

*О. В. Тиханычев, канд. техн. наук, 27-й Центральный научно-исследовательский институт
Минобороны России, г. Москва, tow65@yandex.ru*

Алгоритмическая поддержка автоматизированных процедур принятия решений

Автором проанализированы существующие подходы к организации автоматизированной поддержки принятия решений. Сделан вывод о том, что сложившаяся ситуация, определяющаяся отсутствием типовых алгоритмов процесса поддержки принятия решений, замедляет процесс создания и внедрения в практику управления таких систем. На основе формализованного представления процесса введены понятия «малого» и «расширенного» циклов принятия решения. При этом под «малым» циклом предложено понимать поиск оптимального решения в условиях заданной целевой функции и ограничений. Под «расширенным» циклом понимается поиск нетривиального решения, которое невозможно получить без модификации целевой функции, снятия или изменения части ограничений. Предложенный алгоритмический подход наиболее полно соответствует современному пониманию автоматизированной системы поддержки принятия решений в современном понимании и позволит ускорить процесс внедрения таких систем в практику управления.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, экспертная система, цикл принятия решения, алгоритм принятия решения.

Введение

Обеспечение эффективного управления является одной из важнейших задач с точки зрения достижения успеха в любых сферах человеческой деятельности. Именно управление объединяет в единую систему разнородные средства и ресурсы, обеспечивая их рациональное применение в едином цикле. Типовой цикл организации управления включает этапы целеполагания, оценки имеющихся возможностей и условий обстановки, принятия решения и разработки плана действий, формирования управляющих воздействий, контроля выполнения задач.

Формирование цели (этап целеполагания) обычно возлагается на человека и в силу невозможности формализовать задачу математическими методами и техническими средствами практически не поддерживается. На остальных этапах при оценке возможно-

сти достижения цели и выработке рациональных управляющих воздействий в рамках реализации цикла управления обычно используются специализированные средства и методы поддержки принятия решений.

В настоящее время существует достаточно широкий спектр подобных методов. Но их практическое применение затрудняется рядом проблем, одна из которых — отсутствие эффективных подходов к алгоритмизации процесса автоматизированного принятия решений.

Существующие подходы к автоматизации поддержки принятия решений

Степень использования и типы средств и методов поддержки принятия решений могут быть различными — от применения простейших субъективных подходов, используя-

щих, например, коллективные методы принятия решений, до объективных, базирующихся на точных математических методиках. Спектр программных средств, реализующих объективные математические методы поддержки принятия решений, достаточно широк, начиная с отдельных программ обработки информации и решения расчетных задач до автоматизированных систем поддержки принятия решений (СППР) и экспертных систем (ЭС).

Наиболее перспективным подходом к обеспечению эффективности управления сложными системами специалистами признается использование в процессе управления программных средств, реализующих принципы СППР и экспертных систем. ЭС и СППР в той или иной степени основаны на использовании знаний экспертов.

ЭС относятся к числу интеллектуальных вычислительных систем и являются практической реализацией методов и идей искусственного интеллекта. Такие системы представляют собой программы для ЭВМ, решающие задачи примерно так же, как решает их эксперт в реальной обстановке. Это позволяет накапливать, систематизировать и использовать знания и профессиональный опыт тех экспертов, которые выполняют конкретные задачи наилучшим образом и в первую очередь в тех областях, где задачи и их решения слабо формализованы или совсем не формализованы.

Второй тип компьютерных систем аналогичного назначения — СППР (*Decision-Making Support System — DMSS*) — предназначен для оказания помощи пользователям (работникам управленческого персонала, аналитикам, лицам, ответственным за принятие решений на различных уровнях) в неструктурируемых или слабо структурируемых ситуациях выбора [1–3]. Такие системы выступают в роли помощника, позволяющего расширить способности человека, но не заменяют его мнение или систему предпочтений.

ЭС и СППР как конкретные программные продукты в ряде случаев могут выглядеть внешне одинаково. Однако они различны

в своей целевой направленности. СППР призваны помочь человеку в решении стоящей перед ним проблемы, а ЭС — заменить человека при решении проблемы.

В областях деятельности, в которых предполагается высокая личная ответственность лица, принимающего решения (ЛПР), например, в системах государственного и военного управления, основным подходом к организации управления является антропоцентрический подход, реализуемый именно в СППР.

Несмотря на важность организации автоматизированной поддержки принятия решений и на наличие широкого спектра средств решения этой задачи, данная проблема до сих пор актуальна. Причин этому несколько, и они взаимосвязаны: проблемы программной реализации СППР, как отмечено ранее, возникают в связи с трудностями алгоритмизации этого процесса, а последние, в свою очередь, вытекают из неопределенности предметной области. И если проблемы классификации на практике можно обойти, оставив за рамками разработки СППР, то проблема алгоритмизации игнорирована быть не может. Именно она, в основном, создает трудности развития коммерческих СППР класса *ERP* (*Enterprise Resource Planning*) и *CSRP* (*Customer Synchronized Resources Planning*) до уровня *ERP II* (*Enterprise Resource and Relationship Planning*), то есть до полноценных СППР. В результате проблема становится актуальной и требует скорейшего решения для создания предпосылки к внедрению СППР в практику управления.

Предложения по уточнению предметной области

В качестве определения СППР в настоящее время наиболее часто используется определение из [1]: «СППР — это интерактивные автоматизированные системы, помогающие лицу, принимающему решения, использовать данные и модели для решения слабоструктурированных проблем». Данное определение

является достаточно точным, но очень общим. Под него, в той или иной степени, подойдет практически любая автоматизированная система управления. И этим могут пользоваться недобросовестные разработчики программных продуктов, необоснованно выдавая их за СППР. Проблему усугубляет и то, что даже приведенное определение не утверждено ни в каких нормативных документах, официального определения понятия «СППР» в настоящее время просто не существует.

Для приведения этого определения к современным условиям, характеризующимся активным развитием информационных технологий, в работе [4] предложено уточнить данное определение: «Система поддержки принятия решений — это программно-технический комплекс, который, в автоматизированном режиме собирая и анализируя информацию об управляемых объектах и условиях их функционирования, формирует на ее основе варианты управляющих воздействий, обеспечивающих достижение цели, задаваемой пользователем на языке, близком к естественному».

В данной работе предложено уточнить классификацию СППР, сделав основным признаком деление этих систем по функциональным возможностям с точки зрения автоматизации процесса поддержки принятия решений и выделив следующие системы [5, 6]:

- информационные;
- информационно-расчетные;
- интеллектуальные.

Анализ показывает, что предлагаемые изменения предметной области теории поддержки принятия решений позволят существенно упростить процесс разработки таких систем. Но для реализации этих преимуществ необходимо формализовать процесс алгоритмизации применения средств автоматизированной поддержки принятия решений, описав типовые алгоритмы.

В целях описания типовых алгоритмов поддержки принятия решений предлагается сформировать формализованное описание этого процесса.

Формализованное описание алгоритма автоматизированной поддержки принятия решения

В формализованном виде деятельность лица, принимающего решение, представляется как формирование вариантов управляющих воздействий и выбор наиболее приемлемых из них. Как правило, формируемые решения являются взаимоисключающими, то есть альтернативами.

Для обеспечения управленческой деятельности ЛПР от СППР требуется сформировать некоторое множество альтернатив:

$$R = \{A_j, S_j\}$$

где A_j — альтернатива;

j — уровень предпочтения (ранг) альтернативы;

S_j — описание j -й альтернативы, пояснение, почему именно ей отдается предпочтение перед предыдущими.

При этом функционирование описанной системы должно проходить следующие основные этапы [7, 8]:

1) Формирование множества альтернатив R , которое заключается в последовательном формировании целевой функции и поиске некоторых ее рациональных параметров, определяющих стратегию распределения по решаемым задачам средств и их ресурсов в рамках задаваемых ЛПР ограничений.

2) Создание системы ограничений, формирующей границы области допустимых решений (ОДР), которые могут быть заданы вышестоящим органом управления, обуславливаться условиями обстановки или задаваться непосредственно оператором СППР.

3) Вербальное или графическое описание альтернатив, которое не только упрощает принятие окончательного решения, но и повышает доверие пользователя к результатам решения задач и моделирования.

В частном случае, когда задача имеет однозначное решение в рамках поставленных

условий и сформулированных ограничений, поддержку ЛПР может успешно осуществлять простая информационно-расчетная система. Если она сформирует несколько вариантов решений (альтернатив), у ЛПР остается задача сравнения альтернатив и выбор из них лучшей относительно заданных параметров. Такой вариант решения без изменения установленных ограничений можно назвать «решением по малому циклу» (рис. 1а).

В то же время в условиях ограниченного количества сил и средств, временных ограничений часто возникает ситуация, когда поставленная задача не имеет решения в рамках заданных условий. То есть множество альтернатив R оказывается пустым. Тогда чтобы найти рациональное решение, необходимо либо изменять некоторые характеристики целевой функции, либо переводить одно или несколько ограничений в ранг управляемых параметров и уже с их помощью искать вариант, обеспечивающий нахождение рационального решения (рис. 1б). Такую задачу можно называть «поиском решения по расширенному циклу». Задача в такой постановке является многопараметрической, и ее решение

без применения интеллектуальной СППР становится невозможным.

В формализованном виде постановка задачи поиска решения СППР по «расширенному циклу» представляет собой поиск новых значений a_i^* ранее заданных ограничений a_i , при которых задача поиска оптимума L имеет решение, или параметров уточненной целевой функции L^* , обеспечивающих нахождение решения при существующих ограничениях a_i . В рамках решения сформулированной задачи СППР позволит сформировать множество решений (рис. 1б), изучив которые ЛПР сможет сделать выводы о том, что необходимо выполнить для обеспечения достижения поставленной цели.

Справедливости ради следует отметить, что на рис. 1 представлена несколько упрощенная интерпретация постановки задачи принятия решения. На практике ограничения, вероятнее всего, будут нелинейными, а целевая функция представлена не кривой, а «трубкой поведенческих траекторий», формирующейся в условиях неопределенности. Но в любом случае постановка задачи будет аналогична вышеописанной, а сама задача

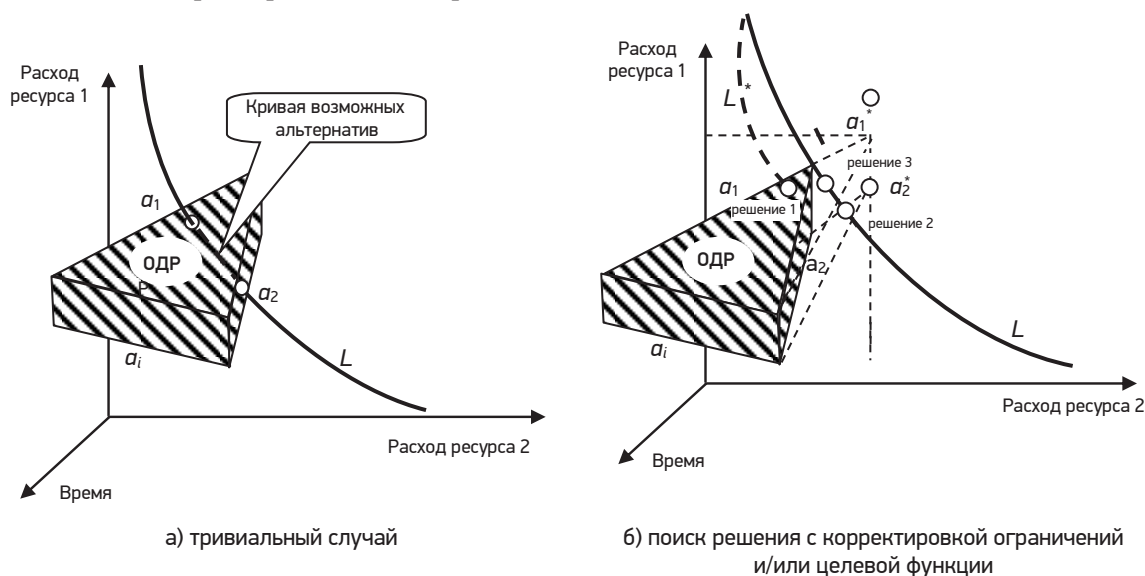


Рис. 1 Графическая интерпретация одного из вариантов формирования решения при непрерывной целевой функции и линейных ограничениях

Fig. 1 Graphic interpretation of receipt of the decision by continuous objective function and linear constraints

сведется к поиску таких параметров целевой функции или ограничений, которые обеспечивают получение рационального решения.

Решение задач по «малому циклу» является достаточно тривиальным — систем, реализующих такой цикл, уже сейчас создано достаточно много. Примером практической реализации автоматизированной СППР «малого цикла» может служить обычный автомобильный *GPS*-навигатор. Это программно-техническое средство имеет все признаки СППР [9–11]: общается с пользователем на языке, близком к естественному, решает оптимизационную задачу формирования альтернативных управляющих воздействий по заданным пользователем условиям, автоматически собирает исходную информацию для собственного функционирования. А задать условия, решение для которых потребуется по «расширенному циклу», пользователь не сможет физически. Ведь выбор пунктов для поиска пути между ними осуществляется по списку, формируемому из матрицы связности дорожной сети, только для тех точек, между которыми есть дороги.

Намного сложнее создать СППР «расширенного цикла», интеллектуальную систему, позволяющую искать управленческие альтернативы там, где они не существуют в заданных условиях. Такая система должна не просто обрабатывать информацию по заданным алгоритмам, но и оперировать знаниями, сама формировать алгоритмы обработки данных. Чтобы показать отличие предлагаемого подхода к описанию интеллектуальных систем от «обычных» СППР, достаточно представить тот же автомобильный навигатор, который может прокладывать путь там, где нет дороги, и, проанализировав обстановку, не выдавать сообщение о том, что проехать нельзя, а формировать предложения: проехать через поле, проходимое в данный сезон, идти вброд через реку или использовать другой вид транспорта. То есть в рамках «расширенного» алгоритма СППР сама формирует перечень альтернативных решений, в том числе в ус-

ловиях, требующих корректировки ограничений и параметров целевой функции, и ранжирует их по уровню предпочтительности.

Еще одной особенностью «расширенного» алгоритма можно считать возможность помощи ЛПР в формировании цели действий. Как отмечено ранее, в типовом цикле управления целеполагание обычно возлагается на человека, а информационные и информационно-расчетные СППР обеспечивают корректировку цели и поиск оптимального решения итерационным методом. Интеллектуальные СППР должны оказывать помощь ЛПР и в этом вопросе, например, при задании цели в неявной форме или в виде набора параметров. Таким образом, при использовании подобных систем за человеком останется формулирование требуемого результата действий на языке, близком к естественному, и выбор рационального решения из нескольких предложенных системой. В случае приведенного примера с *GPS*-навигатором пользователь будет задавать не место, куда необходимо доехать, а цель поездки: не прибыть в точку «А», где есть известная ему автозаправка, а «заправить машину». И система сама будет предлагать конечный пункт маршрута.

Вот этими показателями и будут отличаться алгоритмы «малого» и «расширенного» циклов, реализуемых различными классами СППР.

Описание типовых алгоритмов автоматизированной поддержки принятия решений

Таким образом, анализ формализованного представления принятия решения позволяет выделить два основных алгоритма автоматизированной поддержки принятия решений: «малый» и «расширенный» (рис. 2).

Алгоритм «малого» цикла, характерный для информационных и информационно-расчетных СППР, может включать в себя следующие основные этапы:

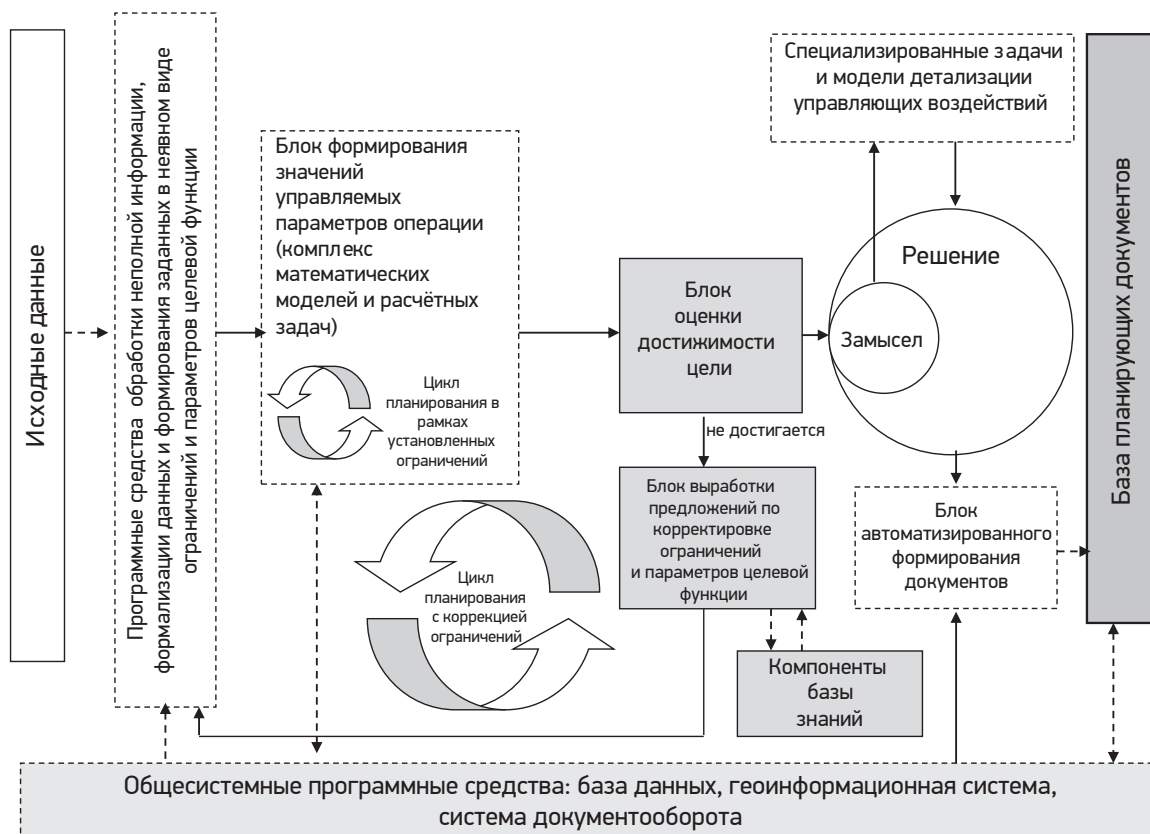


Рис. 2. Функциональная схема реализации «малого» и «расширенного» алгоритмов поддержки принятия решений

Fig. 2. Functional diagram of the implementation of the «small» and «extended» decision support algorithms

- задание ЛПР цели действий в формализованной форме;
- задание ограничений на поиск решения;
- формирование параметров целевой функции;
- поиск оптимума целевой функции относительно разных условий решения задачи;
- формирование набора альтернатив;
- выстраивание кортежа предпочтений, формирование пояснений в понятной ЛПР форме о предпочтениях альтернатив;
- детализация решения, формирование управляющих воздействий по избранному варианту действий.

«Расширенный» алгоритм, характерный для интеллектуальных СППР, включает следующие этапы:

- задание ЛПР цели действий в неявной или многопараметрической форме;
- автоматическая формализация представления цели действий;
- поиск решения по «малому» циклу. Если решение найдено — завершение работы;
- если решение по «малому» циклу найти не удалось, производится формирование предложений по новым параметрам целевой функции или изменению ограничений;
- формирование запроса оператору на корректировку условий решения задачи с возможностью выбора вариантов изменений;
- поиск решения в измененных условиях задачи;

- формирование набора альтернатив;
- выстраивание кортежа предпочтений, формирование пояснений в понятной ЛПР форме о предпочтениях альтернатив;
- детализация решения, формирование управляющих воздействий по избранному варианту действий (в документальной форме или в виде машинных команд).

Реализация каждого из описанных алгоритмов в конкретной задаче управления позволит выбрать тип СППР для ее решения, соответствующий складывающимся условиям и возможностям информационных технологий [4, 12].

Заключение

Как показывает анализ предметной области, проблема алгоритмизации автоматизированной поддержки принятия решений давно назрела, перешла из области теоретических исследований в практическую и требует скорейшего решения.

Использование предлагаемых подходов к описанию типовых алгоритмов, как показал опыт их применения при выполнении ряда научно-исследовательских работ, обеспечивает следующие функции:

- оптимизацию процесса разработки программного обеспечения автоматизированных систем управления за счет их организации по принципам целевых СППР, динамически формируемых для решения конкретных задач;
- сокращение затрат времени на формирование целевых регламентов при разработке функциональных моделей автоматизированных систем управления в нотациях IDEF (ICAM Definition, где ICAM—Integrated Computer Aided Manufacturing) [13];

— обоснование уточненной классификации СППР, устраняющее существующую в предметной области избыточность за счет введения укрупненного деления таких систем по функционалу на информационные, информационно расчетные и интеллектуальные СППР.

Таким образом, реализация формализованного описания типового алгоритма принятия решения позволит не только усовершенствовать понятийный аппарат в области поддержки принятия решений, но и обеспечить разработку и внедрение таких систем в практику работы органов управления.

Список литературы

1. Ларичев О. И., Петровский А. В. Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития // Итоги науки и техники. Сер. «Техническая кибернетика». Т. 21. М.: ВИНТИ, 1987.
2. Haettenschwiler P. Neues anwenderfreundliches Konzept der Entscheidungs-unterstützung. Gutes Entscheiden in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft. Zurich: Hochschulverlag AG, 1999. P. 189–208.
3. Кравченко Т. К., Середенко Н. Н. Создание систем поддержки принятия решений: интеграция преимуществ отдельных подходов // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 1. С. 39–46.
4. Тиханычев О. В. Автоматизация поддержки принятия решений. М.: Эдитус, 2015. — 96 с.
5. Тиханычев О. В. Об уточнении классификации систем поддержки принятия решений // Информатизация и связь. 2016. № 2. С. 50–53.
6. Тиханычев О. В. Некоторые проблемы предметной области поддержки принятия решений // Программные продукты и системы. 2016. № 3. С. 24–28.
7. Рыбина Г. В., Блохин Ю. М., Иващенко М. Г. Интеллектуальная технология построения интегрированных экспертных систем // Искусственный интеллект и принятие решений. 2011. № 3. С. 48–67.
8. Рыбина Г. В., Иващенко М. Г. Методы и программные средства интеллектуальной поддержки разработки интегрированных экспертных систем // Программные продукты и системы. 2006. № 6. С. 27–38.
9. Шакиров В. А., Панкратьев П. С. Поддержка принятия решений на стадии предпроектных исследований на основе двухуровневого многокритериального анализа // Прикладная информатика. 2013. № 6 (48). С. 111–121.
10. Кучуганов В. Н., Королев С. Н. Система моделирования и анализа производственных сценариев в геоинформационной среде // Прикладная информатика. 2016. № 3 (63). С. 22–30.
11. Российская Академия наук. Информационные ресурсы ИПИ РАН. Термины и определения. Официальный сайт. URL: http://www.ipiran.ru/niap/index_3.html.
12. Гумбинская М. В. Модель защищенной информационной системы интернет-банкинга // Прикладная информатика. 2015. № 5 (59). С. 62–72.



13. РД IDEF 0–2000. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ. Введ. 22.05.2000. М.: ИПК «Издательство стандартов», 2000. — 75 с.

References

1. Larichev O. I., Petrovsky A. V. *Sistemy podderzhki prinyatiya resheniy. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya* [Decision support systems. Current status and prospects of their development]. *Itogi nauki i tekhniki. Tekhnicheskaya Kibernetika*, vol. 21. Moscow, VINITI, 1987.
2. Haettenschwiler P. *Neues anwenderfreundliches Konzept der Entscheidungs-unterstützung. Gutes Entscheiden in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft*. Zurich, Hochschulverlag AG, 1999, pp. 189–208.
3. Kravchenko T. K., Seredenko N. N. *Sozdanie sistem podderzhki prinyatiya resheniy: integratsiya preimushеств otдельных podkhodov* [Creating decision support systems: integration of the advantages of the individual approach]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy*, 2012, no. 1, pp. 39–46.
4. Tikhanychev O. V. *Avtomatizatsiya podderzhki prinyatiya resheniy* [Decision Support Automation]. Moscow, Editus Publ., 2015. 96 p.
5. Tikhanychev O. V. Classification of systems of support of decision-making problems and their solutions. *Informatizatsiya i svyaz*, 2016, no. 2, pp. 50–53 (in Russian).
6. Tikhanychev O. V. On some problems in the decision support domain. *Programmnye produkty i sistemy*. 2016, no. 3. pp. 24–28 (in Russian).
7. Rybina G. V., Ivashchenko M. G., Blokhin Yu. M. Intelligent technology of integrated expert systems construction. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy*, 2011, no. 3, pp. 48–75 (in Russian).
8. Rybina G. V., Ivashchenko M. G. Methods and software intellectual support the development of integrated expert systems. *Programmnye produkty i sistemy*. 2006, no. 6, pp. 27–38 (in Russian).
9. Shakirov V. A., Pankrat'ev P. S. *Podderzhka prinyatiya reshenij na stadii predproektnykh issledovanij na osnove dvukhurovneвого mnogokriterial'nogo analiza* [Support of decision-making at the stage of pre-project studies on the basis of two-level multi-criteria analysis]. *Prikladnaya informatika — Journal of Applied Informatics*, 2013, no. 6 (48), pp. 111–121.
10. Kuchuganov V. N., Korolev S. N. *Sistema modelirovaniya i analiza proizvodstvennykh stsensariy v geoinformatsionnoy srede* [System for modeling and analyzing production scenarios in the geoinformation environment]. *Prikladnaya informatika — Journal of Applied Informatics*, 2016, vol. 11, no. 3 (63), pp. 22–30.
11. Rossijskaya Akademiya nauk. *Informacionnye resursy IPI RAN. Terminy i opredeleniya. Oficial'nyj sayt* [Information resources of the Institute of Informatization Problems Russian Academy of Sciences. Terms and

Definit
index_...
12. Tumbin
noj sis
inform
matika
5 (59),
13. RD ID
elirova
technol
of func
«Izdate

O. Tikhanychev, 27th Central Research Institute of the Ministry of Defense of Russia, Moscow, Russia, tow65@yandex.ru

Algorithms for automated decision support

The article analyzes the current status of the description of the subject area of decision support systems in terms of decision support algorithms. It was concluded that the current situation is determined by the absence of well-established views on the standard algorithms of decision-making support, it slows down the process of creating and putting into practice management decision support systems. In order to regulate the domain held formalized description of management decision-making process and introduced the concept of «small» and «extended» decision-making cycles. By «small» cycle suggested understand search for the optimal solution in a given target function and constraints. By «extended» refers to the cycle Search nontrivial solution, which can not be obtained without modifying the objective function or the removal of the restrictions. On the basis of the approach proposed to abolish the definition of an automated decision-making system and to clarify the classification of such systems. The proposed algorithmic approach fully corresponds to the current understanding of an automated decision support system in the modern sense, and will accelerate the process of implementing such systems in management practices.

Keywords: decision-making support systems, expert system, decision-making cycle, decision support algorithm.

About author: O. Tikhanychev, Senior Researcher, PhD in Technique.

For citation: Tikhanychev O. *Algorithms for automated decision support. Prikladnaya informatika — Journal of Applied Informatics*, 2017, vol. 12, no. 4 (70), pp. xx — xx (in Russian).