

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГОДОВОЙ ПРОГРАММЫ РЕМОНТА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

Роман Кузьминский, Игорь Стукалец, Андрей Татомыр
Львовский национальный аграрный университет, Украина
Ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина. E-mail: igorstukalets@gmail.com

Roman Kuzminskyi, Igor Stukalets, Andriy Tatomyr
Lviv National Agrarian University, Ukraine
Volodymyr Velykyi str., 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: igorstukalets@gmail.com

Аннотация. Приведены результаты моделирования процессов поступления и обслуживания заказов на ремонт головок блоков цилиндров двигателей ЯМЗ-236 технологическим участком с элементарной производственной структурой (количество основного оборудования всех необходимых типов равно единице) для прямой и обратной дисциплин обслуживания очереди. Установлены распределения значений показателей выполнения требований по различной гарантийной продолжительности ремонта и, соответственно, для различного резерва времени на выполнение заказов, с учетом принятой модели изменения годовых программ ремонта и, соответственно, изменения резерва производительности участка.

Установлено влияние стохастического характера формирования заказов на ремонт и изменчивости годовой программы на результаты функционирования технологических участков ремонта головок блоков цилиндров с учетом потребности соблюдения гарантийной продолжительности ремонта.

Ключевые слова: головки блоков цилиндров, ремонт, критерии уровня соблюдения гарантий.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Известно [1-6], что имеет место объективная нестабильность значений годовых программ ремонтных предприятий, обусловленная изменениями количества машин в зоне обслуживания и их технического состояния.

Разработана методика проектирования технологических процессов ремонта машин на основании их структурно-параметрического анализа и синтеза с использованием теории графов и расписаний [7-8], которая дает возможность получать параметрические ряды производственных структур технологических линий или участков различной производительности. Получаемый с использованием этой методики качественно новый результат проектного расчета предоставляет возможность обоснования производственной структуры технологических линий и участков с учётом прогноза изменений годовой программы ремонта.

Необходимым условием обеспечения эффективности технического сервиса является решение противоречия между стохастическим характером поступлений суточных заказов и необходимостью ритмичной работы производственных подразделений сервисных предприятий.

В соответствии с Законом Украины «О защите прав покупателей сельскохозяйственных машин» в случае, если исполнитель условий договора о выполнении работ, предоставление услуг по техническому сервису не выполняет, просрочивает выполнение работы, оказание услуги согласно договору, он за каждый день (час, если продолжительность выполнения определена в часах) просрочки уплачивает покупателю неустойку в размере трех процентов стоимости невыполненной работы или услуги, если иное не предусмотрено договором [9].

Таким образом, проблема обеспечения условий эффективной работы производственных подразделений предприятий технического сервиса в условиях нестабильности годовых программ ремонта и стохастического характера поступлений суточных заказов усугубляется требованиями соблюдения гарантийной продолжительности ремонта.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

На основании структурно-параметрического анализа и синтеза процессов ремонта головок блоков цилиндров двигателей ЯМЗ обоснованы параметрические ряды технологических участков, определяющие для каждого участка производственную структуру, оптимальную и максимальную производительность, возможность применения различных схем технологического процесса – прямой (ПР), частично разветвленной (ЧР) и разветвленной (Р); а также затраты на ремонт в случае применения каждой из схем [3, 6, 7].

Для описания изменения годовой программы ремонта предложена модель (рис. 1):

при $1 \leq t \leq t_{cp}$

$$f(P, t) = (2a + 1) \cdot (1 - P \cdot q_1)^{2a} \cdot q_2(t), \quad (1)$$

где: $q_1(t) = \left(\frac{t_{cp} - t}{t_{cp} - 1}\right)^k, k > 0; q_2(t) = \frac{q_1(t)}{1 - (1 - q_1(t))^{2a+1}};$

$$q_2(t_{cp}) = \lim_{t \rightarrow t_{cp}} \frac{q_1(t)}{1 - (1 - q_1(t))^{2a+1}} = \frac{1}{2a + 1}, a > 0;$$

при $t_{cp} < t \leq t_{max}$

$$f(t, P) = (2a + 1) \cdot (1 - q_3 + P \cdot q_3)^{2a} \cdot q_4(t), \quad (2)$$

где: $q_3(t) = \left(\frac{t - t_{cp}}{t_{cp}}\right)^k, k > 0; q_4(t) = \frac{q_3(t)}{1 - (1 - q_3(t))^{2a+1}};$

$$q_4(t_{cp}) = \frac{1}{2a + 1}, a > 0.$$

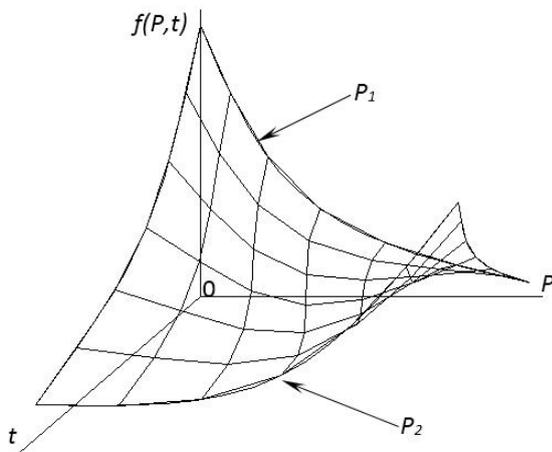


Рис. 1. Модель динамики изменения годовых программ ремонта во времени

Fig. 1. The model of the change dynamics of the annual repair programs in time

Известны общие закономерности изменений математического ожидания $M[\delta_i]$ и коэффициента вариации $v[\delta_i]$ суточной партии заказов δ_i с изменением годовой программы ремонта W_r (рис. 2) [3].

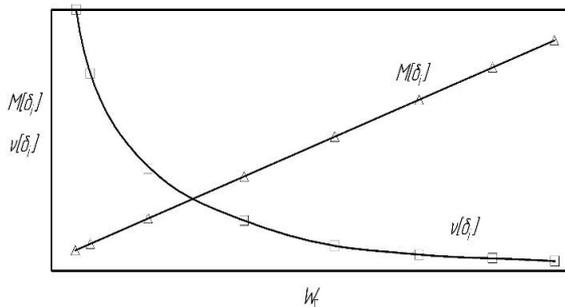


Рис. 2. Закономерности формирования заказов на ремонт

Fig. 2. Regularities of formation of the repair orders

Обоснованы факторы соблюдения гарантийной продолжительности необоснованного ремонта [10]: создание резерва производительности, оцениваемое

показателем $\rho_N = W_r / Q_r$; использование временного резервирования, которое оценивается показателем $\rho_r = T_r / M[T_{r.п.}]$; изменение очередности обслуживания заказов (прямая дисциплина обслуживания – *FIFO*, обратная дисциплина обслуживания – *LIFO*), где Q_r – годовая производительность, ед.; $M[T_{r.п.}]$ – математическое ожидание продолжительности технологического процесса ремонта, суток. В качестве критериев соблюдения гарантийной продолжительности ремонта приняты [10-14]: коэффициент выполнения требований по гарантийной продолжительности ремонта $\xi_{5N} = W_N / W_r$, средняя продолжительность сверхгарантийных простоев $\theta = \Sigma \theta_j / W_\theta$, где W_N – количество заказов, выполненных с соблюдением гарантийной продолжительности ремонта; $W_\theta = W_r - W_N$ – количество заказов, для которых гарантийная продолжительность ремонта была превышена.

Изучены общие закономерности влияния временного резервирования и резервирования производительностью на уровень выполнения требований по гарантийной продолжительности ремонта для входящих потоков заказов различной равномерности [15-20].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачей исследования было установить, как влияет изменчивость годовой программы ремонта и соответствующие изменения стохастического характера суточных поступлений заказов на результаты функционирования технологических участков ремонта головок блоков цилиндров двигателей ЯМЗ с учетом необходимости соблюдения различной гарантийной продолжительности их ремонта.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Анализируя статистические данные поступления заказов одного из предприятий, которое специализируется на ремонте головок блоков цилиндров, можно утверждать, что количество головок блоков цилиндров двигателей ЯМЗ-236, которые поступили в ремонт в период с 2004 г. до 2014 г. увеличивалось, как и общая годовая программа W_r предприятия (рис. 3).

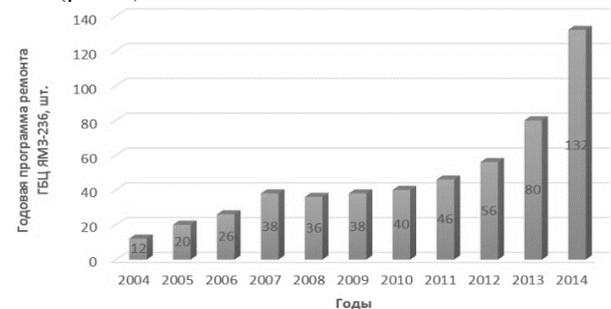


Рис. 3. Изменение годовых программ ремонта головок блоков цилиндров двигателей ЯМЗ-236

Fig. 3. Changing the annual programs of repair cylinder blocks heads of the engines YaMZ-236.

Таблица 1. Структура технологического участка ремонта головок блоков цилиндров двигателей ЯМЗ-236 с элементарной производственной структурой

Table 1. The structure of the technological station of repair cylinder blocks heads of the engines YaMZ-236 with the elementary production structure

Производи- тельность Q , шт.	Фронт ремонта f , ед.	Количество рабочих u , чел.	Технологиче- ские схемы (ТС)	Количество оборудования различных типов														Затраты Z^* , грн.
				K_{r1}	K_{r2}	K_{r3}	K_{r4}	K_{r5}	K_{r7}	K_{r8}	K_{r9}	K_{r10}	K_{r11}	K_{r12}	K_{r13}	K_{r14}		
397	1	1	ПР	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	94460
402	1	2	Р															27610
432	2	2	ПР															228095

Для реализации процесса ремонта головок бло-
 ков цилиндров двигателей ЯМЗ-236 заданной годо-
 вой программы был синтезирован параметрический
 ряд технологических участков ремонта, из которого
 выделен первый технологический участок (табл. 1).

Показатель резервирования производительно-
 стью для заданного периода составлял для разных
 годов от $\rho_N=0,03$ до $\rho_N=0,33$ (рис. 4).

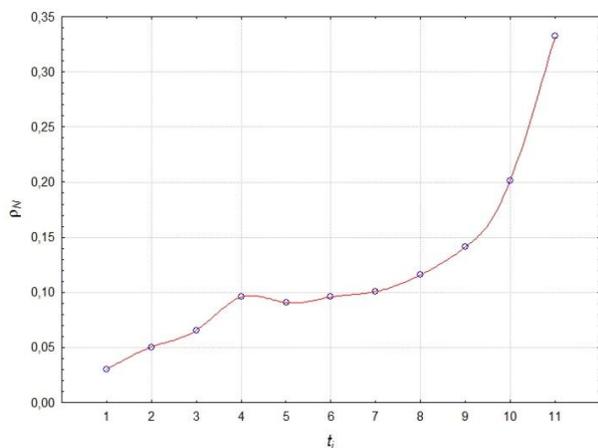


Рис. 4. Динамика изменения показателя резер-
 вирования производительностью

Fig. 4. The dynamics of the change in the backup
 performance

Процесс моделирования состоял во-первых, в
 генерации случайного потока заказов в соответствии
 со значениями $M[\delta_i]$ и $v[\delta_i]$, получаемыми из регрес-
 сионных зависимостей (рис. 2) с учетом модели из-
 менения W_t ; во-вторых, в определении суточных
 производительностей q_i в соответствии с парамет-
 рическим рядом (табл. 1); в-третьих, определении
 количества заказов, выполненных своевременно, и
 затрат на их выполнение для выбранной схемы про-
 цесса ремонта или формирования очереди заказов.

В процессе моделирования было установлено,
 что годовые затраты предприятия непостоянны для
 разных итераций. Это обусловлено тем, что заказы
 на временной оси распределяются случайным обра-
 зом, создавая «скопления» и «разрежения» (рис. 5).
 В связи с этим возникает необходимость учитывать
 стохастический эффект путем усреднения функцио-
 нальных показателей эффективности производи-
 тельного процесса ремонта.

Установлены закономерности распределения
 значений коэффициента соблюдения гарантийной

продолжительности ремонта ξ_N и средней продол-
 жительности сверхгарантийных простоев $\bar{\theta}$ для
 прямой (FIFO) и обратной (LIFO) очередности об-
 служивания заказов. Для значений ξ_N можно при-
 нять нормальный закон (рис. 6); для значений $\bar{\theta}$
 можно принять распределение по экстремальному
 закону (рис. 7). Результатами моделирования уста-
 новлены параметры распределений показателей со-
 блюдения гарантий продолжительности ремонта
 $M[\xi_N]$, $v[\xi_N]$, $M[\bar{\theta}]$, $v[\bar{\theta}]$.

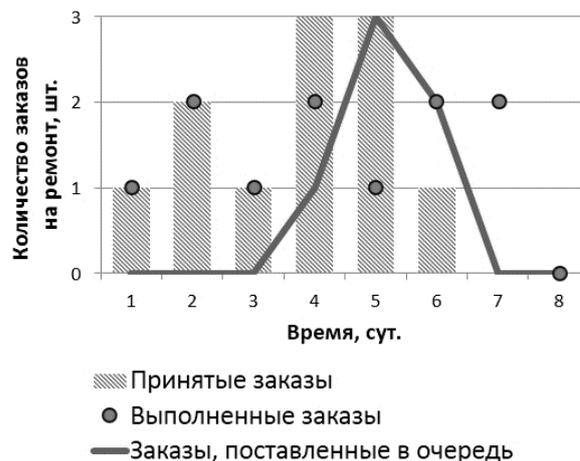


Рис. 5. Распределение на временной оси по-
 ступлений заказов на ремонт, их обслуживания и
 формирования очереди заказов (фрагмент результа-
 та моделирования)

Fig. 5. Distribution of income on a time axis of or-
 ders for repairs and maintenance queuing orders (frag-
 ment of simulation result)

Для заданного значения коэффициента времен-
 ного резервирования $\rho=1$ рассчитаны значения
 $M[\xi_N]$ и $M[\bar{\theta}]$ для разных годов. Таким образом,
 установлено, что с увеличением годовой программы
 ремонта (загрузкой технологической линии по про-
 изводительности) значение $M[\xi_N]$ уменьшается;
 причем, для больших значений годовой программы
 значение $M[\xi_N]$ для прямой очереди выполнения за-
 казов ниже, по сравнению с обратной очередью
 (рис. 8, а). Так, например, для максимального значе-
 ния годовой программы $W_t=132$ шт., для прямой
 очередности $M[\xi_N]=0,64$, для обратной – $M[\xi_N]=0,78$.

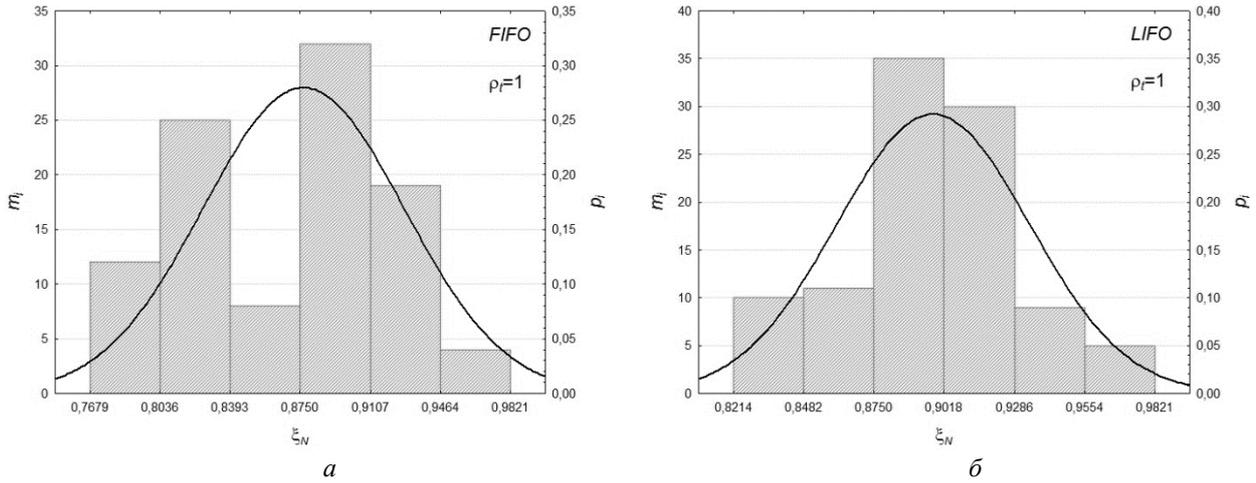


Рис. 6. Распределения значений коэффициента выполнения требований по гарантийной продолжительности ремонта для прямой (а) и обратной (б) дисциплин обслуживания очереди.

Fig. 6. Distribution coefficient values meet the requirements for the duration of the warranty repair for direct (a) and return (b) queuing disciplines

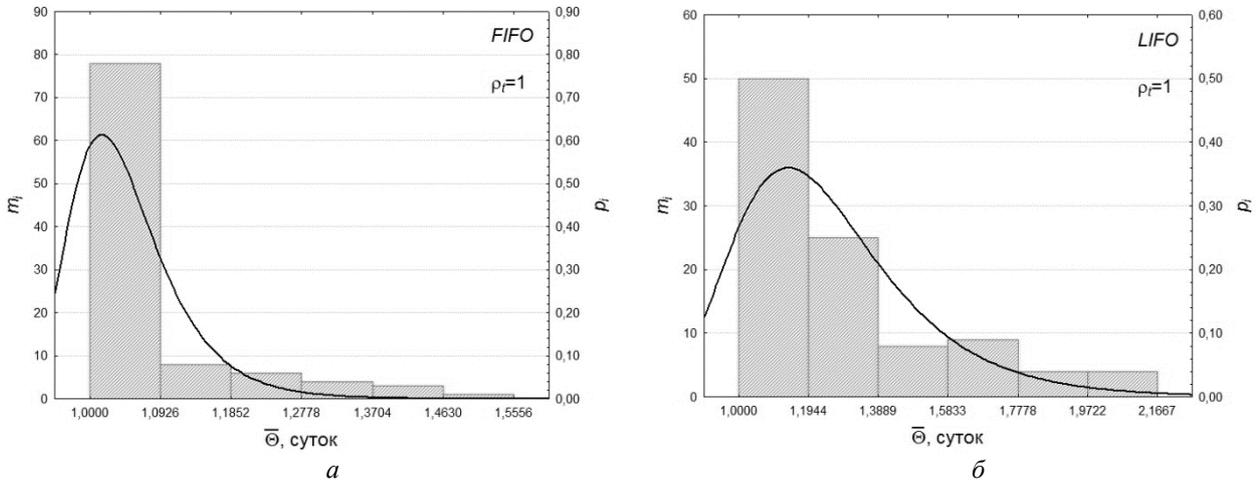


Рис. 7. Распределение средней продолжительности сверхгарантийных простоев

Fig. 7. Distribution of the average duration of outages over warranty

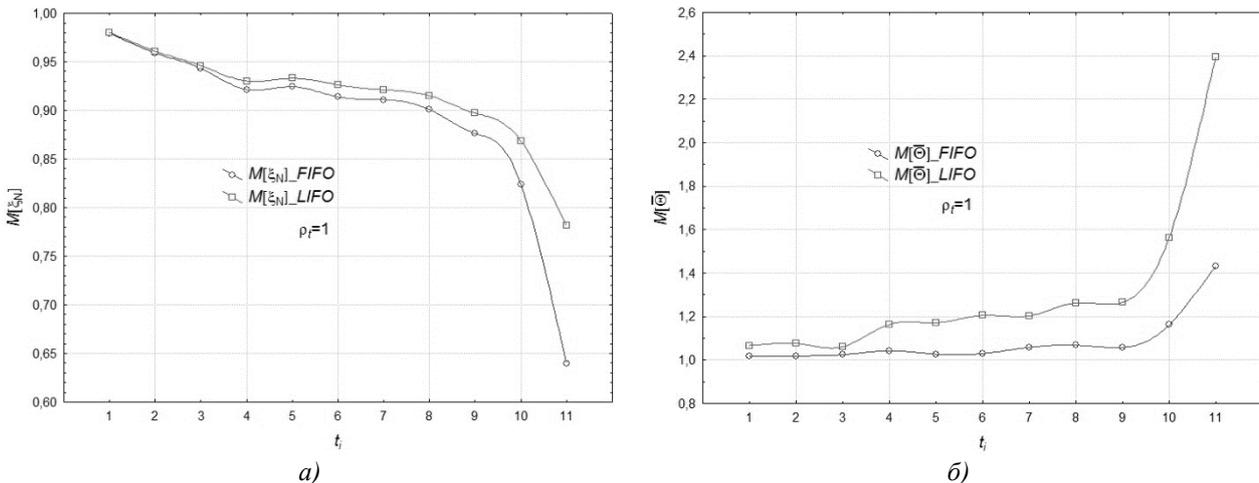


Рис. 8. Сравнение прямой и обратной очередности выполнения заказов

Fig. 8. Comparison of direct and inverse order of orders execution

Соответствующие значения были получены и для значений $M[\bar{\theta}]$ (рис. 8, б). С увеличением загрузки технологической линии по производительности значение $M[\bar{\theta}]$ возрастает и для обратной оче-

редности выполнения заказов на ремонт имеет большие значения по сравнению с прямой очередностью. Например, для рабочей программы $W_T =$

132 шт., для прямой очередности $M[\bar{\theta}] = 1,43$ сутки, для обратной – $M[\bar{\theta}] = 2,4$ сутки.

С использованием статистического анализа результатов моделирования получены линии уровней значений $M[\xi_N]$ и $M[\bar{\theta}]$ для различных значений показателей резервирования ρ_N и ρ_I для прямой и обратной очередности выполнения заказов на ремонт (рис. 9, 10).

Увеличение временного резервирования и уменьшение загрузки технологической линии по производительности приводит к увеличению значения $M[\xi_N]$, но эта зависимость является нелинейной. Кроме того, для обратной очередности выполнения заказов на ремонт получаем большие значения $M[\xi_N]$ при тех же ρ_N и ρ_I . Например, для $\rho_N = 0,3$, $\rho_I = 2$ для прямой очередности $M[\xi_N] = 0,85$, для обратной – $M[\xi_N] = 0,86$.

Зависимость математического ожидания средней продолжительности сверхгарантийных простоев $M[\bar{\theta}]$ от показателей резервирования значений показателей резервирования ρ_N и ρ_I также имеет нелинейный характер. Кроме того, для обратной очередности $M[\bar{\theta}]$ приобретает более высокие значения по сравнению с прямой очередностью. Например, для

$\rho_N = 0,3$, $\rho_I = 2$ для прямой очередности $M[\bar{\theta}] = 1,38$ суток, для обратной – $M[\bar{\theta}] = 2,9$ суток.

Поскольку полученные значения $M[\xi_N] < 1$ и $M[\bar{\theta}] > 1$, то в соответствии с Законом Украины [9] следует считать с необходимостью компенсации за несвоевременное выполнение заказов на ремонт.

С помощью разработанного алгоритма рассчитывалась часть расходов Z , связанных с возмещением заказчиком денежных средств за несвоевременно выполненные заказы.

Соответствующие линии уровней получены для значений $M[Z]$ для разных значений показателей резервирования ρ_N и ρ_I . Анализ зависимостей показывает, что прямая очередность обслуживания заказов позволит сократить размер штрафов за несвоевременно выполненные заказы при одинаковых значениях ρ_N и ρ_I для прямой и обратной очередностей выполнения заказов. При этом, следует заметить, что минимальные размеры штрафов можно достичь путем увеличения временного резерва ($\rho > 3$), что соответствует $T_1 = 3$ суток. Если уровень загрузки по производительности невысок ($\rho_N < 0,18$), то тогда можно принять $T_1 = 1 \dots 2$ суток (рис. 11).

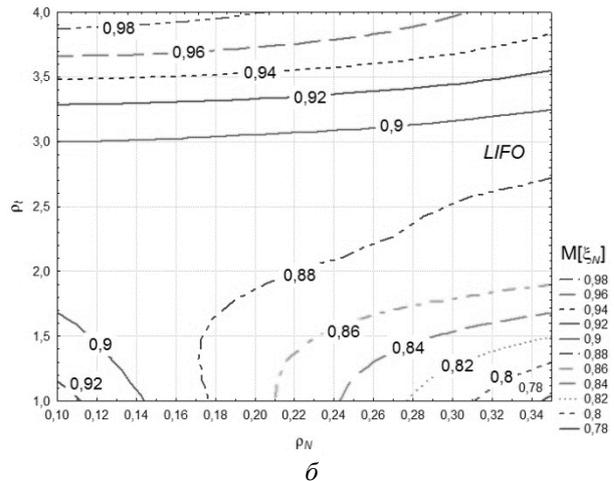
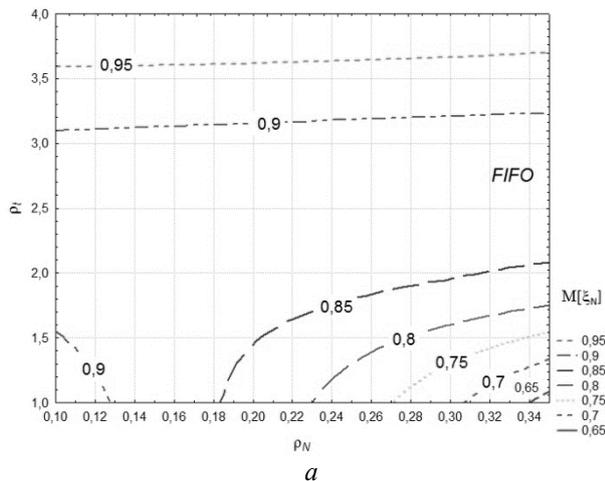


Рис. 9. Линии уровней значений $M[\xi_N]$ для различных значений показателей резервирования ρ_N и ρ_I для прямой и обратной очередности выполнения заказов

Fig. 9. Contour lines values of $M[\xi_N]$ for different values of reservation ρ_N and ρ_I parameters for forward and reverse sequence of orders

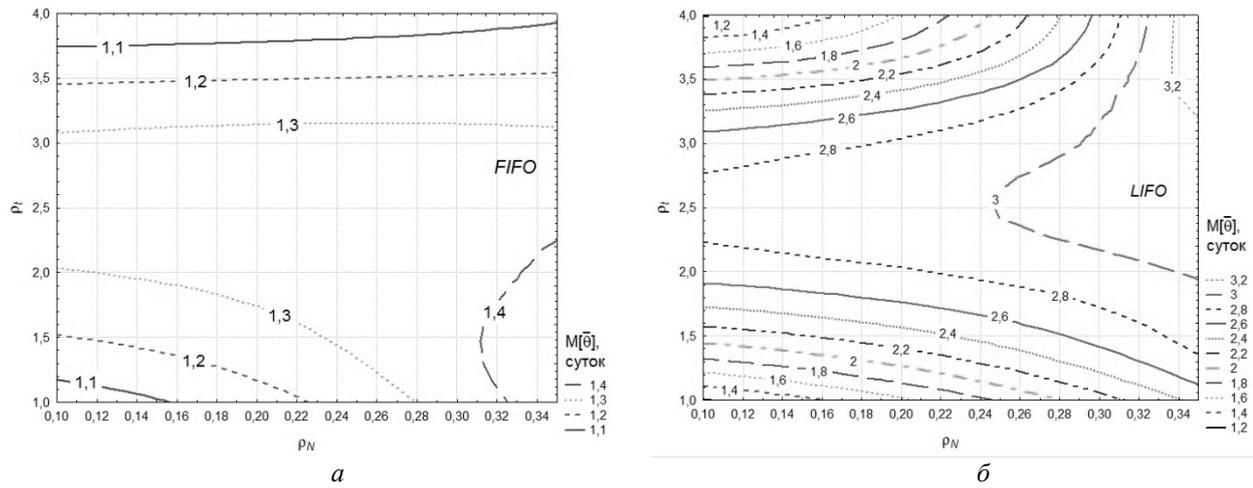


Рис. 10. Линии уровней значений $M[\bar{\theta}]$ для различных значений показателей резервирования ρ_N и ρ_t для прямой и обратной очередности выполнения заказов

Fig. 10. Contour lines values of $M[\bar{\theta}]$ for different values of reservation ρ_N and ρ_t parameters for forward and reverse sequence of orders

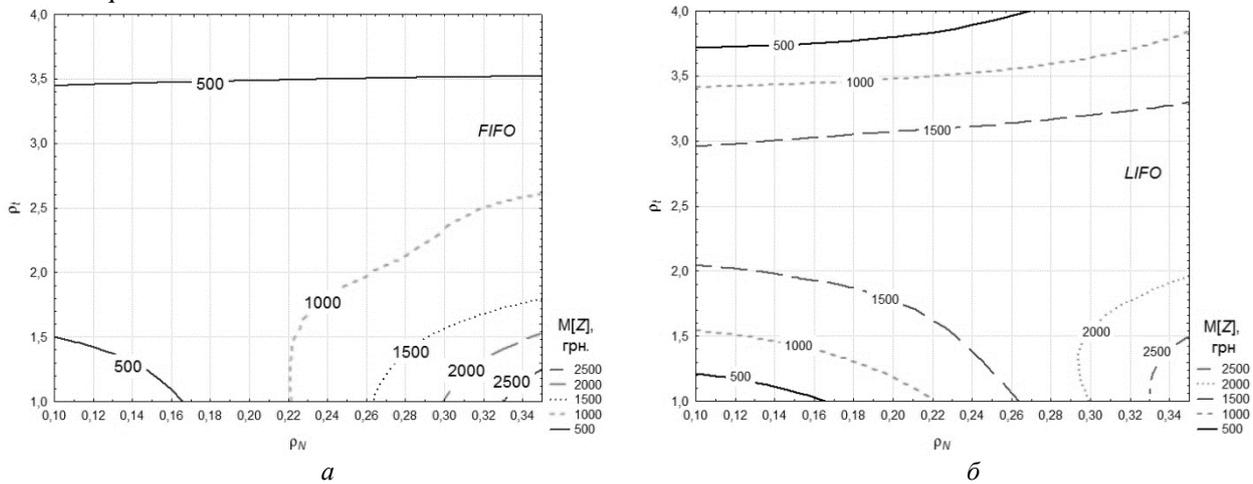


Рис. 11. Линии уровней значений $M[Z]$ для различных значений показателей резервирования ρ_N и ρ_t для прямой и обратной очередности выполнения заказов

Fig. 11. Contour lines values of $M[Z]$ for different values of reservation ρ_N and ρ_t parameters for forward and reverse sequence of orders

ВЫВОДЫ

1. В работе подтверждено, что влияние на результаты функционирования предприятий технического сервиса, в частности на соблюдение гарантийной продолжительности ремонта, возможен тремя факторами: резервом производительностью, временным резервом и очередностью выполнения заказов на ремонт.

2. Поскольку резервирование производительностью обусловлено объективным фактором - изменчивостью поступления заказов, то фактором, которым предприятие может оперировать при заключении договоров с заказчиком, является временной резерв. Вторым фактором, которым предприятие оперирует при выполнении заказов на ремонт – это очередность выполнения заказов.

3. Установлено, что обратная очередность выполнения заказов позволяет повысить значение коэффициента соблюдения гарантийной продолжительности ремонта, при одновременном увеличении

средней продолжительности сверхгарантийных простоев.

4. По условиям компенсации, предусмотренной Законом Украины, целесообразно использовать прямую очередность выполнения заказов на ремонт. Поскольку, прямая очередность выполнения заказов на ремонт головок блоков цилиндров двигателей позволит уменьшить расходы на выплату штрафов за несвоевременно выполненные заказы по сравнению с обратной очередностью.

5. На основании проведенных исследований можно обосновать приемлемую для предприятий технического сервиса и заказчиков гарантийную продолжительность ремонта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кузьминский Р. Д. 2008.** Модель прогнозирования динамики изменения программы ремонтных предприятий. Вестник Львовского нац. аграрного университета: Агроинженерные исследования. – № 12. – Т. 1. – Львов, – С. 45 – 51. (Украина).

2. **Кузьминский Р.** 2013. Совершенствование модели прогнозирования программ ремонта машин, их узлов и агрегатов с использованием несимметрических распределений. MOTROL: Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, Vol. 15, No. 6. –167–171.
3. **Сидорчук А. В., Кузьминский Р. Д., Барабаш Р. И.** Закономерности количественных и качественных изменений поступлений заказов на ремонт агрегатов. Техничко-технологические аспекты развития и испытания новой техники и технологий для сельского хозяйства Украины: Сб. науч. тр. УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого. – Вып. 10 (24), кн. 1. –69–76. (Украина).
4. **Кузьминский Р.** 2007. Алгоритм и программное обеспечение моделирования выполнения заказов предприятиями технического сервиса с соблюдением гарантийной продолжительности ремонта. Ученые Львовского государственного аграрного университета - производству: Каталог наук, разработок. – Вып. 7. – Львов: Львов, гос. аграрн. ун-т. – 64–65.
5. **Кузьминский Р. Д., Кульчицкий-Жигайло Р. Д., Якивчик В. Б.** 1993. Зависимость параметров входных потоков заказов на ремонт от годовой программы мастерской. Надежность и ремонт машин в сельском хозяйстве: Сб. науч. пр. – Львов Львов. гос. сельскохозяйственный ин-т, – 39–42. (Украина).
6. **Кузьминский Р.** 2012. Обоснование годовой программы ремонта агрегатов по результатам структурно-параметрической и функциональной оптимизации технологических процессов. MOTROL: Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, – Vol. 14, No. 4. – 54–63. (Украина).
7. **Кузьминский Р. Д.** 1991. Проектирование разборочно-сборочного оборудования для ремонтных предприятий. Организационно-технологическая взаимодействие предприятий АПК в процессе ремонта сельскохозяйственной техники: Сб. науч. тр. Львов. СГИ. – Львов, – 19–38. (Украина).
8. **Кузьминский Р.** 2005. Структура, параметры и эффективность технологических процессов ремонта. Вестник ЛДАУ: Агроинженерные исследования. – Львов, – № 9. – 50–60. (Украина).
9. Закон Украины «О защите прав покупателей сельскохозяйственных машин» / Ведомости Верховной Рады Украины, №38, 2003. – 315. (Украина).
10. **Кузьминский Р. Д.** 1997. Сравнение способов гарантийного соблюдения требований по продолжительности необособленного ремонта агрегатов. Вестн. Львов. гос. аграр. ун-та: Агроинженерные исследования. – № 1. – 80–89. (Украина).
11. **Кузьминский Р. Д.** 2007. Условия соблюдения гарантийной продолжительности необособленного ремонта агрегатов. Общегосударственный межведомственный научно-технический сборник. Конструирование, производство и эксплуатация сельскохозяйственных машин / КНТУ, Кировоград, – Вып. 37. – 205–212. (Украина).
12. **Семкович А. Д., Кузьминский Р. Д., Якимив О. Я.** 1996. Влияние объемов и структуры компенсирующего запаса и обменного фонда на эффективность работы ремонтного предприятия. Механизированные процессы сельскохозяйственного производства: Сб. науч. работ. – Львов: Львов. гос. сельскохозяйственный ин-т, – 24–30. (Украина).
13. **Семкович А. Д., Кузьминский Р. Д., Якимив О. Я.** 1996. Влияние компенсирующего запаса на удовлетворение требований к темпам ремонта. Актуальные проблемы медицины, биологии, ветеринарии и сельского хозяйства (Книга наук. Статей / Львов. Гос. Мед. Ин-т), Львов: Вече, – 179–183. (Украина).
14. **Кузьминский Р.** 2008. Обоснование оптимальных условий соблюдения гарантийной продолжительности необособленного ремонта агрегатов трансмиссии мобильной техники земледелия. Экологические, технологические и социально-экономические аспекты использования материально-технической базы АПК: Материалы междунар. научно-практической. форума 17-18 сентября 2008 – Львов: Львов. нац. агро-университет, – 390–401. (Украина).
15. **Кузьминский Р. Д., Стукалец И. Г.** 2010. К методике синтеза параметрических рядов технологических участков ремонта головок блоков цилиндров двигателей ЯМЗ. Вестник Львовского национального аграрного университета: Агроинженерные исследования. – №14. – 332–339. (Украина).
16. **Кузьминский Р. Д.** 1997. Обоснование оптимального соотношения между объемом обменного фонда и резервом производительности специализированной ремонтной мастерской. Вестн. Львов. гос. аграр. ун-та: Агроинженерные исследования. – №1. – 73–79. (Украина).
17. **Кузьминский Р. Д.** 1999. Влияние временного резервирования на своевременность ремонта агрегатов для входящих потоков различной равномерности. Сб. науч. пр. НАУ «Механизация сельскохозяйственного производства». – Т. 5. «Современные проблемы механизации сельского хозяйства». – К.: НАУ, – 309–312. (Украина).
18. **Кузьминский Р. Д., Якимив О. Я.** 1996 Обоснование объемов обменных фондов агрегатно-ремонтных предприятий. Актуальные проблемы медицины, биологии, ветеринарии и сельского хозяйства (Книга наук. Статей / Львов. Гос. мед. ин-т), Львов: Вече, – 174–176. (Украина).
19. **Семкович А., Кузьминский Р.** 1998. Обеспечение экологичности производственных систем своевременным ремонтом их элементов. Труды НОШ. – Т. II в. – Материаловедение, Химия, медицина, экология, экотехнологии. – Львов, – 680–687. (Украина).

20. Семкович А. Д., Кузьминский Р. Д., Чухрай В. Е., Олискевич М. С. 2001. Становление и развитие теории ремонтно-восстановительных процессов. Вестник аграрной науки. – Специальный выпуск, сентябрь. – 90–96. (Украина).

INFLUENCE OF VARIATION ANNUAL PROGRAM REPAIR ON THE RESULTS OF THE COMPANIES TECHNICAL SERVICE OPERATION

Summary. The results of the modeling process admission and service to repair orders cylinder heads YaMZ-236 on the technological station with the elementary production structure (the number of the basic equipment of all types needed is equal to one) for for-

ward and backward queuing disciplines are given. Distribution values of the indicators meet the requirements of various warranty repair time and, consequently, for different reserve time to complete orders, taking into account the changes in the model adopted annual program of repair and, therefore, changes in reserve performance of the station are established.

The influence of the stochastic nature of the formation of orders for repairs and variability of the annual program on the results of the technological stations of repair cylinder heads operation with the requirements of compliance warranty repair time is established.

Key words: cylinder head, repair, criteria level safeguards.