

УДК 631.31  
05.00.00 Технические науки

UDC 631.31  
Technical sciences

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ  
ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА  
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ  
ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЗЕРНОВЫХ  
КУЛЬТУР**

**APPLICATION OF THE IMITATION  
MODELING FOR OPTIMIZATION OF  
CONSISTENCE OF THE CULTIVATION  
AGGREGATES FOR CROP FARMING**

Оськин Сергей Владимирович  
д.т.н., профессор

Oskin Sergei Vladimirovich  
Doctor of Technical Science, professor

Тарасенко Борис Фёдорович  
к.т.н., доцент  
*Кубанский государственный аграрный  
университет, Краснодар, Россия*

Tarasenko Boris Fedorovich  
Candidate of Technical Science, associate professor  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

Определяющими показателями эффективности работы почвообрабатывающей машины являются норма выработки (производительность) и расход топлива, которые, в свою очередь, зависят от сложности работ, глубины обработки и состава машины (тип трактора и плуга). Выбор оптимального состава почвообрабатывающего агрегата для работы в конкретном хозяйстве очень затруднителен из-за многих детерминированных и случайных факторов. Предлагается использовать имитационное моделирование Монте-Карло. В результате анализа моделей установлено, что все агрегаты можно разделить на 4 группы эффективности. Получены графики зависимостей затрат на топливо, компенсации ущерба из-за срывов агросроков и уплотнения почвы от количества агрегатов. После интегрирования всех агрегатов в общую традиционную технологию почвообработки и выборки их характеристик (количество агрегатов, общие затраты на топливо и компенсацию ущерба, в том числе затраты на топливо), предложено их дифференцировать на три категорийных режима: жесткий (в зависимости от технологической операции 2 или 5 смен), норма (4 или 10 смен), мягкий (6 или 15 смен). Полученные модели могут успешно использоваться в программном обеспечении бортовых компьютеров тракторов и в ПЭВМ главных специалистов. Аналогичным образом можно получить динамические модели и по другим технологическим процессам получения растениеводческой продукции. Все разработанные модели позволят сделать еще один шаг к точному земледелию и сократить себестоимость производимой продукции

The main indicators of efficiency of a cultivation machine are the following: productiveness and fuel consumption, which depend on complexity of work, operating depth and structure of the machine (type of the tractor and plough). The optimal structure of cultivation aggregate for the needs of each exact farm is complicated to do due to different determined and stochastic factors. In this case, Monte Carlo imitation modeling is proposed to use. As a result of models' analysis, it is defined that all aggregates could be divided onto 4 groups of efficiency. Curves demonstrating dependence of fuel costs, compensation of losses caused by breakdown of agricultural terms and soil compaction caused by quantity of aggregates are built. After integration of the whole amount of aggregates into a common traditional technology of cultivation and after selection of its characteristics (quantity of aggregates, general fuel costs and losses costs, including fuel costs) it was proposed to split it onto 3 category modes: hard (according to technological mode – 2 or 5 shifts), normal (4-10 shifts), mild (6-15 shifts). The obtained models can be successfully applied in software of on-board computers in tractors and PCs of the engineers as well. Dynamical models for other technological processes in plant breeding could be obtained in the same way. All developed models allow us to make one more step towards precision farming and reduce costs for manufacture of end products

Ключевые слова: ОБРАБОТКА ПОЧВЫ, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИЕ АГРЕГАТЫ, НОРМА ВЫРАБОТКИ, РАСХОД ТОПЛИВА, ЭРОЗИЯ ПОЧВЫ, УПЛОТНЕНИЕ ПОЧВЫ, МИНИМАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ПОЧВЫ, ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

Keywords: CULTIVATION, IMITATION MODELING, CULTIVATION AGGREGATES, THROUGHPUT, FUEL CONSUMPTION, SOIL EROSION, SOIL COMPACTION, MINIMAL CULTIVATION, PRECISION AGRICULTURE

Основная обработка почвы относится к высоко затратным операциям при возделывании зерновых культур. Определяющими показателями эффективности работы агрегата являются норма выработки и расход топлива, которые, в свою очередь, зависят от сложности работ, глубины обработки и состава машины - тип трактора и плуга [6]. Выбор наиболее оптимального состава почвообрабатывающего агрегата для работы затруднителен из-за многих детерминированных и случайных факторов [1-5]. Если принимать в качестве критерия удельный минимальный расход топлива, то это может оказаться не наилучшим, так как можно получить малопроизводительный агрегат. Норма выработки агрегатов влияет на их количество при выполнении полевых работ, так как существуют определенные нормативные агротехнические сроки, зависящие от вида технологической операции и почвенно-климатических условий района. Срыв агротехнических сроков приводит к снижению урожайности возделываемых культур. При работе пахотных агрегатов происходит эрозия почвы в основном из-за ее уплотнения. Степень такого уплотнения зависит от типа трактора и количества проходов по полю. При поиске оптимума необходимо стремиться к меньшему количеству агрегатов, иметь минимальные затраты на топливо и на компенсацию от ущербов из-за срыва агротехнических сроков и уплотнения почвы при работе агрегатов, что можно представить следующим выражением [7-10]:

$$\begin{cases} \Phi = Z_{ГСМ} - Y_{ОБЩ} \Rightarrow 0 \\ Z_{ГСМ} + Y_{ОБЩ} \Rightarrow \min \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} \Phi = C_T \cdot (a_n \cdot H + b_n \cdot Q_{ан} + c_n \cdot \Gamma_{сл}) - y_k \cdot C_k \cdot \left[ k_u \cdot \left( \frac{S_{II}}{Q_a \cdot N_a} - n_{норм} \right) + \Delta \rho_{факт} \cdot k_{cy} \right] \Rightarrow 0 \\ C_T \cdot (a_n \cdot H + b_n \cdot Q_{ан} + c_n \cdot \Gamma_{сл}) + y_k \cdot C_k \cdot \left[ k_u \cdot \left( \frac{S_{II}}{Q_a \cdot N_a} - n_{норм} \right) + \Delta \rho_{факт} \cdot k_{cy} \right] \Rightarrow \min \end{cases} \quad (1)$$

где  $Z_{ГСМ}$  - затраты на ГСМ, руб.;  $У_{общ}$  - общий ущерб от срыва агросроков и от уплотнения почвы при проходе агрегатов, руб;  $H$  - глубина пахоты, см;  $Q_{ан}$  - сменная норма выработки, га;  $\Gamma_{сл.}$  - группа сложности работ;  $a_n, b_n, c_n$  - коэффициенты аппроксимации;  $\Pi_T$  - удельная цена топлива, руб./л;  $y_k$  - урожайность культуры, ц/га;  $\Pi_k$  - цена реализации данной зерновой культуры, руб./ц;  $k_u$  - коэффициент интенсивности потерь урожая при отклонении сроков выполнения полевых работ от агротехнических;  $S_{п}$  - площадь пахотного участка, га;  $Q_a$  - сменная норма выработки данного агрегата, га/смену;  $N_a$  - количество работающих агрегатов  $n_{норм}$  - нормативное количество дней или смен для обработки участка;  $\Delta\rho_{факт}$  - фактическое увеличение плотности почвы, г/см<sup>3</sup>;  $k_{cy}$  - коэффициент снижения урожайности с учетом уплотнения почвы, 0,08-0,1.

Сложность дальнейших исследований по целевой функции заключается в наличии большого количества входных параметров, изменяющихся (чаще всего случайно) по объективным и субъективным причинам.

Дальнейший аналитический анализ целевой функции лучше вести только с помощью имитационного моделирования. Среди математических моделей наряду с аналитическими, стохастическими, матричными, многомерными, оптимизационными, эволюционными выделяется особый тип – имитационные модели, связанные с использованием ЭВМ. Обычно под имитационной моделью понимают программу, которая в процессе ее реализации на ЭВМ позволяет имитировать поведение реальной системы в разных условиях. Имитационные модели представляют собой наиболее гибкий метод моделирования систем любой сложности, линейных и нелинейных, с обратной связью и сетями управления. Для построения

имитационных моделей часто используют стохастический и автоматный способы математического описания. Стохастические модели исследуют сложное поведение случайных величин и для расчетов используют формулы принятых законов распределения. Объектами настройки в таких моделях выступают параметры распределений – средние, дисперсии, объемы выборок. Имитационное моделирование проводилось по методу Монте-Карло (Monte-Carlo Simulation), которое позволяет построить математическую модель с неопределенными значениями параметров, и, зная вероятностные их распределения, а также связь между изменениями параметров (корреляцию) получить вероятностное значение нужного параметра. Реализацию моделирования по методу Монте-Карло проводили с использованием специальной надстройки в Excel. По каждому агрегату проводилось моделирование для трех нормативных значений агросроков 5, 10, 15 дней и отдельным агрофонам.

Построены графики зависимостей количества агрегатов от затрат по каждой группе (рис.1).

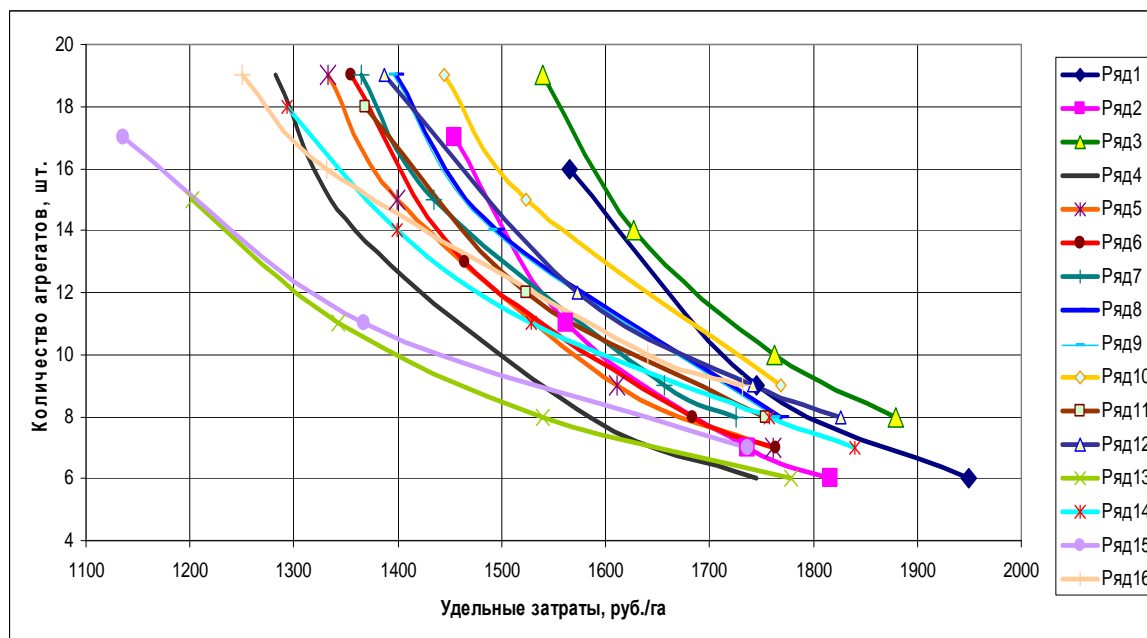







Рисунок 1 – Графики зависимостей количества агрегатов от затрат по каждой группе

Чем ближе график к началу координат, тем эффективней группа. Все агрегаты можно разделить по эффективности на 4 группы (таблица 1). Первая группа – «Агрегаты высокой эффективности» (удельные затраты 1136-1342 руб/га): тракторы Т4-А, ДТ-75М, «Агромаш-90ТГ» с плугами ПН6-35; вторая группа – «Агрегаты повышенной эффективности» (удельные затраты 1358-1465 руб/га): тракторы фирм Джон Дир”, “Нью Холланд”, “Денц-Фар” с 4-х корпусными плугами фирмы “Джон Дир”, а также с 6-ю корпусными плугами фирм “Кивонь” и “Лемкен” мод. 160-6 и сюда же относятся тракторы Т4-А, Т-150К с плугами ПН4-35 и ПЛН6-35; третья группа – «Агрегаты умеренной эффективности» (удельные затраты 1492-1529 руб/га) : тракторы Т-150К с плугами ПЛН6-35, ПЛН5-35, ПН4-40, и “Кивонь” и «Лемкен»; четвертая группа – «Агрегаты низкой эффективности» удельные затраты 1562-1745 руб/га): тракторы К701 с плугами ПТК9-35, ПГП7-40, ПП8-35 и трактор Т-150К с плугами ПЛН4-35, а также тракторы МТЗ-1221 с плугами ПН4-35.

Таблица 1- Ранжирование агрегатов по группам эффективности

Эффективность, (группа)	Удельные затраты, руб./га	Состав агрегата
Высокая (13)	1358-1465	Т4-А+ ПН6-35 (ПЛН6-35) 
Высокая (15)	1358-1465	ДТ-75М (Агромаш 90ТГ) + ПН6-35 (ПЛН6-35) 

		
<p>Высокая (16)</p>	<p>1358-1465</p>	<p>ДТ-75М (Агромаш 90ТГ )+ ПН4-35)</p> 
<p>Повышенной эффективности (4)</p>	<p>1358-1465</p>	<p>“Джон Дир” мод. 8100, “Нью Холланд” мод. G-210, “Фент” мод. Фаворит 822 + плуги IP1-4 — четырехкорпусные фирмы “Джон Дир”</p> 
<p>Повышенной эффективности</p>	<p>1358-1465</p>	<p>ITr-180+ IP1-4 - “Джон Дир” мод. 7810, “Денц-Фар” мод. Агротрон 175, “Нью Холланд” мод.</p>

<p>(5)</p>		<p>8560)</p>  
<p>Повышенной эффективности (6)</p>	<p>1358-1465</p>	<p>ITr-180+ IP1-6 - плуги шестикорпусные фирм “Кивонь” и “Лемкен” мод. 160-6</p>  
<p>Повышенной эффективности (7)</p>	<p>1358-1465</p>	<p>T-150K + ПЛН6-35</p>

			
Повышенной эффективности (14)	1358-1465	T4-A + ПН4-35 	
Умеренной эффективности (8)	1492-1529	T-150К + ПЛН5-35 	
Умеренной эффективности (9)	1492-1529	T-150К + ПН4-40 	
Умеренной эффективности (10)	1492-1529	T-150К + ПЛН4-35 	



		 
Умеренной эффективности (11)	1492-1529	<p>MT3-1221 + IP1-6 (ЕвроОпал 5)</p>  
Низкой эффективности (1)	1562-1745	<p>K701+ ПTK9-35</p>  
Низкой эффективности (2)	1562-1745	<p>K700+ ППП7-40</p>  
Низкой эффективности (3)	1562-1745	<p>K700+ ПП8-35</p>  
Низкой	1562-1745	<p>MT3-1221 + ПН4-35</p>



На пахоте произведена оценка эффективности замены почвообрабатывающего орудия на одном тракторе, и заключено следующее: для трактора К-700 наиболее эффективным является орудие типа ПГП7-40 и при работе с ним затраты в среднем на 22% ниже по сравнению с ПТК9-35 и на 32% с ПП8-35; для Т-150К замена рабочего органа типа ПЛН6-35 не оказывает существенного влияния на эффективность- на 3% по сравнению с ПЛН5-35 и ПН4-40, на 9% по сравнению с ПЛН4-35; на тракторах Т4-А и ДТ-75М замена орудий ПН6-35 на ПН4-35 приводит к снижению затрат на 16%. Таким образом, вид орудия оказывает влияние на эффективность работы агрегата, но не для всех типов тракторов. Рассчитана эффективность агрегатов при смене типа трактора при работе с одним и тем же почвообрабатывающим орудием и результаты показывают низкую зависимость эффективности от замены тягового агрегата – в пределах 10%. Моделирование других агрофонов (2- старопахотные земли, стерня зерновых-колосовых и однолетних трав, 3- поле после корнеклубнеплодов и перепашки) проводилось только для отдельных представителей от каждой группы и показало, что для 1-й и 2-й групп эффективности на втором агрофоне практически не изменилось значение общих удельных затрат; на третьем агрофоне - для всех категорий удельные затраты ниже. Агрофон более сильно влияет на группы, у которых в качестве силового агрегата используется трактора типа К-701, МТЗ-1221, Т-150К, работающие с соответствующими прицепными почвообрабатывающими орудиями.

Таким образом, можно сказать, что совершенствование орудий почвообработки приведет к повышению эффективности как данных агрегатов, так и наиболее эффективных таких как Джон Дир”, “Нью Холланд” и др.

Аналогично проведено моделирование и для других технологических операций, связанных с обработкой почвы. После чего выбрано по одному представителю агрегатов из самых эффективных групп и по одному – из низкоэффективных. В результате сформирована таблица 2, где приведены все основные технологические операции при традиционной обработке почвы и состав групп в зависимости от их эффективности.

Таблица 2- Состав групп агрегатов в зависимости от эффективности при традиционной обработке почвы

Наиболее высокоэффективный вариант		Наиболее низкоэффективный вариант	
<b>Пахота</b>			
Группа	Состав	Группа	Состав
13	Т4-А+ ПН6-35	1	К701+ ПТК9-35
15	ДТ-75М (Агромаш 90ТГ) + ПН6-35	3	К700+ ПП8-35
16	ДТ-75М (Агромаш 90ТГ) + ПН4-35)	12	МТЗ-1221 + ПН4-35
<b>Боронование</b>			
	Т-150+ (БЗСС или БЗТС)		К-701+ (БЗСС или БЗТС)
	Т-4А+ (БЗСС или БЗТС)		К-700+ (БЗСС или БЗТС)
	ДТ-75М+ (БЗСС или БЗТС)		
<b>Дискование 1-й агрофон</b>			
6	Т-150 +БД-10;	2	К-701 +БДТ-7
11	Т-4А, Т-4М +БД-10	4	К-700, К-700А +БДТ-7
		10	МТЗ-1221+ИДб-6
<b>Дискование 2-й агрофон</b>			
7	Т-150 +(ЛДГ-15; БД-10; БДТ-7)	5	ИТр-180+ ИДб-6
9	Т-4А, Т-4М +(ЛДГ-15; БД-10; БДТ-7)	8	МТЗ-1221 +( БД-10; БДТ-7; ИДб-6)
10	ДТ-75М +(ЛДГ-10; БДТ-3)		
<b>Культивация</b>			
1	К-701 + КШУ-18-1; К-700+ КШУ-18-1	6	ИТр-180+Икр-4.
2	К-701 +КСП-4-4; К-700+ КСП-4-4	11	МТЗ-1221 + Икр-6.
12	Т-4А, Т-4М +КПС-4-4.	16	МТЗ-80, МТЗ-82+Икр-6.
		17	МТЗ-80, МТЗ-82+КПС-4-1
<b>Культивация с боронованием</b>			
1	К-701 + КШУ-18-1; К-700+ КШУ-18-1	11	МТЗ-1221 + Икр-6.
2	К-701 +КСП-4-4; К-700+ КСП-4-4.	15	ДТ-75М +КШУ-8-1, КСП-4-2.
<b>Прикатывание</b>			
6	ДТ-75М+ ЗКК-6	8	ДТ-75М+ ЗКВБ-1,5
7	ДТ-75М+ ККН-2,8	9	ДТ-75М+ ЗКВГ-1,4
		10	ДТ-75М+ ЗКВГ-1,4

Оба состава комплекса машин представлены также в таблицах 3-4, которые позволяют увидеть наиболее неэффективные группы и принять решение о возможной замене если есть такая экономическая возможность у предприятия.

Следующий этап – выбор данных по основным удельным затратам для представителей групп. В качестве основных характеристик приняты следующие: количество агрегатов, общие затраты на топливо и компенсацию ущербов, в том числе затраты на топливо. В зависимости от требований к выполнению агросроков все данные дифференцированы на три категорийных режима: жесткий (в зависимости от технологической операции 2 или 5 смен), норма (4 или 10 смен), мягкий (6 или 15 смен). После чего сформировались таблицы 5и 6 для высокоэффективных и низкоэффективных групп. Так как большинство технологических операций еще разделяются на составляющие в зависимости от агрофона или типа оборудования, то было сформированы два режима работы агрегатов: **тяжелый** – при работе на агрофонах, требующих низкую производительность с большими затраты топлива или отрабатывать тяжелыми двойными боронами и **облегченный** – на легких агрофонах и с обычными боронами. На этом принципе составлена результирующая таблица 7, где приведено суммирование всех удельных затрат в зависимости от эффективности группы, режима работы и уровня требований к агросрокам.

После интегрирования всех агрегатов в общую традиционную технологию почвообработки и выборки их характеристик (количество агрегатов, общие затраты на топливо и компенсацию ущербов, в том числе затраты на топливо), предложено их дифференцировать на три катего-

Таблица 3- Состав комплексов высокоэффективных агрегатов




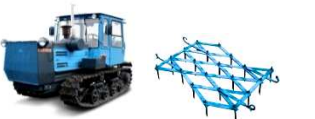





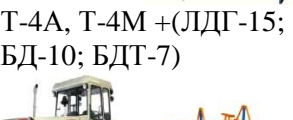





















Пахота	Боронование	Дискование		Культивация	Прикатывание
		1-й агрофон	2-й агрофон		
<p>Т4-А+ПН6-35(ПЛН6-35)</p>  <p>Агромаш 90ТГ + ПН6-35</p>  <p>Агромаш 90ТГ+ ПН4-35</p> 	<p>Т-150+(БЗСС или БЗТС)</p>  <p>Т-4А+ (БЗСС или БЗТС)</p>  <p>ДТ-75М+(БЗСС или БЗТС)</p> 	<p>Т-150 +БД-10</p>  <p>Т-4А, Т-4М +БД-10</p> 	<p>Т-150 +(ЛДГ-15; БД-10; БДТ-7)</p>  <p>Т-4А, Т-4М +(ЛДГ-15; БД-10; БДТ-7)</p>  <p>ДТ-75М +ЛДГ-10; БДТ-3</p> 	<p>К-701 + КШУ-18-1; К-700+ КШУ- 18-1</p>  <p>К-701 +КСП-4-4; К-00+ КСП-4-4</p>  <p>Т-4А, Т-4М +КПС-4-4</p> 	<p>ДТ-75М+ 3КК-6</p>  <p>ДТ-75М+ ККН-2,8</p> 

Таблица 4- Состав комплексов низкоэффективных агрегатов

Пахота	Боронование	Дискование		Культивация	Прикатывание
		1-й агрофон	2-й агрофон		
<p>К701+ ПТК9-35</p>  <p>К700+ ПП8-35</p>  <p>МТЗ-1221 + ПН4-35</p> 	<p>К-701+ (БЗСС или БЗТС)</p>  <p>К-700+ (БЗСС или БЗТС)</p> 	<p>К-701 +БДТ-7</p>  <p>МТЗ-1221+ИДб-6</p> 	<p>ITr-180+ ИДб-6</p>  <p>МТЗ-1221 +БД-10 БДТ-7</p> 	<p>Tr-180+ИКр-4</p>  <p>МТЗ-1221 + ИКр-6</p>  <p>МТЗ-80,МТЗ-82+КПС4</p> 	<p>ДТ-75М+ 3КВБ-1,5</p>  <p>ДТ-75М+ ККН-2,8</p>  <p>ДТ-75М+ 3КВГ-1,4</p> 

рийных режима: жесткий (в зависимости от технологической операции 2 или 5 смен), норма (4 или 10 смен), мягкий (6 или 15 смен).

Также в зависимости от агрофона или типа оборудования, то было сформированы два режима работы агрегатов: «тяжелый» – при работе на агрофонах, требующих низкую производительность с большими затраты топлива или обрабатывать тяжелыми двойными боронами и «облегченный»– на легких агрофонах и с обычными боронами.

Таблица 5 – Основные характеристики агрегатов при отдельных технологических операциях из состава высокоэффективных групп

Состав агрегата	Наименование характеристики	Уровень требований к агросрокам								
		жесткий			норма			мягкий		
		мин	норма	макс	мин	норма	макс	мин	норма	макс
<b>Пахота 1-й агрофон</b>										
ДТ-75М + ПН6-35	Количество агрегатов, шт.	11	17	19	8	11	16	6	9	12
	Затраты общие, тыс. руб.	1,37	1,14	1,09	1,41	1,17	0,96	1,51	1,11	0,91
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,43	0,57	0,72	0,43	0,57	0,72	0,43	0,57	0,72
<b>Пахота 2-й агрофон</b>										
ДТ-75М + ПН6-35	Количество агрегатов, шт.	12	17	22	8	12	16	6	9	12
	Затраты общие, тыс. руб.	1,33	1,15	1,05	1,44	1,13	0,98	1,53	1,13	0,93
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,46	0,58	0,70	0,46	0,58	0,70	0,46	0,58	0,70
<b>Пахота 3-й агрофон</b>										
ДТ-75М + ПН6-35	Количество агрегатов, шт.	13	20	22	9	12	17	7	9	11
	Затраты общие, тыс. руб.	1,09	0,92	0,89	1,10	0,93	0,82	1,10	0,91	0,83
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,38	0,46	0,55	0,38	0,46	0,55	0,38	0,46	0,55
<b>Боронование 2 прохода (норма)</b>										
Т-150+ БЗТС-1,0	Количество агрегатов, шт.	2	3	4	2	3	4	2	3	4
	Затраты общие, тыс. руб.	0,98	0,89	0,84	0,98	0,89	0,84	0,98	0,89	0,84
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,07	0,12	0,18	0,07	0,12	0,18	0,07	0,12	0,18

	руб.									
<b>Боронование 2 прохода двойными боронами (норма)</b>										
<b>Т4-А+ БЗТС-1,0</b>	Количество агрегатов, шт.	3	4	5	3	4	5	3	4	5
	Затраты общие, тыс. руб.	1,02	0,95	0,90	1,02	0,95	0,90	1,02	0,95	0,90
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,07	0,14	0,21	0,07	0,14	0,21	0,07	0,14	0,21
<b>Дискование 1-й агрофон</b>										
<b>Т-150 +БД-10</b>	Количество агрегатов, шт.	4	5	6	3	3	4	3	3	3
	Затраты общие, тыс. руб.	0,97	0,87	0,80	0,97	0,97	0,81	0,82	0,82	0,82
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,22	0,28	0,34	0,22	0,28	0,34	0,22	0,28	0,34
<b>Дискование 2-й агрофон</b>										
<b>Т-150 +БД-10</b>	Количество агрегатов, шт.	4	4	5	2	3	3	2	2	2
	Затраты общие, тыс. руб.	0,56	0,56	0,5	0,65	0,49	0,49	0,52	0,52	0,52
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,08	0,11	0,14	0,08	0,11	0,14	0,08	0,11	0,14
<b>Культивация без боронования</b>										
<b>К-701 + КШУ- 18-1</b>	Количество агрегатов, шт.	4	5	6	3	3	3	2	2	3
	Затраты общие, тыс. руб.	0,94	0,83	0,77	0,78	0,78	0,78	0,79	0,79	0,76
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,06	0,08	0,11	0,06	0,08	0,11	0,06	0,08	0,11
<b>Культивация с боронованием</b>										
<b>К-701 + КШУ- 18-1</b>	Количество агрегатов, шт.	5	6	7	3	3	4	2	3	3
	Затраты общие, тыс. руб.	0,93	0,84	0,79	0,91	0,91	0,78	0,98	0,78	0,78
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,07	0,10	0,13	0,07	0,10	0,13	0,07	0,10	0,13
<b>Прикатывание</b>										
<b>ДТ- 75М+ ЗКК-6</b>	Количество агрегатов, шт.	6	7	8	4	4	5	3	3	3
	Затраты общие, тыс. руб.	0,51	0,44	0,40	0,42	0,42	0,39	0,40	0,40	0,40
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05

Таблица 6 – Основные характеристики агрегатов при отдельных технологических операциях из состава низкоэффективных групп

Состав агрегата	Наименование характеристики	Уровень требований к агросрокам								
		жесткий			норма			мягкий		
		мин	норма	макс	мин	норма	макс	мин	норма	макс
<b>Пахота 1-й агрофон</b>										
<b>К701+ ПТК9-35</b>	Количество агрегатов, шт.	6	9	16	4	6	10	4	5	6
	Затраты общие, тыс. руб.	1,95	1,75	1,57	2,06	1,75	1,51	1,86	1,67	1,55
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,68	0,86	1,05	0,68	0,86	1,05	0,68	0,86	1,05
<b>Пахота 2-й агрофон</b>										
<b>К701+ ПТК9-35</b>	Количество агрегатов, шт.	6	11	17	4	7	9	3	5	6
	Затраты общие, тыс. руб.	1,79	1,54	1,44	1,86	1,51	1,44	1,93	1,49	1,44
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,59	0,77	0,96	0,59	0,77	0,96	0,59	0,77	0,96
<b>Пахота 3-й агрофон</b>										
<b>К701+ ПТК9-35</b>	Количество агрегатов, шт.	7	17	18	5	8	9	4	6	7
	Затраты общие, тыс. руб.	1,58	1,35	1,35	1,55	1,35	1,35	1,50	1,35	1,35
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,52	0,67	0,84	0,52	0,67	0,84	0,52	0,67	0,84
<b>Боронование 2 прохода (норма)</b>										
<b>К701+ БЗТС-1,0</b>	Количество агрегатов, шт.	2	3	4	2	3	4	2	3	4
	Затраты общие, тыс. руб.	1,66	1,60	1,51	1,66	1,60	1,51	1,66	1,60	1,51
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,07	0,12	0,17	0,07	0,12	0,17	0,07	0,12	0,17
<b>Боронование 2 прохода двойными боронами (норма)</b>										
<b>К701+ БЗТС-1,0</b>	Количество агрегатов, шт.	2	2	3	2	2	3	2	2	3
	Затраты общие, тыс. руб.	1,71	1,71	1,61	1,71	1,71	1,61	1,71	1,71	1,61
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,08	0,18	0,39	0,08	0,18	0,39	0,08	0,18	0,39
<b>Дискование 1-й агрофон</b>										
<b>МТЗ-1221 +IDb-6</b>	Количество агрегатов, шт.	5	6	7	4	5	5	3	4	4
	Затраты общие, тыс. руб.	1,39	1,28	1,21	1,39	1,23	1,23	1,50	1,23	1,23



	тыс. руб.									
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,31	0,41	0,51	0,31	0,41	0,51	0,31	0,41	0,51
<b>Дискование 2-й агрофон</b>										
<b>МТЗ-1221 +(БД-10; БДТ-7; Юв-6)</b>	Количество агрегатов, шт.	5	5	6	3	4	4	2	3	3
	Затраты общие, тыс. руб.	0,81	0,81	0,75	0,86	0,73	0,73	0,96	0,70	0,70
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,12	0,16	0,19	0,12	0,16	0,19	0,12	0,16	0,19
<b>Культивация без боронования</b>										
<b>МТЗ-80, МТЗ-82+КПС-4-1</b>	Количество агрегатов, шт.	18	20	22	10	11	12	7	8	8
	Затраты общие, тыс. руб.	0,79	0,73	0,69	0,85	0,76	0,69	0,90	0,73	0,73
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,1	0,12	0,15	0,1	0,12	0,15	0,1	0,12	0,15
<b>Культивация с боронованием</b>										
<b>ДТ-75М+КШУ-8-1, КСП-4-2</b>	Количество агрегатов, шт.	13	15	16	7	8	8	5	6	7
	Затраты общие, тыс. руб.	0,64	0,57	0,52	0,74	0,62	0,62	0,78	0,55	0,47
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,09	0,12	0,15	0,09	0,12	0,15	0,09	0,12	0,15
<b>Прикатывание</b>										
<b>ДТ-75М+ЗКВБ-1,5</b>	Количество агрегатов, шт.	8	8	8	5	5	6	3	4	5
	Затраты общие, тыс. руб.	0,54	0,54	0,54	0,48	0,48	0,41	0,65	0,42	0,40
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06

Таблица 7 – Сводные данные по группам агрегатов в зависимости от эффективности группы, режима работы и уровня требований к агросрокам.

Вид группы агрегатов	Наименование характеристики	Уровень требований к агросрокам								
		жесткий			норма			мягкий		
		мин	норма	макс	мин	норма	макс	мин	норма	макс
<b>Тяжелый режим работы</b>										
<b>Высокой эффективности</b>	Количество агрегатов, шт.	29	39	45	21	25	34	17	22	26
	Затраты общие, тыс. руб.	4,02	4,26	4,81	3,78	4,36	4,69	3,75	4,00	4,69
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,82	1,13	1,45	0,82	1,13	1,45	0,82	1,13	1,45
<b>Низкой эффективности</b>	Количество агрегатов, шт.	34	40	50	22	26	32	17	21	25
	Затраты общие, тыс. руб.	5,45	5,85	6,23	5,38	5,79	6,38	5,26	5,58	6,50
	Затраты на топливо, тыс. руб.	1,20	1,62	2,16	1,20	1,62	2,16	1,20	1,62	2,16
<b>Облегченный режим работы</b>										
<b>Высокой эффективности</b>	Количество агрегатов, шт.	29	39	45	20	25	32	16	19	23
	Затраты общие, тыс. руб.	3,40	3,64	4,08	3,32	3,51	3,93	3,35	3,51	3,79
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,62	0,81	1,03	0,62	0,81	1,03	0,62	0,81	1,03
<b>Низкой эффективности</b>	Количество агрегатов, шт.	40	53	58	25	31	35	18	24	27
	Затраты общие, тыс. руб.	4,84	5,03	5,38	4,69	4,92	5,40	4,69	4,80	5,67
	Затраты на топливо, тыс. руб.	0,85	1,12	1,41	0,85	1,12	1,41	0,85	1,12	1,41

Для тяжелого режима работы между высокоэффективной группой и низкоэффективной практически нет разницы в оптимальном количестве агрегатов, независимо от уровня требований к агросрокам (от «жесткого» до «мягкого»). Имеется существенное отличие по общим затратам между группами эффективности: высокоэффективная превышает низкоэффективную от 1,43 до 1,6 тыс. руб./га (на 33- 37%). Также

высокоэффективная группа имеет меньшие затраты на топливо – от 0,38 до 0,71 тыс. руб./га (на 26-50%).

Для облегченного режима работы низкоэффективная группа для уровня «норма», имеет больше значение оптимального количества агрегатов: для жестких требований к агросрокам – на 14 шт., для нормальных – на 6 шт., для мягких – на 5 шт. В то же время, превышение общих затрат низкоэффективной группы по сравнению с высокоэффективной, находится в интервале от 1,3 до 1,4 тыс. руб./га (на 37-40%). Превышение уровня затрат на топливо для низкоэффективной группы составляет от 0,23 до 0,38 тыс.руб./га (на 29-45%). Следует заметить, что затраты на топливо, во всех случаях, находятся на уровне 30-35% от общих затрат на топливо и компенсацию ущербов от воздействия на почвы и из-за срыва агросроков.

При минимальной обработке почвы разница по общим затратам между группами эффективности составила: высокоэффективная превышает низкоэффективную в тяжелом режиме работы в среднем на 1,5 тыс. руб./га (на 37%), в легком на 1 тыс. руб./га (на 26%). Также высокоэффективная группа имеет меньшие затраты на топливо, в среднем на 33%.

По сравнению с обще принятой технологией при минимальной обработке и тяжелом режиме работы, общие затраты для высокоэффективной группы снизились на 1,6 -2,1 тыс. руб./га (на 40-45%), для низкоэффективной группы – на 1,73-1,8 тыс. руб./га (на 31%); для облегченного режима работы: для высокоэффективной группы затраты снизились на 50%, а для низкоэффективной – на 23%. Затраты на топливо при минимальной обработке и тяжелом режиме работы в два раза ниже, а для облегченного режима меньше на 32%. Также сократилось общее оптимальное количество работающих агрегатов на 10-17%.

Полученные модели могут успешно использоваться в программном обеспечении бортовых компьютеров тракторов и в ПЭВМ главных специалистов. Аналогичным образом можно получить динамические модели и по другим технологическим процессам получения растениеводческой продукции. Все разработанные модели позволят сделать еще один шаг к точному земледелию и сократить себестоимость производимой продукции.

#### Список использованной литературы

1. Оськин С.В. Повышение экологической безопасности сельскохозяйственной продукции./С.В. Оськин// Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011, №5., с.21-23.
2. Тарасенко, Б. Ф. Конструктивно-технологические решения энергосберегающего комплекса машин для предупреждения деградации почв в Краснодарском крае: монография / Б. Ф. Тарасенко; КубГАУ – Краснодар, 2012. – 280 с.
3. Оськин С.В. Инновационные способы повышения экологической безопасности продукции./С.В. Оськин//Землеустройство, кадастр и мониторинг земель.-2013, №8.- с.75-80.
4. Тарасенко, Б. Ф. Комплексный подход к технологии производства зерновых колосовых культур / Б. Ф. Тарасенко, С. В. Оськин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета 2013. – №87(03). – 14 с.
5. Оськин, С.В. Надежность технических систем и экологический, экономический ущерб в сельском хозяйстве. / С. В. Оськин, Б. Ф. Тарасенко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета 2014. – №85(01). – 18 с.
6. Сборник нормативных материалов на работы, выполняемые машинно-технологическими станциями (мтс). — М.: ФГНУ “Росинформагротех”, 2001. — 190 с.
7. Тарасенко, Б. Ф. Комплексный подход к технологии производства зерновых колосовых культур / Б. Ф. Тарасенко, С. В. Оськин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета 2013. – №87(03). – 14 с.
8. Оськин С.В. Применение имитационного моделирования для оптимизации количества, состава и безопасности почвообрабатывающих агрегатов/ Б. Ф. Тарасенко, С. В. Оськин// Научно-технический и информационно-аналитический журнал. Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. Международный научно-практический журнал; Вып. №3-4 (19-20) - Краснодар 2014. - С. 110-122.
9. Оськин С.В. Имитационное моделирование при анализе почвообрабатывающих агрегатов/Б. Ф. Тарасенко, С. В. Оськин, В.Н. Плешаков// Научный журнал КубГАУ (Электронный ресурс).-Краснодар: КубГАУ,2014.- №102 (08)-Шифр Информрегиста: IDA [article ID]: 1021408066. п.л. 1,2 – Режим доступа:<http://ej.kubagro.ru/2014/08/pdf/66.pdf>.

10. Оськин С.В. Метод комплексного подхода и методология энергосбережения и сохранения плодородия при производстве зерновых колосовых культур/С.В. Оськин, Б.Ф. Тарасенко // Технические и технологические системы: материалы 5-й Межд.научн.-практ. конф., КубГАУ.-Краснодар, 2013.-с.272-276.

#### References

1. Os'kin S.V. Povyshenie jekologicheskoy bezopasnosti sel'skohoz'jaj-stvennoj produkcii./S.V. Os'kin// Mehanizacija i jelektrifikacija sel'sko-go hoz'jajstva. 2011, №5., s.21-23.
2. Tarasenko, B. F. Konstruktivno-tehnologicheskie reshenija jenergo-sberegajushhego kompleksa mashin dlja preduprezhdenija degradacii pochv v Krasnodarskom krae: monografija / B. F. Tarasenko; KubGAU – Krasnodar, 2012. – 280 s.
3. Os'kin S.V. Innovacionnye sposoby povyshenija jekologicheskoy bezopasnosti produkcii./S.V. Os'kin//Zemleustrojstvo, kadastr i monito-ring zemel'.-2013, №8.- s.75-80.
4. Tarasenko, B. F. Kompleksnyj podhod k tehnologii proizvodstva zernovyh kolosovyh kul'tur / B. F. Tarasenko, S. V. Os'kin // Politemati-cheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta 2013. – №87(03). – 14 s.
5. Os'kin, S.V. Nadezhnost' tehniceskix sistem i jekologicheskij, jeko-nomicheskij ushherby v sel'skom hoz'jajstve. / S. V. Os'kin, B. F. Tarasenko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta 2014. – №85(01). – 18 s.
6. Sbornik normativnyh materialov na raboty, vypolnjaemye mashin-no-tehnologicheskimi stancijami (mts). — M.: FGNU “Rosinformagroteh”, 2001. — 190 s.
7. Tarasenko, B. F. Kompleksnyj podhod k tehnologii proizvodstva zernovyh kolosovyh kul'tur / B. F. Tarasenko, S. V. Os'kin // Politemati-cheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta 2013. – №87(03). – 14 s.
8. Os'kin S.V. Primenenie imitacionnogo modelirovanija dlja opti-mizacii kolichestva, sostava i bezopasnosti pochvoobrabatyvajushhih agregatov/ B. F. Tarasenko, S. V. Os'kin// Nauchno-tehnicheskij i informacionno-analiticheskij zhurnal. Chrezvychajnye situacii: promyshlennaja i jekologi-cheskaja bezopasnost'. Mezhdunarodnyj nauchno-prakticheskij zhurnal; Vyp. №3-4 (19-20) - Krasnodar 2014. -S. 110-122.
9. Os'kin S.V. Imitacionnoe modelirovanie pri analize pochvoobra-batyvajushhih agregatov/B. F. Tarasenko, S. V. Os'kin, V.N. Pleshakov// Na-uchnyj zhurnal KubGAU (Jelektronnyj resurs).-Krasnodar: KubGAU,2014.- №102 (08)-Shifr Informregista: IDA [article ID]: 1021408066. p.l. 1,2 – Re-zhim dostupa:<http://ej.kubagro.ru/2014/08/pdf/66.pdf>.
10. Os'kin S.V. Metod kompleksnogo podhoda i metodologija jenergosbe-rezhenija i sohranenija plodorodija pri proizvodstve zernovyh kolosovyh kul'tur/S.V. Os'kin, B.F. Tarasenko // Tehnicheskie i tehnologicheskie sis-temy: materialy 5-j Mezhd.nauchn.-prakt. konf., KubGAU.-Krasnodar, 2013.-s.272-276.