

## ЛИТЕРАТУРА

1. Круглый П.Е. Механизация уборки картофеля с применением полнокомплектного и поэлементного резерва. // Современные технологии в АПК. - М., 1997.
2. Миклуш В.П., Круглый П.Е. Оптимизация резерва составных частей для обеспечения работоспособности машин технологических комплексов. // Современные технологии в ремонтно-обслуживающем и машиностроительном производстве АПК. - М., 2000.

### **ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ СОСТАВНЫМИ ЧАСТЯМИ МАШИН**

**В.П. Миклуш, канд. техн. наук, доцент; О.Г. Барейша;  
Ю.В. Новиков  
УО «БГАТУ»  
(г. Минск, Беларусь)**

#### **Logistics of forming multilevel system of providing agricultural machinery with exchange fund of machine component parts**

Principles of calculation of optimum quality of exchange parts of machines in multilevel reserving system at aggregate method of machine repair is proposed.

Для своевременной замены вышедших из строя составных частей машин (агрегатов, узлов) создается их обменный фонд, который сосредотачивается на складах хозяйств, технических обменных пунктах и специализированных ремонтных организациях. Таким образом, система обеспечения сельскохозяйственной техники обменным фондом является многоуровневой системой массового обслуживания. Оптимизация количества обменного фонда применительно к каждому уровню является одной из важнейших задач при организации материально-технического обеспечения агрегатного метода ремонта машин. Количество элементов замены на каждом  $i$ -ом уровне должно обеспечивать минимум затрат на работу системы.

В предлагаемой методике рассматривается система обеспечения сельскохозяйственных организаций составными частями ма-

шин, структуру связей которой можно представить следующим образом:

- имеется парк из  $N$  машин, которые время от времени отказывают, создавая тем самым поток заявок на обмен элементов, распределяемый между  $K$  уровнями системы резервирования;

- располагая обменным фондом элементов на всех уровнях резервирования, получаем многоканальную систему массового обслуживания замкнутого типа с допустимым временем ожидания выполнения заявок на обмен вышедших из строя элементов и пуассоновским входящим потоком; время обслуживания составных частей машины на любом уровне резервирования подчинено экспоненциальному закону;

- при нарушении работоспособности машины требуется выполнить определенный объем работ, связанный с затратами времени на выяснение причины отказа, демонтаж вышедшего из строя элемента, доставку его на уровень, где имеется в наличии работоспособный элемент, оформление документов, регулировку и подготовку его к работе, монтаж элемента на машину.

Работу системы характеризуют следующие числовые параметры:

- вероятность обращения к  $i$ -му уровню резервирования;
- вероятность немедленного удовлетворения заявки  $P_i$  (это происходит при нулевой длине  $i$ -ой очереди на обслуживание, конечно, при условии, что обращение к данному уровню произошло);
- число пунктов резервирования на  $i$ -ом уровне  $m_i$ ;
- среднее время обслуживания на  $i$ -ом уровне  $T_{обі}$  (применительно к ТОП это полное время оборота элемента), мото-ч;
- среднее время ожидания в очереди на обслуживание  $T_{ожі}$ , мото-ч;
- среднее время транспортировки элемента на  $i$ -й уровень и обратно  $T_{трі}$ , мото-ч;
- средняя наработка составной части на ресурсный отказ  $U$ , мото-ч.

Общий функционал издержек производства  $C$  на создание и содержание обменного фонда элементов машин имеет вид

$$C = C_{np} + C_{тр} + C_{ха} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где составляющие  $C_{np}$ ,  $C_{тр}$ ,  $C_{ха}$  отражают затраты, связанные соответственно с простоями машин, транспортировкой, а также приобретением, хранением и амортизацией элементов обменного фонда.

На основании выполненных исследований общий функционал издержек с учетом входящих в него составляющих может быть представлен в виде

$$C = \sum_{i=1}^k \tilde{P}_i (T_{\text{тп}i} + \tau_i a_i U) + A_1 \frac{U}{N_m} \sum_{i=0}^r M_i \longrightarrow \min_{M_i, \tilde{P}_i, \tau_i, i=1, \dots, k} \quad (2)$$

где  $\tilde{P}_i$  – вероятность обращения к  $i$ -му уровню резервирования;

$T_{\text{тп}i}$  – время на транспортировку элемента обменного фонда на  $i$ -ый уровень и обратно, мото-ч;

$\tau_i$  – относительное среднее время ожидания заявки в очереди, равное отношению времени ожидания в очереди на обслуживание к времени обслуживания ( $\tau_i = T_{\text{оч}i} / T_{\text{об}i}$ );

$\alpha_i$  – приведенная интенсивность потока заявок, равная отношению времени обслуживания к наработке составной части на ресурсный отказ ( $\alpha_i = T_{\text{об}i} / U$ ;  $U = W_r / K_{\text{ор}}$ );

$W_r$  – среднегодовая наработка машин, мото-ч;

$K_{\text{ор}}$  – среднегодовой коэффициент охвата капитальным ремонтом;

$U$  – наработка на ресурсный отказ рассматриваемого элемента, мото-ч;

$A_1$  – безразмерный параметр, определяемый по формуле

$$A_1 = \frac{E_m C_{\text{эл}}}{W_r C_{\text{пр}}^{\text{ч}}} \quad (3)$$

где  $E_m$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$C_{\text{эл}}$  – стоимость элемента обменного фонда, р.;

$W_r$  – среднегодовая наработка машины, на которой установлен элемент обменного фонда, мото-ч.;

$C_{\text{пр}}^{\text{ч}}$  – потери за один час простоя машины, руб.;

$N_m$  – число машин в зоне обслуживания, шт.;

$M_i$  – количество элементов обменного фонда на  $i$ -ом уровне резервирования, шт.

Качественный анализ общего функционала издержек на создание и содержание обменного фонда в многоуровневой системе резервирования и проведенные расчеты на ЭВМ позволили сделать вывод о том, что оптимальное распределение обменного фонда может быть получено, если решать задачу в отдельности по каждому уровню. Решение основано на предположении: обменный фонд со-

средоточивается на одном из уровней резервирования и является функцией переменных  $A_i$ ,  $U$ ,  $N$ . Это позволяет существенно упростить методику расчетов и представить выражение функционала (1.2) в следующем виде:

$$C^{*c} = \min \left[ (T + \tau_i \alpha_i U) + A_i \frac{U}{N_i} M_i \right] \quad (4)$$

где  $M_i$  находят из системы уравнений

$$M_i = \frac{\alpha_i N}{1 + \alpha_i} + U_{P_i} \sqrt{\frac{\alpha_i N m_i}{1 + \alpha_i}}; \quad (5)$$

$$\frac{1 - P_i}{U_{P_i}} = \psi(P_i) = \tau_i \sqrt{\frac{\alpha_i N_i}{m_i (1 + \alpha_i)}}, \quad (6)$$

где  $U_{P_i}$  – квантиль нормального распределения при доверительной вероятности  $P$ ;  $\psi(P_i)$  – функция, значения которой при заданных квантилях нормального распределения  $U_P$  и вероятности  $P$  табулированы [2].

Расчет системы резервирования по предлагаемой методике производится по схеме

$$Тожі \longrightarrow t_3 = \frac{Тожі}{Тобі} \longrightarrow \psi(P_3) \longrightarrow U(P_i) \longrightarrow M_i \longrightarrow C^{*c} \longrightarrow M_{ni}$$

Для обоснования номенклатуры обменного фонда и его распределения по уровням системы резервирования производится деление элементов обменного фонда на классы.

В соответствии с широко применяемой в практике управления запасами системой АВС элементы обменного фонда делятся на три класса – А, В и С.

К классу А относятся наиболее дорогие и массивные элементы, составляющие незначительное количество по номенклатуре (15 – 10% и менее), а по затратам средств на создание и содержание обменного фонда занимающие – 60 – 70 % суммарных затрат. Класс С составляет наиболее многочисленную номенклатуру элементов по количеству (55 – 70%), требующих незначительных затрат средств на содержание (3 – 10%). Номенклатура сменных элементов, не вошедшая в классы А и С, составляет класс В. В пределах каждого класса выбирается оптимальная стратегия управления запасами в системе резервирования.

Как показал качественный анализ функционала (1.4), параметр  $A_1$  является приемлемым для деления элементов обменного фонда на классы. Установлено, что для агрегатов класса А значение  $A_1$  находится в пределах 0,05 – 0,5; класса В – 0,0005 – 0,05 и для класса С – 0,00005 – 0,0005. Расчетным путем найдено наиболее рациональное время оборота элементов каждого класса для условий Республики Беларусь, мото-ч.:

- класса А: 50 – 100;
- класса В: 100 – 150;
- класса С: 150 – 200.

### **Пример расчета многоуровневой системы резервирования агрегатов и узлов обменного фонда**

Рассчитать потребность в обменном фонде двигателей Д-240 для комплектования системы резервирования: хозяйства – технические обменные пункты – специализированная ремонтная организация. Исходные данные для проведения расчетов:

- количество тракторов в зоне обслуживания  $N=11400$  шт.;
- количество хозяйств  $m_1 = 587$ ;
- количество технических обменных пунктов  $m_2=22$ ;
- количество специализированных организаций по ремонту двигателей  $m_3=1$ ;
- среднегодовая наработка на один трактор  $W_T=1000$  мото-ч;
- параметр класса агрегата  $A_1=0,010$ ;
- среднегодовой коэффициент охвата двигателя капитальным ремонтом  $K_{ор,дв}=0,18$ ;
- время транспортировки двигателя на уровни резервирования:  $T_{тp1}=0,6$  мото-ч;  $T_{тp2}=1$  мото-ч;  $T_{тp3}=4$  мото-ч;
- время обслуживания двигателей на уровнях резервирования:  $T_{об1}=75$  мото-ч;  $T_{об2}=125$  мото-ч;  $T_{об3}=250$  мото-ч.

Решение

1. Определяем параметры системы резервирования:

- наработка на ресурсный отказ

$$U = \frac{W}{K_{op}} = \frac{1000}{0,18} = 5555 \quad \text{мото-ч};$$

- приведенная интенсивность потока заявок

$$\alpha_1 = \frac{T_{об1}}{U} = \frac{75}{5555} = 0,014;$$

$$\alpha_2 = \frac{T_{об2}}{U} = \frac{125}{5555} = 0,022;$$

$$\alpha_3 = \frac{T_{об3}}{U} = \frac{250}{5555} = 0,045.$$

2. Производим расчет системы по схеме

$$T_{ож} \rightarrow \tau_i = \frac{T_{ож_i}}{T_{об_i}} \rightarrow \psi(P_i) \rightarrow U(P_i) \rightarrow M_i \rightarrow C^* \rightarrow M_n$$

Расчеты проводятся с использованием формул (1.2) -- (1.4) и с оптимизацией относительного среднего времени ожидания заявки в очереди на каждом из уровней ( $\tau_i = T_{ож_i} / T_{об_i}$ ). Например, для  $T_{ож1} = 0,05$  первого уровня значения параметров системы резервирования равны:

$$\tau_i = \frac{0,05}{75} = 0,00067.$$

Тогда по уравнению (1.6)

$$\psi(\rho_i) = 0,00067 \cdot \sqrt{\frac{0,014 \cdot 11400}{587(1+0,014)}} = 0,00035.$$

Для  $\psi(\rho_i) = 0,00035$  находим, используя линейную интерполяцию, значение  $U_p$

$$\begin{aligned} U_p &= U_{p1} - \frac{U_{p1} - U_{p2}}{\psi(P_2) - \psi(P_1)} [\psi(P) - \psi(P_1)] = \\ &= 3,090 - \frac{3,090 - 2,878}{0,00069 - 0,00032} (0,00035 - 0,00032) = 3,073. \end{aligned}$$

По уравнению (1.5) находим  $M_i$

$$M_i = \frac{0,014 \cdot 11400}{1+0,014} + 3,073 \sqrt{\frac{0,014 \cdot 11400 \cdot 587}{1+0,014}} = 1091,5 \quad \text{шт.}$$

По формуле (1.4) находим значение функционала

$$C^{к.о} = 0,6 + 0,00067 \cdot 0,014 \cdot 5555 + 0,010 \cdot \frac{5555}{11400} \cdot 1091,5 = 5,97.$$

Норматив потребности на 100 тракторов на первом уровне будет равен

$$M_{н1} = \frac{M_1}{N} \cdot 100 = \frac{1091,5}{11400} \cdot 100 = 9,6 \quad \text{шт.}$$

Аналогично проводятся расчеты и для других уровней резервирования. Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Расчет параметров системы резервирования

$\Gamma_{ож1}$	$\tau_i$	$\psi(P_i)$	$U(P_i)$	$M_i$	$C^{к.о}$	$M_{нi}$
Первый уровень резервирования						
0,05	0,00067	0,00035	3,073	1091,6	5,97	9,6
0,10	0,00133	0,00069	2,878	1032,3	5,73	9,1
0,20	0,00267	0,00138	2,676	970,9	5,54	8,5
0,40	0,00533	0,00276	2,457	903,3	5,42	7,9
0,80	0,01067	0,00553	2,269	847,2	5,56	7,4
1,60	0,02133	0,01105	2,022	772,1	6,02	6,8
3,20	0,04267	0,02210	1,900	735,0	7,50	6,4
Второй уровень резервирования						
0,05	0,00040	0,00134	2,700	443,8	3,21	3,9
0,10	0,00080	0,00267	2,471	427,0	3,18	3,7
0,20	0,00160	0,00534	2,278	412,8	3,21	3,6
0,40	0,00320	0,01069	2,022	394,0	3,31	3,5
0,80	0,00640	0,02138	1,788	376,8	3,62	3,3
1,60	0,01280	0,04275	1,525	357,5	4,30	3,1
3,20	0,02560	0,08550	1,245	336,9	5,77	3,0
Третий уровень резервирования						
0,05	0,00020	0,00140	2,676	550,3	6,73	4,8
0,10	0,00040	0,00280	2,457	545,4	6,76	4,8
0,20	0,00080	0,00560	2,264	241,2	6,84	4,7
0,40	0,00160	0,01120	2,022	535,8	7,0	4,7
0,80	0,00320	0,02240	1,751	529,8	7,38	4,6
1,60	0,00640	0,04483	1,495	524,1	8,15	4,6
3,20	0,01280	0,08968	1,227	518,1	9,72	4,5

Анализ результатов расчетов показывает:

- оптимальное время ожидания на уровнях составляет  $T_{ож1} = 0,40$ ;  $T_{ож2} = 0,10$ ;  $T_{ож3} = 0,05$  мото-ч;

- оптимальные нормативы в расчете на 100 списочных машин:  $M_{н1} = 7,9$ ;  $M_{н2} = 3,7$ ;  $M_{н3} = 4,8$  шт.;

- общее количество обменного фонда на уровнях:  $M_1 = 904$ ;  $M_2 = 427$ ;  $M_3 = 550$  шт.;

- минимальное значение функционала на уровнях:  $C_1^{x.o} = 5,42$ ;  $C_2^{x.o} = 3,18$ ;  $C_3^{x.o} = 6,73$ .

Таким образом, оптимально сосредоточивать обменный фонд двигателей на втором уровне, т.е. на технических обменных пунктах.

Анализ значений  $T_{ожi}$  показывает, что они очень малы и соизмеримы с достаточно малыми возможными отклонениями во время транспортирования. Относительные времена ожидания равны:

$$\frac{T_{ож1}}{T_{од1}} = \frac{0,40}{0,6} = 0,67;$$

$$\frac{T_{ож2}}{T_{мп2}} = \frac{0,10}{1} = 0,10.$$

$$\frac{T_{ож3}}{T_{од3}} = \frac{0,05}{4} = 0,013;$$

Из соображений точности оценки параметра  $T_{тpи}$  величину  $T_{ожi}$  следует задать в интервале 0,2 – 0,6. Из этих соображений и следует оценивать параметр  $\tau_i$ .

Для рассматриваемого примера, принимая  $\tau_i = 0,003$  (среднее значение), находим:  $M_{н1} = 8,5$ ;  $M_1 = 970,9$ ;  $C_1^{x.o} = 5,54$ ;  $M_{н2} = 3,5$ ;  $M_2 = 394,0$ ;  $C_2^{x.o} = 3,31$ ;  $M_{н3} = 7,38$ ;  $M_3 = 529,8$ ;  $C_3^{x.o} = 4,60$ .

Оптимально сосредоточивать обменный фонд на втором уровне, т.е. районном техническом обменном пункте. Так как вероятность обращения ко второму уровню составляет 0,8, то на все РТОП области необходимо иметь

$$M_2^* = M_2 / \tilde{P}_2 = 394 / 0,8 = 492 \text{ шт.}$$

На случай сбоя на втором уровне резервирования (с определенной вероятностью) можно предусмотреть определенное количество двигателей на третьем уровне. Пусть вероятность обращения к данному уровню  $\tilde{P}_3 = 0,02$ , тогда на нем необходимо иметь

$$M_3^* = \frac{M_3 \tilde{P}_3^*}{\tilde{P}_3} = \frac{529,8 \cdot 0,02}{0,1} = 106 \text{ шт.}$$



Всего обменный фонд области составит  
 $M_{\Sigma}=492+106=598$  шт.

Средний норматив на 100 машин парка составит

$$\bar{M}_n = \frac{M_{\Sigma}}{N} = \frac{598100}{11400} \approx 5 \text{ шт}$$

Анализ количественных оценок параметров многоуровневой системы резервирования позволяет выявить следующее.

1. Наибольший эффект в системе получается от оптимального распределения дорогостоящих элементов ( $5 \cdot 10^{-2} \leq A_1 \leq 5 \cdot 10^{-1}$ ).

2. С увеличением числа машин, обслуживаемых системой, уменьшаются удельные суммарные затраты на создание и содержание обменного фонда на каждом уровне резервирования. Поэтому при обслуживании дорогостоящих агрегатов число центров резервирования должно быть по возможности небольшим.

3. При малом числе машин в системе и высоких показателях надежности элементов обменного фонда дорогостоящие агрегаты и узлы должны максимально сосредотачиваться на верхних уровнях резервирования.

4. Элементы небольшой стоимости ( $A_1 \leq 5 \cdot 10^{-1}$ ) выгодно сосредотачивать на низших уровнях резервирования, а дорогостоящие ( $A_1 \geq 5 \cdot 10^{-3}$ ) - на высших.

Время обслуживания недорогих элементов можно резко увеличить, что позволяет снизить напряженность в системе резервирования, без существенного роста затрат на содержание обменного фонда.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Миклуш В.П. и др. Организация ремонтно-обслуживающего производства и проектирование предприятий технического сервиса АПК: Учеб. пособие / В.П. Миклуш, Т.А. Шаровар, Г.М. Уманский; Под ред. В.П. Миклуша. – Мн.: Ураджай, 2001. – 662 с.

2. Миклуш В.П. Оптимальное распределение обменного фонда составных частей машин в многоуровневой системе резервирования // Повышение качества ремонта сельскохозяйственной техники: Сб. научных трудов БИМСХ. Вып. 95. – Горки, 1982. – С. 5-11.

3. Лельчук Л.М. Элементарная теория замкнутых систем массового обслуживания. // Тр. Кишиневского СХИ. Т. 171. – Кишинев, 1976 – С. 69-76.