

УДК 658.51:631.3

О.В. Сидорчук

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства».

П.М. Луб

Львівський національний аграрний університет.

В.В. Грабовець

Луцький національний технічний університет.

В.С. Спічак

Володимир-Волинський агротехнічний коледж

## АЛГОРИТМ СТАТИСТИЧНОЇ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ҐРУНТООБРОБНО-ПОСІВНИХ ПРОЦЕСІВ ЛІТНЬО-ОСІННЬОГО ПЕРІОДУ

*Сидорчук О.В., Луб П.М., Грабовець В.В., Спічак В.С. Алгоритм статистичної імітаційної моделі ґрунтообробно-посівних процесів літньо-осіннього періоду. Розкрито особливості впливу некерованих складових механізованих процесів обробітку ґрунту та сівби на календарні терміни їх виконання та функціональні показники. Розроблено блок-схему алгоритму статистичної імітаційної моделі ґрунтообробно-посівних процесів літньо-осіннього періоду.*

**Ключові слова:** обробіток, сівба, мінливість, комплекс машин, алгоритм, моделювання.

**Форм. 2. Рис. 1. Літ. 9.**

*Сидорчук А.В., Луб П.М., Грабовець В.В., Спічак В.С. Алгоритм статистической имитационной модели почвообрабатывающе-посевных процессов летне-осеннего периода. Раскрыты особенности влияния неуправляемых составляющих механизированных процессов возделывания почвы и посева на календарные сроки их выполнения и функциональные показатели. Разработана блок-схема алгоритма статистической имитационной модели почвообрабатывающе-посевных процессов летне-осеннего периода.*

**Ключевые слова:** возделывание, посев, изменчивость, комплекс машин, алгоритм, моделирование.

*Sydorchuk O.V., Lub P.M., Grabovets V.V., Spichak V.S. Algorithm of statistical simulation model of soil-tillage processes in the summer-autumn period. The features of out of control constituents influencing in the soil-tillage and sowing processes are exposed on the calendar terms of their implementation and functional indexes. The algorithm chart of statistical simulation model of soil-tillage and sowing processes in summer-autumn period is developed.*

**Key words:** soil-tillage, sowing, changeability, machines complexes, algorithm, modeling.

**Постановка проблеми.** Об'єктивний вплив агрометеорологічних умов на стан агрофону полів сільськогосподарських підприємств (СГП) зумовлює мінливість термінів виконання механізованих процесів щодо удобрення, підготовки ґрунту та сівби. Це зумовлює потребу технологічного адаптування до стану предмету праці як у розрізі весняного так і літньо-осіннього періодів. Тому для своєчасної сівби культур у якісно підготовлений та удобрений ґрунт СГП повинне володіти "адаптивним" комплексом сільськогосподарських машин. Сучасні методи та моделі із дослідження ефективності таких комплексів, на жаль, ще не дають змоги врахувати системно-подієві особливості їх функціонування та потребують удосконалення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Чинні методи та моделі обґрунтування параметрів комплексів машин СГП [6] ґрунтуються на нормативах потреб у техніці і дають змогу встановити "базовий" комплекс машин для заданих агротехнічних термінів робіт [3]. Їх застосування для дослідження адаптивних технологічних систем [9], на жаль, не дає змоги об'єктивно оцінити комплекс машин, який функціонує в умовах що постійно змінюються, а відтак потребують корегування ходу ґрунтообробно-посівних процесів у розрізі календарного періоду.

**Невирішені раніше частин проблеми.** Сучасний розвиток інформаційних технологій та, зокрема потужності персональних комп'ютерів, дає змогу застосовувати складні методи дослідження механізованих процесів рільництва, а відтак обґрунтовувати параметри технологічних систем. До таких методів відноситься й статистичне імітаційне моделювання, яке дає змогу враховувати ймовірнісний вплив агрометеорологічних умов на терміни початку, тривалості та завершення відповідних робіт, а відтак отримати статистичні закономірності функціональних показників відповідних технологічних комплексів машин.

**Метою статті** є розкрити особливості впливу некерованих складових механізованих процесів обробітку ґрунту та сівби на календарні терміни їх виконання та функціональні показники, а також представити блок-схему алгоритму статистичної імітаційної моделі ґрунтообробно-посівних процесів літньо-осіннього періоду.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Результатом процесів обробітку ґрунту та сівби (ОГС) є поля із посіяними культурами. Вираження ефективності цих процесів можливе на підставі декількох критеріїв, основним із яких є врожайність (обсяг) вирощеної

сільськогосподарської культури. Відповідно до цього, особливістю процесів ОГС є те, що формування їх ефективності здійснюється за сукупного впливу керованих, частково керованих та некерованих елементів зовнішнього та внутрішнього середовища. Тому для встановлення функціональних показників відповідних комплексів машин необхідно враховувати вплив таких складових, як предмет праці та агрометеорологічні умови, природно дозволений фонд часу на виконання ґрунтообробно-посівних процесів, виробнича програма сівби культур (зокрема озимих), а також трудові ресурси, які, власне, сукупно й формують параметри технологічної (ТС).

Аналіз агротехнічних вимог до процесів ОГС переконує у тому, що роботи, які у них виконуються, скеровані на своєчасне задоволення вимог озимих культур до якісного стану агрофону поля на початкових фазах (проростання та появи сходів) їх вегетаційного періоду.

Створення цих сприятливих умов досягають за рахунок впливу на керовані чинники ефективності зазначених процесів, а також їх причинно-наслідкові зв'язки. На практиці це відбувається за допомогою поточного аналізу системно-подієвих тенденцій зміни предметної (агрофонові) та агрометеорологічної складових і прийняття рішень щодо виконання множини технологічних операцій із ОГС. Відповідно до цього досягнення кінцевого результату згаданих процесів здійснюється за декілька етапів якісного перетворення агрофону поля, що відбувається впродовж певного календарного проміжку часу. Згідно із технологіями ОГС етапи цього перетворення можуть бути різними, однак спільною їх ознакою є завдання, на які вони скеровані, а саме: забезпечити оптимальну щільність ґрунту, водяний та повітряний режими, сприятливі умови для органно-мінерального живлення тощо, а також розташувати добрива і насіння озимих культур на відповідній глибині [4].

Важливою особливістю цих процесів також є те, що "негативний" вплив агрометеорологічних умов на стан ґрунту зумовлює виникнення так званих непогожих проміжків, за яких фізико-механічні властивості ґрунту зумовлюють призупинення робіт на полях СГП. Унаслідок цього, скорочується тривалість природно дозволеного фонду часу ( $t_{nz}$ ) на виконання множини згаданих робіт. Тривалість цього фонду часу є ймовірнісною величиною, а її статистичні характеристики залежать від низки складових. Загалом, роботи із ОГС необхідно виконати в проміжку часу між двома головними (базовими) подіями – часом (календарним терміном) завершення ( $\tau_{33}^n$ ) збирання врожаю попередника та часом початку ( $\tau_{ne}$ ) технологічних втрат озимих культур від несвоєчасного виконання згаданих процесів. Настання подій  $\tau_{33}^n$  та  $\tau_{ne}$  в розрізі календарного періоду виконання механізованих процесів ОГС характеризується стохастичністю, що призводить до мінливості  $t_{no}$ . Окрім того, випадання дощу між  $\tau_{33}^n$  та  $\tau_{ne}$  зумовлює виникнення непогожих проміжків [2], простій техніки та скорочення  $t_{no}$ .

Врахування цих об'єктивних складових під час встановлення функціональних показників технологічних комплексів машин для виконання ґрунтообробно-посівних процесів, зокрема впродовж літньо-осіннього періоду, потребує застосування методів статистичного імітаційного моделювання, а також методів системно-подієвого відображення термінів та темпів виконання множини технологічних операцій згаданих процесів. Першочерговим завданням щодо розроблення цих моделей є розроблення блок-схеми їх алгоритму (рис.).

Відповідно до теорії моделювання, для зниження складності моделей виробничих систем здійснюють їх декомпозицію [1]. Зокрема, процеси механізованого обробітку ґрунту та сівби озимих культур розглядаємо на трьох рівнях декомпозиції ТС: 1) узагальненому; 2) часткових процесів; 3) операційному. Кожен із цих рівнів системно пов'язаний з іншим. Отримані результати того чи іншого рівня залежать від попереднього та доповнюють початкові дані для відображення механізованих процесів у наступному.

Щодо методики системно-подієвого відображення потоку вимог на виконання технологічних операцій із ОГС то вона передбачає використання встановлених нами залежностей (та закономірностей), а також розподілів ймовірнісних показників, які характеризують вплив агрометеорологічної та предметної складових на перебіг ґрунтообробно-посівних процесів: 1) залежність тривалості вегетації попередників озимих культур від часу їх сівби; 2) закономірність зміни тривалості природно дозволеного фонду часу на виконання ґрунтообробних посівних процесів літньо-осіннього періоду; 3) час початку сівби озимих культур; 4) тривалість погожих та непогожих проміжків; 5) час призупинення осінньої вегетації озимих культур тощо.

Потреба виконання тієї чи іншої технологічної операції в  $j$ -ту добу формується потоком вимог ґрунтообробно-посівних процесів, який моделюється у календарному проміжку між часом завершення збирання врожаю попередника та крайніми термінами сівби озимої культури.

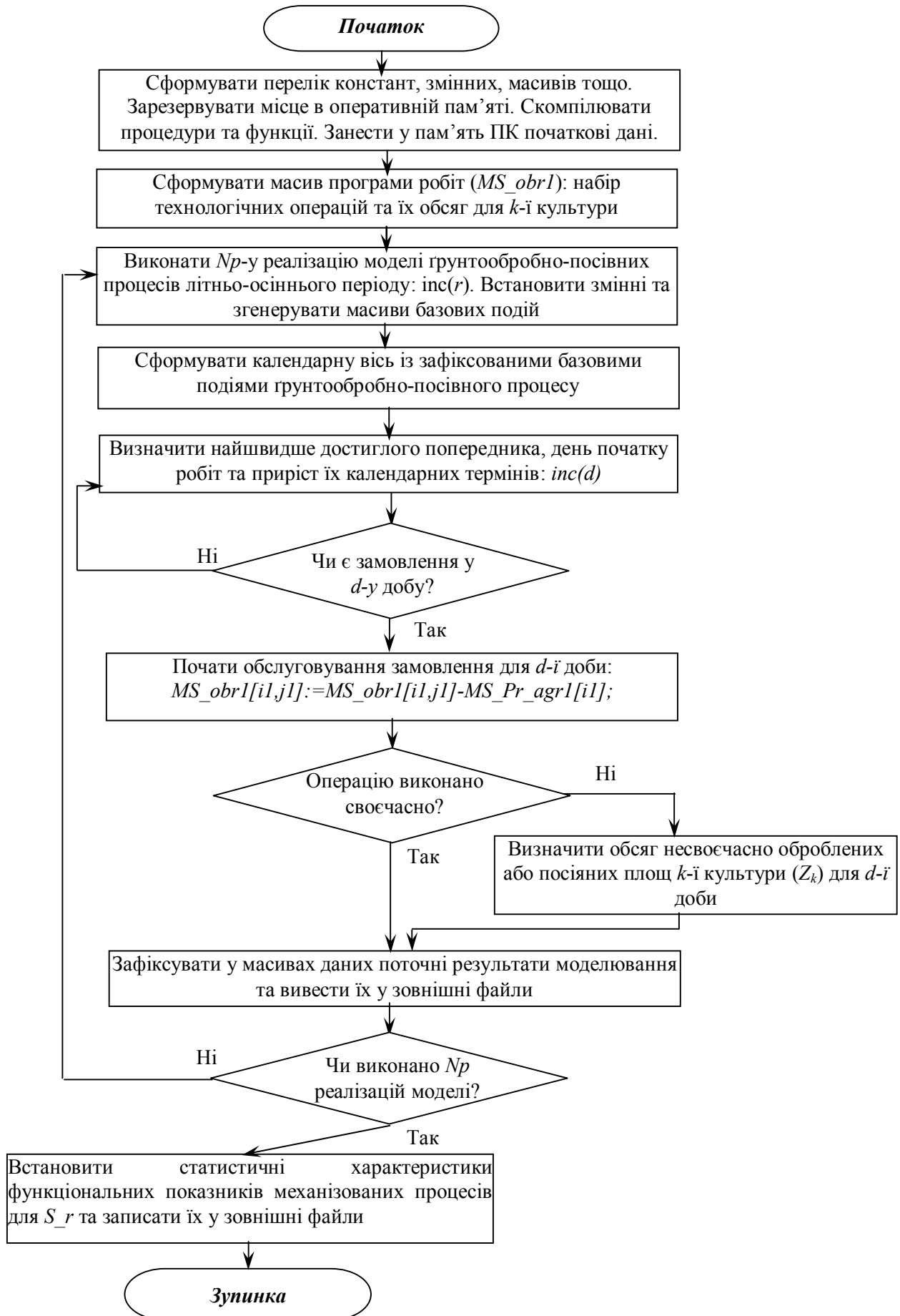


Рис. Узагальнений алгоритм статистичної імітаційної моделі ґрунтообробно-посівних процесів літньо-осіннього періоду

Площа, на якій необхідно виконати відповідну технологічну операцію, визначається виходячи з характеристик виробничої програми сівби (загальної площі та структури озимих культур). У міру виконання технологічних операцій площа, що потребує застосування відповідного машинного агрегату, зменшується до нуля. Після цього поле очікує на виникнення події, за якої формується вимога у потоці вимог на виконання наступної технологічної операції і т.д. Такі етапи відбуваються до виконання всіх робіт цього потоку вимог під  $k$ -ту озиму культуру. Щодо машинного агрегату, то в механізованих процесах рільництва, зокрема ґрунтообробно-посівних, насамперед розглядають такі його характеристики, які позначаються на темпах робіт. Зокрема, для встановлення добової ( $W_{доб}^r$ ) продуктивності  $r$ -го машинного агрегату користуються відомою формулою:

$$W_{доб}^r = W_{дод}^r \cdot T \cdot k_{зм} \cdot k_{взм} \quad (1)$$

де  $W_{дод}^r$  - нормативна годинна продуктивність  $r$ -го машинного агрегату, га/год;  $T$  – тривалість зміни, год;  $k_{зм}$  - коефіцієнт змінності;  $k_{взм}$  – коефіцієнт використання часу зміни.

Отже, у розрізі модельованого проміжку часу обслуговування потоку вимог відображається чергуванням відповідних базових та наслідкових подій. Як уже зазначалося, ґрунтообробно-посівний процес починається з базової події завершення збирання врожаю попередника ( $\tau_{зз}^n$ ). Згідно з агротехнічними вимогами першу операцію луцення починають без розриву в часі з подією, що дає змогу зберегти вологу затінення [4]. Після завершення цієї технологічної операції за традиційної технології обробітку ґрунту наступну починають після відповідного розвитку бур'янів на полі і т.д. Щодо технологічної операції сівби, то її розпочинають із настанням базової події  $\tau_c$  тощо. Черговість обслуговування замовлень здійснюється відповідно до черговості настання відповідних базових подій [8].

Для чисельного відображення системно-подієвого перебігу ґрунтообробно-посівних процесів розроблено відповідну математичну модель. Зокрема, відображення календарних термінів у чисельному виразі здійснено на підставі встановлення кількості днів між часом (календарною добою) настання відповідної події та 1 січня.

Процес обслуговування потоку вимог на виконання тієї чи іншої технологічної операції з обробітку ґрунту та сівби  $k$ -ї озимої культури в  $j$ -ту добу відображається відніманням добової продуктивності ( $W_{доб}^{rj}$ )  $r$ -го машинного агрегату від площі поля ( $S_{kj-1}^H$ ), яка підлягає обробітку:

$$S_{kj}^H = S_{kj-1}^H - W_{доб}^{rj} \quad (2)$$

де  $S_{kj}^H$  - площа  $k$ -ї культури, яка залишилась необробленою в  $j$ -ту добу, га.

Необроблена площа  $S_{kj}^H$  м залишається на наступну добу ґрунтообробно-посівних процесів. Необхідно зазначити, що коли наступна доба виявиться непогожою, то польові роботи не відбуваються, у цьому разі  $S_{kj}^H = S_{kj+1}^H$  і т.д. Зазначені роботи відбуваються до моменту досягнення умови  $S_{kj}^H = 0$  га. Після цього переходять до обслуговування наступного замовлення потоку вимог і т.д. У разі, коли обслуговування певного замовлення завершено, а наступного ще немає, виникає простій техніки.

Запізнення із ґрунтообробно-посівними процесами відносно їх оптимальних термінів на практиці призводить до зниження врожайності культур [4]. Для кількісного оцінення втрат врожаю озимих через несвоєчасність робіт використано методику пошуку обсягів ( $Z_n$ ) несвоєчасно оброблених та посіяних площ [5]. Сутність цієї методики полягає у встановленні суми добутоків несвоєчасно виконаної площі ( $S^H$ ) та кількості днів ( $t_{nc}$ ) запізнення із її виконанням, що вимірюється у гектаро-добах. За отриманим значенням  $Z_n$  виникає можливість вартісно оцінити технологічні втрати [7].

Таким чином, врахування об'єктивного впливу агрометеорологічної та предметної складових ґрунтообробно-посівних процесів на системно-подієвий їх перебіг у часі є важливою передумовою адекватного відображення сезонних умов функціонування ТКІП у відповідній статистичній імітаційній моделі, а відтак об'єктивного оцінення показників його ефективності. Розроблення блок-схеми алгоритму моделі, її комп'ютерної програми та виконання комп'ютерних експериментів із скінченною кількістю реалізацій цієї моделі для фіксованих параметрів ТКІП дає

змогу отримати множину даних, які характеризують той чи інший функціональний показник ефективності для заданих характеристик виробничої програми сівби озимих культур та мінливих агрометеорологічних і предметних умов літньо-осіннього періоду. Математичне опрацювання результатів цих комп'ютерних експериментів дає змогу встановити закономірність зміни оцінок математичного сподівання функціональних показників, здійснити їх вартісне оцінення та визначити екстремум значень, що є підставою для обґрунтування параметрів ТС ОГС на підставі узгодження характеристик виробничої програми сівби озимих культур із параметрами ТКП.

**Висновки.** Передумовою отримання вірогідних результатів комп'ютерних експериментів щодо встановлення функціональних характеристик технологічних комплексів машин для виконання ґрунтообробно-посівних процесів є використання даних спостережень агрометеорологічної станції. Розроблена блок-схема алгоритму та методика комп'ютерних експериментів скерована на системно-подієве відображення згаданих механізованих процесів у статистичній імітаційній моделі за прогнозованих агрометеорологічних умов та відповідних тенденцій зміни предметної складової (агрофону поля). Це дає змогу відобразити системно-подієві особливості функціонування відповідного комплексу машин, виконати багаторазову реалізацію статистичної імітаційної моделі та отримати репрезентативні вибірки показників щодо своєчасності виконання робіт, оцінити їх статистичні характеристики та обґрунтувати організаційно-технологічні рекомендації щодо раціональних параметрів ґрунтообробно-посівного комплексу машин.

Перспективи подальших досліджень полягають у можливості розроблення комп'ютерної програми відповідної статистичної імітаційної моделі та виконання комп'ютерних експериментів щодо встановлення статистичних закономірностей функціональних показників ґрунтообробно-посівних процесів за різних значень характеристик виробничої програми та параметрів технологічного комплексу машин.

#### Використана література

1. Альянах И. Н. Моделирование вычислительных систем / И. Н. Альянах. – Л. : Машиностроение, 1988. – 233 с.
2. Бомба М. Я. Наукові і практичні основи обробки ґрунту : навч. посіб. / М. Я. Бомба, З. М. Томашівський. – Івано-Франківськ : Галичина, 1993. – 148 с.
3. Завалишин Ф. С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве / Ф. С. Завалишин. – М. : Колос, 1973. – 319 с.
4. Лихочвор В. В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур / В. В. Лихочвор. – Львів : Укр. технології, 2002. – 800 с.
5. Метод визначення втрат врожаю сільськогосподарських культур внаслідок несвоечасності механізованих процесів рільництва / О. Сидорчук, П. Луб, А. Татомир, А. Бурилко // Механізація і енергетика сільського господарства "МОТРОЛ 2005" : матеріали V ювілейної міжнар. наук.-техн. конф. – Одеса, 2005. – Т. 7. – С. 87-91.
6. Пастухов В. І. Обґрунтування оптимальних комплексів машин для механізації польових робіт : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня докт. техн. наук: спец. 05.05.11 „Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва” / В. І. Пастухов; Харк. нац. техн. ун-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка. – Х., 2004. – 38 с.
7. Про затвердження Методики обчислення вартості машино-дня та збитків від простою машин : Постанова Кабінету Міністрів України від 12 липня 2004 р. № 885 [Електронний ресурс] . – Режим доступу : URL : <http://zakon.rada.gov.ua/>.
8. Сидорчук О. Означення подій у проектах обробки ґрунту та сівби сільськогосподарських культур / О. Сидорчук, П. Луб, І. Івасюк, В. Українець // Вісник. Львів. НАУ: Агроінженерні дослідження. – Львів : Львів НАУ. – 2009. – № 13. – Т. 2. – С. 13-21
9. Сидорчук О. В. Технологічні вимоги механізованого процесу в рослинництві до темпів ремонту машин / О. В. Сидорчук, М. І. Карпа, В. О. Тимочко, С. А. Федосенко // Підвищення організаційно-технічного рівня ремонтно-відновних процесів в АПК регіону: Пр. ін-ту / Львів с.-г. ін-т. – Львів, 1990. – С 84-90.