

УДК 631.3.09

UDC 631.3.09

05.00.00 Технические науки

Engineering

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ УБОРОЧНЫХ АГРЕГАТОВ И СТАЦИОНАРА ПРИ РАБОТЕ ПО ТЕХНОЛОГИИ «НЕВЕЙКА»¹**OPTIMIZATION OF THE MAINTENANCE SYSTEM OF STATION AND HARVESTING UNITS WITHIN THE FRAMEWORK OF TECHNOLOGY OF «NEVEYKA»**

Маслов Геннадий Георгиевич
доктор технических наук, профессор
Тел.: 8-(918)-343-04-52
РИНЦ SPIN-код: 7115-7421

Maslov Gennady Georgievich
Doctor of technical sciences, professor
Tel.: 89183430452
RSCI SPIN-ID: 7115-7421

Малышев Сергей Алексеевич
магистрант 2-го года обучения факультета механизации
e-mail: mr.sergey.malyshev@yandex.ru
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

Malyshev Sergey Alexeyevich
graduate student of the 2nd year of the faculty of mechanization
e-mail: mr.sergey.malyshev@yandex.ru
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

С использованием теории массового обслуживания (ТМО) применительно к новой технологии уборки зерновых колосовых культур методом «невейка» рассмотрен метод оптимального проектирования системы технического обслуживания и устранения отказов агрегатов, используемых в технологии уборки и послеуборочной доработки зерна. На базе системного подхода, с учетом вероятностного характера изменения действующих факторов, обоснованы методические направления проверки справедливости принятия распределений Пуассона в расчетах оптимизации режимов работы звена технического обслуживания агрегатов и устранения отказов в работе машин, вероятности безотказной работы уборочных и транспортных агрегатов. Вероятность безотказной работы каждого типа агрегатов, используемых на уборке зерна, зависит от их количества и интенсивности обслуживания. По численному значению вероятность безотказной работы агрегатов равна вероятности простоя агрегатов технического обслуживания и устранения отказов. Поскольку невозможно определить раздельно значение вероятности безотказной работы для всех типов агрегатов и видов обслуживания при различных условиях работы, предложено обобщенное решение, которое применимо к любому обслуживаемому агрегату как при ТО, так и при устранении отказов. Задаваясь желаемым значением вероятности безотказной работы уборочных агрегатов, можно по их количеству определить соответствующее соотношение между средней длительностью одного обслуживания и средним промежутком времени между поступающими от одного агрегата требованиями на обслуживание (ТО и устранение отказов)

Using queuing theory (QT) for the new technology of harvesting of grain crops by the method of «Neveyka», the method of optimal designing of maintenance system and elimination of failures of units used in cleaning technology and post-harvest processing of grain has been considered. On the basis of a systematic approach, taking into account the probabilistic nature of the change of operating factors the methodical directions of validity test of the adoption of the Poisson distribution in the calculation of operating modes were substantiated to optimize maintenance level units and eliminate failures in the operation of the machines, the probability of failure-free operation of harvesting and transport aggregates. The probability of failure-free operation of each type of units used in the cleaning of grain depends on their number and intensity of service. According to the numerical value the probability of failure-free operation of units is equal to the probability of idle units for maintenance and elimination of failures. Since it is impossible to determine separately the value of the probability of failure-free operation for all types of units and all kinds of services at different operating conditions the generalized solution has been offered, this solution is applicable to any serviced unit during both the technical inspection and elimination of failures. By specifying the desired value of the probability of failure-free operation of harvesting units, according to their number we can determine the appropriate ratio between the average length of service and the average period of time between incoming service requirements (technical inspection and elimination of failures) from one unit

Ключевые слова: ТЕОРИЯ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, ВЕРОЯТНОСТЬ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Keywords: QUEUING THEORY, PROBABILITY, POISSON DISTRIBUTION, FAULTLESS PERFOR-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и администрации Краснодарского края по научному проекту № 16-48-230386

Doi: 10.21515/1990-4665-124-073

Необходимое количество стационарных и передвижных средств технического обслуживания (ТО) и устранения отказов, возникающих в процессе эксплуатации техники, определяется на все виды машин и агрегатов, участвующих в возделываемых сельхоз культур в хозяйстве, включая уборку урожая. Основная задача сделать ТО – поддержание в работоспособном состоянии зерноуборочных комбайнов, накопителей – перегрузчиков для транспортировки зерна и стационарного пункта очистки невяяного вороха и складирования компонентов урожая (зерна семян, половы). От каждого из указанных агрегатов исходит вероятностный поток требований как на ТО, так и устранение отказов для оптимизации режима работы функционирующих в хозяйстве средств ТО и устранения отказов. Необходимо сгруппировать потоки как на ТО, так и на отказы всех типов машин. В качестве исходной гипотезы [1] принимаем, что от каждого агрегата исходит два независимых пуассоновских потока требований на ТО и устранение отказов с плотностями λ_{jTO} , λ_{jYO} , представленных в формулах 1, 2, из этих потоков складываются суммарные потоки требований соответственно на ТО и устранение отказов:

$$\lambda_{TO} = \sum_{i=1}^n \lambda_{jTO}, \quad (1)$$

$$\lambda_{YO} = \sum_{i=1}^n \lambda_{jYO}, \quad (2)$$

где λ_{jTO} , λ_{jYO} – плотность требований на ТО и на устранение отказов от каждой отдельной машины или агрегата;

λ_{TO} , λ_{YO} – суммарные плотности соответствующих потоков требований от всех машин и агрегатов, 1/ч;

n – количество обслуживаемых агрегатов в хозяйстве.

На основании параллельной теоремы для суммарного потока можно утверждать, что для потоков (1 и 2) также будет справедливо распределение Пуассона. Продолжительности проведения одного ТО и устранение отказа [1] также принимаем распределенные по показательному закону:

$$F_{(t_{об})} = 1 - e^{-\mu t}, \quad (3)$$

где F – показательная функция распределения продолжительности одного обслуживания, ч;

μ – интенсивность обслуживания;

$t_{об}$ – время одного обслуживания, ч.

Средние интенсивности проведения каждого ТО и устранения одного отказа определяется из равенств 4 и 5:

$$\mu_{ТО} = 1/\lambda_{ТО}, \quad (4)$$

$$\mu_{УО} = 1/\lambda_{УО}, \quad (5)$$

где $t_{ТО}$ – средняя продолжительность проведения одного ТО, ч;

$t_{УО}$ – средняя продолжительность устранения одного отказа, ч.

Численность значения $\bar{t}_{ТО}$ и $\bar{t}_{УО}$ определяются из равенств 6 и 7:

$$\bar{t}_{ТО} = \sum_{i=1}^n \cdot \frac{t_{ТО}}{n}, \quad (6)$$

$$\bar{t}_{УО} = \sum_{i=1}^n \cdot \frac{t_{УО}}{n}, \quad (7)$$

где $t_{ТО}$ – средняя продолжительность проведения одного ТО агрегата, ч;

$t_{УО}$ – средняя продолжительность устранения одного отказа, ч.

Поскольку требования в технологии «невейка» исходят из ограниченного машин и агрегатов, и обслуживание осуществляется одним средством ТО и устранения отказов, то в любом случае будем иметь одноканальное замкнутые СМО с ожиданием.

Принципиальные схемы функционирования и графы возможных состояний этих СМО аналогичны и представлены соответственно на рисунках 1 и 2.

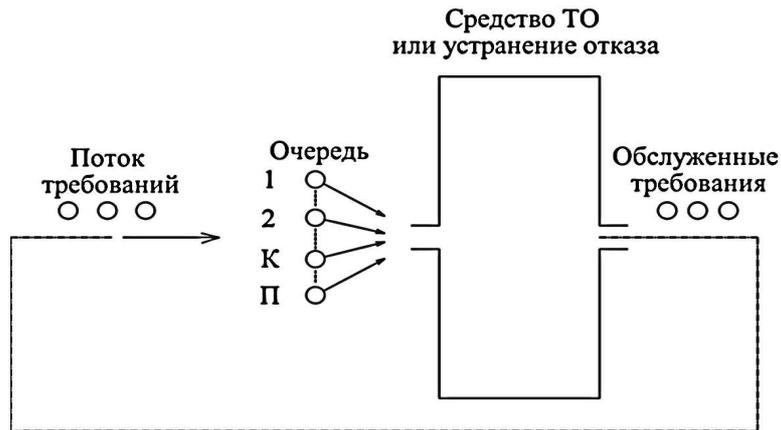


Рисунок 1 – Принципиальная схема работы службы ТО и устранения отказов агрегатов на уборке зерна как замкнутой СМО с ожиданием.

При этом возможны следующие состояния каждой из систем, связанных с ТО или устранением отказов: S_0 – нет требований на ТО или устранение отказов и соответствующие средства обслуживания простаивают; S_1 – имеется одно требование на ТО или устранение отказы и оно обслуживается; S_2 – имеется два требования из которых одно обслуживается, а другое ожидает в очереди; S_n – все n агрегатов требуют обслуживания, а $n-1$ агрегатов ожидают в очереди.

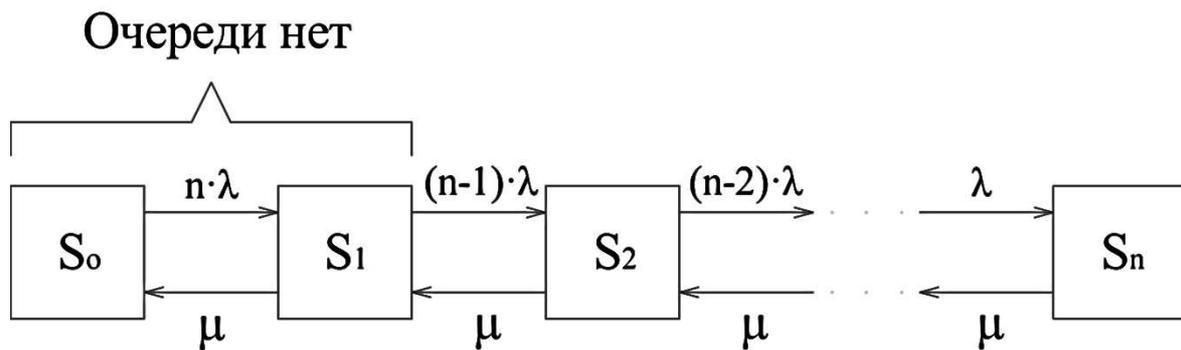


Рисунок 2 – Граф возможных состояний СМО.

Вероятности пребывания СМО в указанных состояниях $P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$ и другие показатели функционирования СМО определяется из системы дифференциальных уравнений, составляемых на основе графа, состоящий (рис. 2) в виде формулы 8:

$$\begin{aligned}
 P_0' &= -n \cdot \lambda \cdot P_0 + \mu \cdot P_1, \\
 P_1' &= -[(n-1) \cdot \lambda + \mu] \cdot P_1 + n \cdot \lambda \cdot P_0 + \mu \cdot P_2, \\
 P_2' &= -[(n-2) \cdot \lambda + \mu] \cdot P_2 + n \cdot \lambda \cdot P_1 + \mu \cdot P_{2+1}, \\
 &\dots\dots\dots; \\
 P_i &= -[(n-R) \cdot \lambda + \mu] \cdot P_R + [n-(R-1)] \cdot \lambda \cdot P_{R-1} + \mu \cdot P_{R+1}, \\
 &\dots\dots\dots; \\
 P_n &= -\mu \cdot P_n + \lambda \cdot P_{n-1},
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Основным для обоих типов СМО является установившийся режим работы при $t \rightarrow \infty$, поэтому решения на базе (8) выполняются при $P_0' = P_1' = \dots = P_r' = 0$ с субъектом нормативного условия 9:

$$\sum_{i=1}^n \cdot P_R = 1,
 \tag{9}$$

Показатели, определяемые из полученной (9) вместо (8) алгебраической системы уравнений, зависят от выбранного критерия эффективности функционирования СМО. Этот критерий должен обеспечивать наименьшие простои уборочных агрегатов, поскольку затягивание сроков уборки приводит к значительным потерям урожая и существенному снижению его качества [3–5]. В качестве такого критерия эффективности функционирования СМО целесообразно выбрать максимум вероятности безотказной работы уборочных агрегатов, представленной в условии 10:

$$P_{00} \rightarrow \max,
 \tag{10}$$

Для определения желаемых показателей работы СМО следует выразить (10) в функции соответствующих внешних факторов. Вероятность безотказной работы СМО соответствует вероятности отсутствия требований в системе P_0 , определяемой на основании (8) при $P_1 = 0$ в виде уравнения 11 [6]:

$$P_{00} = P_0 = \frac{1}{[1+n \cdot \xi + n(n-1) \cdot \xi^2 + \dots + n(n-1) \dots 1 \cdot \alpha^n]}, \quad (11)$$

где n – количество обслуживаемых агрегатов;

$$\xi = \lambda/\mu.$$

При этом среднее количество агрегатов, обслуживаемых в данный момент $n_{об}$ и ожидающих в очереди $n_{ож}$, определяется из равенств 12 и 13:

$$n_{об} = 1 - P_0, \quad (12)$$

$$n_{ож} = n - (1 - P_0) \cdot \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right), \quad (13)$$

Из полученных равенств следует, что для определения показателей работы СМО необходимо с учетом $\alpha = \lambda(\mu)$ выразить λ и μ в функции соответствующих внешних факторов.

Среднее значение $\lambda = \lambda$ то для систем ТО определяется с учетом (1) в виде формулы 14:

$$\lambda_{ТО} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\bar{t}_{по}^i}, \quad (14)$$

где $\bar{t}_{по}$ – средний промежуток времени между отдельным ТО, ч.

Поскольку периодичность разных ТО и их трудоемкость неодинакова, то целесообразно ввести условие ТО, под которым подразумевается ТО-1 соответствующего уборочного агрегата соответственно под $\bar{t}_{по}$ будем подразумевать средний промежуток времени между отдельными ТО-1, определяемый по хронометражным или нормативным данным.

Применительно к системе устранения отказов λ_{yo} (2) определяются из равенства:

$$\lambda_{yo} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\bar{t}_{yo}^i}, \quad (15)$$

где \bar{t}_{yo} – средняя наработка на отказ i – го вида, ч.

Численное значение \bar{t}_{yo} определяется по хронометражным или справочным данным.

Выразим теперь в функции внешних факторов интенсивности проведения ТО μ_{to} ($\bar{\mu}$) и устранения отказов μ_{yo} (5). Продолжительность проведения условного ТО (ТО-1) агрегата данного типа (6) следует определять отдельно при использовании соответственно мобильных (передвижных) и стационарных средств ТО. При использовании передвижного агрегата технического обслуживания получим уравнение 16:

$$t_{ТОП} = t_{ПА} + t_{ОЖТО} + t_{ТОП} + t_{ПАР}, \quad (16)$$

где $t_{ПА}$ – время подготовки агрегата к ТО, ч;

$t_{ОЖТО}$ – время ожидания прибытия агрегата ТО, ч;

$t_{ТОП}$ – средняя продолжительность проведенное ТО с использованием передвижного агрегата, ч;

$t_{ПАР}$ – время подготовки уборочного агрегата к работе, ч;

При проведении ТО на стационарном пункте для t_{to} в (6) получим уравнение 17:

$$t_{not} = t_{ПАП} + \frac{2l_0}{V_0} + t_{ТОС} + t_{ПТО} + t_{ПАР}, \quad (17)$$

где $t_{ПАП}$ – время подготовки уборочного агрегата к переезду на стационарный пункт, ч;

l_0 – расстояние от места работы до стационарного пункта, как:

V_0 – средняя скорость переезда или транспортировки, км/ч;

$t_{ПТО}$ – время подготовки ТО в стационарных условиях, ч;

$t_{ПАР}$ – время подготовки обслуженного агрегата к работе, после ТО, ч.

На основании (4, 5, 16 и 17) можно определить значение μ_{to} в функции внешних факторов.

Выразим теперь в функции внешних факторов интенсивность устранения отказов μ_{yo} (5) соответственно при обслуживании мобильных и стационарных средств. Применительно к мобильному средству устранения отказов t_{iyo} в (7) получим формулу 18:

$$t_{iyo} = t_{byo} + \frac{L_e}{V_e} + t_{yop} + t_{пар}, \quad (18)$$

где t_{byo} – потери времени, связанные с вызовом передвижного средства (технической помощи) для обслуживания, ч;

L_e – расстояние до места работы уборочного агрегата, км;

V_e – средняя скорость технической помощи, км/ч;

t_{yop} – средняя продолжительность устранения отказа с помощью передвижного средства, ч;

$t_{пар}$ – продолжительность подготовки уборочного агрегата к работе после устранения отказа, ч.

Критерий (10) максимум вероятности безотказной работы уборочных агрегатов с учетом (11–18) позволяет определить желаемые показатели работы систем ТО и устранения отказов, включая определение границ их эффективного использования. Полученные аналитические зависимости дают возможность оптимизировать все производственные процессы уборки, после уборочной доработки и складирования компонентов урожая с наименьшими затратами соответствующих средств.

Поскольку функция (11) явного экстремума не имеет, то под оптимизацией понимают эффективный режим работы системы технического обслуживания и устранения отказов.

Из равенства (11) следует, что вероятность работы каждого агрегатов, используемых на уборке зерна P_{60} , зависит от их количества n и соотношения $\rho = \lambda/\mu$ между плотностью потока требований λ и интенсивностью обслуживания μ . по численному значению P_{60} равна вероятности простоя агрегата технического обслуживания и устранения отказа P_0 . Для всех ти-

пов агрегата и видов обслуживания невозможно определить отдельно $P_{\text{бо}}$. Более эффективно обобщенное решение, которое применимо к любому обслуживаемому агрегату как при ТО, так и при устранении отказов. Общей конечной целью системы ТО и устранения отказов является обеспечение наименьшего времени пребывания уборочных агрегатов в системе обслуживания независимо от его вида. В этой связи требования по обслуживанию каждого агрегата, включая ТО и устранение отказов, можно объединить в единый поток с плотностью, представленной в формуле 19:

$$\lambda_{\text{туо}} = \frac{1}{\bar{t}_{\text{туо}}}, \quad (19)$$

где $\bar{t}_{\text{туо}}$ – средний промежуток времени между отдельными пребываниями, ч;

Соответствующая интенсивность обслуживания (ТО и устранения отказов) определяется из обобщенного равенства 20:

$$\mu_{\text{туо}} = \frac{1}{\bar{t}_{\text{убо}}}, \quad (20)$$

где $\bar{t}_{\text{убо}}$ – средняя продолжительность (ТО или устранение отказа).

Значения α – количество обслуживаемых агрегатов получим из равенства 21:

$$\alpha = \frac{\lambda_{\text{туо}}}{\mu_{\text{туо}}} = \frac{\bar{t}_{\text{убо}}}{\bar{t}_{\text{туо}}}, \quad (21)$$

Задаваясь вероятностью $P_{\text{бо}}$ безотказной работы СМО можно по количеству агрегатов в n и численным решением определить соответствующее соотношение между средней длительностью одного обслуживания $\bar{t}_{\text{обс}}$ и средним промежутком времени между поступающими от одного агрегата требованиями на обслуживание (ТО и устранение отказов)ю на основании экспериментов и статистических данных установлено, что в составе одной

бригады используются не более 6 агрегатов для уборки, транспортировки и послеуборочной обработки зерна. Это наглядно видно и из оптимизации состава уборочно-транспортного звена. Соответственно для n рекомендуется диапазон $n = 2-6$

С учетом изложенного необходимо построить графические зависимости вероятности безотказной работы агрегатов для уборки зерна $P_{\text{бo}}$ от их количества n и соотношения $\bar{t}_{\text{обс}}/\bar{t}_{\text{тuo}}$ (рис. 3).

Задаваясь желаемым значением вероятности безотказной работы уборочных агрегатов $P_{\text{бo}}$ с учетом их технического состояния и условий уборки, можно определить требуемое соотношение между средней продолжительностью одного обслуживания $\bar{t}_{\text{обс}}$ и временем между отдельными требованиями на обслуживание $\bar{t}_{\text{тuo}}$.

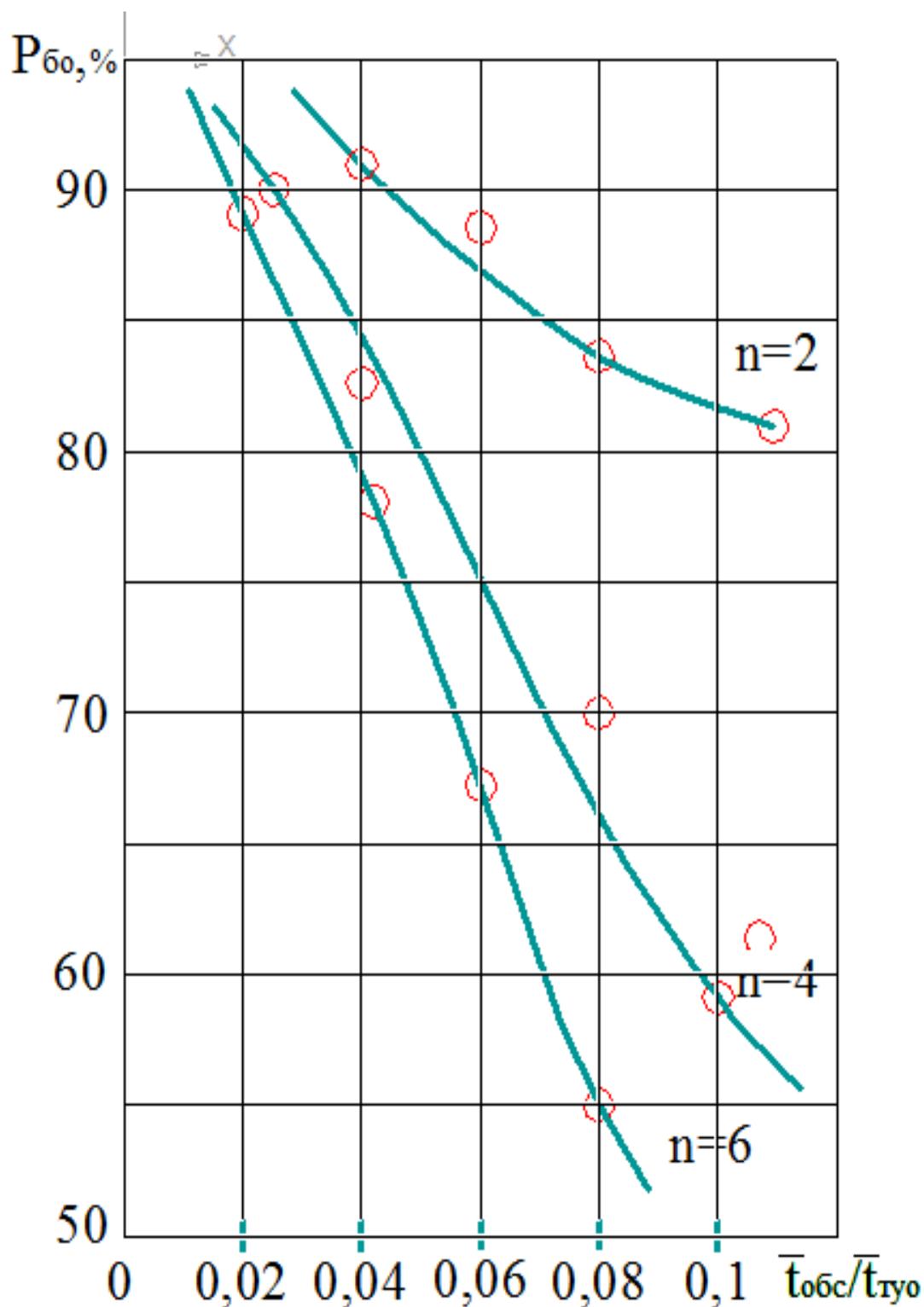


Рисунок 3 – Зависимости вероятностей безотказной работы агрегатов

для уборки зерна P_{60} от их количества n и соотношения $\bar{t}_{обс}/\bar{t}_{тыо}$

Изменение за счет $\bar{t}_{обс}/\bar{t}_{тыо}$ может осуществляться за счет $\bar{t}_{обс}$ путем увеличения числа мастеров – наладчиков и производительности труда.

Штриховыми линиями на рис.3 показан пример решения для желаемой вероятности безотказной работы уборочных агрегатов $P_{\text{бo}} = 90 \%$, т.е. когда простаивает на техническом обслуживании и устранении отказов не более 10 % уборочных агрегатов. Такая вероятность заложена и при расчете общего потребного количества уборочных агрегатов. Среднее количество простаивающих уборочных агрегатов при этом составит: $n_{\text{np}} = 0,6$ при $n = 6$; $n_{\text{np}} = 0,4$ при $n = 4$; $n_{\text{np}} = 0,2$ при $n = 2$.

Таким образом, в зависимости от конкретных условий работы на основе графика можно выбрать желаемый режим работы службы ТО и устранения отказов.

Необходимая исходная информация использование СМО в исследованиях определилась путем экспериментальных исследований новых агрегатов, а также обобщение статистических данных [2, 6, 7].

Одной из основных особенностей обобщение статистических данных и результатов хронометражных наблюдений являлось доказательство возможности описания наблюдений законом Пуассона потока заполнения бункеров комбайнов при уборке зерна.

При этом определялось количество измерений не менее ста. Опытами проверялась также продолжительность цикла комбайна и транспортно-го средства, их производительность и расход топлива. Фиксировались при этом также расстояния до приемного пункта зерна, средняя скорость машин, элементы времени обслуживания их на току, промежутки времени между моментами прибытия транспортных средств.

Обработка полученных экспериментальных и статистических данных проводилась в полном соответствии с методами теории вероятностей и математической статистики [8, 9–15].

Ширина классового интервала при построении гистограмм определялась по формуле 22 [10]:

$$\lambda = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{m_k}, \quad (22)$$

где X_{\max} , X_{\min} – наибольшее и наименьшее значения определяемый опытным путем величины;

m_k – число классов в вариационном ряде.

В свою очередь m_k рассчитывалось по эмпирической формуле 23:

$$m_k = 1 + 3,32 \cdot \lg n, \quad (23)$$

где n – количество опытов.

При оперативных расчетах значение m_k можно выбрать также по данным таблицы [6]:

Таблица – Взаимосвязанные значения числа наблюдений и количества классов

Число наблюдений от–до	Количество классов
25–40	5–6
40–60	6–8
60–100	8–10
100–200	10–12
Более 200	12–15

Значения $\pm 3^{G_x}$ – по результатам опытов выбраковались.

Отдельные комплексные величины (продолжительность цикла уборочного и транспортного агрегата и др.) определились по соответствующим формулам 24 в виде функций [6]:

$$F = f \cdot (f_1, f_2, f_3, \dots, f_n), \quad (24)$$

Соответствующая абсолютная ошибка измерений $\mathcal{L}F$, необходимое количество опытов, относительная ошибка измерений, проверка сходимости теоретических и опытных распределений (хи- квадрат) определялись по известным методикам [6,8,10 и др.].

Таким образом, проверялась справедливость принятия распределения Пуассона для вероятностного потока требований измеряемых величин.

Список литературы

1. Павлов, Б. В. Проектирование комплексной механизации сельскохозяйственных предприятий / Б. В. Павлов, П. В. Пушкарева, П. С. Щеглов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Колос, 1982. – 288 с.
2. Овчаров, Л. А. Прикладные задачи теории массового обслуживания / Л. А. Овчаров. – М.: Машиностроение, 1969. – 324 с.
3. Жалнин, Э. В. Технологии уборки зерновых комбайновыми агрегатами / Э. В. Жалнин, А. Н. Савченко. – М.: Россельхоз. издат, 1985. – 207 с.
4. Маслов, Г. Г. Оптимизация продолжительности уборки озимой пшеницы многофункциональным агрегатом / Г. Г. Маслов // Тракторы и сельхоз машины, 2016. – № 6. – С. 32.
5. Система земледелия Краснодарского края на агроландшафтной основе. – Краснодар, 2015
6. Вентцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972. – 552 с.
7. Прибытков, П. Ф. Безотказность уборочных агрегатов и комплексов / П. Ф. Прибытков, В. Ф. Скробач. – Л.: Агропром.издат, 1987. – 207 с.
8. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработка экспериментальных / Г. В. Веденяпин. – М.: Колос, 1975. – 100 с.
9. Чатаулин, Н. М. Система прикладных статистико-математических методов обработки экспериментальных данных в сельском хозяйстве / Н. М. Чатаулин. – М.: Изд. МСХА, 1972. – 159 с.
10. Доспехов, Б. А. Планирование полевого опыта и статистическая обработка его данных. – М.: Колос, 1972. – 207 с.
11. Маслов, Г. Г. Совершенствование комбайновой уборки зерновых колосовых культур / Г. Г. Маслов, Е. И. Трубилин, В. В. Абаев // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2007. – № 8. – С. 4–5.
12. Маслов, Г. Г. Оптимизация параметров и режимов работы машины методами планирования эксперимента : учеб. пособие для с.-х. вузов / Г. Г. Маслов, О. Н. Дидманидзе, В. В. Цыбулевский В.В.. – М., 2007.
13. Хайлис, Г. А. Исследования сельскохозяйственной техники / Г. А. Хайлис, М. М. Ковалев. – М.: Космос, 1994. – 236 с.
14. Длин, А. М. Математическая статистика в технике / А. М. Длин. – М.: Сов. наука, 1988. – 488 с.
15. Львовский, Е. В. Статистические методы построения эмпирических формул / Е. В. Львовский.. – М.: Высшая школа, 1988. – 239 с.

References

1. Pavlov, B. V. Proektirovanie kompleksnoj mehanizacii sel'skohozhajst-vennyh predpriyatij / B. V. Pavlov, P. V. Pushkareva, P. S. Shheglov. – 2-e izd. pererab. i dop.– M.: Kolos, 1982. –288 s.
2. Ovcharov, L. A. Prikladnye zadachi teorii massovogo obsluzhivaniya / L. A. Ovcharov. – M.: Mashinostroenie, 1969. – 324 s.
3. Zhalnin, Je. V. Tehnologii uborki zernovyh kombajnovymi agregatami / Je. V. Zhalnin, A. N. Savchenko. – M.: Rossel'hoz. izdat, 1985. – 207 s.
4. Maslov, G. G. Optimizacija prodolzhitel'nosti uborki ozimoy pshenicy mnogofunkcional'nym agregatom / G. G. Maslov // Traktory i sel'hoz mashiny, 2016. – № 6. – S. 32.
5. Sistema zemledelija Krasnodarskogo kraja na agrolandshaftnoj osnove. – Krasnodar, 2015
6. Ventcel', E. S. Issledovanie operacij / E. S. Ventcel'. – M.: Sov. radio, 1972. – 552 s.
7. Pribytkov, P. F. Bezotkaznost' uborochnyh agregatov i kompleksov / P. F. Pribytkov, V. F. Skrobach. – L.: Agroprom.izdat, 1987. – 207 s.
8. Vedenjapin, G. V. Obshhaja metodika jeksperimental'nogo issledovanija i obrabotka jeksperimental'nyh / G. V. Vedenjapin. – M.: Kolos, 1975. – 100 s.
9. Chataulin, N. M. Sistema prikladnyh statistiko-matematicheskikh metodov obrabotki jeksperimental'nyh dannyh v sel'skom hozhajstve / N. M. Chataulin. – M.: Izd. MSHA, 1972. – 159 s.
10. Dosepov, B. A. Planirovanie polevogo opyta i statisticheskaja otrabotka ego dannyh. – M.: Kolos, 1972. – 207 s.
11. Maslov, G. G. Sovershenstvovanie kombajnovoj uborki zernovyh kolosovyh kul'tur / G. G. Maslov, E. I. Trubilin, V. V. Abaev // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozhajstva, 2007. – № 8. – S. 4–5.
12. Maslov, G. G. Optimizacija parametrov i rezhimov raboty mashiny metoda-mi planirovanija jeksperimenta : ucheb. posobie dlja s.-h. vuzov / G. G. Maslov, O. N. Didmanidze, V. V. Cybulevskij V.V.. – M., 2007.
13. Hajlis, G. A. Issledovanija sel'skohozhajstvennoj tehniky / G. A. Hajlis, M. M. Kovalev. – M.: Kosmos, 1994. – 236 s.
14. Dlin, A. M. Matematicheskaja statistika v tehnikе / A. M. Dlin. – M.: Sov. nauka, 1988. – 488 s.
15. L'vovskij, E. V. Statisticheskie metody postroenija jempiricheskikh formul / E. V. L'vovskij.. – M.: Vysshaja shkola, 1988. – 239 s.