

УДК 681.3.06

**МЕТОДОЛОГИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ****А.В. Крылов, М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов (Санкт-Петербург)****Введение**

В настоящее время в области автоматизации и интеллектуализации процессов принятия управленческих решений в военно-технической сфере налицо сложная научно-техническая проблема (противоречивая ситуация), характеризующаяся, с одной стороны, высокими требованиями, предъявляемыми к облику интегрированных интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИИ СППР) в отечественных АСУ войсками и оружием (ВО), являющихся базовыми структурами системы военного управления, а, с другой – текущим уровнем реализации в войсках указанных ИИ СППР, которые в основном обеспечивают решение задач контроля и анализа состояния соответствующих отдельных сложных военно-технических объектов (СВТО) [8-11]. Решение таких важнейших задач как многовариантное прогнозирование, стратегическое, оперативное, тактическое планирование, оперативное принятие решений в динамически изменяющейся обстановке на основе интеграции поступающих разнотипных и разнородных данных, информации и формируемых (имеющихся) знаний, к сожалению, в указанных АСУ ВО не автоматизировано из-за отсутствия, прежде всего, соответствующего специального модельно-алгоритмического и информационного обеспечения (СМАО и ИО), а также реализующих его программных комплексов (ПК) [11, 16].

Говоря о СМАО и ИО, а также ПК, обеспечивающих надежное функционирование рассматриваемых СППР, следует подчеркнуть, что в Российской Федерации работы по проектированию и использованию СППР в интересах Министерства обороны (МО) РФ с самого начала их возникновения велись и ведутся весьма интенсивно в государственных и коммерческих НИИ, а также в государственных промышленных и военных организациях. Среди указанных организаций в РФ, которые ориентируют свои разработки в области СППР на задачи МО РФ, можно, в первую очередь, выделить следующие организации РАН: ИПИ РАН, ВЦ РАН, ИСА РАН, ИПУ РАН, СПИИРАН; среди высших учебных заведений – МГУ, СПбГУ, ЛЭТИ, ГУАП, ВоенМех, МАИ, МВТУ, ТГТУ; среди промышленных организаций можно назвать – ОАО «Системы управления», ЦНИИ ЭИСУ, Концерн ПВО «Алмаз-Антей» (Москва); Концерн радиостроения «Вега» (Москва); Концерн «Созвездие» (Воронеж); Объединенная авиастроительная корпорация (Москва); Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева (г.Королев Московской области); Государственная акционерная компания «Оборонпромкомплекс» (Москва); ОАО «Концерн «Системпром» (Москва); Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения» (г. Реутов Московской области); Государственный ракетный центр имени академика В.П.Макеева (г. Миасс Челябинской области); «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева (г. Железногорск, Красноярский край); Концерн «Гранит-Электрон» (Санкт-Петербург); Концерн «Моринформсистема-Агат» (Москва); Концерн «Научно-производственное объединение «Аврора» (Санкт-Петербург); Объединенная судостроительная корпорация (Санкт-Петербург); Центр технологии судостроения и судоремонта (Санкт-Петербург) и ряд других [1-7, 11, 15].

При этом, в настоящее время существует большое количество родственных по своим функциональным возможностям программных комплексов (ПК), входящих в состав СППР и соответствующих АСУ ВО, отличающихся друг от друга лишь по способу организации вычислительного процесса и виду используемой операционной среды. Кроме того, на их эксплуатацию, модернизацию и сопровождение ежегодно в масштабах РФ расходуются огромные финансовые средства [11]. Из-за ведомственной разобщенности проектировщиков и эксплуатационного персонала указанных систем возникает параллелизм и дублирование в разработке и использовании единых по содержанию и назначению ПК. Проведенный анализ показал, что в случае создания унифицированных языковых средств для синтеза и адаптации различных видов многомодальных интеллектуальных интерфейсов и методов представления и обработки знаний о процессах функционирования СВТО в реальном масштабе времени (РМВ) на базе разработанной в СПб ФИЦ РАН отечественной интеллектуальной информационно-аналитической платформы (ИИАП), появляется возможность существенной экономии затрачиваемых ресурсов на разработку и постановку на информационное обслуживание новых и модификацию существующих объектов контроля и проактивного интеллектуального управления, а также создания распределенных СППР нового поколения [18].

Таким образом, в современных условиях особую актуальность приобретают вопросы создания в отечественной военно-технической сфере, опережающего научно-методологического, методического и технического задела в области ИИ СППР, необходимых для решения следующих военно-технических задач [11]:

- обеспечения технологической независимости российских разработчиков от зарубежных производителей в области проектирования, создания, эксплуатации и модернизации модельно-алгоритмического, технического, информационного и программного обеспечения отдельных и интегрированных АСУ ВО;

- качественного повышения уровня боеготовности войск, своевременности и обоснованности формирования и реализации соответствующих управляющих воздействий на основе интеграции и развития интеллектуальных информационных технологий и систем поддержки принятия решений;

- обеспечения максимально возможной гибкости и комфортности, дифференцированного уровня доступности и динамического взаимодействия командующих и штабов в сложных условиях обстановки, складывающейся при подготовке и в ходе ведения военных действий.

### **Полученные результаты**

Для конструктивного решения задач создания и применения ИИ СППР в интересах АСУ ВО к настоящему времени разработаны новые модификации ранее разработанных авторами гибридных иерархических логико-динамические агентно-ориентированных вычислительных G-моделей представления данных, информации и знаний и их манипулированием, которые обеспечивают на концептуальном, модельно-алгоритмическом, информационном и программном уровнях детализации согласование математических (аналитико-имитационных) моделей проактивного управления структурной динамикой сложных ВТО в различных условиях изменяющейся обстановки, с существующими логико-алгебраическими и логико-лингвистическими моделями, описывающими рассматриваемую предметную область с различной степенью детализации [1-7].

Доработка ранее разработанных иерархических вычислительных G-моделей представления знаний проведена на основе комбинирования математического аппарата обобщенных сетей Петри с логико-динамическими моделями программного управления комплексами операций, потоками и структурами. В последние годы сети Петри

завоевали широкое признание, прежде всего, как удобный и наглядный инструмент описания моделей многоуровневых процессов параллельного, потокового, пространственно-распределённого, асинхронного преобразования информации. В отличие от традиционно используемых в этом случае автоматов, сети Петри позволяют формализовать множество разнотипных объектов (в том числе, элементов и подсистем АСУ ВО и соответствующих СППР) и происходящих в них процессов на основе установления локальных (распределённых) отношений между компонентами в соответствующих моделях и отслеживания локальных (распределённых) изменений состояний во всей системе моделей преобразования и обработки информации.

Анализ публикаций по рассматриваемой в докладе тематике показывает, что используя сети Петри, можно на конструктивном уровне осуществить интеграцию таких важнейших классов моделей подготовки и принятия решений, как: вычислительные модели, используемые для описания алгоритмов оперативного управления режимами работы данных сложных объектов; экспертные модели для описания управляющей деятельности операторов указанных объектов; а также диалоговые модели для описания человеко-машинного взаимодействия в рассматриваемых системах [11].

В рамках предлагаемой логико-динамической интерпретации сети Петри, описывающей функционирование распределенной системы сложных ВТО, предполагается, что величина каждой  $i$ -й компоненты вектора состояния дискретной динамической системы (ДДС), следующего вида  $-x[l] = \|x_1[l], x_2[l], \dots, x_n[l]\|^T, l = 1, \dots, N$  ( $l$  – текущий номер шага, момент времени), численно равна суммарному числу меток в  $p_i$  позиции в исходной сети Петри (описываемой данной ДДС), а каждому  $t_j$  переходу сопоставляется управляющее воздействие  $u_j[l] \in \{0,1\}$ , принимающее значение 1, если  $t_j$  переход срабатывает на шаге  $l$ , 0 – в противном случае. Кроме того, при срабатывании каждого разрешённого перехода перемещение меток из одной позиции в другую осуществляется не мгновенно, а с фиксированной длительностью (шагом). В этом случае уравнения, описывающие динамику смены маркировок в рассматриваемой сети Петри, могут быть заданы в виде следующих рекуррентных соотношений [6, 7, 11]:

$$x_i[l] = x_i[l-1] + \sum_{\beta \in \Gamma_i^-} k_\beta u_\beta[l] - \sum_{\alpha \in \Gamma_i^+} k_\alpha u_\alpha[l], \quad (1)$$

где  $k_\beta, k_\alpha$  – кратность рёбер, соединяющих соответственно  $t_\beta$  переходы с  $p_i$  позицией и  $p_i$  позицию с  $t_\alpha$  переходами;  $\Gamma_i^-$  ( $\Gamma_i^+$ ) – множество номеров входных (выходных) переходов  $p_i$  позиции. Наряду с (1) необходимо в ДДС задать ограничения, описывающие структуру описываемой (интерпретируемой) сети Петри, логику срабатывания переходов. Указанные ограничения могут быть представлены в следующем виде:

$$u_\alpha[l] \sum_{i \in I_\alpha} \prod_{\xi=k_i}^{s_i} (\xi - x_i[l-1]) = 0, \quad (2)$$

$$\sum_{\alpha \in \Gamma_i^+} k_\alpha u_\alpha[l] \leq x_i[l-1], \quad (3)$$

$$u_\alpha[l] \sum_{v \in J_\alpha} x_v[l-1] = 0, \quad (4)$$

где  $s_i = \max x_i[l], l = 1, \dots, N$  – максимально возможное число меток, которое может находиться в  $p_i$  позиции;  $i, j$  – соответственно номера позиций (компонентов вектора состояния в исходной ДДС) и номера переходов (компонентов вектора управляющих воздействий в исходной ДДС);  $I_\alpha(J_\alpha)$  – соответственно множество номеров входных

позиций (выходных позиций со сдерживающими дугами) для  $t_a$  перехода. Наряду с (2), (3) и (4) следует задать начальную и конечную (требуемую) маркировку сети Петри  $x[0]$ ,  $x[N]$ ; показатель качества функционирования сложных объектов  $F = \sum_{l=1}^N g_l(x[l-1], u[l])$ , где  $g_l(\cdot, \cdot)$  – заданные функции. Необходимо отметить, что предложенный подход к формализации процессов функционирования ВТО применим в тех случаях, когда указанные процессы описываются разноцветными временными сетями Петри. Основная особенность предлагаемой динамической интерпретации сетей Петри состоит в том, что необходимо таким образом задавать соотношения (1)-(4), чтобы обеспечивалась целочисленность значений компонент вектора состояния и управлений в построенной ДДС на каждом шаге  $l = 1, \dots, N$ . Предложенные логико-динамические описания, если осуществить их масштабирование, позволяют формально представить параллельно-последовательные разнотипные асинхронные процессы (как управленческие, так и информационные), происходящие в АСУ ВО. При этом новизна предлагаемого описания состоит в том, что оно имеет системно-управленческую интерпретацию, позволяющую (в отличие от традиционных подходов) уже корректно формулировать и решать с использованием сетей Петри широкий спектр военно-управленческих задач.

Программно-техническая реализация разработанного к настоящему времени прототипа ИИ СППР для управления сложными ВТО осуществлена на базе существующей ИИАП. На рисунке 1 представлена общая информация о составе, структуре, научным основам, на которых была разработана данная платформа. Новизна предлагаемой технологии использования ИИАП при построении прикладных ИИ СППР обеспечивается: внедрением интеллектуальных технологий аналитической обработки и анализа данных и знаний, интеллектуальных систем поддержки принятия решений; реализацией концепции единых информационных ресурсов, единого информационного пространства, обеспечивающих интеграцию разнородной полной, непротиворечивой, достоверной и актуальной информации; развертыванием систем сбора и хранения разнородной информации на основе оперативно-аналитической и интеллектуальной обработки данных с использованием технологий потоковой обработки; использованием единых стандартов сбора, передачи, хранения, обработки и анализа данных и знаний, ориентация на национальные и международные стандарты и протоколы [12-14].

Технология обработки и анализа данных при решении задач ИИ СППР на базе ИИАП предполагает реализацию следующих основных этапов:

1. количественная и качественная параметризация разнородных данных, консолидация данных;
2. предметная ориентация, формирование онтологии предметной области;
3. поиск, извлечение, интерпретация знаний, формирование репозитария знаний;
4. построение системы моделей объектов предметной области;
5. разработка и проверка гипотез, комплексное предсказательное моделирование состояния СОТО, возможных ситуаций и в целом общей обстановки;
6. синтез технологий и программ проактивного интеллектуального управления различными классами СОТО из СЦ;
7. проактивный мониторинг состояния СОТО в РМВ и реализация программ проактивного интеллектуального управления СОТО в динамических условиях (условиях расчетных и нерасчетных нештатных и аварийных ситуаций).

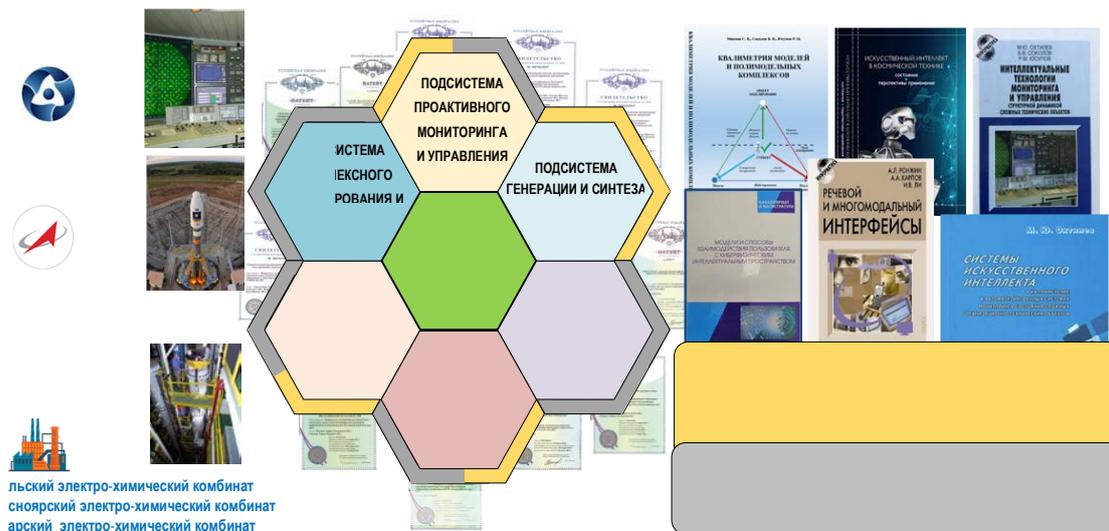


Рис. 1 – Обобщенный состав и структура отечественной интеллектуальной информационно-аналитической платформы

### Практическая реализация

СПб ФИЦ РАН (СПИИ РАН), совместно с СКБ «Орион» и АО «Научно-исследовательский и опытно-экспериментальный центр интеллектуальных технологий «ПЕТРОКОМЕТА» был разработан макет программного средства оценки обстановки (ПСОО), поддержки принятия решения на применение войск на основе мониторинга их состояния и положения в реальном масштабе времени, позволяющий на основе данных, поступающих из структурных подразделений органа военного управления, вырабатывать наиболее предпочтительные предложения лицу, принимающему решения (ЛПР), на применение имеющихся сил и средств.

В макете реализованы к настоящему времени следующие задачи:

- Система мониторинга технологического графика (ТГ).

Сведения, поступающие из единой базы данных и знаний (ЕБДЗ) или из других программных комплексов (источников информации), обрабатываются программными средствами оценки обстановки (ПСОО). При выявлении превышения критических значений плановых и текущих показателей, эти данные выводятся на соответствующие справочные окна.

В настоящее время контролируются:

- состояние боеспособности соединений и воинских частей (определяется, в соответствии с ДГШ, изменением показателей укомплектованности и обеспеченности - автоматически изменяются характеристики визуализации по данному формированию);
- выполнение спланированных мероприятий по времени (выполнение мероприятий по степеням боевой готовности (БГ), совершение марша, занятие районов, выполнение ближайшей, дальнейшей задачи и т.д.).

Ход выполнения мероприятий визуализируется синхронизированным с реальным временем изменением окраски блока мероприятия, выполняемых каждым объектом контроля. Цвет окрашивания зависит от текущего состояния боеспособности формирования. Функционально график связывается с электронной картой для возможности обмена информационными данными по местоположению формирований и визуализацией изменения показателей. Кроме показателей, влияющих на управление группировкой войск, ПСОО может осуществлять контроль за состоянием различных

объектов (в соответствии с заданным перечнем), изменение состояния которых влечет за собой необходимость в проведении дополнительных мероприятий.

На рисунке 2 представлены основные варианты получения информации для работы ПК ПСОО.



Рис. 2 – Возможные варианты получения данных и информации для функционирования программных средств оценки обстановки (ПСОО)

• **Расчётно-аналитическая задача: «Поражение объектов».**

Данное программное средство предназначено для определения возможностей соединений (подразделений) комплексного огневого поражения (КОП) по поражению вновь выявленных объектов. Программное средство определяет координаты, характер объекта и даёт рекомендации по применению сил и средств КОП с учётом их возможностей по поражению данного объекта (временным и огневым).

• **Расчётно-аналитическая задача: «Стабилизация обстановки».**

Данное программное средство предназначено для определения возможностей по стабилизации обстановки на определённом направлении (направлениях) в случае необходимости её проведения. Программное средство определяет потребность направления (направлений): в увеличении общевойсковой составляющей; в снижении боевых возможностей противостоящей группировки противника.

В соответствии с потребностями направления выдаются рекомендации по: усилению направления общевойсковыми соединениями (подразделениями); применению сил и средств КОП для снижения боевых возможностей противостоящей группировки противника.

• **Расчётно-аналитическая задача: «Возможности по отражению 1 МРАУ противника и ответно – встречному удару».**

Данное программное средство предназначено для проведения комплексных оперативных расчетов в интересах количественного обоснования содержания, условий подготовки и проведения системы воздушных операций с целью оценки ее эффективности, отработки замысла действий и формирования отдельных элементов решения на проведение воздушных операций.

• **Расчётно-аналитическая задача: «Планирование применения».**

Данное программное средство предназначено для распределения общевойсковой составляющей по элементам оперативного построения при заблаговременном планировании, а также в случае кардинального изменения плана в ходе ведения боевых действий. Программное средство является отечественной разработкой. Оно реализовано на основе Интернет-технологий и состоит из двух частей: сервера и клиента. Сервер функционирует на базе интернет-сервера и СУБД, в качестве клиента выступает программа-браузер на клиентском хосте (АРМ). Система является открытой в части наращивания решаемых задач.

Данное программное средство в настоящий момент функционирует в среде операционных систем, разрешенных к использованию на объектах Заказчика (МО РФ) (МСВС 5.0, ЗАРЯ, Astra Linux Special Edition.) Возможны варианты адаптации под другие вычислительные среды.

### **Заключение**

Разработанные к настоящему времени методология и интеллектуальные технологии создания и применения систем поддержки принятия решений при управлении военно-техническими объектами, базирующиеся на логико-динамической интерпретации задач проактивного управления структурной динамикой АСУ ВО и соответствующие подходы при их реализации, основанные на полимодельном описании рассматриваемой предметной области, позволяют получить эталонные (оптимальные) решения. С помощью таких решений можно будет на практике обоснованно подойти (с точки зрения технико-экономических показателей эффективности) как к выбору (синтезу) перспективного облика ИИ СППР в АСУ ВО, так и соответствующих программ их создания, применения и развития. В основе фундаментально-прикладных результатов, которые получены к настоящему времени, лежит предложенная ранее авторами динамическая интерпретация классических задач исследования операций. В рамках такой интерпретации задачи выбора фазовых траекторий применения АСУ ВО в дискретных пространствах преобразуются (редуцируются) в задачи программного синтеза указанных траекторий в конечномерных пространствах (задачи оптимального управления). Это существенно упрощает в дальнейшем соответствующие процедуры автоматизированного поиска наиболее предпочтительных системотехнических и управленческих решений, как с точки зрения вычислительных затрат, так и используемого при анализе и синтезе получаемых решений научно-методического аппарата. Логико-динамическая интерпретация процессов модернизации и функционирования АСУ ВО (в том числе и ее ядра – ИИ СППР) позволяет использовать при качественном анализе вопросов существования и единственности оптимальных плановых решений, их устойчивости и робастности результаты, полученные в современной теории управления сложными динамическими объектами с перестраиваемой структурой.

Разработанные макеты ИАС, ИИСППР и соответствующее СПМО и ИО проходили апробацию в ходе мероприятий оперативной подготовки ВС РФ, в том числе: в 2011 г. в ходе военно-технического эксперимента при подготовке к учениям «Кавказ 2012»; в 2012 г. в ходе стратегического командно-штабного учения «Кавказ 2012»; в 2014 г. в ходе стратегического командно-штабного учения «Восток-2014»; в 2015 г. в ходе совместного оперативного учения вооруженных сил Республики Беларусь и Российской Федерации «Щит Союза – 2015».

Подходы и принципы, положенные в основу создания макета СППР, получили положительную оценку начальника Главного оперативного управления ГШ ВС РФ, начальника академии Генерального штаба ВС РФ, командующего и начальника штаба Южного военного округа.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились в рамках бюджетной темы FFZF–2022–0004.

### Литература

1. **Вагин В.Н., Еремеев А.П.** Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Изд. РАН. Теория и системы управления. 2001. № 6. С. 114-123.
2. **Васильев С.Н.** От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению // Теория и системы управления. 2001. № 1. С. 5-22; № 2. С. 5-21.
3. **Гаврилов А.В.** Гибридные интеллектуальные системы. – Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2003. – 164 с.
4. **Гаврилова Т.А.** Использование онтологий в системах управления знаниями // Труды Международного конгресса «Искусственный интеллект в XXI веке». Дивноморское, 2001. С. 21-32.
5. **Городецкий В.И.** Многоагентные системы: современное состояние исследований и перспективы применения // Новости искусственного интеллекта. 1996. № 4. С. 44-59.
6. **Калинин В.Н., Соколов Б.В.** Многомодельный подход к описанию процессов управления космическими средствами // Теория и системы управления. 1995. №1. С. 56 – 61.
7. **Калинин В.Н., Резников Б.А.** Теория систем и управления (структурно-математический подход). – Л.: ВИКИ, 1987.
8. **Макаров Н.Е.** Характер вооружённой борьбы будущего, актуальные проблемы строительства и боевого применения Вооружённых Сил Российской Федерации в современных условиях // Вестник Академии военных наук, 2010. № 2.
9. **Макарчук И.Л., Троценко К.А.** Характер операций современных армий. Уроки и выводы по итогам войны в Афганистане (2001-2021 гг.) // Военная Мысль. 2022. № 10. С. 24-40.
10. Надежность и эффективность в технике. Справочник. Т. 3. Эффективность технических систем / под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. М.: Машиностроение, 1988. -328 с.
11. **Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных объектов – М.: Наука, 2006. - 410 с.
12. Патент РФ на изобретение № 2656841, от 19.07.2016, «Способ построения единого информационного пространства и система для его осуществления».
13. Патент РФ на изобретение № 2669330, от 06.07.2017, «Интегрированная автоматизированная система космодрома».
14. Патент РФ на изобретение № 2676405, от 19.07.2016, «Способ автоматизированного проектирования производства и эксплуатации прикладного программного обеспечения и система для его осуществления».
15. **Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д.** Статические и динамические экспертные системы. – М.: Финансы и статистика, 1996.
16. **Ростовцев Ю.Г.** Основы построения автоматизированных систем сбора и обработки информации. – СПб.: ВИКИ, 1992. – 717 с.
17. **Ростовцев Ю.Г., Юсупов Р.М.** Проблема обеспечения адекватности субъектно-объектного моделирования // Известия ВУЗов. Приборостроение. 1991. № 7. С. 7-14.