

УДК 693.546.3.002.51

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ПІД ЧАС РОБОТИ РОЗЧИНОЗМІШУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ЗІ ШНЕКОВИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

*Попов С.В., аспірант*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

*36011, м. Полтава, проспект Першотравневий, 24*

*E-mail: [psv26@mail.ru](mailto:psv26@mail.ru)*

Предложена конструкция испытательного стенда для исследования потребляемой мощности во время работы универсальной растворосмесительной установки. Проведена оценка влияния на мощность перемешивания физико-механических свойств строительных растворов, кинематических и геометрических параметров рабочего органа шнекового смесителя. Получены необходимые практические данные для обоснования методики расчета мощности. С помощью методов математического моделирования определена функциональная зависимость величины мощности, потребляемой приводом растворосмесительной установки.

**Ключевые слова:** мощность, растворосмеситель, шнековый рабочий орган

This paper is devoted to the power determination of mortar-mixer. The problem influence of building solution, kinematical and geometrical operation factors of labour body is attacked in the article. The scientists pay attention to a special test desk. The article describes experimental results, mathematical definition of power functional dependence in details.

**Key words:** power, mortar mixer, mixing screw

**Вступ.** На стадії проектування шнекових циклічних розчинозмішувальних установок примусової дії виникає питання визначення необхідної потужності приводу, виходячи з геометричних параметрів установки, урахування властивостей будівельних розчинів, що перемішуються. Для цього необхідно встановити характер взаємодії робочого органу із середовищем під час роботи.

Визначення потужності, що споживається при перемішуванні, пов'язане з необхідністю врахування великої кількості факторів, які визначаються як конструкцією змішувальної установки, її кінематичними характеристиками, так і властивостями середовища, що перемішується.

**Аналіз літературних джерел.** Як відомо, будівельні розчини являють собою полідисперсні системи, в яких високодисперсною складовою твердої фази є частинки цементу або вапна, а грубодисперсною – пісок [1-3]. Основні фізико-механічні властивості розчинних сумішей можна характеризувати такими показниками, як густина, в'язкість та гранулометричний склад [4-7]. Ці показники здійснюють безпосередній вплив на витрати потужності під час перемішування.

Зусилля на переміщення шнекового робочого органу у розчині будуть пропорційні масі перемішуваних ділянок суміші, тобто потужність буде пропорційною до густини [8]. Густина будівельних розчинів залежить також від їх складу, а саме від фізичних даних окремих компонентів і від їх відсоткового вмісту у загальному об'ємі. Необхідно враховувати, що зі зміною складу розчину та його компонентів буде відбуватися зміна в'язкості суміші, яка також залежить від гранулометричного складу, кількості

води, типу в'язучої речовини та інших факторів. Зі збільшенням дози води у розчині зменшуються показники, що характеризують в'язкість суміші, а густина буде збільшуватись у певному інтервалі, оскільки додавання води не збільшить об'єм, тому що вона буде займати порожнини між зернами суміші. Величина в'язкості суттєво залежить від швидкості руху суміші або швидкості робочого органу в ній. Величини в'язкості аномальних дисперсних систем є непостійними протягом циклу замішування [9]. Тому вплив в'язкості на потужність у чистому вигляді важко врахувати. Також не є доцільним враховувати окремо вплив густини суміші на витрату потужності, оскільки ці фактори, тобто в'язкість, густина, коефіцієнти тертя суміші по металу, взаємопов'язані з гранулометричними характеристиками складових розчину, їх кількісними співвідношеннями.

**Мета роботи.** Виявлення основних закономірностей, яким підпорядковуються опори руху робочих органів розчинозмішувального обладнання; виявлення найбільш раціональних режимів процесу перемішування, які забезпечать найбільш ефективне перемішування; визначення факторів, що визначають витрату потужності на перемішування, з урахуванням фізико-механічних властивостей будівельних розчинів та конструктивних особливостей змішувача; підтвердження ефективності запропонованих рекомендацій щодо підвищення технологічних можливостей шнекового змішувача.

**Матеріал і результати дослідження.** Для визначення і обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи шнекового змішувача, характеру взаємодії із робочим середовищем необхідно вико-

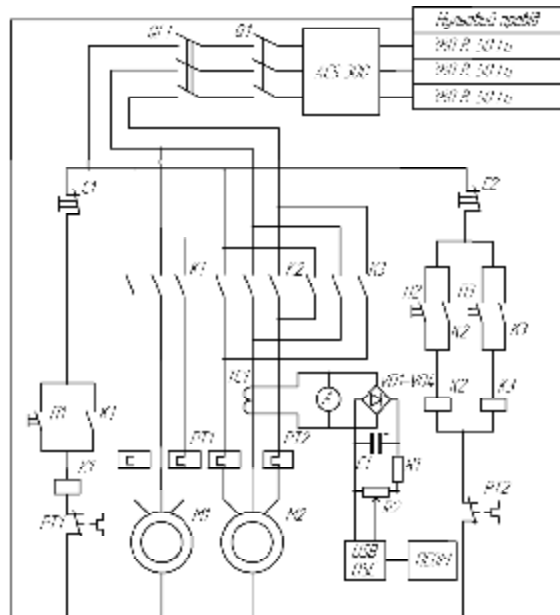
нати експериментальні дослідження в лабораторних умовах. Були проведені вимірювання потужності, що споживається під час перемішування для різних за складом та рухомістю розчинів, що приготовані на пісках різної крупності та на різних в'язучих. Використовувались розчини наступних складів: вапняний 1:3 та 1:5, цементний 1:3 та 1:5, а також складний 1:1,5:5. Як в'язуче у вапняних розчинах використовували вапняне тісто вологістю 50%, активністю 60%, а в цементних – портландцемент марки 400. Розчини готувались на двох видах кар'єрного піску середньої крупності 0,4 та 0,3 мм, густиною 1570 та 1630 кг/м<sup>3</sup>, умістом глинистих частинок 1,5 та 1,8% відповідно. Досліди проводились на розчинах рухомістю П8, П12 (ДСТУ Б В.2.7-23-95), що відповідає 6, 8, 10 та 12 см за стандартним конусом. Дозування складових розчину здійснювали за масою.

Експерименти виконувались на спеціально розробленому випробувальному стенді, зображеному на рис. 1 а, б. До його складу входять: дослідний зразок універсальної розчино-змішувальної установки (шнековий змішувач), обладнаний розчинонасосом із комбінованим компенсатором пульсації тиску; блок керування (ланцюг керування приводами розчинонасоса та змішувача); комп'ютер *AMD Athlon(tm) XP 1800+ 1,54 ГГц, 768 МБ ОЗУ*; *USB-Oscilloscope* – двоканальний осцилограф із функцією самописця; *ТС1* – вимірювальний трансформатор струму; *АCS 300* – частотний регулятор для зміни частоти обертання робочого органу змішувача; *Q1* – загальний рубильник, призначений підключення або відключення блоку керування в мережу живлення, а також аварійного відключення; *QF1* – автоматичний вимикач, який забезпечує захист від перевантажень за струмом блоку керування; *A* – амперметр; *VD1-VD4* – діодний місток; *С1* – конденсатор електролітичний; *R1, R2* – резистори.

Ланцюг керування приводом розчинонасоса працює наступним чином. Під час замикання кнопки *П1* напруга подається на котушку контактора *K1*, який спрацьовує і замикає свої контакти. При цьому допоміжний контакт контактора, який ввімкнено паралельно кнопці *П1*, забезпечує подачу напруги на котушку контактора та зберігає ввімкнений стан після відпускання кнопки *П1*. При замиканні контактора напруга поступає на електричний двигун розчинонасоса *M1* крізь теплові реле *РТ1*, які захищають двигун від довготривалих перевантажень за струмом. При натисканні кнопки *С1* котушка контактора знеструмлюється, його контакти розмикаються та двигун відключається.

Ланцюг керування приводом змішувача відрізняється від попереднього лише можливістю реверсування напрямку обертання двигуна *M2*. Для проведення вимірювань в ланцюг живлення двигуна *M2* підключено вимірювальний трансформатор струму *ТС1*, що призначений для перетворення більшого струму в менший струмовий сигнал вимірювальної інформації для його передачі вимірювальним пристроям. В нашому випадку це амперметр та осцило-

граф, що підключений до комп'ютера. Принцип дії трансформатора струму полягає у перетворенні сили вхідного змінного струму в силу вихідного змінного струму з коефіцієнтом, що визначається відношенням числа первинної та вторинної обмоток.



а)



б)

Рисунок 1 - Випробувальний стенд для дослідження витрати потужності: а) – схема електрична принципова; б) – вигляд загальний

На рис. 2 наведена циклограма, що отримана за допомогою USB-самописця (початковий період роботи установки) і оброблена в програмному середовищі *Iris Waveware 2.6*. Вона характеризує зміну вихідного сигналу (потужності) протягом циклу роботи випробувального стенду.

На рис. 3 а, б представлені графіки залежності потужності, що витрачається на перемішування різних за складом і рухомістю розчинів.

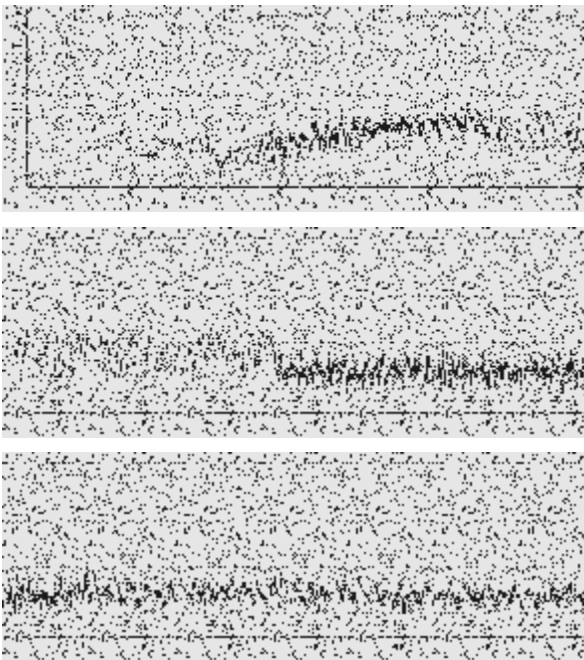


Рисунок 2 - Циклограма початкового періоду роботи випробувального стенду під час приготування цементно-піщаного розчину (1:5, рухомість 6 см, коефіцієнт заповнення бункера  $\varphi = 1$ ,  $n = 40$  об/хв.)

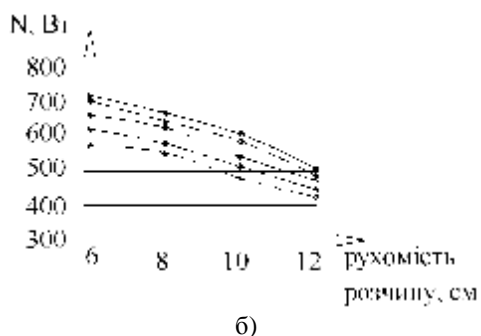
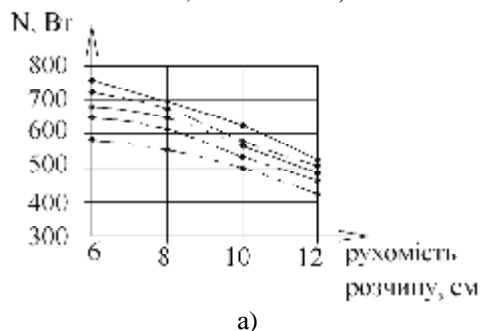


Рисунок 3 - Залежність споживаної потужності привода змішувача від рухомості будівельного розчину при коефіцієнті наповнення бункера  $\varphi=1$ , частоті обертання робочого органу  $n = 40$  об/хв.: **—** – цементний 1:5; **- - -** – цементний 1:3; **— · —** – вапняний 1:5; **- - -** – вапняний 1:3; **— · - -** – складний 1:1,5:5;  
а) – розмір зерен заповнювача 0,4 мм;  
б) – розмір зерен заповнювача 0,3 мм

Аналіз вищенаведених результатів (рис. 3 а, б) дозволяє зробити висновки, що зі збільшенням рухомості розчину потужність, що витрачається на обертання шнекового вала, зменшується. Ця закономірність спостерігається для розчинів всіх складів, що досліджувались. Потужність, що витрачається на перемішування цементних розчинів, дещо більша, ніж вапняних. Цементно-піщані розчини вимагають витрат потужності на 15-20% більше, ніж вапняні, при однаковості інших умов. Наявність вапна у розчині надає пластифікуючої дії. Крупність зерен заповнювача в межах, що придатні для будівельних розчинів, суттєвого значення не має, але з експериментальних даних можна побачити, що потужність дещо збільшується під час перемішування розчинів, приготованих на більш крупних пісках.

На рис. 4 наведені графіки залежності споживаної потужності від зміни частоти обертання шнекового вала дослідного зразка розчинозмішувальної установки.

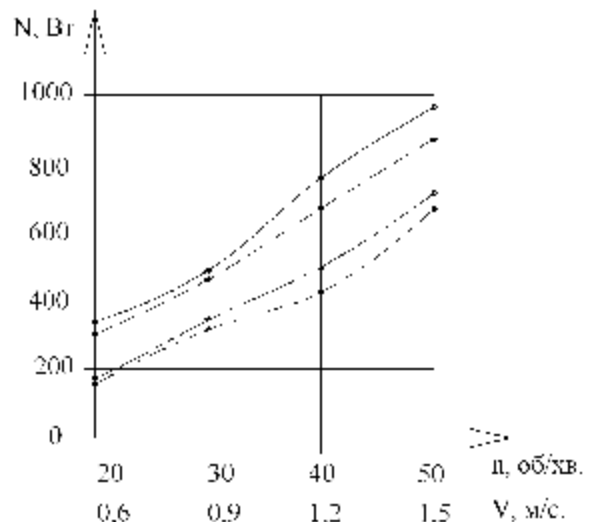


Рисунок 4 - Залежність споживаної потужності привода змішувача від частоти обертання робочого органу при  $\varphi = 1$ : **—** – цементний 1:5, 6 см; **- - -** – цементний 1:3, 8 см; **— · —** – вапняний 1:5, 10 см; **- - -** – вапняний 1:3, 12 см

Потужність в зоні швидкостей від 0,6...1,5 м/с змінюється пропорційно першому ступеню частоти обертання робочого органу (рис. 4). Така картина зміни потужності може бути пояснена тим, що в даній зоні швидкостей розчин має повністю зруйновані структурні зв'язки, тобто його аномальна в'язкість буде достатньо стабільною. При цих швидкостях вплив турбулентності, хвилеутворення та інших факторів на витрати потужності незначні.

На рис. 5 наведено графіки залежності потужності від коефіцієнта наповнення бункера дослідного зразка універсальної розчинозмішувальної установки.

Проведеними дослідженнями встановлено, що потужність знаходиться в прямій залежності від коефіцієнта наповнення бункера (рис. 5).

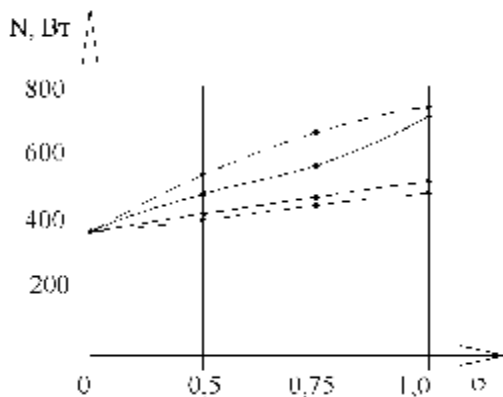


Рисунок 5 - Залежність потужності від коефіцієнта наповнення бункера розчином при  $n = 40$  об/хв.:  
 —•— цементний 1:5, 8 см; — — — — — цементний 1:3, 6 см; — · — — — — вапняний 1:5, 12 см; — · — — — — вапняний 1:3, 10 см

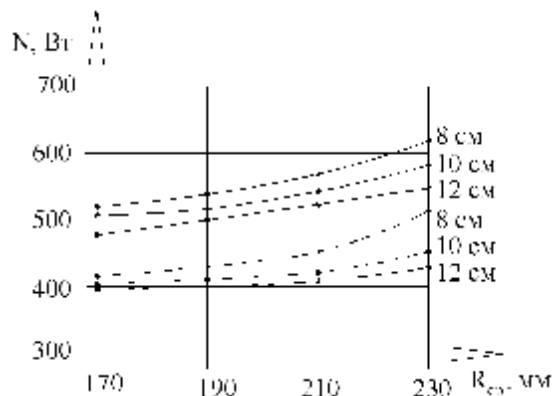


Рисунок 6 - Залежність потужності від середнього радіуса шнекового змішувача при  $\varphi = 0,75$ :  
 —•— цементний 1:5;  
 — — — — — вапняний 1:3

Суттєвого самостійного впливу на величину споживаної потужності довжина бункера досліджуваного змішувача не спричиняє. Задача зводиться до визначення впливу ступеня заповнення та геометрії робочого органу.

Досліди щодо визначення впливу радіуса шнекового вала на потужність перемішування проводились на цементному та вапняному розчинах складу 1:5 та 1:3 відповідно, рухомістю 8, 10 та 12 см. Робочим органом є однозахідний шнековий змішувач. Площа стрічки та кут встановлення залишалися незмінними на всіх радіусах. Вимірювання споживаної потужності здійснювали при сталій частоті обертання робочого органу, яка становить 40 об/хв. На рис. 6 представлені графіки зміни потужності залежно від середнього радіуса змішувача.

Потужність зростає зі збільшенням середнього радіуса шнекового змішувача (рис. 6) причому зі збільшенням радіусу починає простежуватись перехід від прямопропорційної залежності до квадратичної.

Також за результатами проведених експериментальних досліджень було визначено функціональну залежність споживаної потужності  $N$ , Вт, приводу шнекового змішувача під час приготування цементного розчину 1:3 на основі повного трьохфакторного експерименту. Були встановлені граничні значення незалежних факторів, які значною мірою впливають на величину потужності. Числові значення цих факторів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення інтервалів варіювання параметрів при проведенні вимірів

Найменування фактору	Розмірність	Позначення	Верхній рівень (+)	Нульовий рівень (0)	Нижній рівень (-)	Інтервал варіювання
Частота обертання	об/хв.	$n$	50	35	20	15
Коефіцієнт наповнення	-	$\varphi$	1,0	0,75	0,5	0,25
Рухомість розчину	см	$V_p$	12	8	6	4

За кількістю встановлених найбільш вагомих факторів відповідно до рекомендацій [10-14] було складено план багатофакторного експерименту.

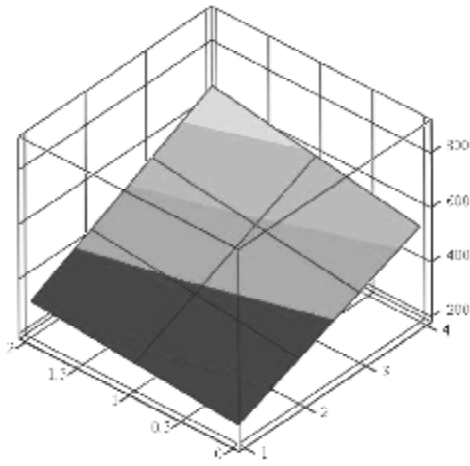
При варіюванні параметрів, згідно розробленого плану, було проведено вимірювання величини потужності, яка споживається під час перемішування.

У результаті обробки було встановлено наступну функціональну залежність:

$$N = 31,086 + 7,168 \cdot n + 40,332 \cdot j + 1,948 \cdot V_p + 4,243 \cdot n \cdot j, \quad (1)$$

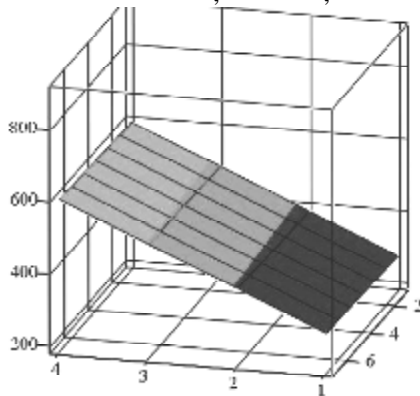
де  $n$  – частота обертання шнекового змішувача, об/хв.;  $\varphi$  – коефіцієнт наповнення бункера розчином;  $V_p$  – рухомість будівельного розчину, см.

На рисунках 7 а, б, в наведені тривимірні графіки залежностей споживаної потужності  $N$ , Вт від незалежних факторів, побудовані у програмному середовищі MathCAD із використанням двомірних матриць на основі виразу (1).



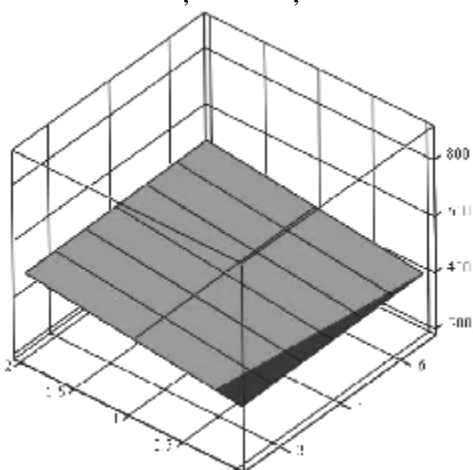
а)

$$N_{i,j} = f(n_i, j_j) \text{ при } V_p = V_{p0}, \text{ де } n_i = 10 \cdot (1 + i), \\ j_j = 0,25 \cdot (2 + j), i = 1 \dots 4; j = 0 \dots 2$$



б)

$$N_{i,j} = f(n_i, V_j) \text{ при } j = j_0, \text{ де } n_i = 10 \cdot (1 + i), \\ V_j = 5 + j, i = 1 \dots 4; j = 1 \dots 7$$



в)

$$N_{i,j} = f(V_i, j_j) \text{ при } n = n_0, \text{ де } V_i = 5 + i, \\ j_j = 0,25 \cdot (2 + j), i = 1 \dots 7; j = 0 \dots 2$$

Рисунок 7 - Тривимірні графіки залежностей потужності  $N$ , яка споживається приводом шнекового змішувача, від незалежних факторів

**Висновки.** Визначена в результаті трьохфакторного експерименту функціональна залежність (1) дає можливість розрахунковим шляхом оцінити величину потужності, яка споживається приводом шнекового змішувача під час перемішування цементного розчину 1:3 залежно від частоти обертання, рухомості та коефіцієнта наповнення бункера.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Мартынов В.Д., Алешин Н.И., Морозов Б.П. Строительные машины и монтажное оборудование: Учебник. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
2. Бауман В.А., Клушанцев Б.Г., Мартынов В.Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. – М.: Машиностроение, 1981. – 324 с.
3. Мартынов В.Д., Сергеев В.П. Строительные машины. – М.: Высшая школа, 1970. – 304 с.
4. Мартынов В.Д. Выбор рабочих режимов и оптимальных параметров рабочих органов растворосмесителей // Строительные и дорожные машины. – 1962. - №1.
5. Мартынов В.Д. К расчету мощности двигателя привода лопастных строительных растворомешалок // Строительное и дорожное машиностроение. – 1959. - № 9.
6. Назаренко І.І., Туманська О.В. Машины і устаткування підприємств будівельних матеріалів. – К.: Вища шк., 2004. – 590 с.
7. Гоц В.І. Бетони і будівельні розчини: Підручник. – К.: КНУБА, 2003. – 472 с.
8. Почупайло Б.И., Богданов В.С. К вопросу о расчете мощности смесителя // Труды всеукраинской конф. „Прогрессивные технологии и машины для производства стройматериалов, изделий и конструкций”. – Полтава, 1996. – С. 39-40.
9. Васильева В.В. Вязкопластичные свойства штукатурных растворов. – М.: Стройиздат, 1956. – 147 с.
10. Математичне моделювання технологічних процесів у машинобудуванні / А.І.Гордієнко, Л.Г.Полонський, П.П.Мельничук, М.Л.Хейфець. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 190 с.
11. Статистична обробка даних / В.П.Бабак, А.Я.Білецький, О.П.Пристава, П.О.Пристава. – К.: МІВВЦ, 2001. – 388 с.
12. Булдык Г.М. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие. – Мн.: Выш. шк., 1989. – 285 с.
13. Михок Г., Урсяну В. Выборочный метод и статистическое оценивание: Пер. с рум. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 245 с.
14. Мельников С.В., Алешкин В.Р. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

Стаття надійшла 1.11.2007.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Масловим О.Г.