

УДК 631.331

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТРЕБНОСТИ АГРОХОЗЯЙСТВ В МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВАХ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

Шапиро Евгений Александрович
К.т.н., доцент
РИНЦ SPIN – код: 5975-4917

Труфляк Евгений Владимирович
Д.т.н., профессор
Scopus Author ID: 57188716454
РИНЦ SPIN – код: 2502-0340

Ткаченко Василий Тимофеевич
К.т.н., профессор
РИНЦ SPIN – код: 7891-3774
ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ», Краснодар, Россия

Настоящая статья связана с оптимизацией потребности агрохозяйств Краснодарского края в мобильных средствах технического сервиса. В статье отмечено, что расчет потребности в мобильных средствах технического сервиса на основе существующих выражений пригоден лишь для ориентировочных прогнозов, в связи с тем, что применение в них осредненных значений годовой выработки с.-х тракторов в зоне сервисного обслуживания мобильного средства значительно снижает их точность. В процессе исследования было также установлено, что поток требований на ремонтно-обслуживающие работы от большого числа работающих машин на ограниченном интервале времени представляет собой суперпозицию потоков, который в свою очередь обладает целым рядом вероятностных свойств. Эти свойства в свою очередь говорят о том, что данный поток подчиняется распределению Пуассона

Ключевые слова: ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС, ОПТИМИЗАЦИЯ, ПОТРЕБНОСТЬ, КОЛИЧЕСТВО ПЕРЕДВИЖНЫХ СРЕДСТВ, ТЕОРИЯ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-198-031>

UDC 631.331

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

AGRICULTURAL FARMS' OPTIMIZATION OF NEED FOR MOBILE TECHNICAL SERVICE MEANS

Shapiro Evgeny Aleksandrovich
Cand.Tech.Sci., docent
RSCI SPIN-code: 5975-4917

Truflyak Evgeny Vladimirovich
Dr.Sci.Tech, professor
Scopus Author ID: 57188716454
RSCI SPIN code: 2502-0340

Tkachenko Vasily Timofeevich
Cand.Tech.Sci., professor
RSCI SPIN code: 7891-3774
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

This article is related to the optimization of the needs of agricultural enterprises in the Krasnodar region for mobile technical service tools. The article notes that calculating the need for mobile means of technical service on the basis of existing expressions is suitable only for indicative forecasts, due to the fact that the use in them of average values of the annual output of agricultural tractors in the service area mobile means significantly reduces their accuracy. During the study, it was also established that the flow of requests for repair and maintenance work from a large number of working machines over a limited time interval is a superposition of flows, which in turn has a number of probabilistic properties. These properties, in turn, indicate that this flow obeys the Poisson distribution

Keywords: TECHNICAL SERVICE, OPTIMIZATION, NEED, NUMBER OF MOBILE VEHICLES, QUEUE SERVICE THEORY

Введение. В учебной и научной литературе по организации ремонтно-обслуживающего производства необоснованно мало внимания уделяет-

<http://ej.kubagro.ru/2024/04/pdf/31.pdf>

ся решению задач оптимизации потребности агрохозяйств в мобильных средствах технического сервиса с.-х техники.

В настоящей статье этот пробел частично восполнен. С этой целью, на примере учебного хозяйства «Кубань» Кубанского ГАУ, подробно изложена методика оптимизации потребности агрохозяйств Краснодарского края в мобильных средствах технического сервиса.

Цель настоящего исследования: увеличение коэффициента технической готовности и значительное снижение эксплуатационных затрат использования с.-х техники, путем оптимизации потребности агрохозяйств Краснодарского края в мобильных средствах технического сервиса.

Объектом исследования выступает производственная и техническая эксплуатация с.-х техники агрохозяйств Краснодарского края в процессе использования мобильных средств технического сервиса.

В свою очередь, **предмет исследования** составляют основные принципы и параметры оптимизации потребности агрохозяйств Краснодарского края в мобильных средствах технического сервиса.

В настоящем исследовании в качестве основной гипотезы принято предположение о том, что поток требований на ремонтно-обслуживающие работы, проводимые в агрохозяйствах Краснодарского края, представляет собой суперпозицию потоков.

Данный поток, представляя собой суперпозицию потоков, обладает целым рядом вероятностных свойств. Это в свою очередь говорит о том, что этот поток подчиняется распределению Пуассона.

При данном предмете, основными **задачами научного исследования** выступают следующие вопросы:

– изучение основных принципов и разработка рабочей гипотезы, связанной с оптимизацией потребности агрохозяйств Краснодарского края в мобильных средствах технического сервиса;

– разработка теоретических аспектов, связанных с разработкой оптимизационной модели расчета потребности агрохозяйств Краснодарского края в мобильных средствах;

– проверка приведенной выше гипотезы о том, что рассматриваемый поток требований представляет собой суперпозицию потоков, который обладает целым рядом вероятностных свойств.

Используемые материалы и применяемые **методы исследований** предусматривают применение методов теории массового обслуживания (ТМО), как одной из важнейших разделов теории вероятности и математической статистики.

По мнению авторов настоящей работы, инженерную службу агрохозяйств Краснодарского края рекомендуется оснастить мобильными средствами технического сервиса, и в первую очередь, передвижной ремонтной мастерской ПРМ ГАЗ-33081.

Данная передвижная авторемонтная мастерская предназначена для определения технического состояния узлов и агрегатов с.-х техники при номерных технических обслуживаниях ТО-2, ТО-3, текущем ремонте ТР, периодическом техническом осмотре, а также для выявления и устранения причин неисправностей и отказов тракторов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Передвижная авторемонтная мастерская ПРМ ГАЗ-33081

Авторемонтная мастерская изготовлена на базе автомобиля ГАЗ-3309 и имеет следующие существенные конструктивные отличия от предыдущих моделей:

- в передней части кузова расположен стеллаж с контейнерами, в которых размещены диагностические приборы и приспособления;
- в стеллаж встроен электрошкаф, внутри которого смонтирована электроаппаратура. Под настилом стеллажа на полу установлен генератор с приводом от двигателя автомобиля;
- левый верстак служит для размещения инструмента, приспособлений, запасных частей и материалов; на верстаке установлен настольно-сверлильный станок;
- правый верстак служит для размещения слесарного инструмента, режущего инструмента и материалов: на верстаке установлены слесарные тиски и точильный аппарат;
- с левой стороны кузова расположен шкаф для транспортировки и герметизации ацетиленового генератора с рукавами для разовой сварки, а также лом, лопата, кувалда, штатив выносного светильника;
- с правой стороны кузова расположен шкаф для транспортировки кислородного баллона.

Источниками электроэнергии в автомастерской ПРМ ГАЗ-33081 являются генератор синхронный трехфазный напряжением 220 В, мощностью 5 кВт типа ЕСС и автомобильный аккумулятор.

Автомобильный аккумулятор питает лампу дежурного освещения, вентилятор и две розетки на 12 В. Одна из розеток находится на выводном щите, расположенном справа, на наружной стенке кузова и питает выносной светильник.

Все измерительные приборы находятся на крышке электрического шкафа. Удобством передвижной автомастерской ПРМ ГАЗ-33081 является

то, что регулятор оборотов автомобильного двигателя (ручка газа) выведен на крышку электрошкафа.

На крышке электрического шкафа находятся общие кнопки включения, пускатель для включения преобразователя частоты, ручка регулятора напряжения, кнопка сигнала водителю, кнопка контроля защиты, выключатели освещения: общий, дежурного и рабочего освещения и выключатель вентилятора.

Кроме того, на панели находятся предохранители настольно-сверлильного станка и точильного аппарата.

Преобразователь частоты преобразовывает трехфазное напряжение около 220 В промышленной частоты 50 Гц в трехфазное напряжение 36 В повышенной частоты 200 Гц.

Электрическая схема мастерской снабжена блоком защитного отключения потребителей при возникновении режимов работы, опасных для обслуживающего персонала.

Блок защиты состоит из специального реле, подключенного на выходе выпрямителя, и фильтра напряжений нулевой последовательности, составленного из трех сопротивлений.

При снижении сопротивления изоляции одной или двух фаз относительно корпуса на нулевой точке ассиметра появляется напряжение, которое включает исполнительное реле, а реле, в свою очередь, своим нормально закрытым контактом отключает питание катушки магнитного пускателя, что вызывает прекращение подачи напряжения к потребителям.

Кнопка контроля защиты служит для проверки исправности защитно-отключающего устройства.

Кроме дежурного освещения, питаемого автомобильным генератором, в мастерской предусмотрено еще рабочее и местное освещение, питающееся от понижающего трансформатора 220/12 В.

Рабочее освещение состоит из семи ламп в четырех плафонах, находящихся на потолке кузова, двух кронштейнов местного освещения, находящихся по левой и правой стенкам кузова над верстаками, и одного кронштейна местного освещения в комплекте настольно-сверлильного станка.

Кронштейны имеют свои выключатели. Выключатели трансформатора и рабочего освещения находятся на главном щите.

На левой стенке кузова, кроме розетки 12 В, предусмотрены розетка на 220 В для подключения электропаяльника или других электроприборов.

Во избежание перегрузки генератора общий потребляемый ток не должен превышать 15 А, что контролируют по амперметру.

Установленное напряжение поддерживается автоматически в пределах $\pm 2\%$ от среднерегулируемого значения.

Все мобильные средства технического сервиса, находящиеся в настоящее время на балансе агрохозяйств Краснодарского края, также могут выполнять операции диагностирования, технического обслуживания и широкий спектр ремонтных работ, которые кратко называют плановым текущим и неплановым аварийным ремонтом.

Говоря о полученных **результатах работы**, следует отметить, что проведенными исследованиями было установлено, что поток требований на ремонтно-обслуживающие работы, которые проводились в агрохозяйствах Краснодарского края, представляет собой суперпозицию потоков.

Данный поток обладает такими свойствами, как стационарность, ординарность и отсутствие последствия.

Рассматривая эти результаты исследования, следует отметить, что в научной и учебной литературе довольно часто приводят следующее выражение для расчета потребности в передвижных ремонтных мастерских для обслуживания с.-х тракторов и другой с.-х техники:

$$m_p = \frac{\frac{Pk\tau}{Ad} + \frac{5,30dr}{r}}{S - \frac{2,65L + 3,07\Gamma - 7,09}{r}}, \quad (1)$$

где m_p – количество передвижных ремонтных мастерских для обслуживания тракторов и другой с.-х техники;

P – средняя годовая выработка с.-х трактора и других машин в зоне сервисного обслуживания передвижной ремонтной мастерской;

p – относительная трудоемкость, связанная с устранением возникших отказов;

A – количество дней в рассматриваемом периоде;

r – количество ремонтных рабочих;

k – отношение реальной наработки трактора к годовой;

d – фактическое количество заявок на ТО в рабочий день;

S – продолжительность рабочего дня;

τ – показатель группы сложности отказа;

L – расстояние переезда мобильного средства;

Γ – величина группы сложности отказа.

Анализируя выражение (1), следует отметить, что расчет потребности в мобильных средствах технического сервиса для обслуживания с.-х тракторов и другой с.-х техники пригоден лишь для ориентировочных прогнозов.

Это связано с тем, что применение осредненных значений годовой выработки с.-х тракторов в зоне сервисного обслуживания мобильных средств, а также отсутствие учета стохастической природы рассматриваемых показателей, значительно уменьшают точность расчета по этому выражению.

Рассмотрим теперь один из методов оптимизации потребности агрохозяйств Краснодарского края в мобильных средствах технического сервиса (таблица 1, рисунок 2).

Таблица 1 – Информация о наблюдении за потребностью машин в ремонтно-обслуживающих работах

Число поступивших требований в сутки, m	Число суток, в которое данное m имело место, N_m	Частота данного числа требований, w_m	Кумулятивная эмпирическая функция распределения, W_m	Вероятность данного числа поступлений, P_m	Число поступивших требований на POP, N
0	0	0,00000	0,00000	0,00003	0
1	0	0,00000	0,00000	0,00029	0
2	0	0,00000	0,00000	0,00152	0
3	0	0,00000	0,00000	0,00531	0
4	0	0,00000	0,00000	0,01395	0
5	1	0,04167	0,04167	0,02929	5
6	1	0,04167	0,08333	0,05125	6
7	2	0,08333	0,16667	0,07688	14
8	2	0,08333	0,25000	0,10090	16
9	3	0,12500	0,37500	0,11772	27
10	3	0,12500	0,50000	0,12361	30
11	3	0,12500	0,62500	0,11799	33
12	3	0,12500	0,75000	0,10324	36
13	2	0,08333	0,83333	0,08339	26
14	2	0,08333	0,91667	0,06254	28
15	1	0,04167	0,95833	0,04378	15
16	1	0,04167	1,00000	0,02873	16
17	0	0,00000	1,00000	0,01774	0
18	0	0,00000	1,00000	0,01035	0
19	0	0,00000	1,00000	0,00572	0
20	0	0,00000	1,00000	0,00300	0
	24	1,00000		1,00000	252

Как было показано выше, исследуемый нами поток требований на ремонтно-обслуживающие работы, которые проводились в агрохозяйствах Краснодарского края, представляет собой суперпозицию потоков [1]:

$$P_m(t) = \frac{(\Lambda t)^m}{m!} e^{-\Lambda t}, \tag{2}$$

где $P_m(t)$ – расчетная вероятность, указывающая на то, что за рассматриваемое время t поступит ровно m требований на обслуживание;

Λ – фактическая интенсивность исследуемого потока требований на техническое обслуживание, 1/сут.

Подтверждением этого вывода служит информация о наблюдении за потребностью машин в ремонтно-обслуживающих работах в период уборки зерновых колосовых культур с 25 июня по 18 июля 2023г. в учхозе «Кубань» Кубанского ГАУ, представленная в таблице 1 и на рисунке 2.

Проведенными нами исследованиями потребности агрохозяйств в мобильных средствах было также установлено, что продолжительность времени сервисного обслуживания с.-х техники удовлетворяет экспоненциальному закону распределения [1]:

$$F(t) = 1 - e^{-\psi t}, \quad (3)$$

где ψ – значение интенсивности сервисного обслуживания с.-х техники, 1/сут.

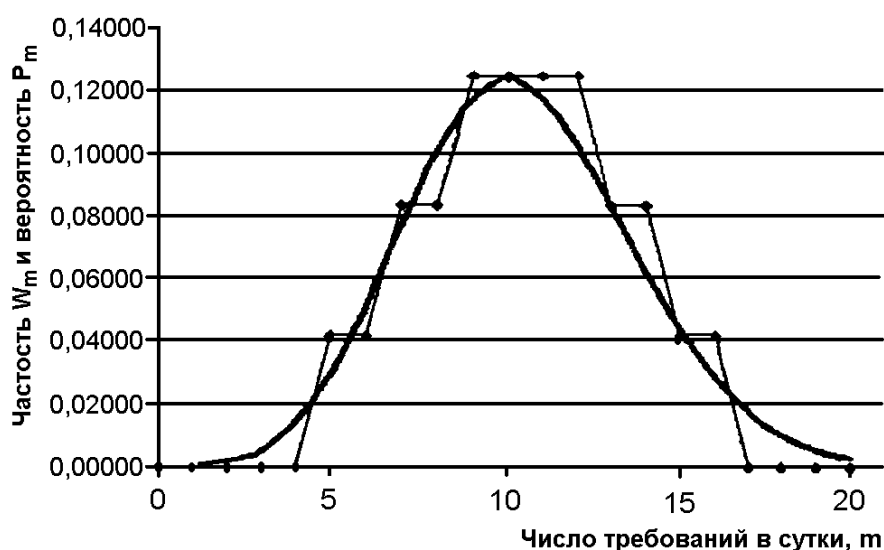


Рисунок 2 – График опытного распределения числа требований на ремонтно-обслуживающие работы и распределение Пуассона

Исходя из приведенного выше условия, можно заключить, что теория массового обслуживания (ТМО) наиболее полно отвечает современной инженерной практике, где функционируют

тракторы, автомобили, зерноуборочные комбайны, и другая с.-х техника, как источники требований на мобильные средства технического сервиса.

В данном случае в качестве критерия оптимизации можно будет принять минимум суммарных затрат на содержание мобильных средств технического сервиса и потерь от недобора продукции в периоде оптимизации из-за простоя машин в ожидании обслуживания.

Таким образом, можно составить следующее математическое выражение оптимизации потребного количества мобильных средств технического сервиса [1]:

$$C_{\text{сум}} = C_{\text{МСТС}}^{np} + C_{\text{п.п.опт.}} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где $C_{\text{сум}}$ – суммарные затраты на содержание мобильных средств и потерь от недобора продукции в данном периоде;

$C_{\text{МСТС}}^{np}$ – удельные затраты, которые включают в себя расходы на приобретение мобильных средств и текущие расходы, обусловленные использованием этих средств (эксплуатационные расходы);

$C_{\text{п.п.опт.}}$ – потеря агрохозяйств от недобора продукции в периоде оптимизации из-за простоя машин в ожидании обслуживания.

Поскольку Λ – интенсивность потока требований (1/сутки), то, естественно $1/\Lambda$ – это промежутки времени между поступлениями требований (сутки).

Можно предположить, что, если $n \geq \Lambda/\psi$ (n – число мобильных средств технического сервиса в агрохозяйстве), то очередь на обслуживание не может расти бесконечно.

Очень важно также заметить, что вопрос состоит в том, чтобы в условиях неизбежно стохастически возникающей очереди на обслуживание при любом $n \geq \Lambda/\psi$, найти такое значение n , при котором потери продукции окажутся допустимыми исходя из требований критерия (4).

В связи с этим, перед решением оптимизационной задачи необходимо установить вариантный ряд числа мобильных средств технического сервиса, внутри которого две противоборствующие функции в критерии оптимизации (4), суммируясь, в одном из вариантов, дадут минимум суммарных затрат ($C_{\text{сум}}$).

Нижний предел числа мобильных средств технического сервиса этого расчетного ряда, естественно, следует принимать равным $n_{\text{н}} = \Lambda/\psi$.

В свою очередь, верхний предел этого ряда, без существенного риска (на основе практического использования методики) можно принимать равным пятикратному отношению, равному ($n_{\text{в}} = 5 \cdot \Lambda/\psi$) с округлением до целого числа в меньшую сторону.

Таким образом, методика оптимизации потребного количества мобильных средств технического сервиса для агрохозяйства состоит в следующем.

В дальнейших расчетах нам необходимо будет определить вероятность того, что в момент поступления требования все мобильные средства технического сервиса будут свободны [1]:

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{k!} \left(\frac{\Lambda}{\Psi}\right)^k + \frac{\Psi}{(\Psi - \Lambda)^{n-1}} \left(\frac{\Lambda}{\Psi}\right)^n \right]^{-1}. \quad (5)$$

Затем, используя основные математические выражения ТМО, для каждого члена вариантного ряда необходимо будет вычислить следующие показатели [1]:

- вероятность отказа мобильного средства технического сервиса в техническом обслуживании:

- среднюю продолжительность ожидания мобильным средством начала технического обслуживания;

- простой с.-х техники агрохозяйства Краснодарского края в ожидании прибытия мобильных средств сервисного обслуживания в течение суток;

- потери средств, которые непосредственно связаны с простоям с.-х техники в ожидании прибытия мобильных средств технического сервиса в рассматриваемом периоде;

- удельные затраты, которые непосредственно связаны с обслуживанием и ремонтом мобильных средств технического сервиса;

- суммарные затраты, связанные с содержанием мобильных средств и потерями от недобора продукции в исследуемом периоде производственной эксплуатации с.-х техники.

Используя данные показатели, проиллюстрируем рассмотренную методику расчета потребности учхоза «Кубань» Кубанского ГАУ в мобильных средствах технического сервиса при следующих исходных данных (таблица 2 и рисунок 3):

- продолжительность пикового периода (периода оптимизации) использования зерноуборочных комбайнов и другой с.-х техники составляет $T = 24$ сут.;

- интенсивность потока требований на ремонтно-обслуживающие работы равна $\Lambda = 10,5$ 1/сут;

- интенсивность обслуживания требований составляет не более $\Psi = 5,12$ 1/сут.;

- покупная цена одного мобильного средства технического сервиса не превышает $C_{МТС} = 280$ тыс. руб.;

Таблица 2 – Результаты оптимизации потребного количества мобильных средств в учхозе «Кубань»

n	Λ	ψ	P _o	Π	T _п	T _{ож}	C _{п.п.опт}	C _{пр.мстс}
3	10,5	5,12	0,10329	0,46770	0,09523	24,00	479969	20386
4	10,5	5,12	0,12340	0,18663	0,01870	4,71	94252	27090
5	10,5	5,12	0,12754	0,06536	0,00433	1,09	21816	33863
6	10,5	5,12	0,12841	0,02016	0,00100	0,25	5024	40636
7	10,5	5,12	0,12859	0,00551	0,00022	0,05	1095	47408
8	10,5	5,12	0,12863	0,00134	0,00004	0,01	222	54181
9	10,5	5,12	0,12863	0,00029	0,00001	0,00	42	60953
10	10,5	5,12	0,12863	0,00006	0,00000	0,00	7	67726

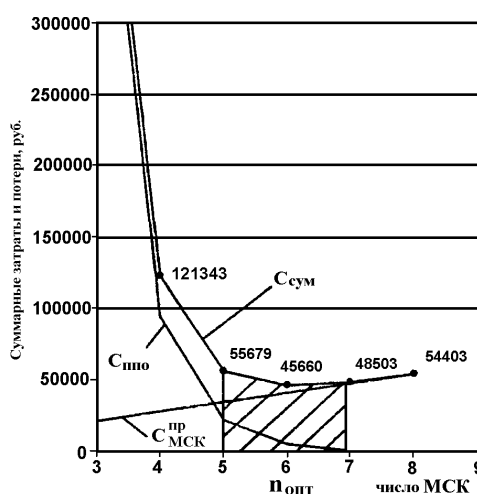


Рисунок 3 – Графики затрат и потерь продукции, связанных с использованием мобильных средств в учхозе «Кубань»

– годовые эксплуатационные затраты на содержание одного мобильного средства составляют $C_{мстс}^э = 75$ тыс. р.;

– суточные потери продукции от простоя зерноуборочного комбайна ACROS 595 Plus составляют более $C_{п} = 20$ тыс. руб.

Полученные в результате расчета значения вариантного ряда (n), для которых значения суммарных затрат, связанных с содержанием мобильных средств и потерями от недобора продукции в исследуемом периоде (C_{сум}) получились наименьшими, представляет собой оптимальное число мобильных средств для учхоза «Кубань» Кубанского ГАУ (таблица 2 и рисунок 3).

Заключение. В качестве заключения следует отметить, что поток требований на ремонтно-обслуживающие работы, которые проводились в учхозе «Кубань» Кубанского ГАУ, представляет собой суперпозицию потоков. Было также установлено, что данный поток обладает целым рядом вероятностных свойств, которые в свою очередь свидетельствуют о том, что исследуемый поток подчиняется распределению Пуассона.

Библиографический список

1. Теория вероятностей в прогнозировании параметров технического состояния и показателей надежности машин / М.И. Юдин, И.В. Карасев, Ю.Д. Янчин, Е.А. Шапиро.– Кубанский ГАУ, 2010. – 62 с.

References

1. Teorija verojatnostej v prognozirovanii parametrov tehničeskogo sostojanija i pokazatelej nadezhnosti mashin / M.I. Judin, I.V. Karasev, Ju.D. Janchin, E.A. Shapiro.– Kubanskij GAU, 2010. – 62 s.