УДК 519.8: 631.171

Курочкин В. Н., Кущева Е. Н., Полуян Н. С.

Kurochkin V. N., Kushcheva E. N., Paluyan N. S.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЗЕРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ТЕХНИКИ

MATHEMATICAL MODELING OF RELIABILITY OF GRAIN PROCESSING MACHINERY

Анализ современных тенденций развития технического сервиса, характеризующий повышение показателей надежности зерноперерабатывающей техники позволили сделать вывод о необходимости дальнейшего совершенствования организации подсистемы технического сервиса. Совершенствовать организацию и повысить эффективность технического сервиса зерноперерабатывающей техники возможно путем обоснования системы управления надежностью методом имитационного компьютерного моделирования.

Нами обоснованы показатели надежности зерноперерабатывающей техники и критерий эффективности ее функционирования на основе теории массового обслуживания, теории Марковских процессов и математического моделирования подсистемы технического сервиса зерноперерабатывающего предприятия как замкнутой системы обслуживания с отказами, восстановлением и ожиданием. Разработаны целевая функция и алгоритм моделирования показателей системы управления надежностью зерноперерабатывающей техники. Приведены расчеты для коммерческой организации, занимающейся переработкой зерна, которые подтвердили наличие оптимального соотношения между параметрами обслуживаемой (зерноперерабатывающая техника) и обслуживающей (технический сервис) подсистем. В результате компьютерного моделирования по критерию эффективности (совокупные затраты на технический сервис и ущерб от простоя зерноперерабатывающей техники) установлены закономерности влияния надежности и эффективности функционирования зерноперерабатывающей техники от параметров и режимов технического сервиса, исследован коэффициент готовности зерноперерабатывающей техники во взаимосвязи с ее эффективностью функционирования.

Ключевые слова: зерноперерабатывающее оборудование, надежность, эффективность функционирования, технический сервис, организация, компьютерное моделирование.

The analysis of current trends in the development of technical service with increased reliability indicators of grain processing technology made it possible to conclude that it is necessary to improve the organization of the technical service subsystem. To improve the organization and efficiency of technical service of grain processing machinery is possible by the control system reliability study with the help of computer simulation.

We have proved the reliability of grain processing equipment and the effectiveness criterion of its operation on the basis of queuing theory, the theory of Markov processes and mathematical modeling of technical service subsystem of a grain processing enterprise as a closed system with service failures, recovery and expectation. The objective function and the simulation algorithm of management system modeling of grain processing equipment reliability were designed. The calculations for the commercial organization engaged in grain processing, which confirmed the presence of the optimal ratio between the parameters of served (grain processing machine) and service (technical support) subsystems were given. In the result of the computer simulation based on their performance (the total cost of the technical service and the damage from the idle processing machine) the regularities of the reliability and efficiency influence of the grain-processing technology on the parameters and modes of technical service were determined, the grain processing machinery uptime in conjunction with its effective functioning was investigated.

Key words: grain processing equipment, reliability, operation efficiency, technical service, organization, computer simulation.

Курочкин Валентин Николаевич –
доктор технических наук,
старший научный сотрудник
профессор кафедры «Экономика и управление»
Азово-Черноморского инженерного института
ФГБОУ ВО Донской ГАУ
г. Зерноград
Тел.: 8(863-59) 43-8-96
E-mail: valentin952@mail.ru

Кущева Елена Николаевна –
кандидат технических наук, ведущий специалист
научно-исследовательской части
Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ
Тел.: 8(863-59) 43-8-97
E-mail: elena-kuschewa@mail.ru

Полуян Наталья Сергеевна –
аспирантка кафедры «Экономика и управление»
Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ
Тел.: 8(863-59) 43-3-49
E-mail: poluyan.natalya@yandex.ru

Kurochkin Valentin Nikolayevich –
Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher,
professor of the Economics and management department
the Azov-Black Sea Engineering Institute
FSBEI HO Don State Agrarian University
Tel.: 8(863-59) 43-8-96
E-mail: valentin952@mail.ru

Kushcheva Elena Nikolaevna –
Candidate of Technical Sciences,
a leading expert of scientific and research section
the Azov-Black Sea Engineering Institute
FSBEI HO Don State Agrarian University
Tel.: 8(863-59) 43-8-97
E-mail: elena-kuschewa@ mail.ru

Paluyan Natalia Sergeevna –
graduate student of Economics
and management department
the Azov-Black Sea Engineering Institute
FSBEI HO Don State Agrarian University
Tel.: 8(863-59) 43-3-49
E-mail: poluyan.natalya@yandex.ru

Надежность функционирования зерноперерабатывающей техники реализуется в процессе его эксплуатации и обеспечивается системой технического сервиса.

Система управления надежностью введена государственным стандартом ГОСТ Р 27.001 – 2009, который устанавливает основные положения по управлению надежностью изделий при их разработке, производстве и поставке, эксплуатации и утилизации [1].

В нашем случае система управления надежностью относится к эксплуатации изделий – зерноперерабатывающей техники.

К системе управления надежностью относится совокупность всех средств по управлению надежностью, которая образует инженерно-техническую систему и ее подсистему: технический сервис, включая техническое обслуживание и ремонт зерноперерабатывающей техники. В соответствии со стандартом, управление надежностью зерноперерабатывающей техники – это совокупность координирующих действий, являющихся частью системы управления надежностью и ориентированных на достижение, поддержание и подтверждение требуемого уровня надежности элементов системы управления надежностью. Под последним понимают часть системы управления надежностью, необходимую для выполнения определенной функции (группы функций) по управлению надежностью. Конечная цель исследования надежности зерноперерабатывающей техники предприятия – разработка программы обеспечения надежности: документа, устанавливающего комплекс взаимосвязанных организационных и технических мероприятий, методов, средств, требований и норм, направленных на выполнение установленных требований к надежности зерноперерабатывающей техники.

Систему управления надежностью разрабатывают и реализуют на предприятии, однако методика разработки недостаточно изучена, так как ГОСТ Р 27.001 – 2009 «Надежность в технике. Система управления надежностью. Основные положения» [1] введен впервые в 2009 году, и для зерноперерабатывающей техники научных исследований выполнено недостаточно. Рассмотрим функционирование зерноперерабатывающей техники коммерческих организаций [2, с. 17].

В частности, поддержание установленных требований к надежности должно быть оправдано экономически и минимизировано по затратам [3, с. 82].

$$F = F_1 + F_2 \rightarrow min \quad (1)$$

$$S = S_1 + S_2 \rightarrow min \quad (2)$$

где F – критерий по минимизации убытков и затрат на технический сервис (целевая функция);

S – критерий себестоимости (целевая функция);

F_1 – затраты на выполнение операций технического сервиса по поддержанию уровня надежности;

F_2 – ущерб от простоя зерноперерабатывающей техники и снижения выпуска продукции;

S_1 – затраты на зернопереработку;

S_2 – затраты на подсистему технического сервиса.

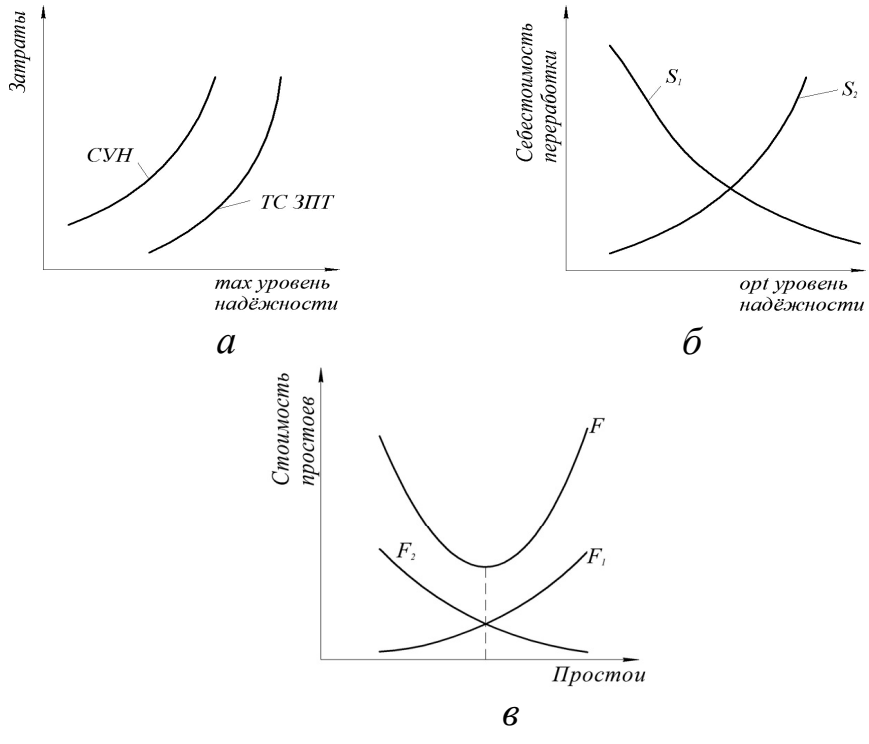


Рисунок 1 – Графики зависимости соотношений целевых функций

Зерноперерабатывающую технику рассмотрели как сложную систему. Затраты на поддержание уровня надежности которой чем выше, тем выше и ее показатели надежности: безотказность, коэффициент готовности, вероятность безотказной работы и др., и тем меньше простоев и связанных с ними непроизводственных затрат – убытков. Однако чрезмерные затраты на систему управления надежностью и технический сервис зерноперерабатывающей техники увеличивают элемент S_2 и F_1, поэтому начиная с некоторых значений факторов, общие затраты на технический сервис зерноперерабатывающей техники и себестоимость зернопереработки начинают возрастать (рисунок 1).

Финансовые и материальные ресурсы обычно ограничены, и если больше средств потратить на снижение интенсивности потока отказов, что возможно при повышении качества и надежности зерноперерабатывающей техники, то меньше средств остается на организацию подсистемы технического сервиса, и наоборот.

Стоимости S_1 и S_2 отражаются в стоимости простоя одного часа зерноперерабатывающей производственной подсистемы F_1 и одного часа подсистемы технического сервиса F_2.

Чем выше затраты на поддержание надежности, тем выше и ее показатели: безотказность, коэффициент готовности, вероятность безотказной работы и другое, и тем меньше простоев и связанных с ними непроизводственных затрат – убытков. Однако чрезмерные затраты на систему управления надежности и технический сервис зерноперерабатывающей техники увеличивают элементы S_2 и F_1, поэтому начиная с некоторых значений факторов, общие затраты и себестоимость начинают возрастать (рисунок 1).

Как видно из графика *«а»* (рисунок 1), для достижения больших уровней надежности требуются непропорционально большие затраты, при этом себестоимость в подсистеме переработки снижается, а в подсистеме технического сервиса – возрастает (график *«б»*), при этом совокупные затраты также возрастут, начиная с некоторой точки оптимума (график *«в»*), соответственно имеет оптимум и критерий F (график *«в»*).

Для получения количественных значений точки оптимума необходимы исследования в разрезе каждой коммерческой организации, занимающейся переработкой зерна, так как для каждой из них имеет место свой оптимум. Но для этого необходима методика определения целевой функции (1). С целью разработки этой методики вначале расшифровали математическую модель (2) методом удлинения, дополнив компоненты F_1 и F_2. Затраты на обслуживание (то есть, выполнение операций технического сервиса) складываются из затраченного времени (в нормо-часах) и удельной стоимости обслуживания. Стоимости запасных частей, расходных материалов не зависят от продолжительности обслуживания, они, как неизменяемые элементы затрат, из дальнейшего анализа исключены. Ущерб от простоя зерноперерабатывающей техники зависит от продолжительности простоя и удельной стоимости простоя оборудования, от сокращения выпуска продукции. С учетом вышеперечисленного, запишем:

$$F = T_{обс} \cdot f_1 + (T_{обс} + T_{ож}) \cdot f_2, \quad (3)$$

где $T_{обс}$ – продолжительность обслуживания;
f_1 – стоимость часа обслуживания;
$T_{ож}$ – продолжительность ожидания обслуживания;
f_2 – ущерб от часа простоя зерноперерабатывающей производственной подсистемы.

Как показали теоретические исследования, рассматриваемая система является стохастической и описывается методами теории массового обслуживания [4, 5].

Для случая замкнутой системы (в соответствии с классификацией Кендалла), когда предприятие имеет собственную ремонтно-техническую базу – стационарный пункт технического обслуживания, изделия (зерноперерабатывающая техника) являются источниками требований, а стационарный пункт технического обслуживания выполняет требования (рисунок 2).

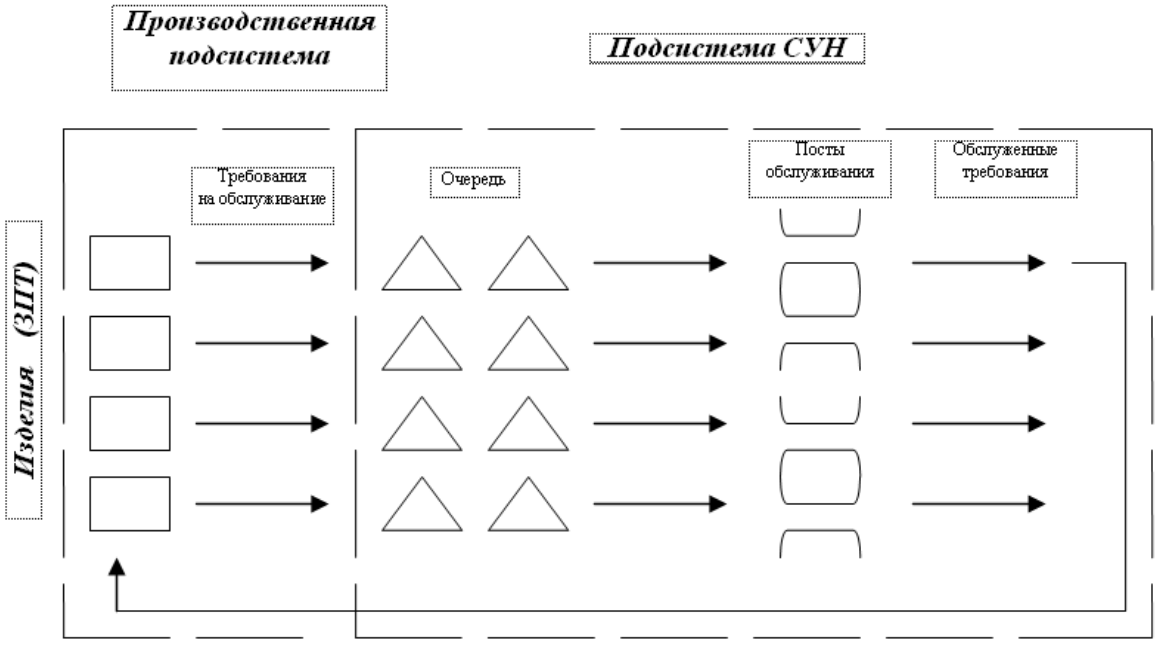


Рисунок 2 – Структура подсистемы управления надежностью зерноперерабатывающей техники

Из теории [6, с. 47] известна система дифференциальных уравнений, описывающих функционирование замкнутой системы массового обслуживания, и ее решение.

Вероятность отсутствия требований p_0:

$$p_0 = [\sum_{k=0}^{n} \frac{m!}{k!(m-k)!} \cdot \alpha^k + \sum_{k=n+1}^{m} \frac{m! n^k}{n^{k-1} \cdot n!(m-k)!}]^{-1} \quad (4)$$

где m – текущее количество постов;
n – максимальное количество постов;
α – параметр системы;
k – количество обслуженных заявок.

Вероятность нахождения в подсистеме технического сервиса k заявок, из которых z обслуживается, а $k - z$ ожидают обслуживания

$$p_k = p_0 m! \alpha^k \left[n^{k-z} n! (m-k)! \right]^{-1}, \text{ при } n \le k \le m \quad (5)$$

Среднее число заявок в очереди на обслуживание

$$M_{ож} = \sum_{k=n+1}^{m} \frac{(k-n) m! \alpha^k}{n^{k-n} n! (m-k)!} \cdot p_0 \quad (6)$$

Коэффициент простоя заявок в очереди

$$K_{п.з.} = M_{ож} \cdot m^{-1} \quad (7)$$

Математическое ожидание количества заявок в подсистеме технического сервиса

$$M = M_{ож} + \sum_{k=1}^{n} \frac{\alpha^k m!}{k!(m-k)!} \cdot p_0 \quad (8)$$

Среднее число обслуживающих постов простаивающих в ожидании заявок

$$n_{пр} = \sum_{k=0}^{k=n} \frac{(n-k) m! \alpha^k}{k!(m-k)!} \cdot p_0 \quad (9)$$

Коэффициент простоя постов обслуживания

$$K_{пр} = n_{пр} \cdot n^{-1} \quad (10)$$

Вероятность того, что число требований, ожидающих обслуживания, больше N

$$p > N = \sum_{k=N+1}^{m} pk = 1 - \sum_{k=0}^{N} p_k \quad N > n \quad (11)$$

Для расчета по приведенным формулам (4–11) необходимо знание параметров входящего потока требований на обслуживание λ (количество заявок, поступивших на обслуживание в единицу времени) и параметра механизма обслуживания μ (количество обслуженных заявок в единицу времени).

Для определения этих параметров воспользуемся тем, что действующее законодательство требует от организаций по техническому обслуживанию и ремонту выписку счет-фактур и ведение журналов, в которых фиксируется время поступления на техническое обслуживание и ремонт, нормо-часы, дата ремонта или технического обслуживания, стоимость оказанных услуг и использованных запасных частей, материалов. Кроме того, на основании акта-приема-передачи составляется наряд-заказ с указанием обслуживаемого оборудования, использованных запасных частей, материалов, выполненных работ и исполнителей. Вышеперечисленные документы позволяют идентифицировать закономерности обслуживания и вычислить точечные характеристики входящего потока требований на обслуживание.

Рассмотрим реализацию модели для управления надежностью зерноперерабатывающей техники.

На зерноперерабатывающем предприятии N имеется $m=10$ видов изделий (зерноперерабатывающей техники), и три стационарных поста $n=3$ для обслуживания требований на их техническое обслуживание и ремонт.

При выполнении технического обслуживания на месте установки зерноперерабатывающей техники необходимо время для организации соответствующего рабочего места, оно складывается из времени вызова и ожидания ремонтной бригады, разворачивания диагностического ремонтного оборудования. Диагностируется причина, выполняются техническое обслуживание и ремонт, устраняется отказ, после чего рабочее место свертывается и ремонтная бригада уезжает.

Сумма продолжительностей элементов технического обслуживания составляет его продолжительность [7, с. 48]:

$$T_p = t_{орм} + t_д + t_{рем} + t_{срм} \quad (12)$$

где $t_{орм}$ – продолжительность организации рабочего места;
$t_д$ – время на диагностику и выявление объема ремонтно-обслуживающих работ;
$t_{рем}$ – продолжительность ремонтно-обслуживающих работ;
$t_{срм}$ – продолжительность сворачивания рабочего места и приведения зерноперерабатывающей техники в рабочее состояние (установка на место снятых деталей, ограждений, кожухов и т. д.)

Если техническое обслуживание и ремонт достаточно сложный, его выполняют на постах стационарного пункта технического обслуживания и продолжительность обслуживания требования на ремонт составит:

$$T_p = 2t_{орм} + t_{дд} + 2t_{срм} + t_{мд} + 2t_д + t_p, \quad (13)$$

где $t_{орм}$ и $t_{срм}$ – соответственно продолжительность организации и свертывания рабочего места для демонтажа узла (агрегата, рабочего органа)
$t_{дд}$ и $t_{мд}$ – продолжительность демонтажа и последующего монтажа узла (агрегата, рабочего органа)
$t_д$ – продолжительность доставки деталей к стационарному пункту технического обслуживания и возврата на место;
t_p – продолжительность сервиса.

Каждое ремонтное предприятие устанавливает нормативы перечисленных в формулах элементов времени хронометражным методом, например, с помощью видеонаблюдения.

Воспользуемся данными учета коммерческой организации: на выполнение техниче-

ского сервиса изделия (зерноперерабатывающей техники) в среднем требуется 8 часов, при работе ремонтного предприятия в одну смену и продолжительности рабочей недели 40 часов, выполняется в среднем $\mu = 40/8 = 5$ обслуживаний в неделю. В то же время за неделю в среднем происходит один отказ изделия $\lambda = 1$. параметр обслуживающей системы $\alpha = \lambda/\mu = 1/5 = 0,2$.

Алгоритм моделирования следующий:

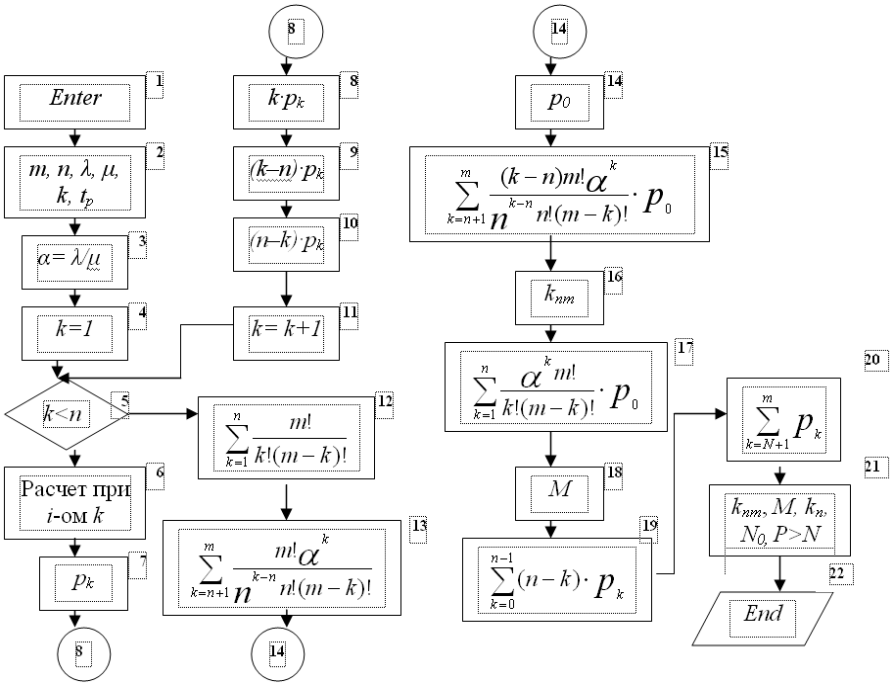


Рисунок 3 – Алгоритм моделирования показателей системы управления надежностью зерноперерабатывающей техники (замкнутая система обслуживания с отказами, восстановлением и ожиданием)

В результате моделирования получили следующие показатели. Вероятность ситуации, когда занят один обслуживающий пост $p_1 = 0,31$; два поста $p_2 = 0,28$; все три поста $p_n = 0,15$. С такой же вероятностью подсистема технического сервиса не занята работой $p_0 = 0,15$, то есть в среднем ежедневно 1,2 часа ремонтно-обслуживающие рабочие отдыхают, и столько же времени полностью заняты. В среднем, 0,16 изделие будет находиться в очереди, то есть 6,4 часа в неделю от общего количества изделий ожидают ремонта 1,6 %. В среднем простаивает $n_{пр} = 1,36$ поста, соответственно коэффициент простоя равен $K_{пр} = 0,46$. В среднем ожидает и находится на обслуживании $M_{ож} = 1,79$ единицы изделия (17,9 %), коэффициент готовности равен $k_г = 0,82$.

Рассмотрим вариант, когда подсистему технического сервиса уменьшили, и она выполняет в среднем 2 обслуживания в неделю $\mu = 40/20 = 2$, тогда $\alpha = 0,5$. Экономия на техническом сервисе приведет к убыткам от простоев, так как при этом $p_0 = 0,01$; $M_{ож} = 1,74$, $k_{пт} = 17,4$ %, $N_0 = 0,25$, $M = 4,4$ и $k = 44$ %.

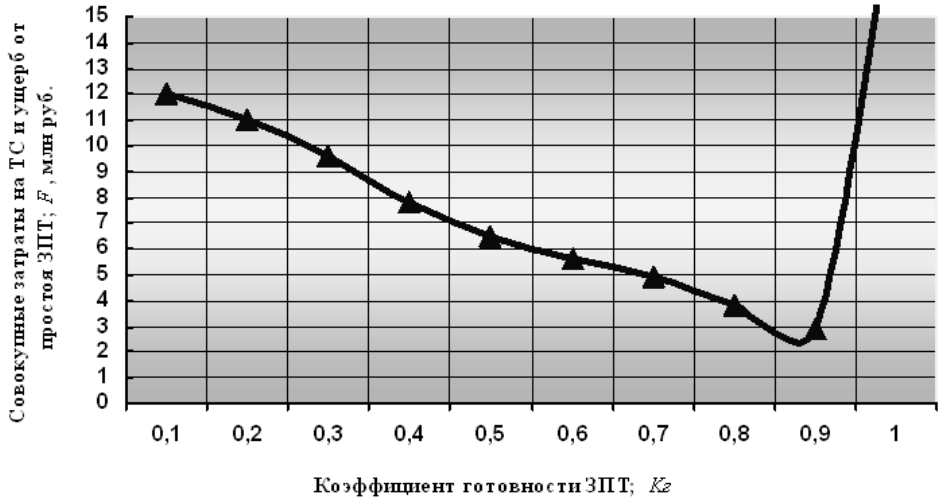


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента готовности зерноперерабатывающей техники (ЗПТ) от совокупных затрат на технический сервис (ТС) и ущерба от простоя ЗПТ

К похожему результату приведет экономия на качестве приобретаемого оборудования с низкой надежностью. К примеру, приобретение оборудования, бывшего в употреблении, увеличит параметр потока отказов λ с 1 до 5, тогда $\alpha=1,0$. Параметры надежности будут следующими: $p_0=0,0005$ (все посты практически не простаивают); $M_{ожс}=4$, $k_{пт}=40,2$, $M=7$, $k=70$ %, $K_г=0,3$. Простои резко снизят эффективность работы зерноперерабатывающей техники. Подставив значения в целевую функцию, выполнив расчеты по алгоритму (рисунок 4), получили график для предприятия N.

Выполненные исследования позволили установить следующее. Управление надежностью зерноперерабатывающей техники реализуется в процессе эксплуатации с помощью таких факторов, как производительность подсистемы технического сервиса, затрат на выполнение технического обслуживания и ремонтов, ущербов от простоя по техническим причинам (отказы), затрат на зерноперерабатывающую технику и подсистему технического сервиса, что выражается математической моделью для расчета элементов которой предложен алгоритм. Алгоритм построен на концепции стохастичности процесса обслуживания требований на техническое обслуживание и ремонт, основан на формулах теории массового обслуживания.

Расчеты подтвердили наличие оптимального соотношения для параметров обслуживаемой (зерноперерабатывающая техника) и обслуживающей (технический сервис) подсистем.

Литература

1. ГОСТ Р 27.001-2009. Надежность в технике. Система управления надежностью. Основные положения. Введ. 2010-09-01. Москва : Стандартинформ, 2010. 10 с. URL: www.gost-load.ru/Index/49/49135.htm.
2. Бондаренко А. М., Курочкин В. Н. Эффективность функционирования хозяйственных обществ и их объединений в АПК : монография. Зерноград : ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2009.
3. Курочкин В. Н. Эффективность и надежность функционирования технологических систем эксплуатации машинно-тракторного парка : дис. … доктора технических наук. Зерноград, 2011. 540 с.
4. Гнеденко Б. В., Коваленко В. И. Введение в теорию массового обслуживания. Изд. 3-е, перераб. и доп. Москва : Комкнига, 2005. 400 с.
5. Матвеев В. Ф., Ушаков В. Г. Системы массового обслуживания. Москва : МГУ, 1984. 240 с.
6. Новиков О. А., Петухов С. И. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. Москва : Советское радио, 1969. 399 с.
7. Курочкин В. Н., Кущеева Е. Н. Математическая модель надежности подсистемы технического сервиса зерноперерабатывающего предприятия // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 12. С. 47–49.
8. Лебедев А. Т., Валуев Н. В., Искендеров Р. Р. Экспериментально теоретические подходы к оценке эффективности процесса измельчения зерновых материалов // Вестник АПК Ставрополья. 2014. № 2 (14). С. 61–64.
9. Курочкин В. Н., Кущева Е. Н. Теоретические аспекты исследования процесса возникновения отказов зерноперерабатывающего оборудования // Техника и оборудование для села. 2012. № 4 (178). С. 35–37.

References

1. Nadezhnost' v tehnike. Sistema upravlenija nadezhnost'ju. Osnovnye polozhenija [The reliability of the technique. The control system reliability. Basic provisions], GOST R 27.001-2009, Vved. 2010-09-01, Moskva, Standartinform, 2010, 10 p., Jelek-tronnyj resurs, Rezhim dostupa: www.gost-load.ru/Index/49/49135.htm.
2. Bondarenko A. M. The effectiveness of the economic entities and their associations in the agricultural sector: monograph / Bondarenko A. M., Kurochkin V. N. – Zernograd: FSBEE HPE ACHGAA, 2009.
3. Kurochkin V. N. The efficiency and reliability of the technological systems of tractor fleet operating: the dissertation of the doctor of technical sciences / V. N. Kurochkin. – Zernograd, 2011. – 540 p.
4. Gnedenko B. V. Introduction to queuing theory / B. V. Gnedenko, V. I. Kovalenko. – 3rd ed., Rev. and add. – Moscow : KomKniga, 2005. – 400 p.
5. Matveev V. F. Queuing Systems / V. F. Matveev, V. G. Ushakov. – Moscow : Moscow State University, 1984. – 240 p.
6. Novikov O. A. Applied Queueing Theory / O. A. Novikov, S. I. Petukhov. – Moscow : Soviet radio, 1969. – 399 p.
7. Kurochkin V. N. Mathematical model of subsystem reliability of a grain processing enterprise of technical service / V. N. Kurochkin, E. N. Kushcheva // Tractors and farm machinery. – 2012. – № 12. – P. 47–49.
8. Lebedev A. T. Experimental theoretical approaches to evaluating the effectiveness of the process of grain materials grinding / A. T. Lebedev, N. V. Valuev, R. R. Iskenderov // Herald of Stavropol agribusiness. – 2014. – № 2 (14). – P. 61–64.
9. Kurochkin V. N. The theoretical aspects of the study of grain-processing equipment failures emergence / V. N. Kurochkin, E. N. Kushcheva // Machinery and equipment for the countryside. – 2012. – № 4 (178). – P. 35–37.