

$$h_{21} = [0,1 \ 0,6 \ -0,2 \ 0,3 \ -0,1];$$

$$h_{22} = [0,2 \ 0,8 \ -0,4 \ 0,4 \ -0,1].$$

Выводы

Представлена модель системы ММО с конфигурацией 2×2 , работа которой основана на ZF эквалайзере и MMSE эквалайзере. Моделью канала ММО является канал с МСИ. По результатам моделирования построены графики вероятности битовой ошибки от ОСШ для двух видов алгоритмов фильтрации (ZF и MMSE) при длине памяти канала $L = 3$ и $L = 5$. Из результатов моделирования следует, что алгоритм эквалайзера MMSE обеспечивает меньшее значение вероятности ошибки, чем ZF. Например, для вероятности ошибки 10^{-1} энергетический выигрыш составит примерно 4,5 дБ, при длине памяти канала $L = 3$. При увеличении памяти канала ($L = 5$) битовый коэффициент ошибок с ростом ОСШ медленнее приближается к нулю, а кривые BER ZF и MMSE эквалайзеров мало отличимые.

Литература

1. <http://celnet.ru/mimo.php>
2. Tryggvi Ingason, Liu Haonan. Line-of-Sight MIMO for Microwave Links Adaptive Dual Polarized and Spatially Separated Systems. Göteborg, Sweden, 2009. – .117 p.
3. Kung S.Y., Xinying Zhang, Myer C.L. A recursive QR approach to adaptive equalization of time-varying MIMO channels // Communications in information and systems. Vol. 5, №2, 2005. – P. 169-196.
4. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: Пер. с англ. М.: ИД «Вильямс», 2003. – 1104 с.
5. Прокис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ. М.: Радио и связь, 2000. – 800с.
6. Qureshi U.H. Adaptive equalization // Proceedings of the IEEE. Vol.73, №9, 1985. – P. 1349-1387.
7. Saltzburg B. R. Intersymbol Interference Error Bounds with Application to Ideal Bandlimited Signaling // IEEE Trans. Inform. Theory. Vol. IT-14, 1968. – P. 563-568.

THE MIMO SYSTEM MODEL IN MEMORY CHANNEL

Konyaeva O.S.

The article discusses a 2×2 MIMO system in communication memory channel. Were obtained the bit error rate (BER) for a variety of algorithms that compensate for signal distortions and noise – a Zero Forcing algorithm (ZF) and a Minimizing Mean Square Error algorithm (MMSE). Showing the implementation BER for different lengths of memory communication channel.

Keywords: MIMO, Zero Forcing algorithm, Minimizing Mean Square Error algorithm, bit error rate, memory channel, intersymbol interference.

Коняева Ольга Сергеевна, ассистент Кафедры программного обеспечения и управления технических систем Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Тел. (8-846) 228-00-13; 8-927-718-71-90. E-mail: konyaeva2012@gmail.com

ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

УДК 004.7

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАФИКА С ТЯЖЕЛОХВОСТНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ $M_2/M/1$

Тарасов В.Н., Бахарева Н.Ф., Горелов Г.А.

В статье представлен анализ «тяжелохвостных» распределений и получено решение по среднему времени ожидания для СМО $M_2/M/1$. Совместно с авторской программой по восстановлению моментных характеристик распределения интервалов между пакетами входящего трафика такая методика позволяет рассчитать характеристики входящего трафика методами теории массового обслуживания.

Ключевые слова: моментные характеристики распределение трафика, анализатор трафика, программа Wireshar, среднее время ожидания в очереди.

Введение

Известно, что теория массового обслуживания (ТМО) не дает точного ответа при анализе

систем с входными потоками, описываемыми «тяжелохвостными» (далее без кавычек) распределениями интервалов между требованиями, то есть систем типа G/M/1/, а тем более систем G/G/1. Весомость хвоста распределения в свою очередь влияет на величину задержки. При этом под хвостом распределения будем понимать функцию $Q(x)$: $Q(x) = P(\xi \geq x) = Q([x, \infty))$, где ξ – некоторая случайная величина.

Для описания трафика широко используют класс экспоненциальных распределений, включающий подкласс так называемых субэкспоненциальных распределений, куда входят распределения Вейбулла, гамма, логнормальное и гиперэкспоненциальное, имеющие коэффициенты вариации больше единицы (см. рис. 1) и относящиеся к распределениям с тяжелым хвостом (heavy-tailed distributions). На рис. 1 приведены фрагменты хвостов функций плотности этих распределений, а для сравнения приведено классическое экспоненциальное распределение с коэффициентом вариации $c_\tau = 1$. Слева от классического экспоненциального распределения приведен хвост распределения, сдвинутого от нуля вправо экспоненциального распределения, с коэффициентом вариации $c_\tau = 0,5$ – «легкого».

На рис. 1 для всех приведенных распределений средние значения равны $m_\tau = 0,25$; а дисперсии для распределений с тяжелым хвостом равны $D_\tau = 0,25$; что дает коэффициент вариации интервала времени $c_\tau = 2,0$.

Как видно из этих графиков, даже при сравнительно небольшом коэффициенте вариации распределения $c_\tau = 2,0$ заметна тяжесть хвостов затухания приведенных выше функций плотностей по сравнению с экспонентой. Очевидно, что с увеличением параметра c_τ весомость хвоста распределения только возрастет.

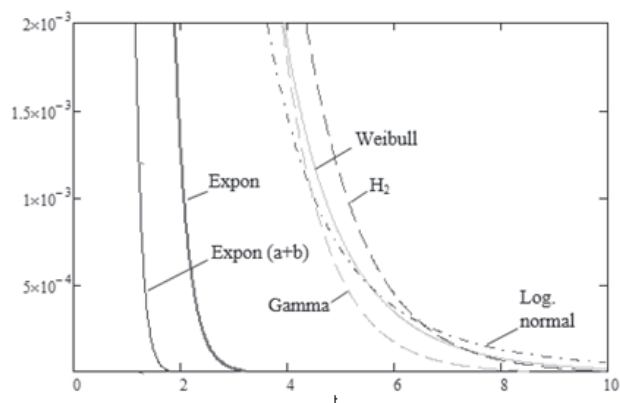


Рис. 1. Графики хвостов функций плотности из класса экспоненциальных распределений

Таким образом, рассматривая только статистические характеристики второго порядка, можно получить определенное представление об отличии распределения времени между поступлениями трафикового процесса от экспоненциального распределения, соответствующего пуассоновскому потоку. С учетом статистики третьего порядка это отличие может только усилиться. Из теории телеграфика известно, что задержки при использовании тяжелохвостных распределений в системах массового обслуживания намного выше, чем при пуассоновском потоке. И наоборот – при использовании распределений с легким хвостом задержки ниже, чем при пуассоновском потоке.

Распознавание закона распределения интервалов времени для его использования в моделях массового обслуживания вызывает большие проблемы, и к тому же трафик, как случайный процесс, имеет свойство постоянно меняться. Поэтому целесообразнее использование числовых характеристик распределения интервалов между пакетами. Для их определения предлагается использовать программу Wireshark [2], к которой авторами написано приложение, позволяющее определить моментные характеристики интервалов между пакетами входящего трафика. Удобство использования данного анализатора обусловлено тем, что он фиксирует моменты времени поступления пакетов агрегированного трафика на уровне долей миллисекунды. Для того чтобы воспользоваться этими результатами, необходим математический аппарат, представленный ниже.

Анализ и расчет среднего времени ожидания для СМО $H_2/M/1$

Из класса субэкспоненциальных распределений только для гиперэкспоненциального распределения 2-го порядка H_2 можно получить явное решение для среднего времени ожидания требования в очереди в системе. Следующим преимуществом данного закона распределения является возможность аппроксимации произвольных входных распределений с его помощью на уровне трех моментов.

Поэтому рассмотрим СМО $H_2/M/1$, где H_2 (см. рис. 1) – обозначение гиперэкспоненциального распределения 2-го порядка времени поступления требований в систему с функцией плотности

$$a(t) = p\lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + (1-p)\lambda_2 e^{-\lambda_2 t}, \quad (1)$$

а M – обозначение экспоненциального закона обслуживания с функцией плотности

$$b(t) = \mu e^{-\mu t}. \quad (2)$$

Преобразование Лапласа функции (1) имеет вид

$$A^*(s) = p \frac{\lambda_1}{s + \lambda_1} + (1-p) \frac{\lambda_2}{s + \lambda_2}, \quad (3)$$

а функции (2):

$$B^*(s) = \frac{\mu}{s + \mu}. \quad (4)$$

Для исследования системы G/G/1, как известно например из [2], используется интегральное уравнение Линдли:

$$W(y) = \begin{cases} \int_{-\infty}^y W(y-u) dC(u); & y \geq 0, \\ 0; & y < 0, \end{cases} \quad (5)$$

где $W(y)$ – функция распределения вероятностей (ФРВ) времени ожидания требования в очереди; $C(u)$ – ФРВ предельной случайной величины $U = \lim_{n \rightarrow \infty} U_n = x_n - t_{n+1}$, где в свою очередь x_n – время обслуживания n -го требования C_n ; t_{n+1} – интервал времени между поступлением требований C_n и C_{n+1} .

Суть решения уравнения (5) спектральным методом сводится к тому, чтобы для выражения

$$A^*(-s) \cdot B^*(s) - 1 \quad (6)$$

найти представление в виде произведения двух множителей, которое давало бы рациональную функцию от s [2]. Таким образом, для нахождения распределения времени ожидания необходимо следующее спектральное разложение см. (7):

$$\begin{aligned} \frac{\psi_+(s)}{\psi_-(s)} &= \left[p \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - s} + (1-p) \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - s} \right] \frac{\mu}{\mu + s} - 1 = \\ &= \frac{[p\lambda_1(s + \lambda_2) + (1-p)\lambda_2(s + \lambda_1)] \cdot \mu - (\lambda_1 - s)(\lambda_2 - s)(\mu + s)}{(\lambda_1 - s)(\lambda_2 - s)(\mu + s)} = \\ &= \frac{\mu(a_0 - a_1 s) - (\lambda_1 - s)(\lambda_2 - s)(\mu + s)}{(\lambda_1 - s)(\lambda_2 - s)(\mu + s)}. \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\psi_+(s)}{\psi_-(s)} &= \frac{s(s^2 - c_2 s - c_1)}{(s - \lambda_1)(\lambda_2 - s)(\mu + s)} = \\ &= \frac{s(s + s_1)(s - s_2)}{(s - \lambda_1)(\lambda_2 - s)(\mu + s)}, \end{aligned} \quad (11)$$

$$A^*(-s) \cdot B^*(s) - 1 = \frac{\psi_+(s)}{\psi_-(s)}, \quad (7)$$

где $\psi_+(s)$ и $\psi_-(s)$ некоторые рациональные функции от s , которые можно разложить на множители. Функции $\psi_+(s)$ и $\psi_-(s)$ должны удовлетворять определенным условиям согласно [3]:

- для $\text{Re}(s) > 0$ функция $\psi_+(s)$ является аналитической без нулей в этой полуплоскости;
- для $\text{Re}(s) < D$ функция $\psi_-(s)$ является аналитической без нулей в этой полуплоскости, где D – некоторая положительная константа, определяемая из условия:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{a(t)}{e^{-Dt}} < \infty. \quad (8)$$

Кроме того, функции $\psi_+(s)$ и $\psi_-(s)$ должны обладать следующими свойствами:

$$\begin{aligned} \text{для } \text{Re}(s) > 0 \quad \lim_{|s| \rightarrow \infty} \frac{\psi_+(s)}{s} &= 1; \\ \text{для } \text{Re}(s) < 0 \quad \lim_{|s| \rightarrow \infty} \frac{\psi_-(s)}{s} &= -1. \end{aligned} \quad (9)$$

Выражение $A^*(-s) \cdot B^*(s) - 1 = \frac{\psi_+(s)}{\psi_-(s)}$ для распределений (1)-(2) с учетом (3)-(4) имеет вид (10), где коэффициенты

$$a_0 = \lambda_1 \lambda_2, a_1 = p\lambda_1 + (1-p)\lambda_2.$$

В числителе правой части равенства (10) получится многочлен от s третьей степени, и нам остается определить его коэффициенты для разложения многочлена на множители.

Коэффициенты многочлена в числителе дроби приведены в таблице 1.

Тогда выражение (10) можно разложить на

где $-s_1 = -\left(\sqrt{\frac{c_2^2}{4} + c_1} - \frac{c_2}{2}\right)$ – отрицательный корень квадратного уравнения в числителе дроби, $s_2 = \frac{c_2}{2} + \sqrt{\frac{c_2^2}{4} + c_1}$ – положительный корень. На рис. 2 показано расположение нулей

(кружочки) и полюсов (крестики) на комплексной s -плоскости для функции (11).

Таблица 1. Коэффициенты многочлена в числителе дроби (10)

Степени слагаемых в числителе дроби	Коэффициенты многочлена
s^0	0
s^1	$\mu[\lambda_1(1-p) + \lambda_2 p] - \lambda_1 \lambda_2 \equiv c_1$
s^2	$\lambda_1 + \lambda_2 - \mu \equiv c_2$
s^3	-1

Исследуем знаки корней s_1 и s_2 , чтобы убедиться в сказанном. Для этого вспомним, что среднее значение интервала между требованиями есть $\bar{\tau}_\lambda = \int_0^\infty t a(t) dt = \frac{p}{\lambda_1} + \frac{(1-p)}{\lambda_2}$.

Тогда средняя интенсивность входного потока $\lambda = \bar{\tau}_\lambda^{-1} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{p \lambda_2 + (1-p) \lambda_1}$. Так как в стационарном режиме загрузка $\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$, то $\lambda < \mu$. Отсюда следует, что $\lambda_1 \lambda_2 < \mu[p \lambda_2 + (1-p) \lambda_1]$ и коэффициент $c_1 > 0$. Тогда один корень будет отрицательным ($-s_1$), а второй корень (s_2) – положительным.

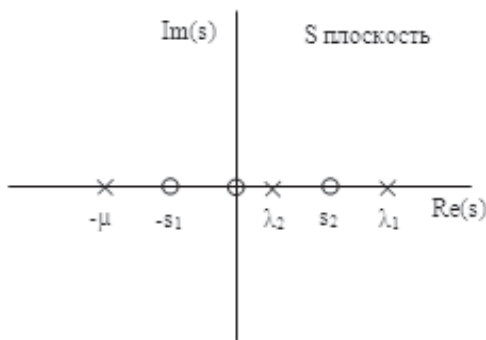


Рис. 2. Нули и полюсы функции $\psi_+(s)/\psi_-(s)$ для системы $H_2/M/1$

С учетом знаков корней и условий (8) строим рациональные функции $\psi_+(s)$ и $\psi_-(s)$:

$$\psi_+(s) = \frac{s(s + s_1)}{s + \mu}, \quad \psi_-(s) = \frac{(s - \lambda_1)(\lambda_2 - s)}{s - s_2}. \quad (12)$$

Функции (11) удовлетворяют также и условиям (9). Следуя [2], определим постоянную

$$K = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{\psi_+(s)}{s} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s + s_1}{s + \mu} = \frac{s_1}{\mu},$$

где $s_1 = \sqrt{\frac{c_2^2}{4} + c_1} - \frac{c_2}{2}$. Тогда функция $\psi_+(s)$ позволяет найти преобразование Лапласа для ФРВ времени ожидания $W(y)$:

$$\Phi_+(s) = \frac{K}{\psi_+(s)} = \frac{s_1(s + \mu)}{\mu s(s + s_1)}.$$

Заметив, что $s\Phi_+(s) = W^*(s)$ есть преобразование Лапласа для функции плотности времени ожидания, получим

$$W^*(s) = \frac{s_1(s + \mu)}{\mu(s + s_1)}. \quad (13)$$

Отсюда $\frac{dW^*(s)}{ds} = \frac{s_1 \mu (s_1 + s) - s_1 (s + \mu) \mu}{\mu^2 (s + s_1)^2}$.

Учитывая свойство преобразования Лапласа, найдем среднее время ожидания:

$$\bar{W} = - \left. \frac{dW^*(s)}{ds} \right|_{s=0} = \frac{-s_1^2 \mu + \mu^2 s_1}{\mu^2 s_1^2} = \frac{1}{s_1} - \frac{1}{\mu}.$$

Окончательно среднее время ожидания

$$\bar{W} = \frac{1}{s_1} - \frac{1}{\mu}, \quad (14)$$

где $s_1 = \sqrt{\frac{c_2^2}{4} + c_1} - \frac{c_2}{2}$; $c_2 = \lambda_1 + \lambda_2 - \mu$;
 $c_1 = \mu[\lambda_1(1-p) + \lambda_2 p] - \lambda_1 \lambda_2$.

Практическое применение полученных результатов

С помощью авторской программы-приложения к анализатору трафика Wireshark был проанализирован файл с данными о трафике, поступающем на прокси-сервер вуза почти за час съема. Входной файл содержал более 2150000 строк, обработка вручную которых не представляется возможным. Результаты по моментным характеристикам интервалов между пакетами в секундах входящего трафика (см. на рис. 3).

Полученные данные свидетельствуют о том, что анализируемый трафик сильно отличается от пуассоновского (коэффициент вариации $c = 3,43$ вместо единицы), значение коэффициента асимметрии $A_s = 10,25$ – это говорит о том, что распределение интервалов между пакетами трафика от-

носятся к распределениям с тяжелыми хвостами. Например, у экспоненциального закона $A_s = 2$.

Файл	Справка
Начальный момент 1-го порядка:	5,097781e-003
Начальный момент 2-го порядка:	3,325837e-004
Начальный момент 3-го порядка:	5,505049e-005
Дисперсия:	3,065963e-004
Коэффициент вариации:	3,434807e+000
Асимметрия:	1,025441e+001
Количество пакетов:	628183

Рис. 3. Результат работы программы-приложения анализа лог-файлов

Рассмотрим результат (13) на примере рассматриваемого входного распределения с весомым хвостом (см. рис. 3). С использованием преобразования Лапласа (3) определим начальные моменты распределения (1):

$$\begin{cases} \bar{\tau}_\lambda = \frac{p}{\lambda_1} + \frac{(1-p)}{\lambda_2}; \\ \bar{\tau}_\lambda^2 = \frac{2p}{\lambda_1^2} + \frac{2(1-p)}{\lambda_2^2}; \\ \bar{\tau}_\lambda^3 = \frac{6p}{\lambda_1^3} + \frac{6(1-p)}{\lambda_2^3}. \end{cases} \quad (15)$$

Подставив в систему (15) полученные результаты по начальным моментам распределения интервалов между пакетами (см. рис. 3), для определения неизвестных параметров входного распределения (1): λ_1, λ_2 и p , получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{p}{\lambda_1} + \frac{(1-p)}{\lambda_2} = 5,0978e-003; \\ \frac{2p}{\lambda_1^2} + \frac{2(1-p)}{\lambda_2^2} = 3,3258e-004; \\ \frac{6p}{\lambda_1^3} + \frac{6(1-p)}{\lambda_2^3} = 5,5050e-005, \end{cases} \quad (16)$$

решив которые найдем эти параметры. Решение системы (16) в пакете Mathcad дает следующие результаты: $p \approx 0,950$; $\lambda_1 \approx 417,985$;

$\lambda_2 \approx 17,556$. Промежуточные параметры: $c_1 \approx 2,429 \times 10^3$; $c_2 \approx 174,441$; $s_2 \approx 12,962$; среднее время ожидания в очереди $\bar{W} \approx 0,073$ с.

Определим для сравнения среднее время ожидания для системы М/М/1. В нашем случае загрузка канала составляла $\rho = 0,75$, соответственно среднее время обслуживания пакетов $\bar{\tau}_\mu \approx 0,0038$; интенсивность обслуживания $\mu \approx 263,2$. Тогда среднее время ожидания пакетов $\bar{W} = \frac{\rho/\mu}{1-\rho} \approx 0,011$ с.

Таким образом, модель массового обслуживания с учетом весомости хвоста входного распределения демонстрирует задержку примерно в 6,6 раза большую, чем классическая модель.

Заключение

Для расчета характеристик реального трафика требуется обновленный математический аппарат. Полученные результаты свидетельствуют о том, насколько оптимистичные результаты дает классическая система М/М/1 по сравнению с рассмотренной системой $H_2/M/1$ в случае высокой весомости хвоста распределения входного потока. Поэтому данный результат с успехом может быть применен в современной теории телетрафика, где задержки пакетов входящего трафика играют первостепенную роль.

Заметим, что распределение (1), содержащее три неизвестных параметра λ_1, λ_2 и p , позволяет с помощью метода уравнений моментов (14) аппроксимировать неизвестные входные распределения на уровне трех первых моментов.

Литература

1. Тарасов В.Н., Горелов Г.А. Анализ трафика сетей связи с помощью моделей класса экспоненциальных распределений //Интеллект. Инновации. Инвестиции. №4, 2013. – С. 22-27.
2. Wiresharkofficialweb-siteURL: <http://www.wireshark.org/>
3. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. Пер. с англ. М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.

MATHEMATICAL MODEL OF TRAFFIC WITH HEAVY-TAILED DISTRIBUTIONS BASED QUEUEING $H_2/M/1$

Tarasov V.N., Bakhareva N.F., Gorelov G.A.

The article presents an analysis heavy-tailed distributions and obtained a decision on the average waiting time for queuing system $H_2/M/1$. Together with the author's program to re-store the time-tion characteristics of the distribution of intervals between bursts of incoming traffic, this method allows to calculate the characteristics of the incoming traffic queuing theory methods.

Keywords: *moment characteristics of the distribution of traffic, traffic analyzer, the program Wireshar, the average waiting time in the queue.*

Тарасов Вениамин Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой программного обеспечения и управления в технических системах (ПОУТС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 228-00-13, 8-960-827-22-33. E-mail: vt@ist.psati.ru.

Бахарева Надежда Федоровна, д.т.н., профессор, заведующая Кафедрой информатики и вычислительной техники ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-59. E-mail: bahareva-nf@psuti.ru.

Горелов Глеб Александрович, ассистент Кафедры ПОУТС ПГУТИ. Тел. (8-846) 228-00-13, 8-927-721-89-79. E-mail: gleb_fox@bk.ru.

УДК 681.3

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ В ПРОМЫШЛЕННОЙ СЕТИ НА БАЗЕ МОДУЛЕЙ СЕРИИ ADAM-4000

Кангин В.В., Ложкин Л.Д.

Статья посвящена вопросам организации обмена информацией между компьютером-хостом и модулями удаленного и распределенного ввода-вывода серии ADAM-4000 (фирма Advantech, Тайвань) в компьютерной распределенной системе сбора данных и управления (КРССДУ). Хост и рабочие модули объединяются с помощью промышленной сети на базе интерфейса RS-485 с использованием протоколов ASCII или Modbus. Показано, что проблема обмена информацией между компьютером-хостом и рабочими модулями ввода-вывода серии ADAM-4000 КРССДУ на базе промышленной сети может быть решена средствами среды визуального программирования Delphi с использованием структур DCB и CommTimeOuts. Выполнен анализ ошибок, которые могут возникнуть при обмене информацией между хостом и рабочими модулями, проведена их классификация. На основании проведенных исследований разработано универсальное приложение, позволяющее изменять параметры настройки COM(USB)-порта и сетевой адрес модуля ADAM-4055.

Ключевые слова: промышленная сеть, хост, интерфейс RS-485, Modbus, ASCII, COM-порт, USB-порт, тайм-аут, DCB.

Введение. Постановка задачи

В настоящее время практически все системы управления технологическими процессами и оборудованием являются распределенными, то есть представляют набор локальных управляющих устройств, объединенных промышленной сетью. Локальные управляющие устройства, называемые также узлами сети, выполняют свои локальные подзадачи управления. Совокупность этих локальных подзадач образует одну большую задачу управления объектом или группой объектов.

Децентрализация задачи управления на ряд локальных подзадач с последующим построением на этой основе децентрализованных распределенных систем управления имеет два глобальных положительных эффекта:

- децентрализация глобальной задачи управления на ряд более простых подзадач приводит к упрощению программного кода управляющих программ, а следовательно, к их более простой отладке и тестированию;

- децентрализация системы управления на ряд подсистем позволяет приблизить управляющие устройства непосредственно к объектам управления, что снижает затраты на соединительные проводники и повышает помехоустойчивость системы управления.

В настоящее время наука и промышленность предлагают целый ряд вариантов компоновок КРССДУ. Однако все они основываются на двух концепциях:

- на основе модулей удаленного и распределенного ввода-вывода [1-4];

- на базе промышленных программируемых контроллеров [5-6].

Оба решения используют промышленную сеть для связи локальных управляющих устройств. На практике применяется смешанное решение, когда КРССДУ состоит и из модулей удаленного ввода-вывода, и из программируемых контроллеров.

Продукция фирмы Advantech широко используется в России под маркой ADAM.

Классификация оборудования марки ADAM на категории по функциональному назначению показана на рис. 1.