

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ В КРУПНОМАСШТАБНЫХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ЭРГАСИСТЕМАХ

Ловцов Д. А.¹

Ключевые слова: алгоритмизация, иерархическая эргасистема, информационно-математическое обеспечение, разработка, функциональная подсистема, методологическая диаграмма, методика, структуры, методы, модели (математические, логико-лингвистические, информационные), алгоритмы, программы.

Аннотация.

Цель работы: совершенствование научно-методической базы теории правовой информатики.

Методы: системный анализ и концептуально-логическое моделирование рациональной организации разработки информационно-математического обеспечения (ИМО) крупномасштабной иерархической эргасистемы.

Результаты: определено содержание методологических этапов логической последовательности разработки ИМО (с заданными требованиями) функциональных подсистем крупномасштабных иерархических эргасистем; предложены методологическая диаграмма алгоритмизации и методика, упорядочивающие мероприятия по анализу реальных подсистем и процессов переработки контрольно-измерительной информации; по разработке методов, моделей и алгоритмов оптимизации и реализации их на средствах автоматизированных имитационных моделирующих комплексов.

Полученные результаты являются базовыми для создания соответствующего эффективного информационно-математического обеспечения крупномасштабных эргасистем типа интегрированных АСУ объектами ракетно-космической техники, ГАС «Правосудие», ГАС «Выборы» и др.

DOI: 10.21681/1994-1404-2022-1-04-14

Введение

Разработка информационно-математического обеспечения (ИМО) функциональных подсистем (информационных узлов) эргасистемы [4, 6, 13, 18] представляет собой комплекс мероприятий по анализу реальных подсистем и процессов, происходящих в них и в управляемых (отрабатываемых) сложных динамических объектах (СДО), выработке требований к ИМО, разработке соответствующих методов, моделей и алгоритмов и реализации их на средствах автоматизированных имитационных моделирующих комплексов (АИМК) на базе ЭВМ, включая отладку, испытания и эксплуатацию [5, 15]. Иначе говоря, разработка ИМО представляет собой процесс алгоритмизации в широком смысле.

Логическая последовательность разработки ИМО

В настоящей работе за основу принято представление процесса алгоритмизации в эргасистеме в виде ряда функционально взаимосвязанных методоло-

гических этапов, наиболее характерные из которых перечислены в их логической последовательности [5] (рис. 1):

Шаг 1. Анализ и обоснование требований к ИМО, включая:

- анализ и содержательное описание топологической и организационной структуры (формы) функциональной подсистемы (ФПС) или информационного узла как материального объекта реальной эргасистемы с оценкой возможности их технической реализации;
- анализ особенностей и содержательное описание процесса функционирования (содержания) ФПС эргасистемы с учётом факторов неопределённости и требований к результатам реализации её задач, а также анализ информационных потоков на её входе;
- выработка и обоснование общих организационно-технических требований к ИМО.

Шаг 2. Определение технологии ИМО, включая:

- определение технологической последовательности формальных и неформальных шагов (этапов) процесса функционирования ФПС и декомпозиция его ИМО;

¹ Ловцов Дмитрий Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заместитель по научной работе директора Института точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева Российской академии наук, заведующий кафедрой информационного права, информатики и математики Российского государственного университета правосудия, г. Москва, Российская Федерация.

E-mail: dal-1206@mail.ru

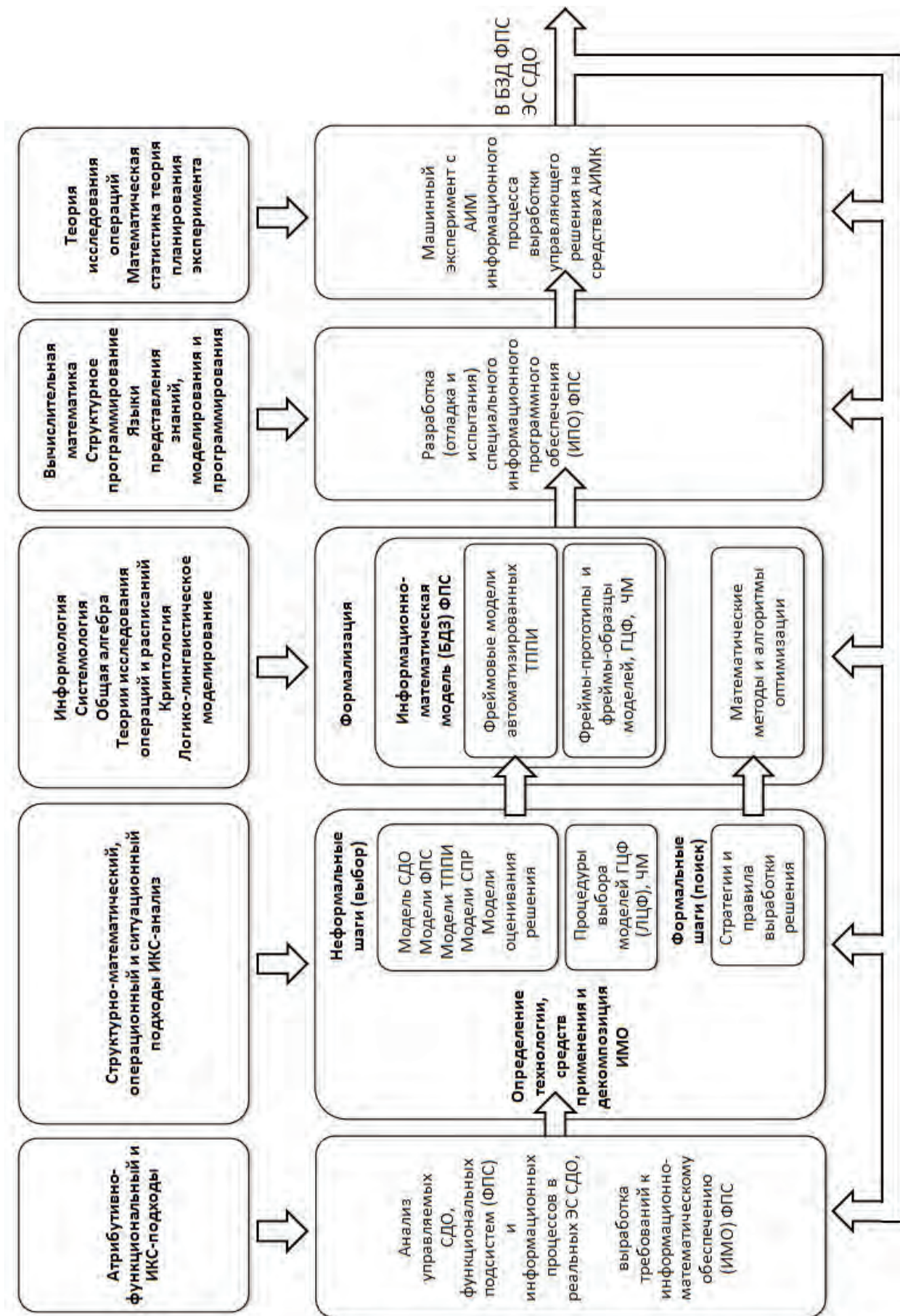


Рис. 1. Методологическая диаграмма алгоритмизации в эргасистеме

- разработка технологического процесса решения задач ФПС, включая выбор моделей *технологических процессов переработки информации* (ТППИ) и ФПС.

Шаг 3. Формализация процесса выработки решений, включая:

- построение специальной математической (алгоритмической) модели проблемной ситуации [8] принятия рациональных организационно-технических решений [7] по управлению процессом функционирования ФПС, в максимально полной степени отражающей полученное на первом этапе содержательное описание;
- выбор семейства показателей (целевых функций) качества оптимизации [10, 18];
- разработка логико-лингвистической (фреймовой или др. [6]) модели диалогового человеко-машинного процесса оперативной постановки задач ФПС, обеспечивающей оперативный выбор главной целевой функции (ГЦФ) и рационального *численного метода* (ЧМ) оптимизации процесса функционирования ФПС;
- разработка алгоритмов (основных типов алгоритмов) оптимизации процесса функционирования ФПС эргасистемы на основе данных моделей, а также имеющихся и модифицированных математических (численных) методов оптимизации, приемлемых по *оперативности* и *точности* решения, с учётом возможностей, предоставляемых техническими средствами и языками программирования, моделирования и представления знаний.

Шаг 4. Программирование на комплексе средств автоматизации (КСА) или ЭВМ, включая:

- выбор виртуальной структуры АИМК на базе ЭВМ² [5], его общесистемного и общемашинного программного обеспечения, соответствующих сервисных программ для модели процесса функционирования ФПС;
- разработка элементов (программных комплексов и компонентов) соответствующего специального *информационно-программного обеспечения* (ИПО) ФПС эргасистемы; отладка элементов ИПО (ИМО) на средствах АИМК.

Шаг 5. Имитационное моделирование, включая:

- экспериментальные исследования на *автоматизированной имитационной модели* (АИМ) процесса функционирования ФПС, т. е. испытания ИПО в ходе имитационного эксперимента на средствах АИМК с целью оценки эффективности разработанных методов и алгоритмов;
- сравнительный анализ и выбор рациональных алгоритмов;

- включение программы, реализующей выбранный рациональный алгоритм, в состав программного обеспечения ФПС эргасистемы.

Содержание методологических этапов разработки ИМО

На **первом** этапе (см. рис. 1) в результате комплексного «ИКС»-анализа («информационно-кибернетически-синергетического») (рис. 2) [7, 11] определяются специфические особенности организации и функционирования реальных эргасистем, которые затем формализуются в виде информационных и структурно-функциональных *ограничений* задач оптимизации планирования ТППИ в ФПС.

При этом эргасистему как целенаправленную интегрированную большую иерархическую систему невозможно представить одной моделью; необходима целая иерархия моделей³, различающихся по:

- уровням отображаемых явлений (от уровня отдельных элементов переработки информации до уровня всей системы);
- аспектам исследуемых явлений (*вещественно-энергетический*, информационный, экономический).

Вещественно-энергетический анализ охватывает различные виды вещественных и энергетических связей в эргасистеме (ФПС, узле, КСА, СДО), а также законы и формы преобразования энергии и вещества в процессе её функционирования. Этот аспект непосредственно касается ТППИ в эргасистеме и связанных с ними явлений.

Информационный анализ соответствует рассмотрению эргасистемы с точки зрения ТППИ и функционирования её БДЗ, адекватно отражающих специфические особенности управления [17, 19] и, в частности, функционирования эргасистемы в различных условиях обстановки.

Экономический анализ эргасистем включает вопросы экономической эффективности их функционирования и развития⁴ [14].

Для эргасистем свойственны два основных организующих процесса, протекающих одновременно: *развитие* (включая деградацию) и *функционирование*. Под *функционированием* понимается⁵ решение в эргасистеме определенного количества взаимосвязанных задач и достижение определённых взаимосвязанных целей. При этом *адаптация* эргасистемы, т. е. изменение её свойств, состава и структуры для оптимизации её функционирования, возможна в относительно короткий срок, но только в пределах заданных количеств элементов $< N >$ и связей $< C >$. Развитие системы идёт в

² Автоматизированный имитационно-моделирующий комплекс управления сложными динамическими объектами / Под ред. Д.А. Ловцова. М.: ВА им. Петра Великого, 1994. 188 с.

³ Успенский В.А. Теорема Гёделя о неполноте. М.: Наука, 1982. 110 с.

⁴ Моргенштерн О. О точности экономико-статистических наблюдений. М.: Статистика, 1968. 293 с.

⁵ Горский Ю.М. Информационные аспекты управления и моделирования. М.: Наука, 1978. 224 с.; Системно-информационный анализ процессов управления. М.: Наука, 1988. 328 с.



Рис. 2. Концептуальный вариант комплексного «ИКС»-подхода к исследованию эргасистем

значительной степени за счёт численного увеличения N , C (в рамках одной технологии развития до качественного скачка и перехода на новую технологию). И адаптация эргасистемы с точки зрения решения задач развития осуществляется на несколько порядков медленнее, чем при функционировании. Кроме того, цели функционирования можно формализовать, а цели развития, как правило, оказываются субъективными и не полностью определёнными.

Если ограничиться задачами функционирования эргасистемы, то в общем случае её можно представлять совокупностью иерархий⁶ (рис. 3) [5]:

- ТППИ и целей (Ц) реализации ТППИ;
- процессов снабжения ТППИ энергией (ПСЭ) и веществом (ПСТВ), целей функционирования подсистем снабжения энергией и веществом;
- элементов (узлов) управления (ЭУ) ТППИ, снабжением энергией и веществом и их целей;
- управляющих функций внутри элементов управления.

Субъективные иерархии целей функционирования ТППИ, снабжения энергией и веществом определяют основные требования к функционированию эргасистемы и её основных подсистем и порождают иерархии целей ЭУ, которые отражают требования ТППИ или подсистем снабжения на уровне ЭУ. Чем сложнее процесс функционирования ТППИ, тем больше требований необходимо отразить на уровень ЭУ, тем выше степень

их размытости (субъективности) и тем труднее обеспечить их выполнение.

Для отражения качества работы эргасистемы во всей совокупности отношений между её целями и подцелями и коррекции всех иерархий по уменьшению степени недостижения целей в эргасистеме можно построить сопряженные иерархии качества (K), которые будут характеризовать различия между заданными целями и реальным функционированием эргасистемы. Эти иерархии, как правило, существуют в неявном виде у разработчиков и персонала реальных эргасистем. Последнее определяет их ещё более высокую субъективность и необходимость разработки специальной единой методики определения степени недостижения целей эргасистемы.

На данном этапе на основе «ИКС»-подхода в составе эргасистемы выделяется и декомпозируется ФПС (узел, совокупность узлов) эргасистемы (определяется её информационно-распределительная структура). В частности, в качестве основных компонентов двухэтапной (что характерно для практики) архитектуры автоматизированной подсистемы централизованной координации и планирования (АПКП) P_5^{ij} ТППИ [8] в эргасистеме (рис. 4) можно выделить такие, как⁷:

топологическая структура, представленная тремя подсетями: связи, осуществляющей передачу контрольно-измерительной информации (КИИ) на базе совокупности сетевых (связных) процессоров, функци-

⁶ Там же.

⁷ Ловцов Д.А., Семеряко И.И. Имитационное моделирование разработки решений в АСУ. М.: ВА им. Петра Великого, 1989. 235 с.

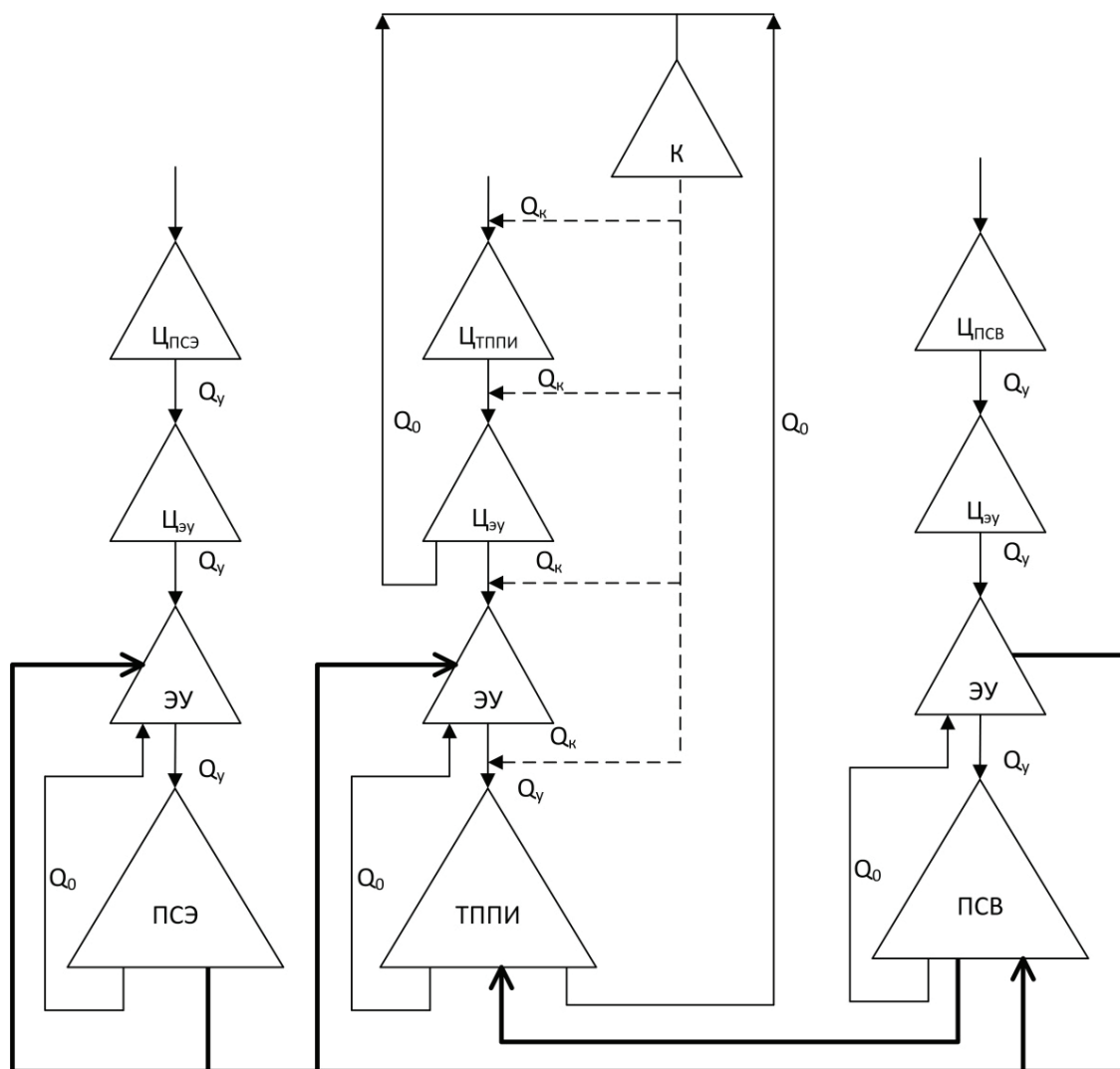


Рис. 3. Совокупность иерархий, определяющих функционирование эргасистемы

онирующих по принципу «запомнить и передать»; сети КСА и людей-операторов на базе совокупности терминальных средств автоматизации;

информационно-математическое (информационно-программное) обеспечение, содержащее математические методы, модели, алгоритмы и программы, предназначенные для выполнения функций *ситуационного планирования и координации* (СПК) ТППИ, включающих оперативную формулировку задач ресурсного распределения, упорядочения задач переработки информации (ЗПИ) во времени, разбиения ЗПИ по эшелонам иерархии, координации решений-расписаний периферийных элементов эргасистемы;

организационная структура, определяющая принадлежность (зависимость, подчиненность) элементов АПКП и влияющая на её топологию и распределение функций организации связи между элементами и коммуникационной частью АПКП.

АПКП содержит (см. рис. 4): подсистемы P_5^{ij} , $i = 1, 2$; $j = 1, 4$ централизованной координации и *организационного управления* [17] обоих эшелонов иерархии крупномасштабной эргасистемы; часть под-

системы P_6 информационного обмена, определяемую связями подсистем P_5^{ij} обоих эшелонов с другими подсистемами $P_1 - P_4$ и между собой; включенное в информационную базу эргасистемы информационно-математическое обеспечение процессов планирования ТППИ [5].

На основе анализа содержательного описания реальных технологических процессов переработки КИИ^{8, 9, 10} и требований к результатам их реализации, а также с учётом особенностей и ограничений процессов функционирования ФПС вырабатываются *системные требования* к ИМО функциональных подсистем эргасистемы, к числу которых можно, в частности, отнести:

⁸ Князев В.В., Ловцов Д.А. Ситуационное планирование защищённой переработки информации в АСУ испытаниями сложных динамических объектов // Автоматика и телемеханика. 1998. № 9. С. 166—181.

⁹ Ловцов Д.А. Ситуационное планирование процесса переработки измерительной информации в сети АСУ // Изв. РАН. Теория и системы управления. 1995. № 5. С. 239—247.

¹⁰ Ловцов Д.А. Планирование и прогнозирование процессов обмена привилегированной информацией в сети АСУ // Зарубежная радиоэлектроника. 1996. № 1. С. 7—63.

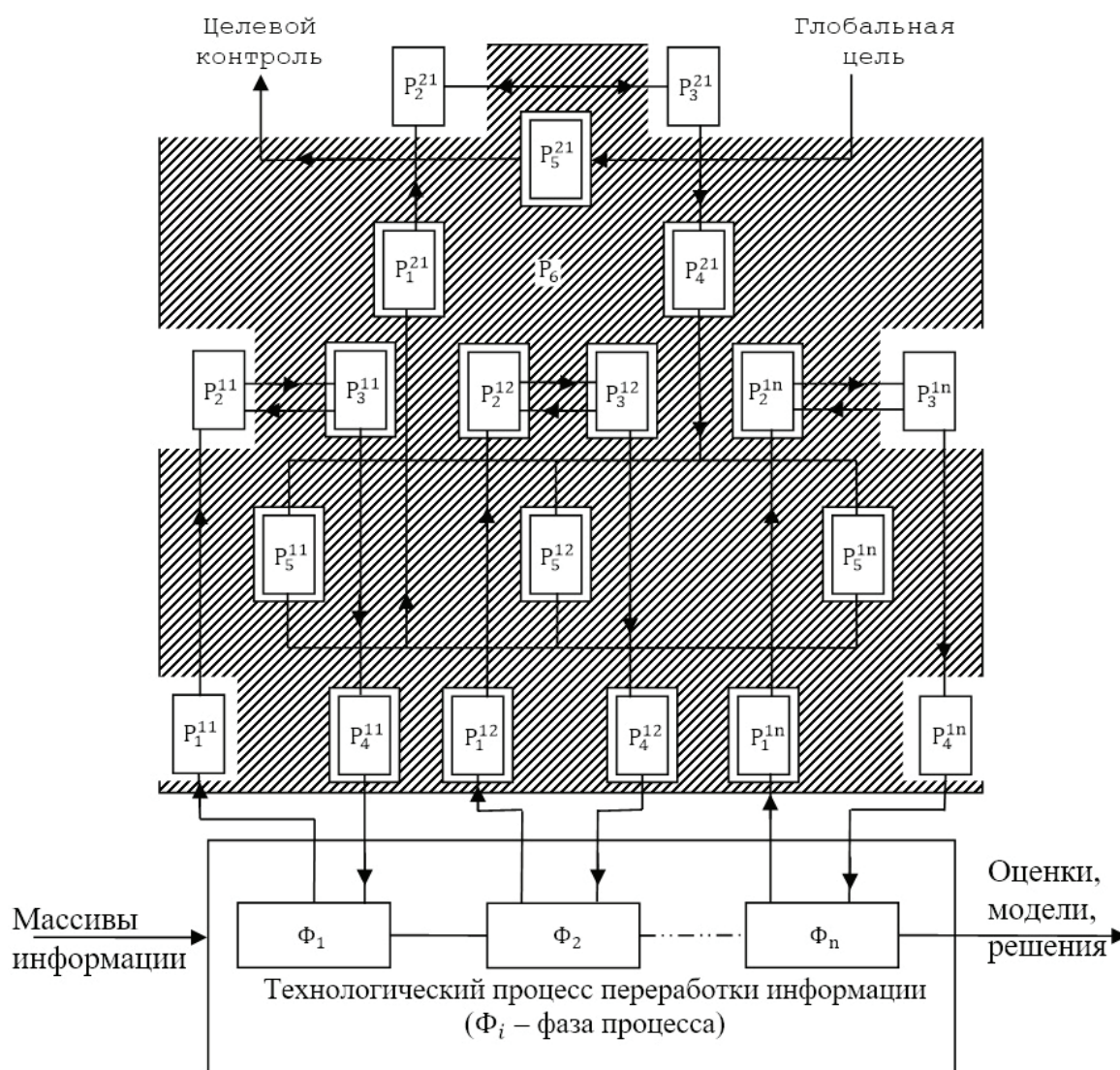


Рис. 4. Функциональная структура двухэшелонной иерархической эргасистемы

- оперативность алгоритмов математической формулировки задач ФПС и конкретных алгоритмов оптимизации их функционирования;
- объединение формальных и неформальных шагов (этапов) процессов выработки рациональных управляющих решений;
- многоуровневость (многоэшелонность) методологических моделей (математических и информационных) и алгоритмов функционирования ФПС эргасистемы;
- эффективное использование имеющихся интеллектуальных (операторских) и машинных ресурсов при решении целевых и функциональных задач эргасистемы;
- инвариантность алгоритмов рационального функционирования подсистем эргасистемы к классу сложного объекта обработки и управления;
- обеспечение постоянного развития и совершенствования ИМО.

Требования к *оперативности* (часто директивные) алгоритмов функционирования подсистем обуслов-

лены стремлением к решению их задач в реальном масштабе времени функционирования эргасистемы с целью обеспечения возможности *своевременного* автоматизированного управления СДО и сокращения времени переработки КИИ.

Объединение формальных и неформальных этапов процессов планирования требуется для обеспечения решения целевых и функциональных задач ФПС на основе *диалоговых* человеко-машинных режимов, позволяющих подключать опыт и знания лица, принимающего решения (ЛПР), в необходимые моменты процесса выработки рационального решения. Выполнение этого требования предполагает четкое определение входных параметров алгоритмов функционирования, форматов ввода данных, содержания результирующей информации; учёт особенностей терминальных дисплеев в подготовке ситуационных исходных данных и представлении результатов, так как формирование исходных данных и интерпретация результатов выполняются людьми-операторами. Кроме того, выполнение данного требования способ-

но повысить оперативность решения задач ФПС в случае привлечения к процессу принятия решений высококвалифицированных специалистов (экспертов).

Многоуровневость методологических моделей и алгоритмов функционирования ФПС эргасистемы призвана уменьшить влияние факторов неопределённости за счёт разнесения решения задач в пространстве и во времени и обусловлена спецификой организационно-функциональной структуры эргасистемы. Кроме того, выполнение данного требования позволит обеспечить сокращение количества подлежащих распределению ЗПИ (на каждом уровне), что создаст предпосылки для повышения оперативности.

Непосредственное влияние на оперативность оказывает эффективное использование имеющихся интеллектуальных и машинных ресурсов (людей-операторов, ЛПР, экспертов; оперативной и внешней памяти, пропускной способности человека-машинных интерфейсов, общего количества выполняемых команд на одну итерацию и др.) при решении задач ФПС. Выполнение этого требования также необходимо для обеспечения машинной реализуемости алгоритмов решения соответствующих задач.

Последние два требования обусловлены разнообразием одновременно обрабатываемых (управляемых) СДО, расширением их типажа и модификаций¹¹; постоянным возрастанием требований к основным организационно-техническим характеристикам эргасистем. Принцип *постоянного развития и совершенствования* предполагает наличие определённой структуры ИМО, позволяющей вносить изменения для устранения обнаруженных при эксплуатации ИМО дефектов, для добавления новых возможностей (модификации) или приспособления ИМО к работе на КСА (ЭВМ) иного типа (конфигурации), чем тот, для которого оно разработано.

Современные средства автоматизации (специальные ЭВМ, кластеры, ПЭВМ и др.), внедряемые в реальные эргасистемы, позволяют реализовать сформулированные требования к ИМО [2, 13].

На **втором** этапе (см. рис. 1) на основе методов «ИКС»-анализа определяется внутренняя организация процесса функционирования ФПС и его модельно-алгоритмических средств, обеспечивающая реализацию выработанных на первом этапе требований к ИМО, включая требование объединить формальные и неформальные этапы (шаги) решения задач ФПС в единый технологический процесс.

В частности, к числу основных технологических шагов процесса СПК ТППИ следует отнести (подробно рассмотрены в [8, 9]):

- выбор (формирование) модели технологического процесса переработки КИИ, соответствующей классу СДО;

- выбор (формирование) модели АПКП эргасистемы, соответствующей сложившейся ситуации, характеризующей состояние средств автоматизации и ресурсов эргасистемы;
- выбор (формирование) математической модели ситуации принятия рациональных решений-расписаний выполнения ЗПИ W_0^* центральными и $W_x^*, x = \overline{1, n}$ периферийными элементами (ЦЭ, ПЭ) эргасистемы;
- задание локальных $F_x[W_x(W_0), \omega_x], x = \overline{1, n}$ и построение главной $\min F_0[W_0(W_x), \omega_0]$ целевых функций (ЛЦФ, ГЦФ) планирования ТППИ в условиях деструктивных воздействий ω_0, ω_x ;
- выбор численного метода (ЧМ) поиска:
$$W_x^* = \text{Arg min } F_x[W_x(W_0), \omega_x], \quad x = \overline{1, n},$$
$$W_0^* = \text{Arg min } F_0[W_0(W_x), \omega_0]$$
- (можно объединить с предыдущим шагом);
- поиск $W_x^*, x = \overline{1, n}; W_0^*;$

- оценка (проверка) результатов СПК ТППИ.

На **третьем** этапе (см. рис. 1) осуществляется переход от содержательного описания задачи к соответствующим *логико-лингвистическому* (фреймовому и др.) и *математическому* представлениям и последующей реализации на средствах АИМК (ЭВМ). На практике данный этап часто осуществляется неудовлетворительно¹² [5], так как используются примитивные идеализированные модели, в недостаточной мере учитывающие реальные ограничения и требования к качеству задач и др. Для устранения этих недостатков применяются методы системного анализа [1, 5, 12] в сочетании с современными численными алгоритмами оптимизации на основе методологии *структурно-математического подхода*¹³ [8].

Основным понятием структурно-математического подхода является понятие *рода математической структуры* (РМС), который определяется введением базисных множеств и набора отношений, строящихся на так называемых ступенях шкалы множеств [8] и удовлетворяющих определённым аксиомам. Ступени шкалы множеств образуются из базисных множеств с помощью операций взятия декартовых произведений или булеанов. Путём наделения базисных множеств определёнными конкретными математическими свойствами осуществляется переход к *конкретным математическим структурам* (КМС). Если же базисные множества и отношения получают реальную интерпретацию, позволяющую считать данную КМС отражением реальной эргасистемы (ФПС, КСА) или процессов в последней, то эта КМС представляет собой *структуру математической модели* (СММ) реальной эргасистемы.

Методологическая схема «РМС $\Rightarrow$ КМС $\Rightarrow$ СММ» позволяет выявить связи между конструкциями математики, использующими определённый уровень

¹¹ Сухорученков Б.И. Математические модели и методы анализа характеристик летательных аппаратов. М. : ВА им. Петра Великого, 1989. 340 с.

¹² Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М. : Наука, 1978. 399 с.

¹³ Бурбаки Н. Теория множеств. М. : Мир, 1965. 455 с.

абстракции, и математическими моделями реальных систем¹⁴. Последние могут носить как *формальный* (числовой), так и (что очень важно для системных приложений) *неформальный* (нечисловой) характер, что позволит обеспечить тесное взаимодействие математики и смежных отраслей, таких как теория систем, кибернетика, теория принятия решений. Системно-кибернетические представления (понятия) при этом оказываются связанными с такими основополагающими математическими понятиями, как *отображение, математическая структура, эквивалентность, упорядочение, связность, композиция и декомпозиция, морфизмы* и др. (опираются на концепции современной математики, её определенную архитектуру), обеспечивая необходимый уровень их математизации.

Крупномасштабные эргасистемы являются иерархическими и, следовательно, изучение ТППИ в них с использованием информационно-математических методов неизбежно приводит к исследованию соответствующих *математических структур* принятия (выбора) решений.

Разработка логических средств переработки *качественной* информации (представленной в лингвистической форме), называемых предметными *логико-лингвистическими моделями*¹⁵ (ЛЛМ), осуществляется, в частности, на базе языков представления знаний реляционного и предикатного типов¹⁶, т. е. ЛЛМ строятся на базе реляционного исчисления или исчисления предикатов, соответственно. Причем более гибкими средствами описания реальных динамических квазистохастических процессов (какими являются, в частности, процессы ситуационного планирования и контроля в эргасистеме) оперируют методы одного из видов реляционного исчисления — исчисления высказываний, в то время как модели, представляющие собой системы аксиом (предложений) языка исчисления предикатов, статичны, громоздки, замкнуты и поэтому недостаточны для моделирования указанных процессов, протекающих в реальном времени и открытых для изменений, а работа с ними сопряжена со значительными трудностями.

К основным средствам *исчисления высказываний* (видам реляционных описаний) относятся *фреймовые представления, семантические сети* (частными случаями являются синтагматические цепи и *RX-коды*), универсальный семантический код. Первые наиболее приемлемы для описания диалоговых процедур ситуационного управления (планирования, контроля и др.), поскольку *фрейм* представляет собой модульную структуру данных со всей совокупностью включенных в неё процедур для распознавания стереотипных ситу-

аций¹⁷ [5]; язык фреймовых представлений относится к открытой системе, в которую можно добавлять новые компоненты, для соединения фреймов (знаний) используется естественный язык.

Фреймы представляют собой локальные многоуровневые семантические сети (графы, деревья, списки и др.) и являются синтаксически-семантическими единицами (массивами) информации. В общем случае фрейм содержит *декларативные* и *процедурные* элементы, обеспечивающие преобразование информации внутри него и связь его с другими фреймами. Причем как в процедурной, так и в декларативной части (хотя это деление условное, ибо информация может храниться в виде программ [3, 5, 16]) имеются незаполненные участки, пустоты, называемые *слотами* (от англ. *slot* — щель). Слоты могут заполняться в процессе активизации функционирования фрейма в соответствии с определёнными условиями или предписаниями, которыми они сопровождаются. Это придает фрейму свойство адаптивности, настраиваемости как на модульном, «атомарном» уровне (слотов), так и на уровне всей сети фреймов.

Предложение. Любая фреймовая ЛЛМ сложного реального процесса должна строиться в виде достаточной совокупности определённым образом сформированных фрейма-прототипа (настраиваемого) и множества терминальных фреймов данных (готовых), представляющих собой описание (например, на языках KRL, FRL, GUS, OWL теории искусственного интеллекта [5, 9]) стереотипных ситуаций (случаев).

То есть фрейм-прототип представляет не одну конкретную ситуацию, а стереотипную, т. е. обобщающую наиболее характерные, принадлежащие одному классу. Систему таких фреймов можно использовать при хранении в информационной базе эргасистемы обобщённой информации, характеризующей процесс её функционирования, и при его реализации.

Четвертый этап (см. рис. 1) разработки ИМО заключается в переводе теоретических (математических, информационных, логико-лингвистических и др.) моделей и алгоритмов функционирования ФПС на языки программирования, моделирования и представления знаний [3, 16], доступные средствам автоматизации эргасистем, поскольку конечной целью разработки ИМО является его практическая реализация. Успешное выполнение указанного этапа во многом зависит от знания технологии программирования и наличия структуры программно-технического ресурса АИМК — инструмента испытаний, отладки в диалоговых человеко-машинных режимах и совершенствования моделей, алгоритмов и программ переработки информации и организации этой переработки перед их внедрением в реальные эргасистемы [5, 10].

Современные средства автоматизации представляют реальную возможность материализовать

¹⁴ Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М. : Наука, 1978. 399 с.

¹⁵ Бурбаки Н. Теория множеств. М. : Мир, 1965. 455 с.

¹⁶ Там же; Кузин Л.Т. Основы кибернетики: В 2-х т. Т. 1. Математические основы кибернетики. М. : Энергия, 1973. 502 с.; Т. 2. Основы кибернетических моделей. М. : Энергия, 1979. 584 с.; Представление и использование знаний / Под ред. Х. Уэно, М. Исидзука. М. : Мир, 1989. 220 с.

¹⁷ Minsky M. Framework for Representing Knowledge // Psychology of Computer Vision / P.H. Winston (ed.). McGraw-Hill, 1975.

фреймовую ЛЛМ в виде программного комплекса. Это определяется, *во-первых*, возможностью обеспечить диалоговый человеко-машинный режим, а *во-вторых*, использованием в КСА языков программирования высокого уровня (объектно-ориентированных), позволяющих упростить обращение к КСА (ЭВМ).

Основным фактором, определяющим эффективность диалога, является язык общения. В [5] проведён анализ возможных языков общения «ЛПР — КСА» и сделан вывод о целесообразности применения (на данном этапе развития языковых средств) для диалогового режима алгоритмических языков. При этом для успешной реализации диалоговых решений задач оптимизации процессов функционирования ФПС эргасистем необходимо располагать совершенными устройствами и процедурами ввода-вывода информации, а конструкции используемого языка должны обеспечить описание и программную реализацию фреймовых представлений процессов функционирования подсистем эргасистемы.

На заключительном *пятом* этапе (см. рис. 1) производится экспериментальный анализ и оценка эффективности и качества разработанного ИМО (представляется в виде пакетов прикладных и отдельных программ, экспертных систем — ЭС и др.).

Широкое распространение получил один из «чисто машинных» методов экспериментального исследования реальных процессов — метод имитационного моделирования процессов на ЭВМ («машинный эксперимент»), имеющий прямую аналогию с экспериментальным исследованием процессов в реальных условиях («натурный эксперимент») [5]. При моделировании нет необходимости создавать для каждого процесса специальные экспериментальные установки; достаточно разработать *автоматизированную имитационную модель*¹⁸ [5]. Метод имитационного моделирования обеспечивает простоту, оперативность и небольшую стоимость исследований, в том числе и в условиях, недоступных натурному эксперименту [4].

Одним из путей применения методов машинного моделирования к исследованию крупномасштабных эргасистем является создание АИМК на базе ЭВМ. Наличие таких АИМК позволяет преодолеть «барьер сложности» при планировании и реализации в реальном масштабе времени научного эксперимента, имитирующего в совокупности СДО, процессы отработки или управления ими, решаемые функциональные задачи и др., вследствие отсутствия необходимости представления наиболее трудоёмких этапов процесса автоматизированного управления СДО в виде математических, информационных и логико-лингвистических моделей (программ). Таким образом, АИМК должен содержать, кроме ЭВМ, средства автоматизации сбора, переработки и отображения (визуализации, документирования) информации,

средства взаимодействия, имитаторы или реальные СДО, а также коллективы людей-операторов, способных управлять перечисленными средствами.

В [5] обоснованы программно-технический ресурс, методы имитации и эффективность использования одного из возможных вариантов АИМК на базе ЭВМ, предназначенного для моделирования задач автоматизированного управления СДО и их испытаниями. Синтез предлагаемой структуры АИМК основывается на концепции, предполагающей переложение на ЭВМ большей части работ, выполняемых как при подготовке к моделированию, так и в процессе исследования на модели объектов большой сложности (СДО, ФПС и др.). Эта концепция оставляет за человеком-оператором лишь неформальную часть действий: постановку задачи, управление средствами АИМК и анализ (интерпретацию) результатов моделирования.

Все остальные работы, связанные с описанием объекта моделирования в требуемой форме (при помощи заранее определённых математических схем), построением моделирующего алгоритма, его программированием, организацией сложного информационно-вычислительного процесса современного КСА (ЭВМ) и др. автоматизируются и выполняются при помощи специальных заготовленных программ, объединённых в единый комплекс (пакет) специального ИПО «автоматизированной имитационной модели»¹⁹ (АИМ) [5, 6, 13].

Определение. Автоматизированная имитационная модель (*computer simulation model*) — это объединение математической и логико-лингвистической моделей (материализованных в КСА в виде пакета программ имитации с местной операционной системой и функциональной базой данных и знаний [9]), технических средств, не поддающихся машинной имитации, и людей-операторов, управляющих всем процессом моделирования объекта на КСА [5].

Кроме того, наличие АИМ процессов функционирования подсистем в информационной базе (как совокупности взаимосвязанных функциональных БДЗ) реальной эргасистемы позволяет не только испытывать и оценивать эффективность применения разрабатываемого ИМО, но также исследовать условия его применения в конкретных ситуациях с целью выбора рациональных алгоритмов функционирования ФПС.

Теоретической основой экспериментального анализа процессов функционирования подсистем эргасистем и их ИМО на АИМ являются теория исследования операций²⁰ и математическая статистика (теория планирования эксперимента)²¹.

¹⁹ Ловцов Д.А., Андреев Г.И., Ермолаева А.Б. АИМ «AST-RO»: Программа для ЭВМ // Свидетельство № 2015661278 RU, 2015. № 2015617829; Заяв. 25.08.15; Запат. 22.10.15.

²⁰ Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. М.: Наука, 1971. 384 с.

²¹ Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1980. 564 с.; Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Корольюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. М.: Наука, 1985. 640 с.

¹⁸ Ловцов Д.А., Сергеев Н.А., Гаврилов В.Н., Ермолаева А.Б. Базовый программный комплекс имитационно-игрового моделирования «БПК MEIS-DM» // Свидетельство № 2013615257 РФ. № 2013613471/09; Заяв. 26.04.13; Запат. 03.06.13.

Процесс разработки ИМО ФПС эргасистемы носит итерационный характер, выражающийся в необходимости доработок первоначального проекта алгоритмической модели процесса функционирования ФПС при программировании, отладке программ и испытаниях. Работы, которые необходимо выполнить на каждом из выделенных этапов, определяют основное содержание специальной методики разработки ИМО процессов функционирования подсистем эргасистемы.

Заключение

Таким образом, на основе анализа реальных процессов и задач переработки контрольно-измерительной информации и особенностей их организации и планирования в крупномасштабной иерархической эргасистеме:

определено содержание методологических этапов логической последовательности [5] разработки ИМО с заданными требованиями,

предложены: соответствующая методологическая диаграмма алгоритмизации (см. рис. 1) и методика, упорядочивающие мероприятия по анализу реальных ФПС эргасистем и процессов, происходящих в них, по разработке методов, моделей и алгоритмов оптимизации и реализации их на средствах АИМК с использованием методов «ИКС»-анализа, информологии, системологии, общей алгебры, теории исследования операций, теории эксплуатации, теории расписаний, математического программирования, теории формальных грамматик, логико-лингвистического моделирования, структурного программирования (на ЭВМ), математической статистики и др.

Рецензент: **Цимбал Владимир Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры автоматизированных систем боевого управления Филиала Военной академии им. Петра Великого, г. Серпухов, Российская Федерация.

E-mail: tsimbalva@mail.ru

Литература

1. Артюхов В.В. Общая теория систем. М. : ИГ "URSS", 2021. 224 с. ISBN 978-5-9710-6078-9.
2. Васильев В.В., Манин А.П., Потюпкин А.Ю. Концептуальные вопросы формирования облика системы испытаний летательных аппаратов // Полет. 2016. № 8-9. С. 55—63.
3. Гринфилд Д., Шорт К., Кук С., Крупи Д. Фабрики разработки программ: потоковая сборка типовых приложений, моделирование, структуры и инструменты. М. : Диалектика, 2006. 592 с. ISBN 978-5-8459-1181-0.
4. Информационно-измерительное обеспечение натурных испытаний сложных технических комплексов / Булычев Ю.Г., Васильев В.В., Манин А.П. и др. М. : Машиностроение-Полет, 2016. 280 с.
5. Ловцов Д.А. Информационная теория эргасистем : монография. М. : РГУП, 2021. 314 с. ISBN 978-5-93916-887-8.
6. Ловцов Д.А. Информационная теория эргасистем: Тезаурус. М. : Наука, 2005. 248 с.
7. Ловцов Д.А. Теоретические основы системной информатизации правового регулирования // Правовая информатика. 2019. № 4. С. 12—28. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-4-12-28.
8. Ловцов Д.А. Моделирование организации процессов переработки информации в иерархической эргасистеме // Правовая информатика. 2020. № 3. С. 4—18. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-3-04-18.
9. Ловцов Д.А. Архитектура базы данных и знаний подсистемы планирования и координации информационных процессов в иерархической эргасистеме // Правовая информатика. 2020. № 4. С. 4—19. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-4-04-19.
10. Ловцов Д.А. Эффективность правовых эргасистем в инфосфере // Правовая информатика. 2020. № 1. С. 4—14. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-1-04-14.
11. Ловцов Д.А. Современная концепция комплексного «ИКС»-подхода к анализу и оптимизации правовых эргасистем // Правосудие. 2020. Т. 2. № 1. С. 59—81. DOI: 10.37399/issn2686-9241.2020.1-4.59-81.
12. Ловцов Д.А. Системный анализ. Часть 1. Теоретические основы. М. : РГУП, 2018. 224 с. ISBN 978-5-93916-701-7.
13. Ловцов Д.А., Васёнов А.В. Информационно-математическое обеспечение имитационного моделирования интегрированных логистических систем // Изв. Ин-та инженерной физики. 2009. № 4. С. 59—65.
14. Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки. М. : Дело, 2003. 520 с.
15. Олейник И.И., Суворов А.В., Пискунов А.А. Натурная отработка сложных технических комплексов. Технология и алгоритмы. М. : Наука, 1990. 236 с.
16. Sommerwil I. Инженерия программного обеспечения. М. : Вильямс, 2002. 642 с. ISBN 5-8459-0330-0.
17. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М. : Физматлит, 2007. 584 с. ISBN 5-89502-766-0.
18. Ногин В.Д. Сужение множества Парето: аксиоматический подход. М. : Физматлит, 2016. 272 с.
19. Нуров К.И. Общая теория управления. Алматы : Аспандау, 2016. 460 с. ISBN 978-601-8021-33-6.

ALGORITHMISATION IN LARGE-SCALE HIERARCHICAL ERGASYSTEMS

Dmitrii Lovtsov²²

Keywords: *algorithmisation, hierarchical ergasystem, information and mathematical support, development, functional subsystem, methodological diagram, methodology, structures, methods, mathematical models, logical and linguistic models, informational models, algorithms, programs.*

Abstract.

Purpose of the article: improving the research and methodological basics of the legal informatics theory.

Methods used: system analysis and conceptual-cum-logical modelling of rational organisation of developing information and mathematical support (IMS) for a large-scale hierarchical ergasystem.

Results obtained: the content of methodological stages of the logical sequence for developing IMS (with specified requirements) for functional subsystems of large-scale hierarchical ergasystems is determined. A methodological diagram for algorithmisation and a methodology for streamlining activities in analysing real subsystems and processes for control and measurement information processing are put forward, as well as for developing optimisation methods, models and algorithms and implementing them using the tools of automated simulation modelling systems.

The results obtained are fundamental for creating appropriate information and mathematical support for large-scale ergasystems such as integrated automated control systems for rocket and space technology objects, the Government Automated System (GAS) "Pravosudie" ["Justice"], GAS "Vybory" ["Elections"] et al.

References

1. Artiukhov V.V. Obshchaia teoriia sistem. M. : IG "URSS", 2021. 224 pp. ISBN 978-5-9710-6078-9.
2. Vasil'ev V.V., Manin A.P., Potiupkin A.Iu. Kontseptual'nye voprosy formirovaniia oblika sistemy ispytanii letatel'nykh apparatov. Polet, 2016, No. 8-9, pp. 55—63.
3. Grinfild D., Short K., Kuk S., Krupi D. Fabriki razrabotki programm: potokovaia sborka tipovykh prilozhenii, modelirovanie, struktury i instrumenty. M. : Dialektika, 2006. 592 pp. ISBN 978-5-8459-1181-0.
4. Informatsionno-izmeritel'noe obespechenie naturnykh ispytanii slozhnykh tekhnicheskikh kompleksov. Bulychev Iu.G., Vasil'ev V.V., Manin A.P. i dr. M. : Mashinostroenie-Polet, 2016. 280 pp.
5. Lovtsov D.A. Informatsionnaia teoriia ergasistem : monografiia. M. : RGUP, 2021. 314 s. ISBN 978-5-93916-887-8.
6. Lovtsov D.A. Informatsionnaia teoriia ergasistem: Tezaurus. M. : Nauka, 2005. 248 pp.
7. Lovtsov D.A. Teoreticheskie osnovy sistemnoi informatizatsii pravovogo regulirovaniia. Pravovaia informatika, 2019, No. 4, pp. 12—28. DOI: 10.21681/1994-1404-2019-4-12-28.
8. Lovtsov D.A. Modelirovanie organizatsii protsessov pererabotki informatsii v ierarkhicheskoi ergasisteme. Pravovaia informatika, 2020, No. 3, pp. 4—18. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-3-04-18.
9. Lovtsov D.A. Arkhitektura bazy dannykh i znaniia podsystemy planirovaniia i koordinatsii informatsionnykh protsessov v ierarkhicheskoi ergasisteme. Pravovaia informatika, 2020, No. 4, pp. 4—19. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-4-04-19.
10. Lovtsov D.A. Effektivnost' pravovykh ergasistem v infosfere. Pravovaia informatika, 2020, No. 1, pp. 4—14. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-1-04-14.
11. Lovtsov D.A. Sovremennaia kontseptsiiia kompleksnogo "IKS"-podkhoda k analizu i optimizatsii pravovykh ergasistem. Pravosudie, 2020. T. 2, No. 1, pp. 59—81. DOI: 10.37399/issn2686-9241.2020.1-4.59-81.
12. Lovtsov D.A. Sistemnyi analiz. Chast' 1. Teoreticheskie osnovy. M. : RGUP, 2018. 224 s. ISBN 978-5-93916-701-7.
13. Lovtsov D.A., Vasenov A.V. Informatsionno-matematicheskoe obespechenie imitatsionnogo modelirovaniia integrirovannykh logisticheskikh sistem. Izv. In-ta inzhenernoi fiziki, 2009, No. 4, pp. 59—65.
14. Lopatnikov L.I. Ekonomiko-matematicheskii slovar': Slovar' sovremennoi ekonomicheskoi nauki. M. : Delo, 2003. 520 pp.
15. Oleinik I.I., Suvorov A.V., Piskunov A.A. Naturnaia otrabotka slozhnykh tekhnicheskikh kompleksov. Tekhnologiya i algoritmy. M. : Nauka, 1990. 236 pp.
16. Sommervil I. Inzheneriia programmnoho obespecheniia. M. : Vil'iams, 2002. 642 pp. ISBN 5-8459-0330-0.
17. Novikov D.A. Teoriia upravleniia organizatsionnymi sistemami. M. : Fizmatlit, 2007. 584 pp. ISBN 5-89502-766-0.
18. Nogin V.D. Suzhenie mnozhestva Pareto: aksiomaticheskii podkhod. M. : Fizmatlit, 2016. 272 pp.
19. Nurov K.I. Obshchaia teoriia upravleniia. Almaty : Aspandau, 2016. 460 pp. ISBN 978-601-8021-33-6.

²² **Dmitrii Lovtsov**, Dr.Sc. (Technology), Professor, Meritorious Scientist of the Russian Federation, Deputy Director for Research of the Lebedev Institute of Precision Mechanics and Computer Engineering of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Information Technology Law, Informatics and Mathematics of the Russian State University of Justice, Moscow, Russian Federation.

E-mail: dal-1206@mail.ru