

# Оценка эффективности централизованных бюро ремонта «Аргус»

Б.С. Гольдштейн, заместитель директора ЛОНИИС по научной работе, д.т.н., профессор  
Я.С. Дымарский, ведущий научный сотрудник ЛОНИИС, д.т.н., профессор  
Н.Г. Сибирякова, начальник отдела

**Оценка эффективности централизованных бюро ремонта (ЦБР) «Аргус», повсеместно внедряющихся в телефонные сети в последние годы, - актуальная задача, не рассматривавшаяся ранее. Решение ее базируется на анализе изменения двух основных показателей эффективности процесса управления – оперативности принятия решений и их обоснованности. В статье приводятся математические модели и методы определения этих показателей.**

**Программно-аппаратный комплекс "Аргус" [1] представляет собой автоматизированную систему, предназначенную для обеспечения бесперебойной работы абонентских устройств, контроля их технического состояния и оперативного устранения возникающих повреждений, а также для учета, планирования и контроля выполнения ремонтных, аварийных и профилактических работ соответствующих подразделений административного узла телефонной сети.**

"Аргус" обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- прием и регистрацию поступивших заявок и выдачу справок по результатам выполненных работ;
- тестирование состояния абонентских линий и установок;
- регистрацию неисправностей и формирование заявок на их устранение;
- диспетчеризацию нарядов на текущий ремонт;
- информационную и техническую поддержку деятельности линейно-абонентского, линейно-кабельного и станционного цехов;
- автоматическое формирование и печать необходимых статистических документов, данных для оценки качества предоставляемых услуг и других отчетных документов.

В комплексе можно структурно выделить собственно автоматизированную систему управления (АСУ) и периферийное оборудование (рис. 1).

АСУ состоит из автоматизированных рабочих мест (АРМ) подразделений ЦБР, сервера измерений и также рабочей и резервной баз данных. В состав периферийного оборудования входят ступень распределения вызовов (СРВ) для равномерного распределения вызовов абонентов, их учета и обработки, дистанционный измеритель параметров абонентских линий (ДИПАЛ) для аналоговых станций (для диагностики цифровых станций используется встроенное в них диагностическое оборудование) и устройство оповещения абонентов "Вызов".

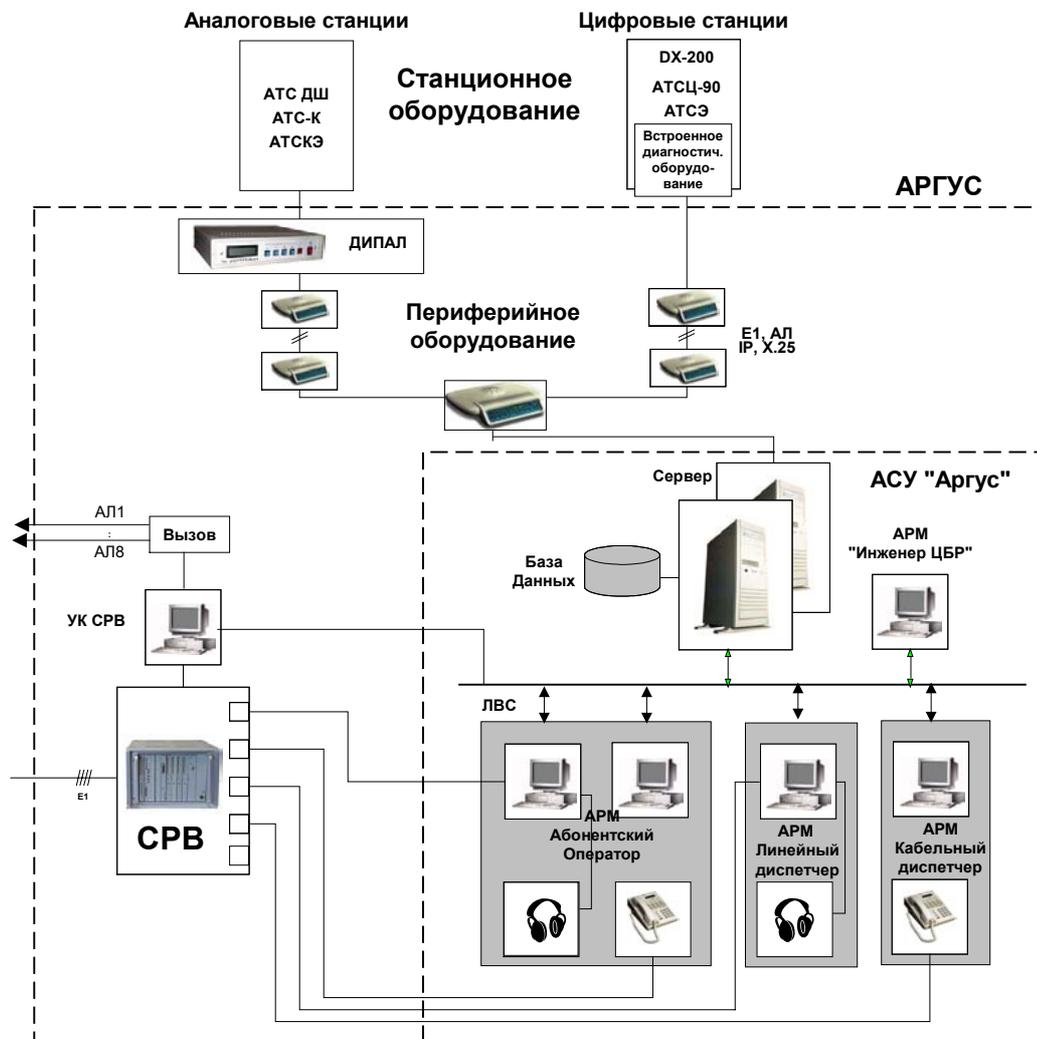


Рисунок 1 - Структурная схема ЦРБ местной телефонной сети с АТС различных типов

Основная идея создания ЦБР состоит в централизации службы ремонта, отказе от многочисленных мелких бюро ремонта, разбросанных по сети, и концентрации их возможностей в едином центре. Качественно это означает переход от децентрализованного к централизованному управлению, который должен приводить к росту двух основных показателей эффективности процесса управления - обоснованности и оперативности [2].

Обоснованность - фундаментальное понятие теории принятия решений определяющее их качество, степень приближения выбранного решения к оптимальному. Оперативность характеризуется ожидаемым или гарантированным значением продолжительности выполнения цикла управления или любой другой заданной совокупности действий. Обратимся к сравнительной оценке этих двух показателей для вариантов функционирования системы при отсутствии и наличии ЦБР.

**Оценка оперативности управления.** В основу сравнения положим следующую математическую модель. В сети имеется  $n$  бюро ремонта, каждое из которых обслуживается  $n_j$  бригадами ремонтников. В бюро поступает поток заявок на обслуживание. Будем предполагать, что это - простейший стационарный пуассоновский поток с интенсивностью  $\lambda$ . Предположим также, что время обслуживания одной заявки одной бригадой (одним каналом) распределено по показательному закону с параметром  $\mu$ . Таким образом, каждое бюро ремонта представляет собой систему массового обслуживания (СМО) типа  $M/M/n_j$  с нагрузкой, равной  $\rho = \lambda/\mu$ .

При создании ЦБР на него замыкаются все потоки заявок. Суммарный поток заявок, как известно [3], также является простейшим пуассоновским, интенсивность его равна  $\lambda_n = n\lambda$ . Централизуется и ресурс, можно считать, что суммарное количество каналов обслуживания равно

$$N = \sum_{j=1}^n n_j \quad . \quad (1)$$

Интенсивность обслуживания в каждом из  $N$  каналов не меняется и по-прежнему равна  $\mu$ . Таким образом, ЦБР представляет собой СМО типа  $M/M/N$  с нагрузкой равной

$$\rho_n = n\lambda / \mu = n\rho \quad . \quad (2)$$

Оценим, как меняется оперативность системы при внедрении ЦБР. Основной характеристикой оперативности будем считать полное время пребывания заявки в системе, включающее время ожидания в очереди  $T_{ож}$  и время обслуживания  $T_{обсл}$ . Будем считать, что взаимопомощи между каналами нет. Тогда для обоих альтернативных вариантов системы ремонта математическое ожидание времени обслуживания одно и то же:

$$T_{обсл} = \frac{1}{\mu} \quad .$$

Значения же времени ожидания различаются. Примем, для простоты,  $n_j = 1$ ,  $j = \overline{1, n}$  (при этом  $N = n$ ). Общее выражение для определения времени ожидания у системы  $M/M/n$  выглядит так [4]:

$$T_{ож, n} = \frac{M_n}{\lambda_n}, \quad M_n = \frac{\rho_n^{n+1}}{n!n(1 - \rho_n/n)^2} \left[ \sum_{i=0}^n \frac{\rho_n^i}{i!} + \frac{\rho_n^{n+1}}{n!(n - \rho_n)} \right]^{-1}, \quad (3)$$

где  $M_n$  - математическое ожидание количества заявок в очереди.

Отсюда после преобразований находим:

$$T_{ож, n} = \frac{\rho}{n\mu(1-\rho)[(1-\rho^2)\Delta_n + \rho^2]} \quad , \quad (4)$$

где  $\Delta_n = \frac{P_1}{P_n}$  - отношение вероятностей отказа в немедленном начале обслуживания из за занятости каналов для систем без/с ЦБР.

Значения  $P_1$  и  $P_n$  вычисляются по известной формуле Эрланга

$$P_1 = \frac{\rho}{1+\rho}, \quad P_n = \frac{\rho^n}{n!} \left[ \sum_{i=0}^n \frac{\rho^i}{i!} \right]^{-1} \quad , \quad (5)$$

величины  $\Delta_n$  для некоторых значений  $\rho$  и  $n$  приведены в таблице 1.

Таблица 1

$n$	Значения $\Delta_n$ при $\rho$			
	0,2	0,4	0,6	0,8
2	3,08	1,89	1,52	1,35
3	8,41	3,18	2,08	1,66
4	21,70	5,06	2,70	1,95
5	54,33	7,79	3,41	2,23
10	4510	54,84	8,77	3,67

Величины  $\Delta_n$  являются не только вспомогательными. Фактически они также количественно характеризуют преимущества системы с ЦБР, поскольку показывают, во сколько раз уменьшается вероятность отказа в немедленном обслуживании или - во сколько раз возрастает вероятность того, что заявка на ремонт будет принята к немедленному обслуживанию. Общей тенденцией, как видно из табл. 1, является возрастание оперативности обслуживания при увеличении степени централизации системы. Усреднение данных табл. 1, кроме экстремальных величин первого столбца и последней строки, дает количественную характеристику этой тенденции: в среднем эффективность возрастает в 2,9 раза.

Полное время пребывания заявки в системе составляет

$$T_n = T_{ож, n} + \frac{1}{\mu} = \begin{cases} \frac{1}{\mu(1-\rho)}, & n = 1, \\ \frac{1}{\mu} \left[ 1 + \frac{\rho}{n(1-\rho)[(1-\rho^2)\Delta_n + \rho^2]} \right], & n > 1 \end{cases} \quad . \quad (6)$$

Возрастание оперативности при внедрении ЦБР характеризуется величиной коэффициента

$$\delta = T_1 / T_n = \left[ 1 - \rho + \frac{\rho}{n} \frac{1}{(1 - \rho^2) \Delta_n + \rho^2} \right]^{-1} \quad (7)$$

Значения  $\delta$  при различных комбинациях величин  $\rho$  и  $n$  приведены в таблице 2. Характер зависимостей  $\delta(n, \rho)$  иллюстрируют рис. 1 и 2.

Таблица 2

$n$	Значения $\delta$ при $\rho$					
	$\rightarrow 0$	0,2	0,4	0,6	0,8	$\rightarrow 1$
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1,24	1,40	1,60	1,80	2
3	1	1,25	1,55	1,93	2,41	3
4	1	1,25	1,61	2,12	2,87	4
5	1	1,25	1,63	2,24	3,22	5
10	1	1,25	1,66	2,44	4,15	10
$\rightarrow \infty$	1	1,25	1,67	2,50	5	$\rightarrow \infty$

В среднем (без учета данных первого столбца и последней строки) оперативность увеличивается в 1,9 раза, т.е. абонентам придется ждать устранения неисправности примерно вдвое меньше времени. Такой прирост оперативности функционирования системы следует признать весьма существенным.

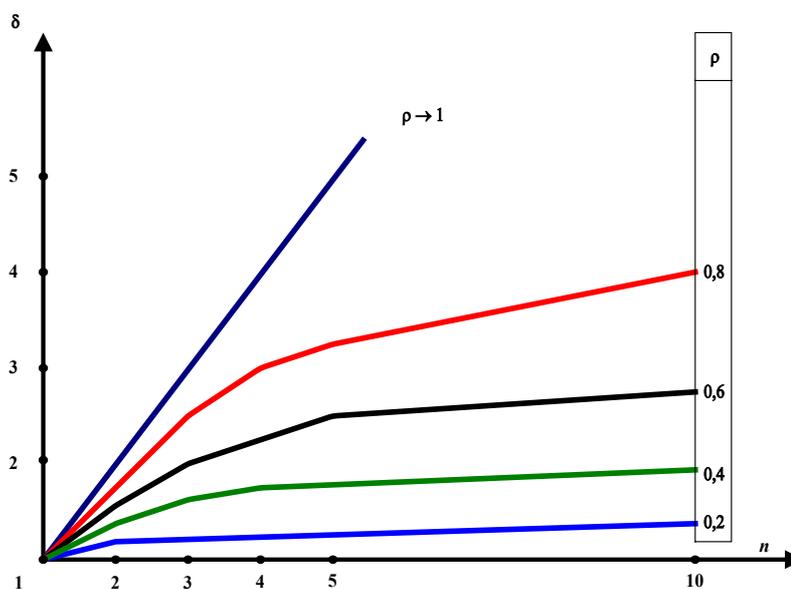


Рис. 1. Зависимость  $\delta = T_1 / T_2$  от  $n$  при разных  $\rho$

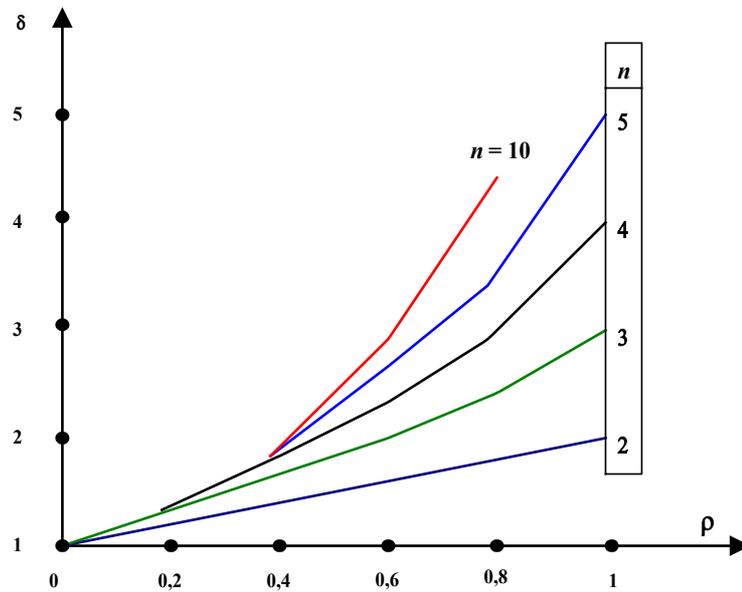


Рис. 2. Зависимость  $\delta = T_1 / T_n$  от  $\rho$  при разных  $n$

**Оценка обоснованности.** Намного сложнее оценить увеличение обоснованности принимаемых решений у системы с ЦБР. Эффект здесь обусловлен более тонкими обстоятельствами, нежели централизация ресурсов бюро ремонта и вытекающим отсюда возрастанием количества каналов системы. В действительности, помимо этих факторов, необходимо учитывать всегда имеющую место разнородность потока заявок, их разную важность и срочность. Кроме того, специалисты различных ремонтных бригад имеют, как правило, разную квалификацию, т.е. и "каналы" обслуживания является разноэффективными. Поэтому в системе управления ремонтом необходимо периодически решать задачу оптимального распределения ресурсов по объектам их использования. Это, конечно, под силу только ЦБР, в составе программного обеспечения которого можно без труда предусмотреть соответствующие программные блоки.

Формализуем задачу с помощью следующей простейшей математической модели. Будем предполагать, что заявки разбиты на  $n$  классов (по числу мелких бюро ремонта, объединяемых с помощью ЦБР). Известны (по результатам экспертной оценки, например) коэффициенты важности  $\nu_j$  ( $j = \overline{1, n}$ ), а также характеристики эффективности обслуживания  $w_j$  заявок различных классов. Тогда в варианте отсутствия ЦБР эффективность использования средств ремонта можно оценить по критерию

$$M_1 = \sum_{j=1}^n \nu_j [1 - (1 - w_j)^{n_j}] \quad . \quad (8)$$

Здесь  $M_I$  представляет собой, по существу, математическое ожидание числа исполненных заявок с учетом их важности.

Внедрение ЦБР позволяет оптимизировать распределение ремонтных ресурсов на основе решения следующей оптимизационной задачи:

$$M_0 = \sum_{j=1}^n v_j [1 - (1 - w_j)^{x_j}] \Rightarrow \max_{\{x_j\}}, \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n x_j = N, \quad x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}. \quad (10)$$

Подчеркнем, что задача (9), (10) может быть решена только при наличии ЦБР, когда появляется возможность централизованного распределения ресурсов (см. условие (10)), направления их на наиболее выжные и срочные заявки и - в целом - такого распределения суммарного объема ресурсов  $N$ , чтобы критерий  $M_0$  достиг своего максимального значения.

Прирост обоснованности можно оценивать по абсолютной величине приращения  $\Delta M = M_0 - M_1$  или - что предпочтительнее - по относительной характеристике

$$\delta_1 = \Delta M / M_0 = 1 - M_1 / M_0. \quad (11)$$

Алгоритм решения задачи (9), (10) известен [5] и здесь не рассматривается. Приведем лишь окончательный результат в виде совокупности формул для вычисления  $M_0$ :

$$M_0 = V_r - D_r \exp(\eta_r), \quad (12)$$

$$\text{где } V_r = \sum_{j=1}^r v_j, \quad D_r = \sum_{j=1}^r A_j, \quad A_j = \frac{1}{\alpha_j}, \quad \alpha_j = -\ln(1 - w_j),$$

$$\eta_r = (B_r - N) / D_r, \quad B_r = \sum_{j=1}^r A_j \beta_j, \quad \beta_j = \ln(v_j \alpha_j),$$

значение  $r$  определяется из условия

$$Y_r < N \leq Y_{r+1}, \quad (13)$$

$$\text{где } Y_r = B_r - D_r \beta_r, \quad (14)$$

а классы заявок перенумерованы в соответствии с расположением величин  $\beta_j$  в вариационном ряду по невозрастанию (убыванию), т.е. предполагается, что

$$\beta_1 \geq \beta_2 \geq \dots \geq \beta_n. \quad (15)$$

Трудность реализации предложенного подхода состоит в том, что на практике основные параметры, входящие в выражения для  $M_0$  и  $M_1(n_j, \nu_j$  и  $w_j)$ , могут принимать всевозможные значения, т.е. ведут себя, вообще говоря, как случайные величины. Поэтому для получения уверенных оценок величин  $\Delta M$  и  $\delta_1$  необходим полномасштабный эксперимент на ЭВМ, для проведения которого нужно задать законы распределения указанных выше параметров. Однако здесь ограничимся **примером**. Общие выводы по результатам этого рассмотрения сделать нельзя, но ориентировочные оценки получить безусловно можно.

Будем полагать распределение ресурсов по классам заявок равномерным, т.е. положим

$$n_j = N/n, \quad j = \overline{1, n} \quad (16)$$

Эффективность системы без ЦБР, т. е. значение  $M_1$ , при этом завышается, поскольку распределение (16) в частном случае равнозначности всех классов заявок и равенства всех величин  $w_j$  совпадает с оптимальным решением задачи (9), (10) (при этом  $M_1 = M_0$  и  $\Delta M = M_0 - M_1 = 0$ ). Но такой подход удобен практически и дает уверенность в том, что  $\Delta M$  будет не меньше того, которое получится при допущении (16).

Остальные исходные данные для примера, заимствованные из работы [5], приведены в таблице 3.

Таблица 3

Исходные данные для расчетов

Параметр	Номер класса заявок, j				
	1	2	3	4	5
$V_j$	0,1	0,3	0,2	0,1	0,3
$w_j$	0,2	0,1	0,3	0,2	0,5

Результаты расчетов  $M_0$ ,  $M_1$ , и  $\delta$  для различных значений общего ресурса  $N$  приведены в таблице 4 и показаны на рис. 3.

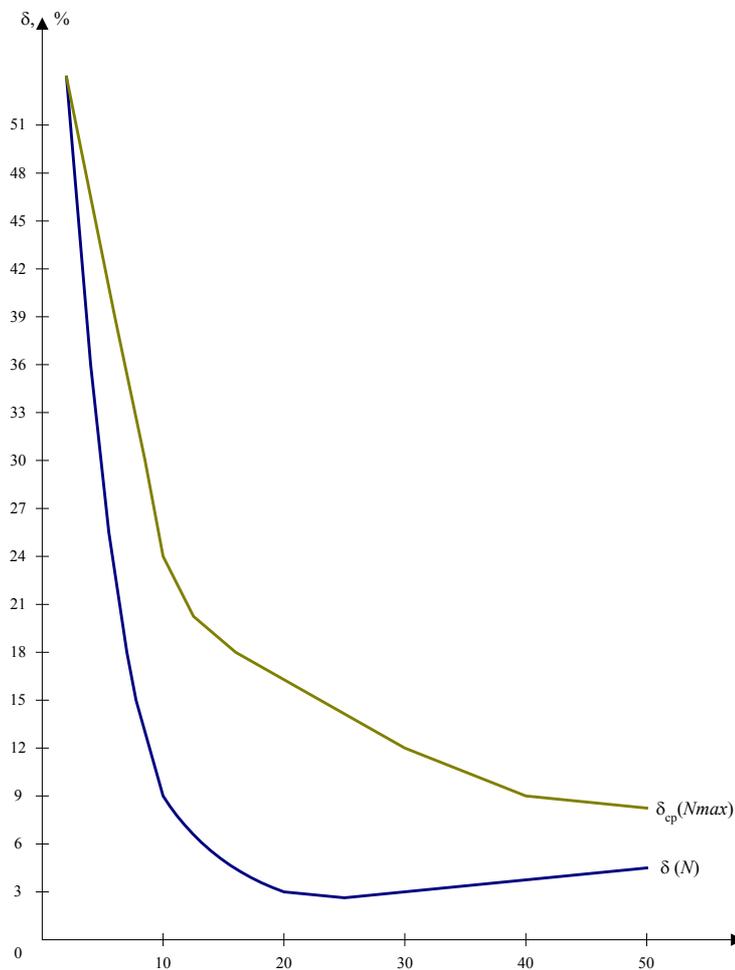


Рис. 3. Зависимости  $\delta(N)$  и  $\delta_{cp}(N_{max})$

Таблица 4

Результаты расчетов

$N$	$M_o$	$M_I$	$\delta_I, \%$
1	0,1500	0,0676	54,9
3	0,2850	0,1840	35,4
5	0,3658	0,2800	23,5
10	0,4983	0,4560	8,5
15	0,5970	0,5721	4,2
20	0,6770	0,6545	3,3
30	0,7921	0,7599	4,1
40	0,8662	0,8246	4,8
50	0,9139	0,8680	5,0

Практический интерес представляют, естественно, некоторые средние оценки. Величина их, как нетрудно видеть, существенно зависит от диапазона усреднения по  $N$ . Так, если  $N$  предположительно может принимать одно из значений в диапазоне  $(0, 10]$ , то  $\delta_{cp}=24,8\%$ , для диапазона  $(0, 30]$  -  $\delta_{cp}=11,0\%$  и, наконец, для диапазона  $(0, 50]$  -  $\delta_{cp}=8,5\%$ . Считая равновероятным любой из этих диапазонов, заключаем, что в среднем можно ожидать, как минимум, относительного прироста эффективности  $\delta_{cp}=14,8\% \approx 15\%$ . Такое значение совпадает с известной еще с конца 50-х годов оценкой

эффективности применения методов оптимизации при решении конкретных производственно-экономических задач: оптимизация по сравнению с решениями опытных специалистов давала прирост эффективности 15...20%.

*Таким образом, внедрение ЦБР безусловно целесообразно: обоснованность принимаемых решений возрастает не менее, чем на 15%, а оперативность функционирования системы повышается почти вдвое.*

#### Литература

1. Морев В.Л., Персиянова М.В. Интеллектуальные технологии в централизованном бюро ремонта //Вестник связи, 1999 г., №12.
2. Морозов В.П., Дымарский Я.С. Элементы теории управления ГАП: математическое обеспечение - Л.:Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984.
3. Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории массового обслуживания - М.:Машиностроение, 1969.
4. Раскин Л.Г. Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления - М.: "Советское радио", 1976.
5. Гурин Л.С., Дымарский Я.С., Меркулов А.Д. Задачи и методы оптимального распределения ресурсов - М.: "Советское радио", 1968.