УДК 631.5

**ЭКОНОМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ АДАПТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА
ЗЕРНА В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЁМНОГО РЕГИОНА**

ГУРЕЕВ И.И.,

доктор технических наук, профессор, Заслуженный изобретатель Российской Федерации, заведующий лабораторией адаптивных агротехнологий и средств их механизации, ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр» - Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии, г. Курск, e-mail: gureev06@mail.ru, тел. 89103103908.

КЛИМОВ Н.С.,

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Процессы и машины в агроинженерии», ФГБОУ ВО Курская ГСХА, г. Курск, e-mail: klimns46@mail.ru, тел. 89103180399.

Реферат. Целью исследований является повышение экономико-экологической эффективности производства зерна на основе углубленной адаптации агротехнологий и средств их механизации к исходному состоянию почвы. Установлено, что для достижения поставленной цели актуальна минимизация технических ресурсов, базирующаяся на принципах формирования адаптивных технологий. Для этого подбираемая номенклатура технических средств должна предпочтительно функционировать при минимальном заглублении в почву и на прямом посеве, а также выполнять комбинированными машинами агротехнические совместимые приёмы за один проход. Объективная экономико-экологическая оценка используемых технических средств должна учитывать не только прямые эксплуатационные затраты, но и затраты на защиту окружающей среды от загрязнения выхлопными газами и на ликвидацию последствий техногенной деградации почвы. Углубленная адаптация к исходному состоянию почвы механизированной технологии производства зерна озимой пшеницы позволит минимизировать технические ресурсы на 773,7-1330,8 руб./га при соблюдении требований экологической безопасности.

Ключевые слова: производство зерна, адаптивная технология, комплексная механизация, экономико-экологическая эффективность.

**ECONOMIC AND ECOLOGICAL EFFICIENCY OF THE COMPLEX MECHANIZATION
OF ADAPTIVE GRAIN PRODUCTION TECHNOLOGIES UNDER THE CONDITIONS
OF THE CENTRAL BLACK AND GRAIN REGION**

GUREEV I.I.,

doctor of Engineering, Professor, Honored Inventor of the Russian Federation, Head of the Laboratory of Adaptive Agrotechnologies and Means of Their Mechanization, FSBSI «Kursk FARC» - All-Russian Research Institute of Agriculture and Soil Protection from Erosion, Karl Marx Street, 70-B, Kursk, 305021, Russia, e-mail: gureev06@mail.ru, tel. 8-9103103908.

KLIMOV N.S.,

Candidate of Technical Sciences, Docent, Head of the Department "Processes and Machines Agricultural Engineering", "Kursk State Agricultural Academy", Kursk, e-mail: klimns46@mail.ru, ph. 8-9103180399.

Essay. The aim of the research is to increase the economic and environmental efficiency of grain production on the basis of in-depth adaptation of agricultural technologies and their mechanization to the initial state of the soil. It has been established that to achieve this goal, minimization of technical resources based on the principles of adaptive technology formation is relevant. To do this, the selected range of technical equipment should preferably function with minimal penetration into the soil and on direct sowing, as well as perform agro-technical compatible techniques in one pass with combined machines. An objective economic and environmental assessment of the technical means used should take

into account not only direct operating costs, but also the costs of protecting the environment from pollution by exhaust gases and eliminating the effects of technogenic soil degradation. In-depth adaptation of mechanized technology for the production of winter wheat grain to the initial state of the soil will minimize technical resources by 773.7-1330.8 rubles / ha, while observing environmental safety requirements.

Keywords: grain production, adaptive technology, complex mechanization, economic and environmental efficiency.

Введение. В современных условиях производство высококачественного зерна с минимальной себестоимостью невозможно без комплексной механизации технологий. Немаловажны и экологические последствия применения сельскохозяйственной техники, сказывающиеся на состоянии окружающей среды и на плодородии почвы [1]. Поэтому актуальна минимизация технических ресурсов, базирующаяся на принципах формирования адаптивных технологий, т.е. подбираемая номенклатура технических средств должна предпочтительно функционировать при минимальном заглублении в почву и на прямом посеве, а также выполнять комбинированными машинами агротехнические совместимые приёмы за один проход.

Экономико-экологическая оценка эффективности использования техники носит многокритериальный характер и включает в себя показатели совокупных и прямых эксплуатационных затрат денежных средств, затрат труда и др. [2, 14]. В перечне экономических показателей присутствует экологический фактор эффективности, ориентированный на учёт выбросов вредных веществ в атмосферу от двигателей тракторов и самоходных машин. Указанный фактор выражается единым стоимостным нормативом в расчёте на 1 кг израсходованного топлива при выполнении агротехнических приёмов.

Затраты на охрану окружающей среды от загрязнения выхлопными газами нормированы ГОСТ Р 53056 в зависимости от расходуемого моторного топлива [3]. На текущий момент с учётом вариабельности курса рубля они могут быть приняты равными 0,3 руб. на каждый килограмм использованного моторного топлива. Но экологические проблемы от использования техники не ограничиваются лишь выбросами вредных веществ в атмосферу. Значимой особенностью интенсивных технологий является техногенная деградация почвы вследствие увеличения количества агроприёмов и, соответственно, проходов агрегатов по полю в процессе производства сельскохозяйственных культур.

Уплотняющее воздействие на почву сельскохозяйственных агрегатов с мощными трак-

торами нового поколения приводит к снижению не только её эффективного, но и потенциального плодородия. Под воздействием ходовых систем и рабочих органов машинотракторных агрегатов изменяются физико-механические свойства почвы, приводящие к её деградации. Наиболее значимым является водно-воздушный режим, благодаря которому происходит питание растений, обеспечение жизнедеятельности бактерий и окислительные процессы. Полного восстановления утраченного плодородия почвы вследствие техногенной деградации не удаётся достичь известными методами её механической обработки [4-7].

Проблема переуплотнения почвы усугубляется нарастающим распространением в сельскохозяйственном производстве колёсных тракторов, оказывающих повышенное уплотняющее воздействие. Ежегодно в России от переуплотнения почвы недобор урожая достигает до 20-30 млн. тонн (в пересчёте на зерно) и перерасход топлива до 2,5-3,0 млн. тонн [8].

Пропорционально снижению плодородия переуплотнённой почвы повышается себестоимость производимой продукции [9]. Поэтому эффективность комплексов машин для механизации интенсивных технологий должна определяться, в том числе и с учётом техногенной деградации почвы. В противном случае экономическая целесообразность комплексной механизации вариантов адаптивных технологий оценивается без учёта ущерба, наносимого почве, что негативно сказывается на объективности рассчитываемых показателей.

Наработанные в последние годы результаты исследований дают основания для усовершенствования известных подходов по оценке экономической эффективности сельскохозяйственной техники с учётом соблюдения требований экологической безопасности [3], [9-11]. Для решения поставленной проблемы установлен кумулятивный характер техногенной деградации почвы, что позволило учитывать её суммой вредной работы, трансформируемой агрегатами на уплотнение и разрушение структуры почвы за цикл агроприёмов, необходимых для производства культур [10].

Установлено также, что денежные затраты на ликвидацию последствий техногенной деградации почвы и приведение её в исходное состояние прямо пропорциональны величине вредной работы [11]. Обоснован норматив затрат в расчёте на единицу площади поля в условиях ЦЧР при работе весной величиной 0,052, а в летне-осенний период – 0,036 руб. на каждый МДж вредной работы [3]-[6].

Однако современные технологии производства зерна, использующие ресурсосберегающие приёмы, не позволяют минимизировать использование технических ресурсов на получение продукции высокого качества вследствие низкого уровня адаптации к исходному состоянию почвы, а также игнорирования последствий её техногенной деградации. Поэтому необходимо обосновать целесообразность применения ресурсосбережения без снижения качества возделываемой продукции на примере современных механизированных технологий производства зерна в условиях ЦЧР.

Цель исследований. Повышение экономико-экологической эффективности комплексной механизации производства зерна с использованием адаптивных агротехнологий.

Материал и методика исследования. Экономико-экологическая эффективность комплексной механизации агротехнологий формализуется единым показателем годовой экономии совокупных затрат денежных средств от эксплуатации техники, которая включает в себя два вида затрат. Это, прежде всего, прямые эксплуатационные затраты, а также затраты экологической направленности. Последние предназначены на охрану окружающей среды от выбросов вредных веществ в атмосферу с выхлопными газами и на ликвидацию последствий техногенной деградации почвы переуплотнением движителями и рабочими органами агрегатов.

Таким образом, формализация экологической составляющей затрат на производство продукции Z_3 имеет вид:

$$Z_3 = q_m H_3 C_m + k I_e, \text{ руб./га;} \quad (1)$$

где q_m - удельный расход моторного топлива на исполнение агротехнологии, кг/га;

H_3 - нормативный коэффициент затрат на охрану окружающей среды, $H_3=0,3$;

C_m - цена топлива, руб./кг;

I_e - сумма работы, трансформируемой агрегатами на переуплотнение

почвы за цикл приёмов по производству с.-х. культуры, МДж/га;

k - норматив затрат на ликвидацию последствий техногенной деградации почвы, руб./МДж.

В земледелии ЦЧР используют сельскохозяйственную технику, производимую странами таможенного союза (ТС) и импортную. Достаточно объёмный массив технических средств, применяемых в ЦЧР, классифицирован в комплексы для механизации технологий производства культур, варианты которых углубленно адаптированы к исходному состоянию почвы [12, 15]. Используя массив банка данных для проектирования перспективных агротехнологий и машин, а также результаты государственных испытаний сельскохозяйственной техники [13], проведено сравнение комплексной механизации вариантов адаптивных технологий производства зерна (таблица 1).

В качестве экономического показателя вариантов использовали прямые затраты денежных средств на эксплуатацию комплексов машин. Экологическую составляющую затрат определяли по формуле (1).

При выделении контроля в оценке экономико-экологической эффективности комплексной механизации производства зерна озимых культур учитывали, что в обычном безальтернативном варианте технологии отсутствует адаптация к исходному состоянию почвы, т.е. задействованы все функции её обработки. В то же время в адаптивной технологии взаимосвязаны функции обработки по регулированию пищевого режима растений и оптимизации плотности почвы её рыхлением. Сущность взаимосвязи заключается в том, что локальное внутривспашечное внесение удобрения невозможно без рыхления почвы, вследствие чего в вариантах 3 и 4 задействованы все функции обработки и в качестве контроля приняты средние значения экономико-экологических показателей по ним.

Учитывая, что разуплотняющее рыхление почвы актуально в зоне рядков культуры, локальным внесением удобрения по варианту 4 совмещено и локальное рыхление этой зоны. Это позволило получить синергетический эффект совмещения агроприёмов, сущность которого состоит в замене сплошного рыхления почвы по варианту 3 менее энергоёмким полосным по варианту 4. Поэтому, несмотря на повышенную сложность варианта 4, некоторые экономико-экологические показатели по нему оказались более предпочтительными в сравнении с вариантом 3.

Таблица 1 – Экономико-экологические показатели комплексной механизации адаптивных технологий производства зерна в ЦЧР

Культуры	Варианты технологий	Техника стран ТС						Импортная техника					
		Расход моторного топлива, кг/га	Вредная интенсивность механического воздействия на почву, МДж/га	Затраты, руб./га				Расход моторного топлива, кг/га	Вредная интенсивность механического воздействия на почву, МДж/га	Затраты, руб./га			
				прямые эксплуатационные	на защиту окружающей среды от загрязнения выхлопными газами	на ликвидацию последствий техногенной деградации почвы	всего			прямые эксплуатационные	на защиту окружающей среды от загрязнения выхлопными газами	на ликвидацию последствий техногенной деградации почвы	Всего
1. Озимая пшеница	1.1	28,4	169	3291	8,5	6,9	15,4	27,2	209	8585	8,2	8,6	16,8
	1.2	33,9	195	3784	10,2	8,2	18,4	28,9	201	8487	8,7	8,2	16,9
	1.3	39,9	239	5017	12,0	9,6	21,6	35,4	285	9807	10,6	11,7	22,3
	1.4	42,0	250	4213	12,6	10,2	22,8	35,8	255	8901	10,7	10,1	20,8
Среднее:		36,1	213	4076	10,8	8,7	19,6	31,8	237	8945	9,6	9,7	19,2
2 Яровой ячмень	2.1	58,1	342	5132	17,4	13,6	31,0	49,9	361	10488	15,0	29,1	29,1
	2.2	56,0	331	5936	16,8	13,0	29,8	49,5	391	11395	14,9	30,6	30,6
Среднее:		57,1	336	5534	17,1	13,3	30,4	49,7	376	10941	15,0	29,9	44,8

Результаты исследования. Экономическая эффективность комплексной механизации адаптивной технологии производства озимой пшеницы возможна за счёт вариантов 1 и 2. С применением их технические ресурсы минимизируются на 831-1324 руб./га для технологии оснащённой техникой стран ТС и на 769-867 руб./га – при оснащении её импортной техникой.

Экологическая привлекательность адаптивных вариантов производства озимой пшеницы заключается в снижении расхода моторного топлива на 6,7-12,6 кг/га и вредной интенсивности механического воздействия на почву 49-75 МДж/га. Следствием этого является экономия затрат на защиту окружающей среды от загрязнения выхлопными газами и на ликвидацию последствий техногенной деградации почвы.

В суммарном исчислении величина экономии составляет 834,8-1330,8 руб./га при комплексной механизации технологии техникой стран ТС и 773,7-871,8 руб./га – при использовании импортной техники.

В целом же затраты на техническое оснащение адаптивной технологии производства озимых зерновых культур возрастают пропорционально сложности исходного состояния почвы. При использовании техники стран ТС в среднем они составляют 4076 руб./га и импортной техники 8945 руб./га, т.е. затраты на комплексную механизацию с использованием импортной техники выше в 2,2 раза в сравнении с аналогами стран ТС. Обозначенное превышение обусловлено дороговизной импорт-

ной техникой и повышенными тарифами на её сервисное обслуживание.

В адаптивных вариантах 2.1 и 2.2 технологии производства зерна ярового ячменя, вследствие использования зяблевой обработки почвы, задействованы все её функции. Эффективность адаптивности данных вариантов проявляется по другим элементам системы земледелия – севообороту, использованию химических средств защиты растений и удобрений. Явной же экономико-экологической эффективности от адаптации техники в производстве зерна ячменя не прослеживается.

Сравнили техническое обеспечение вариантов адаптивных технологий техникой стран ТС и импортной. Установили, что средний расход моторного топлива в производстве озимой пшеницы и ярового ячменя на 11,7-12,8% ниже у вариантов с использованием импортной техники. Очевидные предпосылки данного эффекта состоят в более совершенных конструкциях рабочих органов и экономичных двигателях импортной техники. По интегральному экологическому показателю сопоставляемые комплексы машин примерно одинаковые.

Вывод. Минимизация технических ресурсов должна базироваться на комплексной оценке экономико-экологической эффективности их использования, учитывающей, не только прямые эксплуатационные затраты, но и затраты на защиту окружающей среды от загрязнения выхлопными газами и на ликвидацию последствий техногенной деградации почвы. Углубленная адаптация к исходному состоянию почвы механизированной технологии производства зерна озимой пшеницы по-

зволит минимизировать технические ресурсы бований экологической безопасности. на 773,7-1330,8 руб./га при соблюдении тре-

Список использованных источников

1. Печенина Т.С. Методология оценки экономической эффективности применения ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых культур // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2014. - №2. – С.88-92.
2. ГОСТ Р 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. - М.: Стандартиформ, 2009. - 19 с.
3. Гуреев И.И. О нормативе затрат на ликвидацию последствий техногенной деградации почвы // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – № 11. – С. 75-78.
4. Бондарев А.Г. Изменение физических свойств и плодородия почв при их уплотнении движителями сельскохозяйственной техники // Воздействие движителей на почву: сб. научных трудов. – Том 118. – М.: ВИМ, 1988. – С.46-57.
5. Лапик В.П. Экологические аспекты воздействия гусеничных движителей на почву // Вестник ФГОУ ВПО Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. – 2010. – № 2. – С.86-88.
6. Тхазеплов Х.М. Повышение эффективности использования колёсных тракторов на склоновых землях за счёт применения шин со съёмным протектором: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.01 / Тхазеплов Х.М.; [Место защиты: Кабард.-Балкар. гос. с.-х. акад. им. В.М. Кокова]. - Нальчик, 2010.- 150 с.
7. Ivantsova N.N., Zolotarevskaya D.I. Investigation and Calculation of the stressed-strained State and Compaction of viscoelastic disperse Media as a Result of relaxation Processes // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. - 2005. - Vol. 78. - No. 5. - pp. 78-86.
8. Савельев Ю.А., Климанов А.В., Мокрицкий С.Н. Следоразрыхлитель для тракторов класса 1,4 // В кн.: Совершенствование конструкции и технологии использования сельскохозяйственной техники: сб. научных трудов. - Самара, 1999. - С.81-83.
9. Гуреев И.И. Экологические последствия применения комплексов машин для механизации обработки почвы // Достижения науки и техники АПК. – 2015. - № 8. - С.77-79.
10. Гуреев И.И. Моделирование техногенного воздействия на почву сельскохозяйственных агрегатов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - 2015. - № 9. - С.120-123.
11. Гуреев И.И., Климов Н.С. Обоснование критерия регионального нормирования механической нагрузки на почву при комплексной механизации агротехнологий // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - 2017. - № 2. - С.35-38.
12. Региональный регистр комплексов машин для механизации перспективных агротехнологий / И.И. Гуреев, В.П. Дьяков, Г.К. Гребенщиков, С. Дурдыев. – Курск, ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ, 2015. – 59 с.
13. Сравнительные испытания сельскохозяйственной техники: науч. издание. - М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. - 416 с.
14. Зюкин Д.А. Проблемы стратегического развития зернопродуктового подкомплекса региона в современных экономических условиях // Региональный вестник. – 2018. - № 3 (12). – С. 28-29.
15. Черкасов Г.Н., Акименко А.С. Использование базы данных и программы ЭВМ для автоматизированного проектирования системы севооборотов в хозяйствах различной специализации Центрального Черноземья // Региональный вестник. – 2015. - № 1. – С. 31-32.

List of sources used

1. Pechenina T.S. Methodology for assessing the economic efficiency of the use of resource-saving technologies for the cultivation of grain crops / Vestnik FGOU VPO MGAU. - 2014. - No. 2. - S.88-92.
2. GOST R 53056-2008. Agricultural machinery. Methods of economic evaluation. - M.: Standartinform, 2009. - 19 p.
3. Gureev I.I. About the standard of expenses for liquidation of the consequences of technogenic soil degradation // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2018. - V. 32. No. 11. P. 75–78.

4. Bondarev A.G. Change in physical properties and soil fertility during compaction by agricultural machinery movers // Impact of movers on soil: Sat. scientific works. - Volume 118. - M.: VIM, 1988. - P.46-57.
5. Lapik V.P. Environmental aspects of the impact of tracked movers on the soil // Vestnik FSEI HPE Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkina. - 2010. - No. 2. - P.86-88.
6. Thazeplov H.M. Improving the efficiency of the use of wheeled tractors on sloping lands through the use of tires with a removable tread: the dissertation ... candidate of technical sciences: 05.20.01 / Tkhezeplov H.M.; [Place of protection: Kabard.-Balkar. state S.-kh. Acad. them. V.M. Kokova]. - Nalchik, 2010. - 150 s.
7. Ivantsova N.N., Zolotarevskaya D.I. Investigation and Calculation of the stressed-strained State and Compaction of viscoelastic disperse Media as a Result of relaxation Processes // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. - 2005. - Vol. 78. - No. 5. - P. 78-86.
8. Savelyev Yu.A., Klimanov A.V., Mokritsky S.N. Track baking powder for class 1,4 tractors // Improving the design and technology of using agricultural machinery: Sat. scientific works. - Samara, 1999. - P.81-83.
9. Gureev I.I. Ecological consequences of the use of machine complexes for mechanization of tillage // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. - 2015. - No. 8. - P.77-79.
10. Gureev I.I. Modeling of technogenic impact on the soil of agricultural units // Bulletin of the Kursk state. S.-kh. academy. - 2015. - No. 9. - S.120-123.
11. Gureev I.I. Substantiation of the criterion for regional regulation of the mechanical load on the soil during the complex mechanization of agricultural technologies / I.I.Gureev, N.S. Klimov // Bulletin of the Kursk state. S.-kh. academy. - 2017. - No. 2. - S.35-38.
12. Gureev I.I. Regional Register of Machine Complexes for the Mechanization of Advanced Agrotechnologies / I.I. Gureev, V.P. Dyakov, G.K. Grebenshchikov, S. Durdyev. - Kursk, FGBNU VNIIZiZPE, 2015. - 59 p.
13. Comparative tests of agricultural machinery: scientific. edition. - M.: FSINI "Rosinformagroteh", 2013. - 416 p.
14. Zyukin D.A. Problems of the strategic development of the grain product subcomplex of the region in modern economic conditions // Regional Bulletin. - 2018.- No. 3 (12). - S. 28-29.
15. Cherkasov G.N., Akimenko A.S. Using a database and a computer program for computer-aided design of a crop rotation system in farms of various specialization of the Central Chernozem Region // Regional Bulletin. - 2015. - No. 1. - S. 31-32.