t) = u_{пч}(t), \quad (1)$$

$$\begin{cases} -\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} = L_0 \frac{\partial i(x,t)}{\partial t} + R_0 i(x,t) \\ -\frac{\partial i(x,t)}{\partial x} = C_0 \frac{\partial u(x,t)}{\partial t} + G_0 u(x,t) \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} C_1 \frac{du(l,t)}{dt} = \frac{1}{K_2} i(l,t), \text{ при } u(l,t) \geq \frac{1}{2K_2} u_c(t) \\ i(l,t) = 0, \text{ при } u(l,t) < \frac{1}{2K_2} u_c(t) \\ u_{c(n)}(t) = u_{c(n-1)}(t) + \frac{K_2}{C} \int_n i(l,t) dt \end{cases} \quad (3)$$

де $i(0,t)$ - струм на початку лінії; $u(0,t)$ - напруга на початку лінії; $i(l,t)$ - струм в кінці лінії; $u(l,t)$ - напруга в кінці лінії; K_1 - коефіцієнт трансформації підвищувального трансформатора TV1; K_2 - коефіцієнт трансформації високовольтного трансформатора TV2; R_0 - поздовжній активний опір одиниці довжини лінії; L_0 - індуктивність одиниці довжини лінії; C_0 - ємність одиниці довжини лінії; G_0 - поперечна провідність одиниці довжини лінії; l - довжина лінії; n - цикл зарядки накопичувача (загальне число циклів $f \cdot t_3$); f - частота напруги, яку подають на лінію; t_3 - час зарядки накопичувача до номінального значення.

Аналітично вирішити систему рівнянь (1)-(3) неможливо, часткові рішення для окремих частин моделі раніше були отримані для сигналу синусоїдної форми [7]. Чисельне рішення системи можна отримати з використанням програми розрахунку перехідних процесів PSpice (точність розрахунків прийнята 0,1%).

Кабель був представлений у вигляді ланцюгової схеми заміщення, складеної з десяти Т-образних ланок. Похибку представлення кабелю ланцюговою схемою заміщення можна оцінити формулою з роботи [8]:

$$N \approx |\gamma l| / \sqrt{2 [\operatorname{ch}(\alpha l / N) - \cos(\beta l / N)]} = f(N) \quad (4)$$

де N – кількість ланок; l – довжина лінії; $\gamma = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)} = \alpha + j\beta$ – коефіцієнт розповсюдження; α – коефіцієнт послаблення; β – коефіцієнт фази.

При частоті передачі енергії 1000 Гц і використанні кабелю КГ 3-60-90 довжиною 5000 м похибка його представлення ланцюговою схемою заміщення не перевищує 0,1 %. Трансформатор TV2 прийнято ідеальним, параметри C_1 і C приведені до первинної обмотки.

При оптимізації параметрів підлягали розрахунку наступні величини:

- зарядна потужність

$$P_z = \int_0^{t_3} P_z(t) dt, \quad (5)$$

- середня потужність, яку споживає ПЧ

$$S_{cp} = \frac{\int_0^{t_3} |S_{ПЧ}(t)| dt}{t_3}, \quad (6)$$

- пікова потужність ПЧ

$$S_{пик} = \frac{\int_t^{t+T} |S_{ПЧ}(t)| dt}{T}, \quad (7)$$

де $P_z(t)$, $S_{ПЧ}(t)$ – відповідно миттєві значення зарядної потужності і потужності, споживаної ПЧ; t_3 – час зарядки накопичувача до номінального значення; $T = f^{-1}$; f – частота напруги, яку подають на лінію.

Аналіз і обговорення результатів розрахунків. Вибір оптимальної частоти напруги, яку передають по сполучному кабелю (рис. 2), проведено за умов досягнення максимальної можливої зарядної потужності $P_{зар}$ і величині струмообмежувальної ємності C_1 , що на порядок перевищує ємність кабелю довжиною 5000 м.

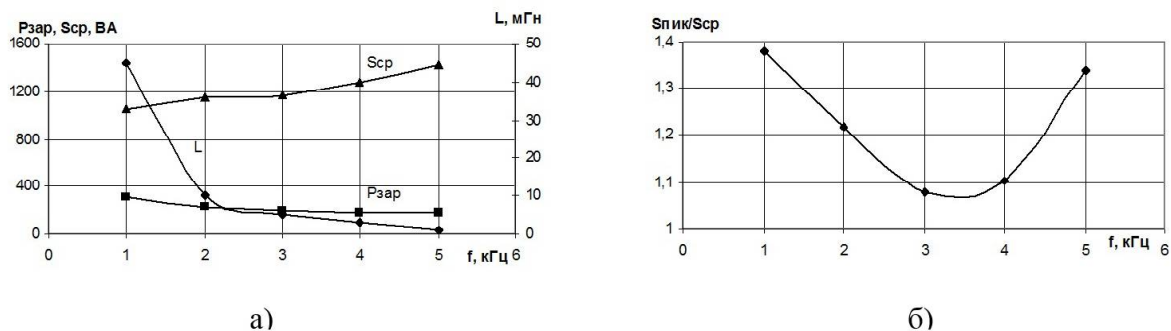


Рис. 2. Вплив проміжної частоти на енергетичні характеристики зарядного пристрою

Аналіз показав (рис. 2,б), що в діапазоні частот $(3...4) \cdot 10^3$ Гц відношення пікової потужності, споживаної перетворювачем частоти, до середньої потужності мінімальне, що припускає протікання через елементи ПЧ практично незмінного протягом періоду зарядки струму і сприятливий режим роботи елементів інвертора. Деяко менші значення споживаної ПЧ потужності S_{cp} дозволяють зробити висновок про доцільність подальшого визначення параметрів зарядного пристрою при передачі напруги з проміжною частотою $f = 3 \cdot 10^3$ Гц.

Наведений на рис. 3,а графік дозволяє оцінити величину індуктивності дроселя L , при якому можна досягти найбільшої зарядної потужності при роботі схеми в режимі, близькому до резонансного [9]. Моделювання (рис. 3,б) також дає можливість визначити вплив зміни індуктивності на такий показник якості напруги, як коефіцієнт гармонік

$$K_{\Gamma} = \frac{1}{U_1} \sqrt{\sum_{i=2}^n U_i^2}, \quad (8)$$

де U_i – значення гармонік напруги, яку подають на з'єднувальний кабель.

Розрахунок показав, що, незважаючи на практично незмінне значення зарядної потужності в діапазоні зміни індуктивності $(0...6)$ мГн, при роботі зарядного пристрою з кабелем довжиною 5000 м доцільно використовувати дросель з індуктивністю $L \sim 5 \cdot 10^{-3}$ Гн для зменшення коефіцієнта гармонік і поліпшення форми кривої напруги після дроселя. Це призводить до зменшення втрат у сполучному кабелі, а при не-

обхідності збільшення напруги, що подається на кабель - до зменшення втрат в осерді підвищувального трансформатора [10].

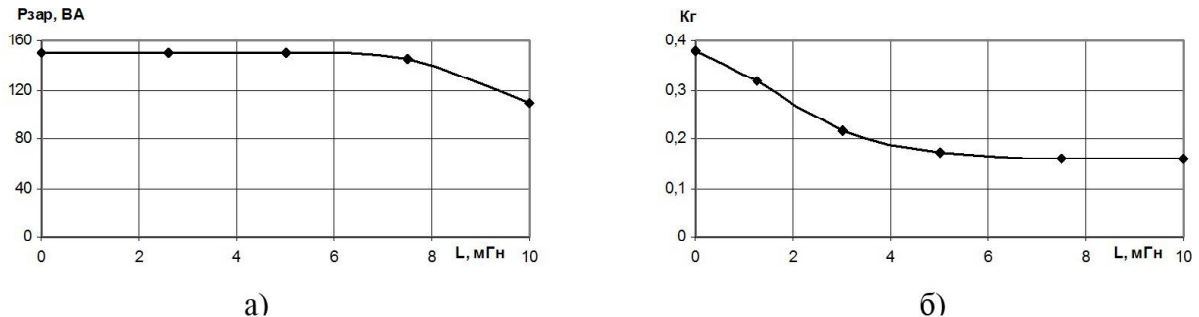


Рис. 3. Вплив індуктивності дроселя на потужність (а) і коефіцієнт гармонік (б) за умов $P_{зар} = \max$ і величині приведеної до первинної обмотки ємності $C_1' = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$

Величину ємності C_1 в схему подвоєння було визначено, виходячи з результатів розрахунку, наведених на рис. 4. Варіюючи величиною приведеної до первинної обмотки трансформатора TV1 ємності $C_1' = C_1 \cdot K_{22}$, зроблено висновок, що максимум зарядної потужності $P_{зар}$ в усіх випадках досягається при практично незмінному коефіцієнті трансформації $K_2 = 36$.

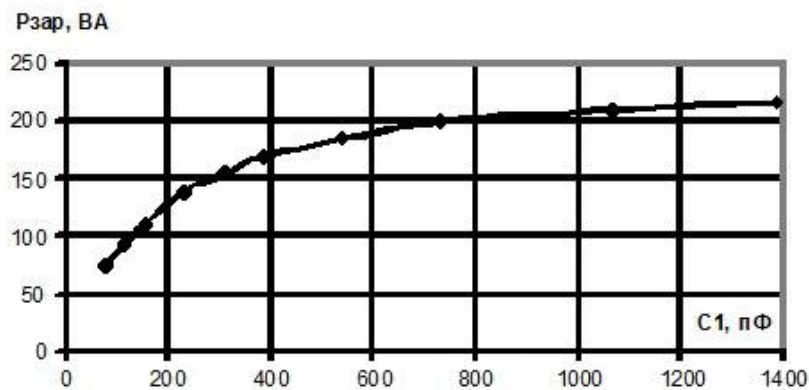


Рис. 4. Вплив ємності схеми подвоєння C_1 на найбільшу зарядну потужність ($f = 3000 \text{ Гц}$, $U_{пч} = 500 \text{ В}$, $L = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$, $K_2 = 36$)

Аналізуючи рис. 4, відзначено досить відчутний вплив ємності C_1 на величину найбільшої зарядної потужності до величини $\sim 7 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$. Застосування конденсаторів з більш високою ємністю недоцільно через визначальний вплив опору з'єднувальної лінії у складі загального опору зарядного кола. У

той же час, для досягнення технологічної потужності 200 В ємність C_1 має перевищити величину $7 \cdot 10^{-10}$ Ф. Огляд сучасного стану елементної бази показав можливість використання ма-логабаритних високовольтних конденсаторів КВИ-3 470 пФ, 20 кВ у складі схеми подвоєння.

Висновки. В роботі теоретично визначено режими в зарядному колі, що містить довгу лінію з розподіленими параметрами, оптимізовані по переданій потужності і проміжній частоті перетворення енергії. Визначено основні параметри елементів, що визначають оптимальний режим роботи зарядного пристрою високовольтної заглибної установки і дозволяють оптимізувати масогабаритні показники заглибної частини установки: проміжну частоту переданої напруги; індуктивність регулюючого дроселя; коефіцієнт трансформації високовольтного трансформатора; ємність схеми подвоєння.

Список використаних джерел:

1. Абдулин Ф. С. Повышение производительности скважин / Ф. С. Абдулин. - М. : Недра, 1975. - 264 с.
2. Wesley R. H. Patent 4345650 USA, E 21 B 43/25. Process and apparatus for electrohydraulic recovery of crude oil / Richard H. Wesley (USA). - № 139438; fil. 04.11.80; publ. 08.24.82.
3. Riggs E. D. Patent 4343356 USA, E 21 B 36/04. Method and apparatus for treating subsurface boreholes / Emmet D. Riggs, Eugene R. Brownscombe, James R. Bilhartz (USA). - № 888352; fil. 03.20.78; publ. 08.10.82.
4. Khvoschan O. V. On the Problem of the Diminution of the Mass and Dimension Parameters of Submersible Ionic Complexes / O. V. Khvoschan, Yu. I. Kurashko, V. V. Litvinov // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. - 2009. - Vol. 45. - № 4. - pp. 329-333.
5. Швець І. С. Електророзрядний спосіб відновлення продуктивності артезіанських свердловин / І. С. Швець, В. Г. Жекул, С. Г. Поклонов та ін. // Вісник аграрної науки Причорномор'я. - 2013. - Вип. 3. - С. 200-205.
6. ГОСТ 6020-82. Кабели грузонесущие геофизические. - М. : Изд-во стандартов, 1985. - 5 с.
7. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи / Л. А. Бессонов. - М. : Высш. школа, 1978. - 528 с.
8. Каганов З. Г. Электрические цепи с распределенными параметрами и цепные схемы / З. Г. Каганов. - М. : ЭАИ, 1990. - 248 с.
9. Курашко Ю. И. Повышение эффективности преобразования энергии в зарядной цепи электроразрядных установок, предназначенных для увеличения притока нефти в скважины / Ю. И. Курашко, О. В. Хвоцан, И. С. Швець // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Тематичний випуск: Електроенергетика і перетворююча техніка. - Харків : НТУ "ХПІ". - 2004. - № 35. - т. 1. - С. 123-130.
10. Щерба А. А. Влияние формы напряжения на энергоэффективность электроразрядных погружных установок / А. А. Щерба, Ю. И. Курашко, О. В. Хвоцан. // Технічна електродинаміка. - 2004. - № 3. - С. 33-36.

*О. В. Хвощан, А. В. Тиндюк. **Обоснование параметров зарядной цепи погружных электроразрядных устройств***

Рассмотрена математическая модель зарядной цепи погружных электроразрядных устройств. Выполнено моделирование переходных процессов в зарядных цепях высоковольтных электроразрядных погружных систем, имеющих в своем составе полупроводниковые частотные преобразователи, трансформаторы и электрические кабели значительной длины. Проведена оптимизация параметров зарядной схемы для передачи в нагрузку (накопительную емкость) максимальной мощности.

Ключевые слова: *зарядная цепь, накопительный конденсатор, трансформатор, индуктивность, длинная линия, мощность.*

*О. Khvoshchan, A. Tindyuk. **Justification of charging circuit options of electric submersible devices***

The mathematical model of the charging circuit of electric submersible devices is considered. The simulation of transients in charging circuits of high-voltage electric submersible systems, having semiconductor frequency converters, transformers and electric cables of long length in its composition is done. The optimization of the parameters of the charging circuit for the maximum power transmission to the load (the capacitor) is carried out.

Key words: *charging circuit, capacitor, transformer, inductance, long cable, power.*

ЗМІСТ

ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ

- A. Burkowska, T. Lunkina.** Banking system of Ukraine: the features of the present activity 3
- I.T. Кіщак, Н.О. Корнева, О.Є. Новіков.** Тваринництво України у світовому галузевому розвитку 10
- О.М. Вишневська, Т.П. Лісковецька.** Глобалізаційний вплив у формуванні критеріїв оцінки середовища держави 22
- О.І. Мельник.** Венчурне фінансування як фактор розвитку інноваційного підприємництва в аграрному секторі економіки 33
- I.B. Баришевська, А.Ю. Корабахіна.** Нормативно-правові та практичні аспекти формування та обліку статутного капіталу комерційних банків 41
- А.О. Соколова, Т.М. Ратошнюк.** Вплив трансформаційних процесів на результативність аграрного сектора економіки Волинської області..... 49
- I.B. Мельниченко.** Запаси бюджетних установ: окремі питання відображення в обліку 62
- А.В. Богославська.** Формування політики економічного розвитку заповідних територій і об'єктів природно-заповідного фонду..... 68
- В.П. Рибачук.** Інноваційна модель як інституційна основа ефективності і конкурентоспроможності економіки 77
- В.А. Пехов.** Сортові інновації у виробництві зерна сільськогосподарськими підприємствами..... 85

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ

- Г.М. Господаренко, І.Ю. Рассадіна.** Фотосинтетична діяльність рослин рижію ярого залежно від удобрення в Правобережному Лісостепу 93
- З.М. Грицаєнко, А.А. Даценко.** Фотосинтетична продуктивність посівів гречки за дії біологічних препаратів. 100
- Р.А. Вожегова, Л.В. Мунтян.** Вплив різних доз азотного добрива та норм висіву на елементи структури врожаю сортів пшениці озимої..... 107

М.Я. Шевніков, О.Г. Міленко. Міжвидова конкуренція та забур'яненість посівів сої залежно від моделі агрофітоценозу	116
О.А. Самойленко. Вплив екотипу ячменю ярого на його урожайність в умовах Лівобережного Лісостепу України.....	124
С.В. Ображій. Урожайність культур за різних систем основного обробітку ґрунту та рівнів удобрення в зернопросапній сівозміні Центрального Лісостепу України	131
І.В. Чередниченко. Міцність водостійких структурних агрегатів чорнозему типового в умовах органічного землеробства.....	143
С.О. Кірієнко. Створення відновлювачів фертильності соняшнику, стійких до гербіциду експрес 75 в. г.	153
М.І. Гиль. Аналіз молочної продуктивності та ефекту відбору корів різних порід в умовах тов «Колос-2011» Миколаївської області....	159
У. Kiriyaк, М. Tyshchenko, I. Gorbatenko. Factors of global warming in Kherson region and features of eukaryotes' metabolism under these conditions.....	171
О.О. Стародубець. Вплив різних типів води на запліднюючу здатність сперми кнурів при її розбавленні	182
О.О. Корнієнко. Ефективність використання штучного осіменіння в рисистому конярстві України	188
ТЕХНІЧНІ НАУКИ	
Н. Ivanov, P. Polyanskiy. Calculation and choice of transitional landings	197
D. Marchenko. Tribological research on the process of wear of a friction pair «cable block – rope» considering rolling slippage.	211
О. Kyrychenko. Electrodinamic stability of isolators and bus bars in a short circuit	222
О.В. Хвоцян, А.В. Тундюк. Обґрунтування параметрів зарядного кола заглибних електророзрядних пристроїв.....	228
Д.В. Бабенко, О.А. Горбенко, Н.А. Доценко, Н.І. Кім. Дослідження якісного складу подрібненої маси насінників овоче-баштанних культур	236
В.В. Стрельцов. Математичне моделювання процесу стиснення м'ятки у олієвідокремлювачі шнекового типу ...	242