

**ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ
ЗАДАЧ
В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

к.т.н. А.В. Гришко, к.т.н. Е.В. Брежнев, Ю.В. Лоевский
(представил проф. А.В. Королёв)

Обоснована математическая модель системы управления силами и средствами при решении задач, связанных с ликвидацией последствий технических, природных катастроф (аварий).

Постановка проблемы. Организация работ, связанных с ликвидацией последствий техногенных и природных катастроф, сопряжена с необходимостью принятия в сжатые временные сроки решения на проведение оптимальных операций с привлечением значительных сил и средств. Автоматизация данного процесса напрямую связана с необходимостью обоснования системообразующего элемента контура управления. Исходя из этого, выбор рациональной системы управления в экстремальных ситуациях является актуальной задачей.

Анализ литературы. При рассмотрении систем управления различного назначения оценивание их эффективности производится с учетом конкретной области применения. При построении коммерческих систем основное внимание направлено на снижение стоимости эксплуатации и здесь чаще всего объектом исследования является система передачи данных (СПД) [1]. В этом аспекте в ряде работ [2, 3] предложены различные модели оценивания эффективности функционирования СПД. При этом основное внимание уделяется исследованию различных способов коммутации каналов, сообщений и пакетов. В ряде публикаций для анализа работы пункта управления используется математический аппарат, применяемый для систем массового обслуживания (СМО) [4]. Рассмотрение пункта управления в виде СМО позволяет в общем виде исследовать протекающие процессы поступления и обработки информации. Четкая иерархическая структура системы управления специального назначения дает основание построить модель функционирования, учитывающую как особенности структуры СПД, так и возможности пунктов управления по обработке и передаче управляющей информации.

Цель статьи. Целью статьи является обоснование модели оценивания эффективности системы управления при решении задач в чрезвычайных ситуациях с учетом топологии сети и информационных возможностей пунктов управления.

Основная часть. Анализ факторов, влияющих на процесс функционирования системы управления. Рассмотрим модель некоторой системы управления (рис. 1). Воздействия, оказываемые на систему, обозначены соответствующими значками на рисунке.

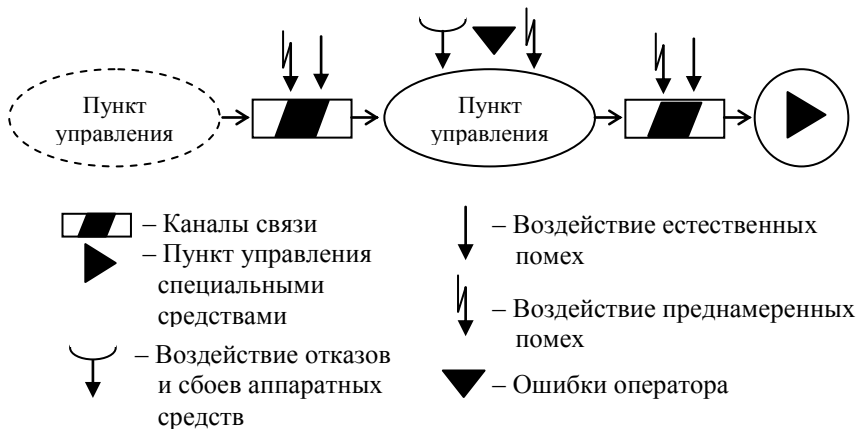


Рис. 1. Модель структуры системы

Относительная доля возможных причин (помехи, отказы, сбои, недостоверная входная информация, ошибки операторов) в общем количестве ошибок на выходе системы и характер влияния этих ошибок на качество работы системы могут быть различными. При проектировании системы управления с передачей и переработкой информации необходимо учитывать все виды ошибок, их влияние на показатели качества работы системы.

Воздействие естественных помех на каналы связи приводит к понижению качества функционирования системы управления. Каналы связи разнообразны. Каждый канал связи имеет специфические помехи [2]. Существуют общие способы борьбы с помехами, пригодные для различных каналов связи. Прежде всего, желательно максимально снижать уровень помех и максимально повышать уровень полезного сигнала, т.е. увеличивать отношение "сигнал/шум". Увеличение этого отношения может достигаться за счет соответствующего кодирования передаваемой

информации, т.е. представление ее в виде таких "символов" (например, импульсов определенной формы), которые четко выделялись бы на фоне помех. Такое кодирование повышает помехоустойчивость передаваемой информации. Особое место в борьбе с помехами занимает фильтрация информации, принимаемой на выходе канала связи. Так же широко применяются различного рода помехоустойчивые коды, которые в зависимости от вносимой избыточности в кодовую посылку позволяют не только обнаруживать сложные варианты ошибок, но в некоторых случаях исправлять их [1].

Проведем более детальную классификацию факторов, влияющих на качество функционирования пункта управления. Задача обоснования структуры системы управления в чрезвычайных ситуациях предопределяет в качестве доминирующих факторов рассмотреть ТТХ средств управления и связи, организационные и информационные составляющие процесса управления. Из организационных факторов выделим оптимизацию размещения пунктов управления, наличие запасных (подвижных) пунктов управления, уровень автоматизации пунктов управления. Из информационных факторов определим количество информации, поступающей на пункт управления, соответствие потоков информации и пропускной способности пунктов управления, скорость передачи.

Математическая постановка задачи оценивания эффективности системы управления при решении задач в чрезвычайных ситуациях. Трудность определения цели и критерия эффективности структуры системы управления связаны с отсутствием соответствующего формального аппарата, а также с многообразием связей между системой и внешней средой. Другими словами, необходимость учета большого числа многообразных связей не позволяет использовать существующий или создать адекватный в полном объеме формальный аппарат [5]. Поэтому, при дальнейшем рассмотрении проблемы оценки эффективности структуры системы управления, сосредоточим внимание на этапе выполнения ею задачи по доведению распоряжений на применение соответствующих сил и средств.

В рассматриваемом случае объектом управления является специальное средство. Обозначим: $\{U\}$ – управляющее воздействие из системы; $\{x\}$ – воздействие внешней среды.

Выход системы управления опишем функцией

$$Y = F(U, x). \quad (1)$$

Исходя из концепции пригодности, поставим задачу – определить

такую структуру системы управления $\{\Gamma_{\text{opt}}\}$, которая бы обеспечивала эффективность управления Φ специальными средствами не ниже допустимого уровня, $\Phi \geq \Phi_{\text{доп}}$. Определить структуру $\{\Gamma_{\text{opt}}\}$ системы управления – это значит определить количество уровней управления и количество органов управления на каждом уровне.

Об эффективности управления можно судить по конечному результату управления, то есть по значению выходной функции Y

$$Y[U(\Gamma), x] \geq Y_{\text{доп}}. \quad (2)$$

Как правило, определить $Y[U(\Gamma), x]$ очень сложно, поэтому часто идут по пути упрощения. При этом резко снижается достоверность полученных результатов.

Значение $Y_{\text{доп}}$ во многом определяется условиями обстановки (то есть воздействием $\{x\}$) и в процессе функционирования объекта может сложиться такая обстановка, когда даже оптимальное управление не обеспечит выполнение условия (2). Поэтому в целях обеспечения практического решения поставленной задачи об эффективности управления судят не по значению функции Y , а по параметрам управления, непосредственно влияющих на нее [1].

В качестве таких параметров будем рассматривать время доведения распоряжения T_d , характеризующее оперативность управления, и вероятность доведения распоряжения P_d , характеризующей качество управления. Следовательно, условие задачи обеспечения уровня эффективности не ниже требуемого принимает вид:

$$T_d \leq T_{\text{тр}}; \quad P_d \geq P_{\text{тр}}. \quad (3)$$

Важным принципом оценки эффективности управления является принцип системного подхода, согласно которому система управления, во-первых, рассматривается как иерархическая структура и, во-вторых, каждое звено – как совокупность физически и информационно связанных между собой органов управления, пунктов управления, систем связи, автоматизированных и специальных систем.

В качестве показателей, определяющих цель функционирования системы управления специальными средствами при выполнении поставленной задачи и отражающие способ применения, были определены время доведения и вероятность доведения распоряжения до специального средства.

Вероятность доведения должна быть очень высокой, чтобы максимально исключить возможность недоведения распоряжения на применение специального средства и тем самым не обеспечить проведение действий, направленных на ликвидацию возникших последствий.

Рассмотрим модель пункта управления. При этом будем учитывать, что по мере усложнения модели системы (то есть увеличение объема управляющей информации, ее детализация) приобретаемая дополнительная эффективность модели зачастую уменьшается [6]. Пусть в рассматриваемом случае пункты управления одного уровня решают одни и те же задачи. Будем характеризовать работу пункта управления по решению специальной задачи временем ее решения T_r . Можно считать, что по вполне объективным причинам качество решения специальной задачи основным пунктом и запасным, или подвижным будет отличаться. Введем коэффициент пункта управления q_i , принимающий значения в диапазоне от 0 до 1. Тогда, время решения задачи i -м пунктом представится как T_r/q_i .

Представим работу пункта управления в следующем виде: получить ряд распоряжений; провести анализ полученной информации; выработать распоряжение для нижестоящего пункта управления; передать данное распоряжение.

Выше мы уже ввели такой показатель как время решения специальной задачи. Данный показатель может характеризовать работу расчета пункта управления по анализу поступившей информации и принятия решения, то есть по выработке распоряжения для нижестоящего пункта управления. Кроме того, если формально представить пункт управления в виде одноканальной СМО с ожиданием, то интенсивность обслуживания заявок μ в такой системе в некотором смысле может характеризовать уровень подготовки специалистов и уровень автоматизации данного пункта. Длину очереди определим числом распоряжений, необходимых для принятия решения на данном пункте управления.

Пусть $P_{от}$ – вероятность отказа обслуживания СМО; q – относительная пропускная способность; λ – интенсивность поступления заявок в СМО; μ – интенсивность обслуживания заявок СМО; m – длина очереди. Тогда

$$P_{от} = \frac{\rho^{m+1}(1-\rho)}{1-\rho^{m+2}}, \quad (4)$$

где $\rho = \lambda/\mu$; $q = 1 - P_{от}$.

Средняя длина очереди

$$r = \frac{\rho^2 [1 - \rho^m (m + 1 - m\rho)]}{(1 - \rho^{m+2})(1 - \rho)}. \quad (5)$$

Среднее время пребывания заявки в системе

$$t = \frac{r}{\lambda} + \frac{q}{\mu}. \quad (6)$$

С учетом того, что для принятия решения на пункт управления должно поступить m сообщений, полное время работы пункта управления будем характеризовать временем

$$T_{пу} = \frac{T_r}{q} + mt. \quad (7)$$

Большое значение для эффективной работы пункта управления имеет надежность используемых аппаратных средств. Введем показатель P_a – вероятность безотказной работы аппаратных средств пункта управления.

Так как пункты управления соединяются между собой каналами связи, возникает необходимость оценивать и их надежность. Для этого введем показатель $P_{кc}$ – вероятность исправного состояния канала связи. После всего сказанного, представим на рис. 2 схематично пункт управления.

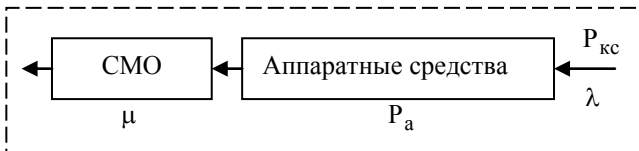


Рис. 2. Модель пункта управления

Оценим ситуацию, когда на работу пункта управления оказывается внешнее воздействие. В этом случае резко ухудшается работа канала связи и тем самым увеличивается время обработки поступающих сообщений. Можно считать, что для пункта управления характеристика канала связи $P_{кc}$ и время обработки сообщений становятся случайными. Природа данной случайности носит неопределенный характер. Применим стандартный подход и положим, что данная случайность имеет равномерный закон распределения. Тогда, получив методом жребия значение некоторой случайной величины ξ , представим характеристику канала связи как $P_{кc} = P_{кc} \cdot \xi$.

Время обработки поступивших сообщений характеризует работу СМО. При внешнем воздействии ухудшается качество поступающей информации. Поэтому, при рассмотрении данного процесса можно говорить об увеличении случайным образом интенсивности обслуживания поступающих сообщений в СМО. То есть, аналогично вышеприведенному, $\mu = \mu \cdot \xi$.

Представим систему управления в виде совокупности пунктов управления, соединенных между собой. Для определенности рассмотрим рис. 3. Суть работы системы управления будет заключаться в передаче сообщений от основного пункта управления самого верхнего уровня до основного пункта управления, обеспечивающего применение специальных средств.

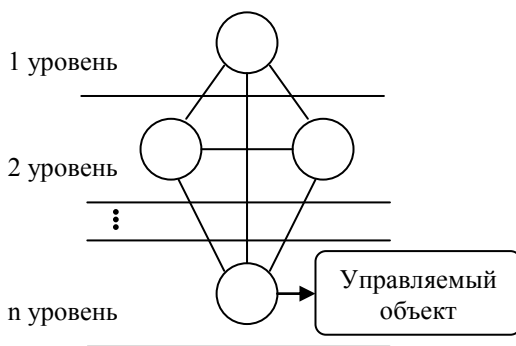


Рис. 3. Модель системы управления

При этом каждый пункт управления характеризуется приведенными показателями: $T_{пу}$ – полное время работы пункта управления; μ^* – интенсивность обработки поступивших сообщений от вышестоящего пункта управления; λ^* – интенсивность передачи сообщений на нижестоящий пункт управления; P_{ac} – вероятность безотказной работы аппаратных средств пункта управления; m^* – число переданных сообщений.

Представим характеристики пункта управления в виде кортежа $v = \{T_{пу}, \mu^*, \lambda^*, P_{ac}, m^*\}$.

Каждый канал передачи информации характеризуется показателем P_{kc} – вероятностью исправного состояния канала. Формально запишем функцию $P_{kc}(\Gamma)$ – характеризующую состояние каналов передачи ин-

формации для некоторой структуры Γ .

Определим $G = \{\Gamma\}$ как множество структур.

Введем функционал $u(G) = \{u(\Gamma)\}$, определяющий некоторое управление на заданном множестве G , суть которого заключается в выборе структуры из множества G .

Тогда, в общем виде критерий оценки эффективности выбора структуры системы управления может быть представлен в виде следующего правила: провести выбор такой структуры $u(\Gamma^*)$ из множества допустимых вариантов выбора G , который бы обеспечивал

$$P_d(u(\Gamma^*), V(\Gamma^*), P(\Gamma^*), x) \geq P_{тр}, \quad (8)$$

где x – воздействие внешней среды, при ограничении $T_d \leq T_{тр}$.

Выражение (8) в аналитическом виде представить практически невозможно. Для исследования процесса управления специальными средствами предлагается использовать метод имитационного моделирования.

В имитационном моделировании [6] предполагается, что систему можно описать в терминах, понятных вычислительной системе. Ключевым моментом при этом является выделение и описание состояний системы. Система характеризуется набором переменных, каждая комбинация значений которых описывает ее конкретное состояние. Следовательно, путем изменения значений переменных можно имитировать переход системы из одного состояния в другое. Таким образом, имитационное моделирование – это представление динамического поведения системы посредством продвижения ее от одного состояния к другому в соответствии с определенными операционными правилами.

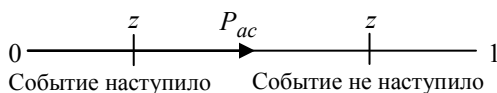


Рис. 4. Метод жребия

Остановимся на способе реализации перехода системы из одного состояния в другое. Такой переход происходит в результате наступления некоторого события. Для примера рассмотрим аппаратные средства пункта управления. Они описываются параметром P_{ac} – вероятностью нахождения в исправном состоянии. При анализе состояния пункта управления будем использовать метод жребия. Суть данного метода за-

ключается в том, что произвольным образом определяется значение случайной величины z , распределенной по равномерному закону на интервале от нуля до единицы (рис. 4). Если данная случайная величина не превосходит P_{ac} , то считаем, что наступило событие, заключающееся в нормальной обработке поступившего сообщения. В противном случае наступает событие, заключающееся в отказе аппаратных средств, при этом поступившее сообщение считается необработанным.

Выводы. Предлагаемая модель оценивания эффективности системы управления позволит обосновать структуру системы управления с учетом состояния каналов связи, оценить информационные возможности системы в целом с учетом основных характеристик пунктов управления. Данная модель может быть применима как для решения задачи синтеза на ранних этапах проектирования систем управления, так и для решения задач анализа при количественной оценке эффективности функционирования существующих систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кульгин М. *Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия.* – СПб: Питер, 2000. – 704 с.
2. Бертсекас Д., Галагер Р. *Сети передачи данных.* – М.: Мир, 1989. – 544 с.
3. Claffy K., Brau H.W *Application of sampling methodologies to network traffic characterization // In Proceedihgs of the ACM Sigcomm '93.* – San Francisco. – 1993. – P. 104 – 203.
4. Тихоненко О.М. *Модели массового обслуживания в системах обработки информации.* – Минск: Университетское, 1990. – 190 с.
5. Шелухин О.И., Лукьянцев Н.Ф. *Цифровая обработка и передача речи.* – М.: Радио и связь, 2000. – 456 с.
6. Бережная Е.В., Бережной В.И. *Математические методы моделирования экономических систем.* – М.: Финансы и статистика, 2002. – 366 с.

Поступила 6.01.2004

ГРИШКО Артур Витальевич, к.т.н., начальник научно-исследовательской лаборатории ВНЦ КД (при Харьковском военном университете). Область научных интересов – системы управления, обработка и передача информации.

БРЕЖНЕВ Евгений Витальевич, к.т.н., старший научный сотрудник ВНЦ КД (при Харьковском военном университете). Область научных интересов – разработка методов оценки эффективности функционирования сложных систем.

ЛОЕВСКИЙ Юрий Витальевич, научный сотрудник ВНЦ КД (при Харьковском военном университете). Область научных интересов – системы управления, обработка и передача информации.
