

УДК 004.5

*Юрий Петрович Недайбида*  
*Юлия Валентиновна Котова*  
*Максим Георгиевич Тищенко*

## СИСТЕМОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

### Постановка проблемы. Анализ последних исследований и публикаций

В [2] рассмотрены особенности процессов управления в системах военного назначения, обусловленные необходимостью выполнения целенаправленной совокупности операций сбора, обработки информации, принятия решений в лимитируемые сроки времени и доведения их до исполнительных элементов. Предложен эргапрофический (от терминов эрга (эргатика) и предсказание (Prophesy)) подход создания сложных информационно-управляющих систем (ИУС) реального времени, основанный на предсказании (экстраполяции) возможных ситуаций и дефиниций управления на всех этапах её разработки. Отмечено, что невыполнение или некачественное выполнение целевых задач ИУС может привести к большим экономическим потерям, катастрофическим последствиям военного и государственного значения [1, 2, 3].

### Формулирование цели статьи.

#### Изложение основного материала

Учитывая особую важность и трудоёмкость создания современных информационно-управляющих систем (ИУС), в статье предложено рассмотрение вопросов создания современных информационно-управляющих систем реального времени в целом, в тесной увязке основных системологических аспектов (экономических, технических и психологических), присущих сложным системам реального времени.

Тот факт, что при создании ИУС приходится анализировать много разноплановых факторов (технологического характера, психологического, математического, технического, допустимых ограничений по характеристикам, нечёткость формулировок по целям создания ИУС и др.) возникает проблема выбора и совершенствования методов и средств формализации задач на всех этапах разработки ИУС. Заметим, что любая ИУС реального времени является уникальной (имеет своё целевое назначение, функционирует в своём пространстве-времени, имеет свои технические особенности, психологические особенности человека-оператора и др.), которые трудно поддаются формализации.

Кроме того, все системы управления, необходимой составной частью которых, является

“человек”, либо непосредственно являются эргатическими, либо входят в состав более сложных эргатических систем [3]. На них также распространяется действие принципа гомеостазиса, заключающееся в том, что для нормального функционирования эргатических систем важны задачи функционального технического самосохранения.

Критическое состояние системы, при котором гомеостазис становится недостижимым, называется точкой бифуркации [7]. Оценка точки бифуркации является одной из важнейших составляющих проблемных задач ИУС. Она основывается на получении сигналов от рецепторов и датчиков о положении системы и оценки возможностей последующей корректировки этого положения.

Сам процесс выявления совокупности функциональных поведений поддерживающих гомеостазис системы образует замкнутую целенаправленную систему управления, включающую в себя, по крайней мере, три элемента (рис. 1):

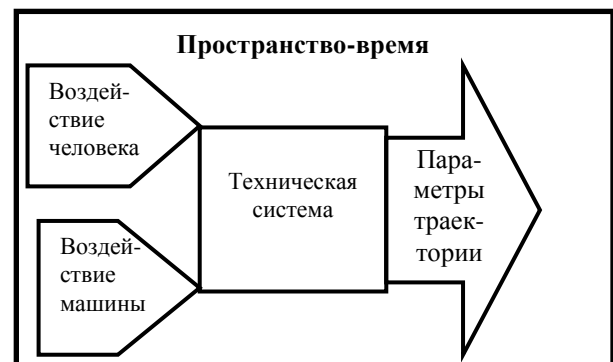


Рис. 1. Обобщённая схема дефиниций управления поддерживающих гомеостазис ИУС

человек;  
 объект действия (в нашем случае это ИУС);  
 техническая система (орудие действия, определяющее вид траектории системы в реальном пространстве-времени).

При этом должны решаться такие задачи:  
 анализ ситуаций при функционировании системы в реальном времени;  
 дефиниции управления системы в реальном

пространстве-времени;

анализ психических характеристик человека-оператора ИУС в реальном времени;

выявление психологических свойств человека-оператора на этапе проектирования ИУС;

дефиниции управления при решении системотехнических вопросов создания системы;

предвидение (предсказание, экстраполяция) местоположения системы;

прогнозирование вида управления, и др.

Рассмотрим более подробно основные понятия системологии, определяющие стратегию формализации задач ИУС.

Как известно [6 – 8], система это совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов (подсистем), образующих единое целое для достижения в процессе функционирования определённого (заданного) результата.

Система определяется заданием системных объектов. Системные объекты – это вход, выход, процесс, обратная связь и ограничения.

Входом называют то, что изменяется при протекании процесса. Функцией входа является возбуждение силы, обеспечивающей систему материалом, данными, поступающими в процесс. Вход может принимать одну или более следующих форм: результат предыдущего процесса, последовательно связанный с данным процессом; результат предыдущего процесса, хаотически связанный с данным; результат процесса системы, снова вводится в неё.

Выходом называют результат конечного состояния процесса. Выход может быть также определён как назначение, для достижения которого системные объекты, свойства и связи соединены вместе. Определение выхода, таким образом, совпадает с определением цели.

Процесс переводит вход в выход. Способность переводить данный вход в данный выход называется свойством этого процесса.

Связь определяет прохождение процессов, т.е. вход одного процесса является выходом другого. Выделить систему в реальном времени означает указать все процессы, приводящие к нужному выходу.

Обратная связь – это функция подсистемы – сравнить выход по критерию. Целью обратной связи является управление. Единственное назначение обратной связи – изменение происходящего процесса.

Функция ограничения системы состоит из двух частей – цели и связей, которые позволяют изменять процесс функционирования системы.

Общими элементами, составляющими управление, которые формируются с помощью обратной связи, являются:

перестройка объектов, свойств и связей существующей системы; преобразование выхода системы во вход, для регулирования выхода и критериев действия системы;

изучение и получение знаний, которые позволяют априорно различать существующие и желаемые состояния системы.

Заметим, что часто встречающийся термин «большая система» подчёркивает не только и не столько физические размеры систем, сколько

разнообразие компонентов, составляющих систему, функций, выполняемых каждым из компонентов, связей между компонентами и внешними условиями, влияющими на работу всех частей такой системы.

Характерные особенности сложных систем:

определённая целостность, единство системы, т.е. наличие в ней общей цели, общего назначения;

большие размеры и стоимость системы;

сложность поведения системы, т.е. при наличии взаимосвязей между переменными, переплетающихся и перекрывающихся, изменение одной переменной приводит к изменению многих других (проявляется также в сложных переплетениях обратной связи в системе);

нерегулярное во времени поступления внешних воздействий;

наличие соревнования конкурирующих сторон.

Кроме того, при анализе и синтезе систем возникают задачи выделения целостности системы (установления факта вхождения конкретного элемента для решения данной проблемы). Единственным показателем решения этих вопросов может быть только участие данного элемента в процессе, приводящем к получению результата.

Таким образом, для решения системных проблем необходимы методы, которые позволяли бы анализировать систему как единое целое, обеспечивали рассмотрение многих альтернатив, каждая из которых описывается большим числом переменных, помогали вносить измеримость различных вариантов, давали возможность отображать неопределённости.

Следует отметить, что единой, общей методологии разработки математических моделей, которая была бы справедлива для сложных систем произвольной природы, в настоящее время не существует. Это одна из проблем, которая касается общей теории систем. Однако, уточняя некоторые ограничения и допущения, можно получить математические соотношения, которые в определённой степени отражают общесистемные особенности сложных систем реального времени, таких как ИУС.

Рассмотрим один из возможных подходов [8] к решению этой проблемы, позволяющий учитывать как особенности структуры системы, так и процессы её функционирования (рис. 2).

Будем считать, что система состоит из некоторого множества  $N$  объектов (элементов)  $E_i$  (на рисунке – количество  $N$  объектов  $E_i$  равно шести), векторов входов  $X_i$  и выходов  $Y_i$ . Каждый выход любого элемента может быть соединён с входом любого элемента (в том числе собственным – «обратная связь») и со средой (воздействовать на среду). На каждый вход  $X_i$  любого элемента  $E_i$  также может воздействовать среда.

В результате соединения выходов с входами между элементами системы устанавливается взаимодействие, и формируются общесистемные свойства и закономерности её функционирования.

Понятие «объект» относится общему названию процессов, явлений, понятий и тому подобное, что касается предметных отраслей систем

управления. В концептуальных моделях объекты могут объединяться во множества, описываемые одним, общим для каждого типа, набором атрибутов. Экземпляры объектов как элементы определённого типа идентифицируются уникальным образом с помощью ключа типа объектов.

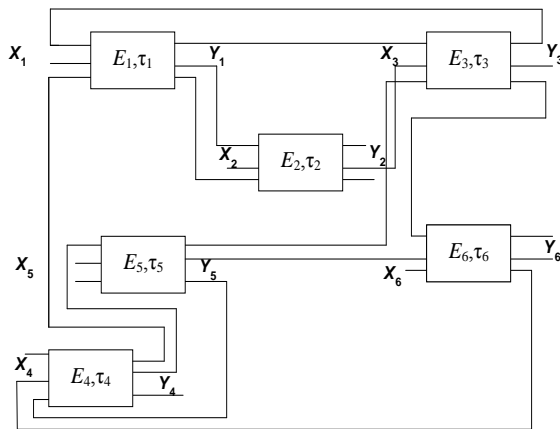


Рис. 2. Обобщённая структура сложной системы

Пусть общее количество элементов в системе равно  $N$ , количество входов и выходов для элемента  $E_i$  равно соответственно  $m_i$  и  $n_i$  и состояние входов и выходов можно представить числами. Если состояние входа и выхода элемента определяется только появлением сигнала, то их состояние можно пометить через 1 или 0. Если значения входов и выходов изменяются скачкообразно, то их можно пометить с помощью рациональных чисел, при непрерывных значениях – вещественными числами.

При этом сигналы на входах и выходах элементов системы возникают в случайные моменты времени и асинхронны между собой.

Зависимость выхода  $Y$  от входа  $X$  для элемента задаётся операторным уравнением

$$Y = T(X),$$

где  $T$  – оператор.

Общими элементами, составляющими управление, которые формируются с помощью обратной связи, являются:

Перестройка объектов, свойств и связей существующей системы; преобразование выхода системы во вход, для регулирования выхода и критериев действия системы;

изучение и получение знаний, которые позволяют априорно различать существующие и желаемые состояния системы.

Таким образом, рассмотренный подход позволяет в определённой мере учитывать общесистемные особенности сложных систем реального времени, таких как ИУС.

Основные проблемы состоят в выделении системных объектов, задании конкретного вида связей между ними, формализации функционального назначения системы с учётом многих разноплановых факторов (технологического характера, психологического, математического, технического, допустимых ограничений по характеристикам, нечёткости формулировок по целям создания ИУС) и др.

Эффективность системы можно оценивать сопоставлением результатов от её функционирования и затрат всех видов ресурсов, необходимых для её создания и развития.

Критерий эффективности (правило выбора лучшей системы) системы определяют на множестве показателей, каждый из которых описывает одну из сторон рассматриваемой системы. Критерий может быть выражен в виде целевой функции или порядковой меры, устанавливающей упорядоченную последовательность сочетаний показателей.

При определении результатов от функционирования системы задают универсальную систему обобщённых показателей, таких, как оперативность (своевременность), устойчивость, качество управления и др. Используемые показатели должны быть развёрнуты применительно к характеристикам конкретной системы (оперативность определяет вероятностно-временные характеристики процесса управления; устойчивость – показатели надёжности, помехозащищённости и т. п.).

К показателям затрат ресурсов относят материальные, людские, финансовые, временные и др.

Оценку эффективности проводят при формировании требований, предъявляемых к системе;

анализе создаваемых и функционирующих систем на соответствие заданным требованиям; выборе наилучшего варианта создания, функционирования и развития системы;

определении наиболее целесообразного варианта построения системы по показателю “эффективность – затраты”.

Целесообразные варианты построения систем выбираются путём балансирования показателей приращения эффективности  $\Delta$ , получаемой за счёт создания или совершенствования системы и затрат  $Q$ .

Не вдаваясь в сущность формализации оценки общей эффективности функционирования ИУС, отметим, что одна из сложнейших проблем заключается в разработке и совершенствовании методов оценки психофизиологических свойств “человека - оператора” для всех этапов создания и функционирования ИУС.

Человек-оператор хотя и является составной частью сложной системы, сам по себе обладает не меньшей, а в некоторой степени даже большей сложностью и имеет набор свойств (психические, психологические и др.), которые необходимо принимать во внимание и согласно их специфике прогнозировать результат и возможные последствия взаимодействия человека и технического устройства.

Отметим такие психические особенности человека как свойства и состояния. Среди психических свойств, определяющих важность работы человека-оператора, следует выделить темперамент и способности. Среди состояний можно выделить настроение, которое может характеризоваться приподнятостью, подавленностью, депрессией и проявляться в виде необоснованной тревожности или паники. Кроме

этого, может быть мысленное отвлечение на проблемы личного характера.

Кроме психических, человек обладает психофизиологическими особенностями. Наибольший риск в осуществлении управленческих функций представляют такие: нервное напряжение по причине конфликтов с кем-нибудь или из-за длительного пребывания в экстремальных условиях, требующих огромной выдержки и самообладания; состояние стресса, которое может проявляться в виде усталости, сонливости, раздражительности, импульсивности, отвлекаемости и в виде общей эмоциональной подавленности и как следствие конфликтности с окружающими.

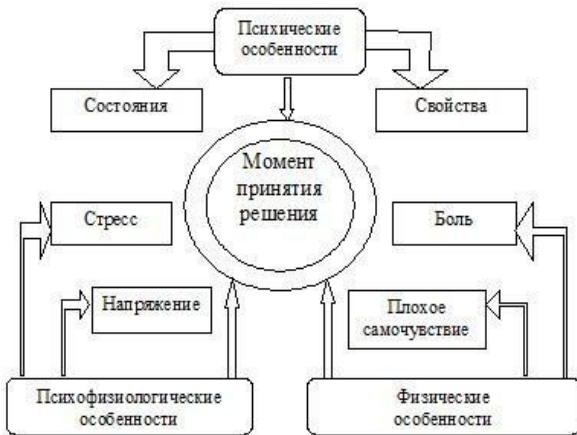


Рис. 3. Свойства человека-оператора, определяющие эффективность функционирования ИУС

К физическим особенностям, которые могут представлять собой помеху в управленческой деятельности следует отнести: внезапно резкую или тупую боль в каком-либо органе, в частности головную боль; к плохому самочувствию можно отнести: головокружение, тошноту, повышенное или пониженное давление; потеря сознания; внезапная потеря координации движений.

Кроме того, на работу человека-оператора может оказывать влияние присутствие посторонних лиц (непосредственного начальства, либо же другого человека-оператора, у которого тоже имеются свои непосредственные обязанности, он может быть санкционирован в самостоятельном принятии решений, обладать полномочиями в осуществлении управленческих действий).

Кроме психических, психофизиологических и физических особенностей человека-оператора в связи с развитием и массовым распространением информационных технологий, быстрым ростом объема информации, возникает проблема выбора и использования различных путей и способов принятия решений в процессе управления сложными системами. Сама специфика управления сложными информационными системами требуют оптимизации процесса принятия решений путём использования всех возможностей, которыми располагает человек-оператор. Целенаправленный, рациональный характер управленческой деятельности

предполагает применение процедур принятия решений, для которых присущи сознательный, рассудочный и ответственный способ осуществления. Развитие научно-технического прогресса, изменения в технологиях заставляют разрабатывать нетрадиционные подходы к решению традиционных задач, искать принципиально новые решения.

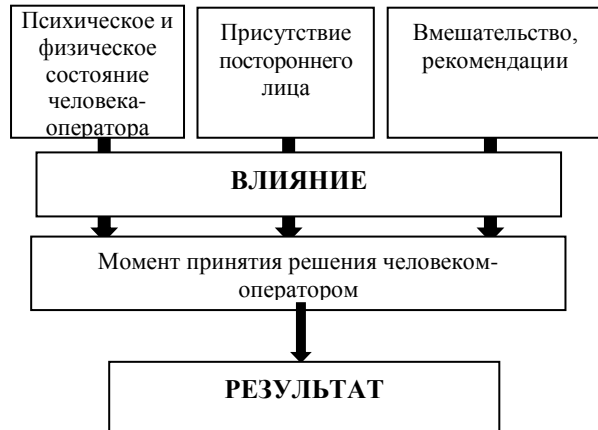


Рис. 4. Влияние особенностей человека-оператора на управление ИУС

В тех случаях, когда эффективность системы может быть выражена в денежном виде, можно оценивать экономическую эффективность системы.

Выбор наиболее экономически выгодного варианта проводится по оценке разности результатов функционирования системы и затратами за некоторый временной интервал. Начало расчётного интервала, в пределах которого необходимо учитывать затраты, можно принять время начала разработки системы. Конец расчётного интервала следует определять с учётом срока морального старения технических средств и проектных решений системы.

Интегральные экономические затраты создания системы можно учесть по формуле

$$\mathcal{E} = \sum_t^T (I_t + K_t - L_t) a_t,$$

где:  $T_t$  – длительность расчётного периода;

$I_t$  – текущие издержки (себестоимость), включая затраты на эксплуатацию системы в году  $t$ ;

$K_t$  – все виды единовременных затрат на создание системы в году  $t$ ;

$L_t$  – остаточная стоимость выбывающих в год  $t$  основных фондов (при невозможности их использования – их ликвидационная стоимость);

$a_t$  – коэффициент, используемый для приведения разновременных результатов и затрат к базисному году.

Общий экономический эффект при тождественности конечных результатов по сравниваемым вариантам определяется по формуле

$$\mathcal{E} = Z_1 - Z_2,$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  – общие интегральные затраты в производстве и потреблении по базовому и новому вариантам на весь объём работы соответственно.

При не тождественности сравниваемых вариантов, которые могут быть приведены к стоимостной форме, изменение этих результатов следует учитывать в расчётах общего экономического эффекта.

За базу сравнения при определении экономической эффективности системы при выборе наилучшего варианта можно принять технико-экономические показатели наиболее прогрессивных способов производства работ или по имеющимся проектам (в том числе с использованием зарубежной техники, которая может быть закуплена в необходимом количестве или произведена на основе лицензий или патентов).

Основным условиями определения экономической эффективности системы является сопоставимость показателей:

- по времени;
- по ценам и тарифным ставкам заработной платы;
- по элементам затрат;
- по объёмам производства;
- по методам исчисления стоимостных показателей и др.

Основные показатели экономической эффективности системы следующие:

- расчётный коэффициент эффективности капитальных затрат на разработку и внедрение системы;
- срок окупаемости капитальных затрат на разработку и внедрение системы и др.
- Единовременные затраты на разработку и внедрение ИУС, включают в себя:
  - затраты на разработку (предпроизводственные затраты);
  - капитальные затраты на приобретение (изготовление), транспортирование, монтаж и наладку вычислительной техники, периферийных устройств, средств связи, программных средств, вспомогательного оборудования, оргтехники, производственно-хозяйственного инвентаря;
  - затраты на строительство (реконструкцию) зданий, сооружений, необходимых для разработки и функционирования системы;
  - затраты на подготовку (переподготовку) кадров и др.

При этом основные проблемы состоят в количественном задании исходных значений показателей экономической оценки эффективности систем.

Рассмотрим один из подходов количественной оценки эффективности создания и воспроизводства сложных систем реального времени.

Пусть длительность расчётного интервала  $Tt = it$ , где  $t$  – величина постоянная (шаг управления, т. е. все виды затрат и доходы производятся через одинаковые промежутки времени),  $i = 1, 2, \dots$

Пусть на цели создания и развития системы выделено средств величиной  $D_0$ . Эту сумму надо разделить на две составляющие  $D_p$  – развития и  $D_\phi$  – функционирования в реальном времени. Имеется ввиду, что средства  $D_p$  надо использовать так, чтобы система в процессе функционирования приносила доход  $D_x$ . Если  $D_x \leq D_\phi$ , то система

никогда не окупится, потому что все средства будут уходить только на обеспечение функционирования системы в каждом цикле.

Таким образом при  $i = 0$  имеем  $D_0 = D_p + D_\phi$ . Нормируя соотношение  $D_0 = D_p + D_\phi$  на величину  $D_0$ , получим:

$$1 = (D_p/D_0 + D_\phi/D_0) = k_p + k_\phi,$$

где  $k_p = D_p/D_0$ ;  $k_\phi = D_\phi/D_0$ . Очевидно, при  $k_\phi = 1$  никакого развития и окупаемости системы быть не может, так как все средства  $D_0$  уходит на обеспечение функционирования системы в реальном времени (горючее, зарплата и т. д.). С другой стороны, при  $k_p = 1$  система не функционирует в реальном времени, не выполняет свои функциональные задачи и, следовательно, не может приносить доход. Пусть  $k_\phi < 1$  – некоторая постоянная величина. Тогда на развитие системы остаётся величина  $D_p = D_0 - k_\phi D_0$ . Для того чтобы средства, вложенные в развитие приносили доход, необходимо выполнение условия  $k_p > k_\phi$  на каждом шаге функционирования системы.

Отметим, что на каждом шаге функционирования системы идут вынужденные расходы  $k_\phi D_0$ . Однако, без этих расходов невозможны доходы. Чтобы сделать очередной шаг необходимо иметь средства  $k_p D_0 \geq k_\phi D_0$ .

В соответствии с рассмотренным подходом в статье приведено соотношение

$$D_p(i) = [i(i+1)(1/2)]k_p D_0,$$

которое можно использовать при необходимости и возможности изменять значения достигнутых параметров в конце расчётного периода, изменять коэффициенты  $k_p$  и  $k_\phi$ , прогнозировать их значения в процессе функционирования системы.

Учитывая случайный характер изменчивости денежной единицы и условий функционирования системы, рассмотренный подход, применяя статистические методы обработки информации, может использоваться для прогнозирования и оценки экономической эффективности сложных ИУС реального времени.

Замечания:

1. Для выполнения условий развития, необходимо выделять больше половины всех средств на исходном этапе задания системы для обеспечения её развития в реальном времени.

2. Предложенный подход позволяет оценивать период окупаемости денежных ресурсов и вносить необходимые изменения в процессе создания систем.

3. Учитывая случайный характер изменчивости денежной единицы и условий функционирования, предложенный подход можно использовать для прогнозирования и оценки экономической эффективности сложных ИУС реального времени.

Большим недостатком экономической оценки эффективности системы является неустойчивость денежной единицы. Лишь немногие, помимо экономистов, представляют себе в полной мере последствия изменчивости денежной единицы. Эти последствия и связанная с ними путаница и убытки могут быть поистине катастрофичны.

Таким образом, основные системологические проблемы создания ИУС возникают при формулировке:

множества функциональных задач, качество

выполнение которых определяются качеством работы оператора и возможность катастрофы системы;

множества условий функционирования, определяющих качество выполнения функциональных задач ИУС;

перечня психических свойств оператора, определяющих качество его работы, формализацию действий принятия решений и оценку возможности приведения системы к катастрофе.

### Выводы

1. Определяющим аспектом создания современных информационно-управляющих систем является оценка эффективности решений необходимости и возможности создания таких систем на всех этапах их разработки и прогнозируемых условий функционирования. Нарушение системологических принципов создания ИУС может привести к серьёзным

экономическим потерям, катастрофическим последствиям военного и государственного значения.

2. Определяющим принципом системологического подхода должно быть формулировка совокупности проблем создания ИУС и задание иерархии их решения в реальном времени.

3. Одна из сложнейших проблем оценок эффективности создания ИУС заключается в разработке и совершенствовании методов оценки психофизиологического состояния “человека - оператора” для всех этапов создания и функционирования ИУС.

4. Экономическую эффективность системы можно оценивать сопоставлением результатов от её функционирования и затрат всех видов ресурсов, необходимых для её создания и развития.

### Литература

**1. Забродин Ю.М.** Основные направления исследований деятельности человека – оператора в особых и экстремальных условиях / Ю.М. Забродин, В.Г. Зазыкин // Психологические проблемы деятельности в особых условиях. Под ред. Б. Ф. Ломова и Ю. М. Забродина. М.: Наука, 1985. С. 5-16. **2. Недайдба Ю.П.** Выбор оптимального управления в сложных информационно-управляющих системах военного назначения / Ю.П. Недайдба, Ю.И. Хлапонін, Ю.В. Котова // Научно-практический журнал “Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони”. Вип. № 1 (13), 2012, С. 44-48. **3. Павлов В.В.** Начала теории эргатических

систем. – Киев. Наукова думка. 1975, – 240 с. **4. Сергеев С.Ф.** Инженерная психология и эргономика: Учебное пособие. М.: НИИ школьных технологий, 2008. 176 с. **5. Эффективность** автоматизированных систем управления. ГОСТ 24.702-85. **6. Холл А.Д.** Опыт методологии для системотехники. Под ред. Г. Н. Поварова. М.: «Советское радио», 1975. – 448 с. с ил. **7. Неймарк Ю.И.,** Коган Н.Я., Соловьёв В.П. Динамические модели теории управления. – М.: “Наука”, 1985. – 399 с. **8. Дружинин В.В.,** Конторов Д.С. Системотехника. –М: Рдио и связь, 1985–200с.

В статті розглянуті проблеми створення складних інформаційно-управляючих систем реального часу з урахуванням психічних особливостей людини як суб'єкту управління. Наданий в статті підхід дає можливість ситуаційної оцінки виникнення конфліктів та біфуркацій в складних інформаційно-управляючих системах, чіткого розподілення функцій управління, дій і прийняття рішень між оператором і технічними пристроями в реальному часі.

*Ключові слова:* інформаційно-управляючі системи (ИУС), економічна ефективність, відтворення, ергопрофіка, людино-машинна система.

The article deals with the problems of creation of complex information and control real time systems with consideration of the psychological features of man as subject of management. The approach which was noted in the article gives a possibility for situational assessment of conflicts and bifurcations in complex information and control systems, clearly define management functions, actions and decision-making between an operator and technical devices in real time.

*Key words:* Information and Control Systems (ICS), economic efficiency, reproduction, erhoprofika, man-machine system.