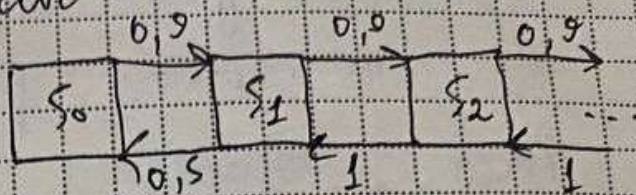


N 1

Рвс. универсальный  
насос



$$n=2$$

$$l = 0,45 \text{ мм/мин}$$

$$l_{\text{орг.}} = 2 \cdot 0,45 = 0,9 \text{ мм/мин}$$

$$l_{\text{дв.}} = 2 \text{ мм}$$

$$\mu = \frac{1}{l_{\text{дв.}}} = 0,5 \text{ мм/мм}$$

$$p = \frac{l_{\text{орг.}}}{\mu} = \frac{0,9}{0,5} = 1,8$$

$$p_0 = \left( 1 + 1,8 + \frac{1,8^2}{2} + \frac{1,8^3}{2! \cdot (2-1,8)} \right)^{-1} \approx 0,0526$$

$$P_{\text{отка}} = 0 \quad q = 1 \quad A = lq = l = 0,9$$

$$\chi = \frac{p}{n} = \frac{1,8}{2} = 0,9$$

$$\bar{z} = \frac{p}{n} \frac{p_0}{n! (1-\chi)^2} = \frac{1,8^3 \cdot 0,0526}{2 \cdot 2 \cdot (1-0,9)^2} \approx 7,67$$

$$\bar{z}_{\text{ом}} = \frac{\bar{z}}{l_{\text{орг.}}} = \frac{7,67}{0,9} \approx 8,52$$

$$\bar{k} = p = 1,8$$

$$\bar{z} = \bar{k} + \bar{z} = 1,8 + 7,67 = 9,47$$

$$l_{\text{сум.}} = \frac{\bar{z}}{l_{\text{орг.}}} = \frac{9,47}{0,9} \approx 10,52$$



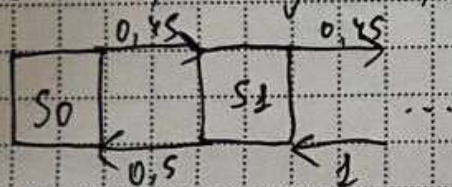
Для специализированных  
касеев:

Кассир "Тимур":

$$l_1 = 0,45 \quad \mu = 0,5 \quad p_1 = \frac{0,45}{0,5} = 0,9$$

Кассир "Юлия":

$$l_2 = 0,45 \quad \mu = 0,5 \quad p_2 = \frac{0,45}{0,5} = 0,9$$



$$p_0 = 1 - p = 1 - 0,9 = 0,1$$

$$P_{\text{отк.}} = 0 \quad q = 1 \quad A = l \cdot q = 0,45$$

$$\bar{e} = \frac{p^2}{1-p} = \frac{0,9^2}{1-0,9} = 8,1$$

$$\bar{L}_{\text{оч.}} = \frac{\bar{e}}{2} = \frac{8,1}{0,45} = 18$$

Для двух касс:

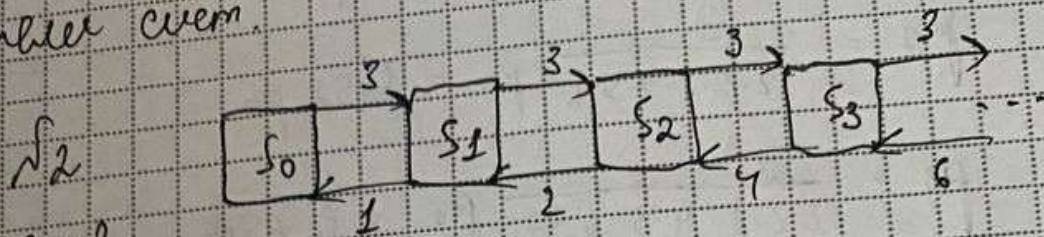
$$\bar{L}_2 = 8,1 \cdot 2 = 16,2$$

Средняя длина очереди уменьш., время обслуживания тоже, что невозможно.

Предположение не является разумным,



m.k. ono yuzgnaem oendnore neraya -  
mler cuem



$$n=2$$

$$n=2$$

$$l=3 \text{ garb / rac}$$

$$t_{\text{ser}} = 1 \text{ a}$$

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{ser}}} = 1$$

$$T_{\text{or}} = 0,5 \text{ raca}$$

$$J = \frac{1}{T_{\text{or}}} = 2 \text{ garb / rac}$$

$$\rho = \frac{l}{\mu} = \frac{3}{1} = 3$$

$$\beta = \frac{J}{\mu} = 2$$

$$p_1 = J^2 p_0 = 3 p_0$$

$$p_2 = \frac{J^2}{2} p_0 = 4,5 p_0 = \frac{p_1^2}{2!} p_0$$

$$p_3 = \frac{J^3}{2\beta} p_0 = \frac{27}{2 \cdot 2} = 6,75 p_0$$

$$p_4 = \frac{J^4}{2\beta(\beta+1)} p_0 = \frac{81}{2 \cdot 2 \cdot 3} p_0 = 6,75 p_0$$

$$p_5 = \frac{J^5}{2\beta(\beta+1)(\beta+2)} p_0 = \frac{243}{2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4} p_0 = 5,06 p_0$$



$$p_6 = \frac{3^6}{2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5} p_0 = 3,09 p_0$$

$$p_7 = \frac{3^7}{2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6} p_0 = 1,52 p_0$$

$$p_8 = \frac{3^8}{2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7} p_0 = 0,85 p_0$$

$$p_9 = 0,24 p_0$$

$$p_{10} = 0,08 p_0$$

$$p_{11} = 0,029 p_0$$

$$p_{12} = 0,008 p_0$$

$$p_{13} = 0,001 p_0$$

$$\sum_{i=1}^{13} (p_i \cdot p_0) = 1$$

$$31,621 p_0 = 1$$

$$p_0 = 0,031$$

$$p_{12} = 0,0001, p_{11} = 0,0002, p_{10} = 0,002,$$

$$p_9 = 0,00744, p_8 = 0,02, p_7 = 0,047, p_6 =$$

$$= 0,09, p_5 = 0,16, p_4 = 0,2, p_3 = 0,2,$$

$$p_2 = 0,14, p_1 = 0,093$$

$$\bar{x} = 1 \cdot 0,14 + 2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 = 1,14$$



$$A = d - \bar{v} \cdot \bar{z} = 8 - 2,14 = 0,72$$

$$q = \frac{A}{d} = 0,24$$

$$\bar{k} = \frac{A}{\bar{\mu}} = 0,92$$

$$\bar{z} = \bar{v} + \bar{k} = 1,86$$

$$\bar{t}_{om} = \frac{\bar{z}}{\bar{v}} = \frac{1,86}{2} = 0,93$$

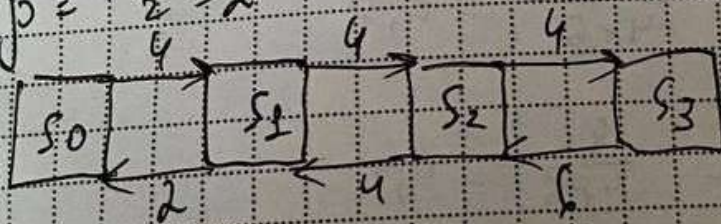
$$\bar{t}_{um} = \frac{\bar{z}}{d} = \frac{1,86}{8} = 0,23$$

$\sqrt{3}$

$$n = 3 \quad d = 4 \text{ загл/мин}$$

$$\bar{t}_{om} = 0,5 \text{ мин.} \quad \bar{\mu} = \frac{1}{\bar{t}_{om}} = 2 \text{ загл/мин.}$$

$$p = \frac{d}{\bar{\mu}} = 2$$



$$p_0 = \left( 1 + p + \frac{p^2}{2!} + \frac{p^3}{3!} \right)^{-1}$$

$$p_k = \frac{p^k}{k!} p_0$$

$$p_0 = \left( 1 + 2 + \frac{2^2}{2!} + \frac{2^3}{3!} \right)^{-1} \approx 0,158$$

$$p_1 = 2 \cdot 0,158 = 0,316$$

$$p_2 = \frac{2^2}{2!} \cdot 0,158 = 0,316$$

$$p_3 = \frac{2^3}{3!} \cdot 0,158 \approx 0,211$$



$$P_{отк} = p_3 = 0,211$$

$$q = 1 - P_{отк} = 0,789$$

$$A = \lambda q = 4 \cdot 0,789 = 3,156 \text{ заяв./мин}$$

$$\bar{k} = \frac{A}{\mu} = \frac{3,156}{2} = 1,578$$

Все 3 канала работают вместе:

$$t'_{обс} = \frac{0,5}{3} \approx 0,167 \text{ мин.}$$

$$\mu' = \frac{1}{t'_{обс}} = 6 \text{ заяв./мин.}$$

$$p = \frac{\lambda}{\mu'} = \frac{4}{6} \approx 0,667$$

$$p_0 = \frac{\mu'}{\lambda + \mu'} = \frac{6}{4+6} = 0,6$$

$$p_1 = \frac{\lambda}{\lambda + \mu'} = \frac{4}{4+6} = 0,4$$

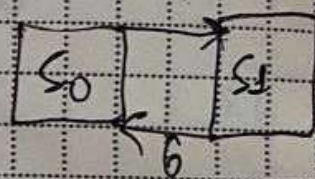
$$P'_{отк} = p_1 = 0,4$$

$$q' = 1 - P'_{отк} = 1 - 0,4 = 0,6$$

$$A' = \lambda q' = 4 \cdot 0,6 = 2,4 \text{ заяв./мин.}$$

$$\bar{k}' = \frac{A'}{\mu} = \frac{2,4}{2} = 1,2$$

Совместное функционирование уменьшает





абсолютного пропускного способности с 3,886  
до 2,4 заяв/мин, что невозможно. Время  
предоставления заявки в СМО увеличивается.

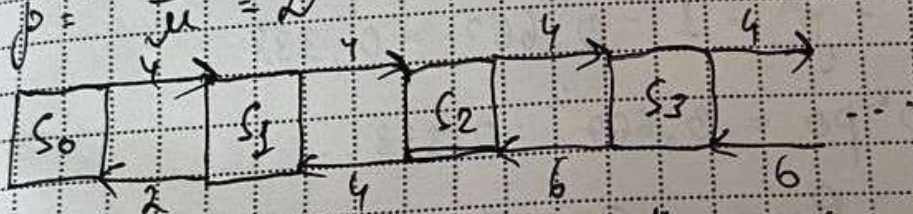
3

$$n=3 \quad \lambda=4 \text{ заяв/час}$$

$$t_{\text{обсл.}} = 0,5 \text{ часа}$$

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{обсл.}}} = 2 \text{ заяв/час}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = 2$$



$$p_0 = \left( 1 + 2 + \frac{2^2}{2} + \frac{2^3}{6} + \frac{2^4}{6 \cdot (3-2)} \right)^{-1} \approx 0,111$$

$$p_{\text{откл.}} = 0 \quad q = 1$$

$$A = \lambda q - \lambda = 4 \quad \alpha = \frac{\rho}{n} = \frac{2}{3} \approx 0,667$$

$$\bar{z} = \frac{\lambda^{n+1} p_0}{n \cdot n! (1-\alpha)^2} = \frac{2^4 \cdot 0,111}{3 \cdot 6 (1-0,667)^2} \approx 0,889$$

$$\bar{t}_{\text{ож.}} = \frac{\lambda^n p_0}{n \cdot n! \mu (1-\alpha)^2} = \frac{2^3 \cdot 0,111}{3 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 0,333^2} \approx 0,222 \text{ часа}$$

$$\bar{k} = \rho = 2$$

$$\bar{z} = \bar{k} + \bar{z} = 2 + 0,889 = 2,889$$

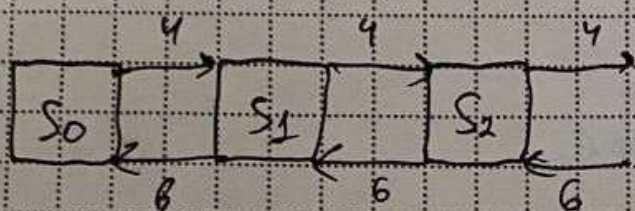


$$\bar{t}_{\text{aver}} = \frac{\bar{z}}{l} = \frac{2,889}{4} \approx 0,722 \text{ race}$$

$$t'_{\text{aver}} = \frac{0,5}{3} \approx 0,167 \text{ race}$$

$$\mu = \frac{1}{t'_{\text{aver}}} \approx 6 \text{ jumps/race}$$

$$p' = \frac{l}{\mu} = \frac{4}{6} \approx 0,667$$



$$p_0 = 1 - p' = 1 - 0,667 = 0,333$$

$$p_k = p^k p_0 = 0,667^k \cdot 0,333$$

$$q = 1 \quad P_{\text{av}} = 0 \quad A = lq = l = 4$$

$$\bar{z} = \frac{p'^2}{1 - p'} = \frac{0,667^2}{0,333} \approx 1,336$$

$$\bar{z} = \bar{z} + p' = 1,336 + 0,667 = 2,003$$

$$t'_{\text{avr}} = \frac{\bar{z}}{l} = \frac{1,336}{4} = 0,334 \text{ race}$$

$$t'_{\text{aver}} = \frac{z}{l} \approx 0,5 \text{ race}$$

1) Неблагословенно (0,889 < 1,336)

2) Неблагословенно (0,222 < 0,334)

3) Благоприятно (0,722 > 0,5)



При равномерной загрузке.  
Если в сист.  $k$  занятых каналов,  
то интенсивность обслуживания:  $k\mu$ ;  $\tau$  умень-  
шается, т.к. заявки обслуж. быстрее  
при увелич. числа занятых каналов;  
 $\bar{t}$  от меньше, чем в сист. с  $1$  слот  
уменьшается, т.к. обслуж.-се ускоря-ся.  
Равномер. загрузка определяет все  
характеристики.