

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 65.015.13:658.512

Г.С. Сидоров

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА МАШИН

В сельскохозяйственном производстве наиболее важной задачей является оптимизация технологического процесса. В данной работе рассмотрены основные параметры функционирования системы специализированного технического сервиса (ССТС) машин на уборке урожая. Вначале сформулируем основные принципы и методологию решения поставленной задачи.

Системный подход в исследованиях технологических процессов

Системный подход в исследованиях любых по природе и свойствам процессов предполагает изучение объекта как систему элементов с существенной связью внутри, но незначительными взаимодействиями с элементами вне этой системы. Расчлняя объект на отдельные части и изучая каждую из них в отдельности, невозможно получить адекватную модель исследуемой системы как нечто единое целое (свойство эмерджентности). Исследование любой системы предполагает создание модели, позволяющей предсказать ее поведение в определенном диапазоне параметров.

Методологическая особенность системного подхода к описанию технологических схем эксплуатации машинно-тракторного парка (МТП) определяется механизмами функционирования, типами связей между элементами системы, а также с внешней средой. В системо-

технике разработаны наиболее эффективные описания обобщенных подходов к проектированию систем. Разнообразие действующих факторов и большая степень неопределенности их параметров требуют применения стохастических методов решения. Для определения режимов функционирования системы, возможности повышения надежности ее работы используют методы исследования операций. Экспериментальная проверка полученных решений выявляет наиболее значимые параметры модели с учетом конкретных особенностей функционирования системы.

Проблема повышения показателей эффективности и надежности технологических систем требует расчетов как экономических, так и технических характеристик. Необходима синхронность протекания технологических процессов с работой служб технического сервиса при ремонте агрегатов. К показателям надежности могут быть отнесены вероятности функциональных, технологических, собственных и вынужденных отказов, а также разброс по параметрам продукции, производительности труда и производственным затратам. Актуальность решения этих задач обусловлена: 1) сезонной эксплуатацией МТП в сельском хозяйстве; 2) агрегацией энергетических установок с различными машинами в конкретные периоды работ; 3) снижением надежности техники, увеличением

стоимости агрегатов и запасных частей к ним. Все это приводит к возрастанию потерь продукции от простоя машинно-тракторных агрегатов (МТА).

Либерализация цен, отсутствие государственного планирования позволяют представить развитие МТП (поставка машин, их списание) как случайный процесс. Если вышедшие из строя по износу агрегаты компенсируются поставляемыми, то этот процесс находится в динамическом равновесии. Фермерские хозяйства требуют, по опыту Запада, в 3-4 раза больше поставок, чем в случае крупных сельхозпредприятий, а это приводит к росту объема ремонтных работ. Темп роста затрат на ремонт в 2,2 раза выше темпа роста численности МТП. По причине малой надежности техники, несоответствия систем ее использования условиям производства и хранения агрегатов, цены, качества изготовления вложенные средства не приводят к ожидаемой эффективности. Можно констатировать два факта: 1) в России выпуск техники для села (количество) и надежность ее (качество) не соответствуют современным требованиям; 2) экономическая эффективность функционирования технических сервисных служб будет возрастать с увеличением количества обслуживаемых предприятий.

Расчет некоторых показателей надежности и эффективности работы МТП

Рассмотрим технологический процесс – уборка зерновых культур – и определим оптимальные параметры функционирования системы СТС. Для решения поставленной задачи используют теорию систем массового обслуживания. Рассмотрим методы расчета некоторых параметров целевой функции, определяющей удельные затраты на техническое обслуживание агрегатов и проведение ремонтных работ [1]. Целевую функцию составим для приведенных затрат (на один агрегат) и определим ее минимум Φ_{min} числовым методом. Компоненты функции цели:

$$\Phi_{min} \rightarrow \{\Phi_L; \Phi_q; \Phi_{qi}; \Phi_{ui}; \Phi_n\},$$

где Φ_L – затраты на выполнение ремонтно-профилактических работ;

Φ_q – оплата по тарифной сетке мастеров-наладчиков при их неполной загрузке;

Φ_g – оплата по тарифной сетке операторов машин при их неполной загрузке;

Φ_U – содержание мобильных технических средств обслуживания (МТСО);

Φ_n – стоимость потерь урожая по причине простоев агрегатов при их неисправности.

$$\Phi = \overline{C}_L \overline{L} + \overline{C}_q (1 - K_L) Q + \overline{C}_g (N - R)(1 - K_g) g + \overline{C}_U U + \overline{C}_n \max\{(1 - \theta)R; \overline{N}_0\} N^{-1}. \quad (1)$$

где N – количество основных машин, обслуживаемых в системе СТС;

\overline{C}_L – стоимость ремонта агрегата группой мастеров-наладчиков, руб/ч;

L – количество групп мастеров-наладчиков системы СТС;

\overline{C}_q – затраты от незагруженности работой мастеров-наладчиков, руб/ч;

K_L – коэффициент загрузки групп обслуживания;

$Q = R \cdot g - L \cdot (q - g)$ – количество мастеров-наладчиков системы СТС;

R – количество резервных машин;

θ – коэффициент загрузки резервных машин;

g – число операторов на МТА;

K_g – коэффициент загрузки операторов машин;

q – количество работников в одной группе обслуживания;

\overline{C}_g – затраты от незагруженности работой операторов машин, руб/ч;

ξ – уровень взаимодействия групп обслуживания: совместное выполнение работ двумя группами в случае отсутствия очереди на ремонт машин ($\xi = 2$);

χ – коэффициент: при взаимопомощи групп $\chi = 1,5$; без взаимопомощи $\chi = 1$;

\overline{C}_U – стоимость содержания МТСО, руб/ч;

$U = [(L + B + 1)/B]$ – число МТСО;

B – число групп обслуживания, закрепленных за одним МТСО (или сменность работы системы СТС: одно-, двух- или трехсменная);

\overline{C}_n – стоимость потерь урожая по причине простоя машинного агрегата, руб/ч;

\overline{N}_0 – среднее число машинных агрегатов в очереди на обслуживание.

Целевую функцию (Φ_{min}) оптимизируют по количественному составу: работоспособных агрегатов ($Z = N - N_0$); резервных машин (R_{opt}); групп ремонта (L_{opt}); мастеров-наладчиков (O_{opt}); мобильных технических средств (U_{opt}).

Управляемыми переменными системы СТС являются: количество операторов на МТА (g), уровень взаимодействия (ξ) и коэффициент взаимопомощи групп обслуживания (χ). К основным параметрам относят: \bar{T}_p – среднюю наработку на отказ агрегата, ч⁻¹; \bar{T}_e – среднее время восстановления работоспособности МТА, ч⁻¹. Они определяются экспериментально стохастическими методами при обработке результатов наблюдений. Обе эти характеристики системы СТС подчиняются экспоненциальному закону распределения случайных величин. Характер изменения основных величин определяет тип модели: детерминированный или стохастический. Реальный процесс соответствует стохастической модели. Детерминированная модель служит для оценки адекватности реальному процессу параметров функциональных связей в асимптотике.

Все стоимостные коэффициенты целевой функции (1) (C_L ; C_{qj} ; C_g ; C_U ; C_n) являются случайными величинами, а поэтому их числовые значения определяют методом наблюдений или используют результаты статистической отчетности предприятий. В таблице 1 приведены некоторые из них для технологических операций (j – индекс): уборка зерновых культур отдельным способом и прямым комбайнированием, уборка соломы и вспашка зяби. Ремонт агрегатов на уборке соломы и вспашке зяби выполняют централизованно.

Стоимость ремонта и обслуживания машин мастерами наладчиками системы СТС на j -тый технологической операции C_{Lj} (строка 1 таблицы 1) равна сумме стоимостей расходных материалов для выполнения ремонтных работ и оплаты труда механизаторов за период обслуживания \bar{T}_{oj} . На аварийный ремонт нормативы и стоимости использованных материалов не определены, поэтому расчет выполнен по методике, изложенной в [2]:

$C_{Lj} = (1 - \eta_j^{-1} + \eta_j^{-1}) \cdot w_j \cdot C_j^n \cdot \delta_j \cdot T_{pj} / T_{aj}$ (2)
где η_j – коэффициент использования сменного времени;

η_j – коэффициент готовности машин;

w_j – производительность агрегата, га/ч;

C_j^n – нормативные затраты на обслуживание машины, руб/га;

δ_j – доля затрат на ремонт.

Потери от простоя мастеров-наладчиков C_{qj} равны сумме стоимости оплаты труда за 1 чел-ч работы специалиста $C_j^{чч}$ и тарифной ставки классификационного разряда C_{qj}^{TC} : $C_{qj} = C_{qj}^{TC} + C_j^{чч}$. В рассматриваемой системе СТС этот коэффициент составляет 3,47 руб/ч.

Стоимость устранения оператором незначительных отказов МТА или проведение некоторых технологических процедур (C_{gj}) размещены в строке 2.

Расходы на заправку агрегатов топливно-смазочными материалами (ТСМ) равны сумме стоимости ТСМ ($C_T = V \cdot C_r$, где V – объем заправки, т; C_r – цена топлива, руб/т) и стоимости доставки ТСМ ($C_{дт} = 0,032 \cdot S$, где S – расстояние от МТА до заправочной станции, км). Для рассматриваемой системы СТС эти параметры составляют: $C_T = 80$ руб/ч и $C_{дт} = 0,33$ руб/ч.

Таблица 1

Расчет стоимостных коэффициентов при обслуживании машин

№ п/п	Системы обслуживания		СВ	ПВ	ПК	УС	ВЗ
			$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$
1	Ремонт машин мастерами-наладчиками	C_{Lj}	3,15	4,37	4,37	2,50	1,30
2	Ремонт машин операторами (ВМО)	C_{gj}	3,30	2,63	2,63	2,50	2,50

Примечание. СВ – скашивание в валки $j = 1$; ПВ – подбор и обмолот валков $j = 2$; ПК – прямое комбайнирование $j = 3$; УС – уборка соломы $j = 4$; ВЗ – вспашка зяби $j = 5$.

Приведенные стоимости содержания МТСО вычисляются из выражения: $C_U = C^{bc} \cdot A / T_U^{cm}$, где C^{bc} – балансовая стоимость МТСО, руб; A – отчисления на амортизацию (0,10 – 0,15); T_U^{cm} – сезонная наработка МТСО, ч. Они составляют при выполнении аварийного ремонта $C_U = 1,32$ руб/ч, а при проведении ежедневных и плановых ТО – $C_U = 1,45$ руб/ч.

Стоимость проведения ежесменных (C_E) и плановых (C_P) технических обслуживаний может быть специально разработана или получена из показателей работы предприятия за прошедшие периоды отчетности. Средние значения этих величин составили: $C_E = 10$ руб/ч, $C_P = 10,1$ руб/ч.

Потери урожая по причине простоя машин (C_n) определим по методике [2]:

$$C_{nj} = 0,05 \cdot (C_z - C_{yt}) \cdot (0,5 + k_j^0) \cdot y_o \cdot V_j \cdot w_j \cdot T_{yj}, \quad (3)$$

где C_z – закупочная цена продукта (зерно), руб/т;

C_{yt} – затраты на транспортировку продукции и др., руб/т;

k_j^0 – коэффициент простоя агрегата по технологии процесса (не по техническим причинам); y_o – ожидаемая урожайность культуры, т/га;

V_j – коэффициент биологических потерь урожая, доля/сутки ($ст^{-1}$);

T_{yj} – нормативная продолжительность уборки урожая, ст.

По исходной информации, размещенной в таблице 2, произведен расчет оптимального состава системы СТС, результаты которого представлены в таблице 3.

Расчет экономической эффективности от внедрения в производство предлагаемых моделей выполняют с учетом оптимизации технологического процесса. Как известно, потоки отказов машин и восстановления их работоспособности являются стохастическими величинами. Поэтому одновременно минимизировать простой комбайнов и максимизировать загрузку групп мастеров-наладчиков и резервных агрегатов возможно только по критерию минимальных издержек от простоев как машинных агрегатов, так и групп обслуживания.

Используя статистические характеристики надежности машин (\bar{T}_p, \bar{T}_o), можно определить показатели функционирования их в зависимости от производственных условий и ограничений, не прибегая к натурным исследованиям.

Таблица 2

Исходные параметры функционирования системы СТС комбайнов

1	Средняя наработка на отказ комбайнов кл. 5-6 кг/с T_p , ч	8,07
2	Средняя продолжительность восстановления комбайнов T_o , ч	1,27
3	Среднее расстояние до резервной машины S , км	2,00
4	Скорость движения резервной машины v , км/ч	5,00
5	Удельные затраты на восстановление комбайнов кл. 5-6 кг/с C_L , руб/ч	4,37
6	Удельные затраты на содержание мастера-наладчика C_q , руб/ч	3,47
7	Удельные затраты на содержание операторов C_o , руб/ч	2,63
8	Удельные потери от простоя комбайна C_n , руб/ч	14,0
9	Удельные затраты на мобильное средство обслуживания C_U , руб/ч	1,32
10	Уровень взаимодействия групп обслуживания ξ	2
11	Коэффициент взаимопомощи групп обслуживания χ	1,5
12	Число обслуживаемых технологических машин N	10
13	Число резервных машин R	2
14	Число групп обслуживания L	2
15	Число мастеров-наладчиков в группе обслуживания q	2
16	Групп мастеров-наладчиков на 1 мобильном средстве обслуживания B	2
17	Число операторов на одном комбайне g	1

Результаты расчета оптимального состава системы СТС комбайнов

ОСНОВНЫЕ МАШИНЫ $N = 10$		РЕЗЕРВНЫЕ МАШИНЫ $R = 1$	
Ср. число: работоспособных	8,94	Ср. число: загруженных машин	0,63
простаивающих машин	1,06	простаивающих машин	0,37
машин в очереди	0,05	Ср. продолж-ть: работы машин, ч	1,35
Ср. продолжит-ть: восст-ния, ч	0,93	простоя машин, ч	0,81
простоя машин, ч	0,95	Коэф. достаточности резерва	0,994
ожидания в очереди, ч	0,03	Коэффициент загрузки машин	0,626
Коэф. технической готовности	0,89	Вероятность полной загрузки	0,626
ГРУППЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ $L = 3$		ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ	
Ср. число: загруженных групп	1,53	Затраты на обслуж.: общие, руб/ч	11,48
простаивающих групп	1,47	на 1 машину, руб/ч	1,15
Ср. продолж-ть простоя групп, ч	0,90	Потери от простоя: общие, руб/ч	17,38
Коэфф. загрузки групп обслуж.	0,508	на 1 машину, руб/ч	1,74
Вероятность полной загрузки	0,273	Общие издержки, руб/ч	28,86
Вероятность простоя группы	0,374	на 1 машину, руб/ч	2,89
Мобильных средств обслужив.	2	Кол-во машин на 1 подсистему	2,50

Изменение потока требований $\lambda = 1/T_p$ на обслуживание машин значительно влияет на состав и загрузку системы СТС. Для зерноуборочного комплекса из $N = 10$ комбайнов кл. 5-6 кг/с при загрузке групп ремонта $\rho = 0,10-0,14$ (рис.) с уровнем взаимодействия $\xi = 2$ и коэффициентом взаимопомощи $\chi = 1,5$ оптимальные показатели будут следующие: число групп ремонта $L = 3$, резервных машин $R = 1$, МТСО $U = 1$; коэффициенты готовности основных машин $\eta = 0,92-0,84$, а резервных машин $K_R = 0,56-0,71$; коэффициент загрузки групп ремонта $K_L = 0,48-0,62$; удельные затраты на обслуживание $\Phi_i = 2,26-2,73$ руб/ч. На рисунке изображены четыре характеристики ССТС. Программный модуль ССТС позволяет рассчитать более тридцати показателей работы системы СТС.

Экономия средств на содержание системы СТС, приобретение запасных частей, уменьшение потерь урожая обусловлены следующими факторами.

1. Минимизация издержек ΔI_j (руб.) за счет оптимизации работы системы СТС: увеличение коэффициента готовности машин η_{ji} при выполнении j -той технологической операции в i -том временном интервале и, как следствие, более полную загрузку операторов:

$$\Delta I_j = \sum_{j=1}^v t_j \sum_{i=1}^n I'_{ji} N_j T_j (1 - \eta_{ji}), \quad (4)$$

где v – количество технологических операций;

n – общее число подсистем обслуживания;

t_j – продолжительность рабочей смены, ч/ст;

I'_{ji} – затраты на техническое обеспечение технологического процесса, руб/ч;

T_j – продолжительность выполнения технологических работ, ст.

2. Увеличение рабочего времени операторов ΔT_{Rji} при выполнении технологических операций за счет ввода резервных машин R_{ji} (ч):

$$\Delta T_{Rji} = \sum_{j=1}^v t_j \sum_{i=1}^n R_{ji} K_{Rji} T_j, \quad (5)$$

где f – число подсистем, которые обслуживают агрегаты в рабочее время;

K_{Rji} – коэффициент загрузки резервных машин.

3. Экономия средств за счет оптимального резерва запасных частей на планируемый период выполнения технологических работ при подборе-обмолоте валков и прямом комбайнировании зерновых культур для комбайнов класса 5-6 кг/с составила $\rho = 0,65$.

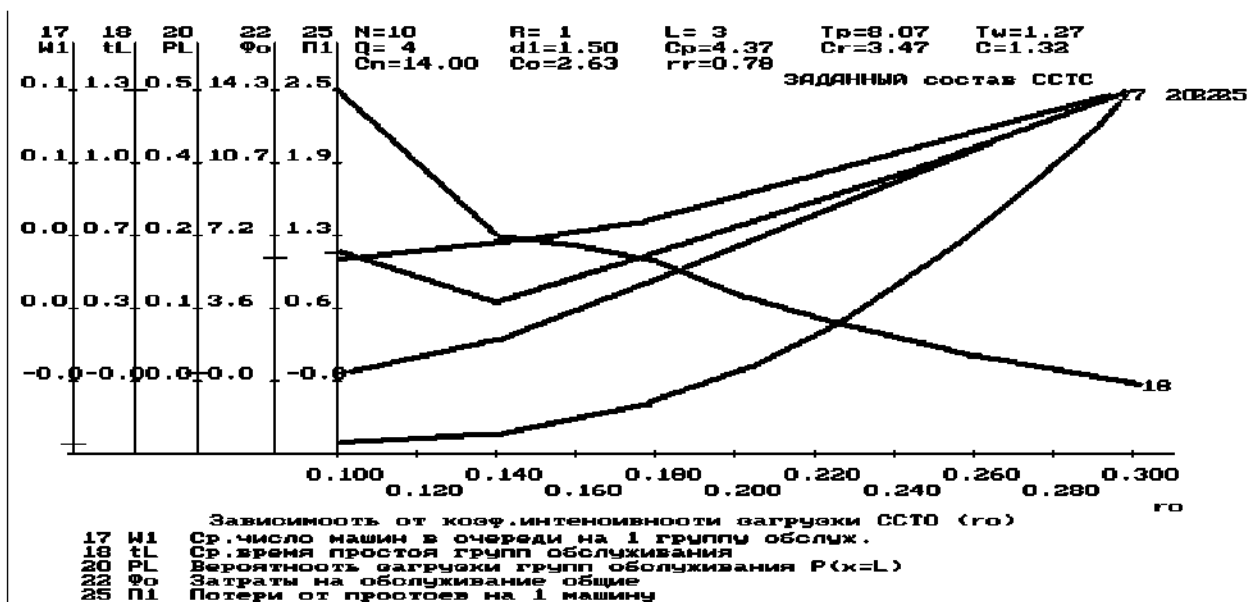


Рис. Зависимость $W_1, t_L, P_L, \Phi_o, \Pi_1$ от интенсивности загрузки групп ремонта $\rho = T_s/T_p = \rho_o$

Для выполнения аварийного ремонта машинного агрегата осуществляется доставка групп мастеров-наладчиков и запасных частей одним МТСО. При этом обеспечивается коэффициент готовности агрегатов $\eta = 1$ и одноразовый простой их $t_0 = 0$, если продолжительность доставки запасных частей меньше продолжительности демонтажа-монтажа отказавшего узла. Приведенная стоимость поиска и доставки запасных частей составляет $C_z = 1,58$ руб/ч. Оптимальное резервирование запасных частей по уровням их хранения позволяет избежать дополнительных затрат материальных ресурсов за счет недостаточности резерва или замораживания средств при его неполном использовании. Результаты показывают, что эффективность оптимального резерва запасных частей обеспечивает экономию средств на 5-7% за сезон.

4. Стоимость продукции $\Delta \mathcal{E}_j$ за счет сокращения продолжительности выполнения технологических работ T_j и снижения потери урожая, руб.:

$$\Delta \mathcal{E}_j = C_z \alpha_j w_j t_j \sum_{j=1}^v (N_j T_j - N_j^{opt} T_j^{opt}), \quad (6)$$

где C_z – цена продукции (зерно), руб/т.

Состав и качество функционирования системы СТС определяются числом МТА (N) и показателями надежности

машин: наработкой на отказ \bar{T}_p , продолжительностью обслуживания \bar{T}_e , коэффициентами загрузки мастеров-наладчиков $\rho = \bar{T}_e / \bar{T}_p$ и ритмичностью работы агрегатов $\eta_r = \bar{N}_p / N$. В таблице 4 рассчитан план работы хозяйств для различных значений основных машин N , количества групп обслуживания L , количества мастеров-наладчиков Q и количества МТСО – U . Расчет выполнен для комбайнов кл. 5-6 кг/с на подборе-обмолоте валков: $T_p = 8,04$ ч; $T_s = 1,22$ ч; $\rho = 0,15$; $\xi = 2$; $\chi = 1,5$; $C_L = 4,37$ руб/ч; $C_q = 3,47$ руб/ч; $C_g = 2,63$ руб/ч; $C_u = 1,32$ руб/ч; $C_n = 14$ руб/ч. Вывод: стоимость работ в системе СТС за смену (Z_{min}) уменьшается с увеличением числа обслуживаемых машин. В общем случае эта зависимость имеет «пилообразный» вид.

5. Приведенная стоимость продукции за счет оптимизации работы системы СТС (сроков выполнения), резерва запасных частей и других рассмотренных мероприятий должна составить:

$$\Delta \mathcal{M}_i = \frac{\Delta \mathcal{E}_i - \Pi_i}{S_j}. \quad (7)$$

Таблица 4

Показатели работы системы СТС

N	R	L	Q	U	η	K_R	K_g	K_L	K_{AR}	$t_{ОР,ч}$	$t_{ОЛ,ч}$	$Z_{инт}$ руб/см	N/Q , руб/см
6	0	2	2	1	0,88	0,00	0,91	0,44	0,90	0,00	1,04	3,15	3,02
8	1	2	3	1	0,87	0,51	0,90	0,54	0,91	1,23	0,77	2,95	2,68
10	1	3	4	1	0,91	0,61	1,00	0,64	1,00	0,85	0,98	2,65	2,49
14	1	4	5	2	0,90	0,71	0,99	0,54	0,99	0,45	0,73	2,46	2,78
18	2	5	7	2	0,91	0,72	0,98	0,55	0,98	2,28	0,70	2,35	2,55

Таблица 5

Экономический эффект от внедрения ССТС в некоторых хозяйствах

Объект	S_{kr} га	N/N^{opt}	T_{1kr} см	T_{2kr} , см	Π_{2k}/S_{kr} , руб/га	$\Delta \mathcal{E}_{2k}/S_{kr}$ руб/га	$(\Delta \mathcal{E}_{2k} - \Pi_{2k})/S_{kr}$ руб/га
1	4077	21/28	17,8	25,2	0,35	1,71	1,36
2	2357	15/17	17,7	20,0	0,28	2,29	2,01
3	2840	20/20	18,2	18,2	0,27	1,86	1,59
4	3650	26/26	18,6	18,9	0,33	1,69	1,36
5	3560	24/25	19,7	19,7	0,35	1,71	1,36
6	2850	17/20	18,3	21,5	0,32	1,65	1,33

Выводы

Результаты расчета экономического эффекта от внедрения системы СТС по нескольким опытным хозяйствам представлены в таблице 5 ($k = 1-6$). Резервные машины обеспечивают загрузку операторов МТА с коэффициентом $K_g = 0,97-0,99$. Коэффициент технической готовности уборочных агрегатов $\eta = 0,86-0,92$; эффективность их использования определяется дополнительным фондом рабочего времени за счет резервных машин. Внедрение предлагаемых рекомендаций по оптимизации параметров функционирования системы СТС и резервирования запасных частей показывает, что затраты на ремонт и обслуживание одного уборочного агрегата сокращаются на 47,3 руб., продолжительность восстановления уменьшается в 1,3-1,4 раза, производительность машин повышается на 12-15%, сокращаются агротехнические сроки проведения работ, а это обуславливает снижение потерь продукции.

Оптимизация резерва запасных частей по уровням их хранения сокращает простой уборочного агрегата на 20-24 ч за сезон, что позволяет повысить эффективность работы технических средств на 15-18%. Годовой экономический эффект составляет 128,2 руб. на один уборочный агрегат.

Библиографический список

1. Лазовский В.В. Формирование звеньев технического и технологического обслуживания зерноуборочных комбайнов СК-6 «Колос» / В.В. Лазовский, П.В. Привалов, Л.И. Гунер // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 1985. № 1. С. 67-71.
2. Привалов П.В. Методология организации технического сервиса комплексов машин в сельскохозяйственном производстве / П.В. Привалов. Новосибирск, 2001. 236 с.

