

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ПРЕДПРИЯТИЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕГО В СИСТЕМЕ АГРОТЕХНИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

С. В. КУРЗЕНКОВ

*УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407*

(Поступила в редакцию 22.01.2018)

Для принятия решения по диагностированию работоспособности сельскохозяйственной техники хозяйствующих субъектов требуется иметь аргументированные критерии оценки ее технического состояния и эксплуатации. Такими критериями оценки могут являться уровни: производственной эксплуатации, технической эксплуатации, диагностирования, технической обеспеченности, кадровой обеспеченности исследуемого сельхозпредприятия. В свою очередь эти критерии являются составными частями его уровня производственно-технической эксплуатации. Использование данного показателя в системе агротехнического обслуживания должно помочь в обосновании стратегии управления техническим состоянием машин, в определении алгоритма и рациональной периодичности их технического диагностирования и ремонта.

В данной статье приводится математическое описание уровня производственно-технической эксплуатации исследуемого предприятия и методами математической статистики обосновывается возможность использования полученной модели в системе агротехнического обслуживания Республики Беларусь.

Результаты статьи будут использованы для установления связи между уровнем производственно-технической эксплуатации сельхозпредприятия и критериями его оценки.

Ключевые слова: комплексная оценка, техническое состояние, сельскохозяйственная техника, уровень, производственно-техническая эксплуатация.

To make a decision on diagnosing the working capacity of agricultural equipment of economic entities, it is required to have reasoned criteria for assessing its technical condition and operation. Such evaluation criteria can be levels of: production operation, technical operation, diagnosis, technical sufficiency, personnel sufficiency of the agricultural enterprise under study. In turn, these criteria are integral parts of its level of industrial and technical exploitation. The use of this indicator in the agro-technical service system should help in justifying the strategy of managing the technical condition of machines, in determining the algorithm and the rational frequency of their technical diagnosis and repair.

This article provides a mathematical description of the level of industrial and technical exploitation of the enterprise under study and the methods of mathematical statistics, and the possibility of using the obtained model in the system of agro-technical services of the Republic of Belarus has been justified.

The results of the article will be used to establish the connection between the level of industrial and technical exploitation of the agricultural enterprise and the criteria for its evaluation.

Key words: integrated assessment, technical condition, agricultural machinery, level, production and technical operation.

Введение

Сегодня важной задачей технического сервиса в АПК является своевременное и аргументированное принятие решения по техническому обслуживанию и ремонту техники. Для этого необходим комплексный показатель, позволяющий всесторонне оценить эффективность управления процессами поддержания работоспособности и использования по назначению сельскохозяйственной техники на предприятии. В качестве такого показателя можно использовать уровень производственно-технической эксплуатации (УПТЭ) хозяйствующего субъекта [1–4], который непосредственно связан с рядом его характеристик: УПЭ – уровнем производственной эксплуатации, УТЭ – уровнем технической эксплуатации, УД – уровнем диагностирования, УО – уровнем технической обеспеченности, УК – уровнем кадровой обеспеченности.

В связи с этим математическое описание уровня производственно-технической эксплуатации и его характеристик, а также поиск функциональной связи между этими показателями является актуальной и важной задачей.

Основная часть

На основании анализа первичной документации хозяйствующих субъектов Республики Беларусь, их бизнес планов и производственных отчетов нами на предварительном этапе исследований были установлены [4, 5, 8, 9] адекватные математические зависимости характеристик уровня производственно-технической эксплуатации среднестатистического сельхозпредприятия, такие как уровни: производственной эксплуатации (УПЭ), технической эксплуатации (УТЭ), диагностирования

(УД), технической обеспеченности (УО) и кадровой обеспеченности (УК). Полученные зависимости позволили численно оценить приведенные показатели в пределах шкалы варьирования от –1 до 1 для оценки производственных характеристик сельскохозяйственных предприятий республики.

На следующем этапе исследований требовалось установить связи основного результирующего показателя – уровня производственно-технической эксплуатации (УПТЭ) с уровнями производственной эксплуатации (УПЭ), технической эксплуатации (УТЭ), диагностирования (УД), технической обеспеченности (УО), кадровой обеспеченности (УК) сельхозпредприятия.

Для более четкого представления формы этой связи были изучены парные взаимодействия УПТЭ с участвующими в экспериментах показателями УПЭ, УТЭ, УД, УО и УК. При этом строились точечные графики этих взаимодействий и на их основании подбирались наилучшие аппроксимации этих графиков. Вывод об адекватности аппроксимирующих моделей делали на основании квадрата корреляционного отношения. Результаты парных взаимодействий и их аппроксимирующие модели представлены на рисунке.

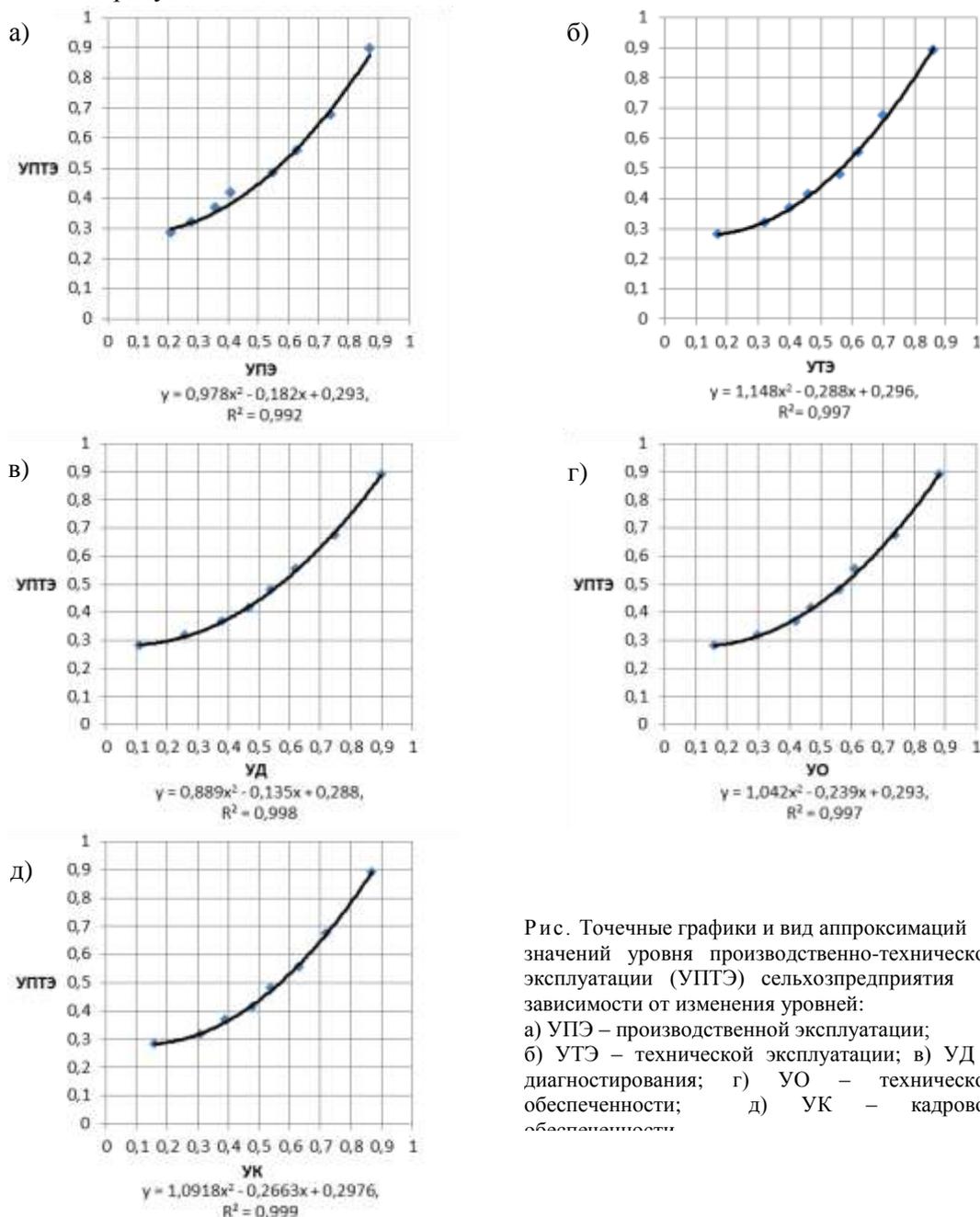


Рис. Точечные графики и вид аппроксимаций значений уровня производственно-технической эксплуатации (УПТЭ) сельхозпредприятия в зависимости от изменения уровней: а) УПЭ – производственной эксплуатации; б) УТЭ – технической эксплуатации; в) УД – диагностирования; г) УО – технической обеспеченности; д) УК – кадровой обеспеченности.

Анализ графических зависимостей показал, что парные взаимодействия хорошо описываются полиномами второй степени. Это означает, что при формировании многофакторной регрессии в качестве базисных функций выступают степенные выражения выбранных показателей, которые

можно ограничить квадратами их степеней. На основании этого был сделан вывод о том, что УПТЭ описывается квадратичной зависимостью вида:

$$Y_{УПТЭ} = \beta_0 + \beta_1 \cdot Y_{УПЭ} + \beta_2 \cdot Y_{УТЭ} + \beta_3 \cdot Y_{УД} + \beta_4 \cdot Y_{УО} + \beta_5 \cdot Y_{УК} + \beta_6 \cdot Y_{УПЭ}^2 + \beta_7 \cdot Y_{УТЭ}^2 + \beta_8 \cdot Y_{УД}^2 + \beta_9 \cdot Y_{УО}^2 + \beta_{10} \cdot Y_{УК}^2 + \beta_{11} \cdot Y_{УПЭ} \cdot Y_{УТЭ} + \beta_{12} \cdot Y_{УПЭ} \cdot Y_{УД} + \beta_{13} \cdot Y_{УПЭ} \cdot Y_{УО} + \beta_{14} \cdot Y_{УПЭ} \cdot Y_{УК} + \beta_{15} \cdot Y_{УТЭ} \cdot Y_{УД} + \beta_{16} \cdot Y_{УТЭ} \cdot Y_{УО} + \beta_{17} \cdot Y_{УТЭ} \cdot Y_{УК} + \beta_{18} \cdot Y_{УД} \cdot Y_{УО} + \beta_{19} \cdot Y_{УД} \cdot Y_{УК} + \beta_{20} \cdot Y_{УО} \cdot Y_{УК} \quad (1)$$

Планы, которые позволяют найти такие полиномы, называются планами второго порядка. В этих планах факторы должны варьировать, по крайней мере, на трёх уровнях.

При описании области оптимума нами были использованы D-оптимальные планы. Преимущества их в том, что они при увеличении числа факторов $m > 3$ обеспечивают максимально возможную точность предсказаний изучаемого результирующего параметра [6, 7].

Матрица планирования полнофакторного эксперимента для описания области варьирования основного результирующего признака при числе факторов равном 5 содержала 42 сочетания уровня варьирования факторов. Для матрицы в кодированном виде 32 сочетания были сформированы по принципу чередования знаков, т. е. первый столбец матрицы состоял из единиц, во втором – знаки менялись через один, в третьем – через два, в четвертом – через четыре и т. д., а оставшиеся 10 по принципу, показанному в табл. 1.

Таблица 1. Вид части матрицы планирования, где факторы изменяются на трех уровнях

Факторы	№ опыта									
	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
X_1	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
X_2	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0
X_3	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
X_4	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
X_5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1

Кодировка факторов производилась согласно следующей таблице.

Таблица 2. Кодировка факторов

Факторы	Сокращенно обозначения	Обозначения фактора	Способ кодирования		
			(-1)	(0)	(+1)
Уровень производственной эксплуатации	УПЭ	$Y_{УПЭ}$	0,18	0,54	0,9
Уровень технической эксплуатации	УТЭ	$Y_{УТЭ}$	0,16	0,51	0,86
Уровень диагностирования	УД	$Y_{УД}$	0,1	0,5	0,9
Уровень технической обеспеченности	УО	$Y_{УО}$	0,15	0,52	0,89
Уровень кадровой обеспеченности	УК	$Y_{УК}$	0,15	0,51	0,87

В случае, когда необходимого сочетания не находилось при фактическом анализе сельхозпредприятий, значения показателя УПТЭ определялись путем аппроксимации и усреднения данных. Расчёт точечных оценок коэффициентов регрессии производили по формуле:

$$B = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y \quad (2)$$

При этом в качестве матрицы X брали расширенную матрицу вида:

$$X = \begin{pmatrix} 1 & Y_{УПЭ}^{(1)} & Y_{УТЭ}^{(1)} & Y_{УД}^{(1)} & Y_{УО}^{(1)} & Y_{УК}^{(1)} & Y_{УПЭ}^{(1)2} & \dots & Y_{УК}^{(1)2} & Y_{УПЭ}^{(1)} \cdot Y_{УТЭ}^{(1)} & \dots & Y_{УО}^{(1)} \cdot Y_{УК}^{(1)} \\ 1 & Y_{УПЭ}^{(2)} & Y_{УТЭ}^{(2)} & Y_{УД}^{(2)} & Y_{УО}^{(2)} & Y_{УК}^{(2)} & Y_{УПЭ}^{(2)2} & \dots & Y_{УК}^{(2)2} & Y_{УПЭ}^{(2)} \cdot Y_{УТЭ}^{(2)} & \dots & Y_{УО}^{(2)} \cdot Y_{УК}^{(2)} \\ \dots & \dots \\ 1 & Y_{УПЭ}^{(42)} & Y_{УТЭ}^{(42)} & Y_{УД}^{(42)} & Y_{УО}^{(42)} & Y_{УК}^{(42)} & Y_{УПЭ}^{(42)2} & \dots & Y_{УК}^{(42)2} & Y_{УПЭ}^{(42)} \cdot Y_{УТЭ}^{(42)} & \dots & Y_{УО}^{(42)} \cdot Y_{УК}^{(42)} \end{pmatrix} \quad (3)$$

В результате последовательного исключения из моделей незначимых факторов на основании t-статистики соответствующих коэффициентов регрессии была получена следующая квадратичная зависимость:

$$Y_{УПТЭ} = 0,279441 + 0,169762 \cdot Y_{УПЭ} - 0,08846 \cdot Y_{УТЭ} - 0,06726 \cdot Y_{Уд} - 0,09745 \cdot Y_{УО} - 0,08826 \cdot Y_{УК} + 0,261575 \cdot Y_{УТЭ}^2 + 0,219989 \cdot Y_{Уд}^2 + 0,25657 \cdot Y_{УО}^2 + 0,256587 \cdot Y_{УК}^2. \quad (4)$$

Можно заметить, что парные взаимодействия и квадрат уровня производственной эксплуатации оказались незначимыми факторами в полученной модели.

Статистическую оценку качества этой модели производили на основании коэффициентов множественной регрессии и детерминации, критериев Фишера и Стьюдента при уровне значимости $\alpha=0,05$. При этом критические значения критериев Фишера и Стьюдента принимались соответственно: $F_{кр}=2,18$ и $t_{кр}=2,03$. Расчетные статистические характеристики полученной квадратичной модели показаны в табл. 3.

Таблица 3. Статистические характеристики квадратичной модели

Статистические характеристики модели		Анализ качества математической модели
обозначения	значения	
R^2	0,999	99,9 % изменений функции отклика объясняются включёнными в модель факторами
R	0,999	связь сильная
F	1,9	R^2 значим
$t_{\beta 0}$	3703	значим
$t_{\beta 1}$	947	значим
$t_{\beta 2}$	-260	значим
$t_{\beta 3}$	-259	значим
$t_{\beta 4}$	-308	значим
$t_{\beta 6}$	-270	значим
$t_{\beta 7}$	804	значим
$t_{\beta 8}$	884	значим
$t_{\beta 9}$	859	значим
$t_{\beta 10}$	824	значим

Так как статистическими оценками была подтверждена адекватность модели при уровне значимости 0,05, то мы можем утверждать, что погрешность вычислений при реализации полученной модели не превысит 5 % в выбранном диапазоне варьирования факторов, а значит, ее можно использовать для математического моделирования и прогнозирования уровня производственно-технической эксплуатации (УПТЭ) сельхозпредприятий.

Заключение

Рассмотрим пример использования предлагаемой методики.

Для определённости положим, что первичные характеристики хозяйственной деятельности исследуемого предприятия оцениваются по трехбалльной шкале (хотя в предлагаемой методике их можно оценивать и по более гибкой шкале). При этом анализируемые наихудшие показатели признаются нами «неудовлетворительными» и принимают значение, равное -1; «удовлетворительные» показатели принимают значение, равное 0; «хорошие» – принимают значение, равное 1.

Предположим, что по результатам анализа хозяйственной деятельности предприятия эти показатели были оценены следующим образом:

- эксплуатация в соответствии с ТУ завода изготовителя – $Z1 = 0$, почвенно-климатические условия эксплуатации – $Z2 = 1$, качество выполнения полевых работ, определяющие уровень производственной эксплуатации – $Z3 = 1$;
- качество проведения ТО – $Z1' = -1$, качество проведения ремонта – $Z2' = 0$, организация и качество хранения техники, определяющие уровень производственной эксплуатации – $Z3' = 1$;
- наличие диагностирования при проведении ТО – $Z1'' = 1$; предремонтное диагностирование – $Z2'' = 1$, характеристики оборудования для диагностирования, определяющие уровень диагностирования – $Z3'' = 0$;
- информационное обеспечение – $Z1''' = 0$, техническое оснащение технологических участков – $Z2''' = -1$, наличие площадей (участков), определяющих уровень технической обеспеченности – $Z3''' = -1$;
- обеспеченность кадрами – $Z1'''' = 1$, наличие специального образования – $Z2'''' = 0$, опыт работы, определяющий уровень кадровой обеспеченности – $Z3'''' = 1$.

На основании принятых показателей и установленных нами на предварительном этапе закономерностей [8, 9] рассчитаем критерии оценки уровня производственно-технической эксплуатации сельхозпредприятия:

$$Y_{УПЭ} = 0,50625 + 0,15625 \cdot Z_1 + 0,12375 \cdot Z_2 + 0,07625 \cdot Z_3 + 0,01875 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 0,01125 \cdot Z_1 \cdot Z_3 + 0,00375 \cdot Z_2 \cdot Z_3 = 0,50625 + 0,15625 \cdot 0 + 0,12375 \cdot 1 + 0,07625 \cdot 1 + 0,01875 \cdot 0 \cdot 1 + 0,01125 \cdot 0 \cdot 1 + 0,00375 \cdot 1 \cdot 1 = 0,71,$$

$$Y_{УТЭ} = 0,51125 + 0,14875 \cdot Z_1' + 0,11875 \cdot Z_2' + 0,07875 \cdot Z_3' = 0,51125 + 0,14875 \cdot (-1) + 0,11875 \cdot 0 + 0,07875 \cdot 1 = 0,44125,$$

$$Y_{УД} = 0,50375 + 0,18125 \cdot Z_1'' + 0,13875 \cdot Z_2'' + 0,07625 \cdot Z_3'' = 0,50375 + 0,18125 \cdot 1 + 0,13875 \cdot 1 + 0,07625 \cdot 0 = 0,82375,$$

$$Y_{УО} = 0,5175 + 0,1575 \cdot Z_1''' + 0,1325 \cdot Z_2''' + 0,07 \cdot Z_3''' = 0,5175 + 0,1575 \cdot 0 + 0,1325 \cdot (-1) + 0,07 \cdot (-1) = 0,315,$$

$$Y_{УК} = 0,51125 + 0,1625 \cdot Z_1'''' + 0,1175 \cdot Z_2'''' + 0,075 \cdot Z_3'''' = 0,51125 + 0,1625 \cdot 1 + 0,1175 \cdot 0 + 0,075 \cdot 1 = 0,75.$$

Таким образом, значение уровня производственной эксплуатации изучаемого сельхозпредприятия будет оцениваться нами как 71 % от максимально возможного, соответственно уровня технической эксплуатации – 44,13 %, уровня диагностирования – 82,38 %, уровня технической обеспеченности – 31,5 % и уровня кадровой обеспеченности – 75 %. Для того чтобы вычислить при этих показателях уровень производственно-технической эксплуатации, воспользуемся математической моделью (4) и подставим в нее вместо $Y_{УПЭ}=0,71$, $Y_{УТЭ}=0,44125$, $Y_{УД}=0,82375$, $Y_{УО}=0,315$, $Y_{УК}=0,75$. В результате получим:

$$Y_{УПТЭ} = 0,279441 + 0,169762 \cdot 0,71 - 0,08846 \cdot 0,44125 - 0,06726 \cdot 0,82375 - 0,09745 \cdot 0,315 - 0,08826 \cdot 0,75 + 0,261575 \cdot 0,44125^2 + 0,219989 \cdot 0,82375^2 + 0,25675 \cdot 0,315^2 + 0,256587 \cdot 0,75^2 = 0,579.$$

Делаем вывод, что на данный момент и при существующих показателях хозяйственной деятельности исследуемого сельхозпредприятия уровень его производственно-технической эксплуатации оценивается в 57,9 % от максимально возможного.

Для того чтобы иметь возможность с помощью предлагаемой выше методики оценить на общем фоне агротехнического обслуживания фактический уровень исследуемого предприятия, требуется выработать единые критерии оценки уровня производственно-технической эксплуатации предприятий Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Немцев, А. Е. Обеспечение работоспособности мобильной сельскохозяйственной техники на основе резервирования обменного фонда / А.Е. Немцев: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.20.03 / А. Е. Немцев. – Новосибирск, 1998. – 44 с.
2. Топилин, Г. Е. Экспертная оценка приспособленности тракторов к техническому обслуживанию / Г. Е. Топилин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1978. – № 5. – С. 34–37.
3. Антоненц, Д. А. Теоретические основы количественной оценки уровня технической эксплуатации тракторов / Д. А. Антоненц // Техника в сельском хозяйстве. – 1989. – № 6. – С. 6–7.
4. Обоснование критериев технического состояния сельскохозяйственной техники / И. Л. Подшиваленко [и др.] // Вестник Брянской ГСХА: по материалам XXVII-й международной научно-технической конференции «Конструирование, использование и надёжность машин сельскохозяйственного назначения». – 2014. – №3 – С. 56–58.
5. Митков, А. Л. Статистические методы в сельхозмашиностроении / А. Л. Митков, С. В. Кардашевский. – М., 1978. 360 с.
6. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рошин. – Л.: Колос, 1972. – 200 с.
7. Курзенков, С. В. Математическое описание критериев оценки уровня производственно-технической эксплуатации сельхозпредприятий Республики Беларусь / С. В. Курзенков, И. Л. Подшиваленко, В. И. Коцуба // Конструирование, использование и надёжность машин сельскохозяйственного назначения: сб. научных работ. – Брянск, 2017. – С. 204–211.
8. Курзенков, С. В. Обоснование критериев диагностики и технического состояния современной сельскохозяйственной техники / С. В. Курзенков, В. И. Коцуба, И. Л. Подшиваленко // Вестник БГСХА. – 2017. – № 2. – С. 115–119.
9. Курзенков, С. В. Показатели, определяющие уровень производственно-технической эксплуатации сельскохозяйственных предприятий, и их математическое описание / С. В. Курзенков, В. И. Коцуба, И. Л. Подшиваленко // Вестник БГСХА. – 2017. – № 3. – С. 118–123.