

На правах рукописи
УДК 629.78



Сохранный Евгений Петрович

**МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ О ПОРЯДКЕ
ЗАДЕЙСТВОВАНИЯ НАЗЕМНЫХ СРЕДСТВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
С КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ**

Специальность 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации,
статистика (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (Московский авиационный институт, МАИ).

Научный руководитель: **Почукаев Владимир Николаевич**

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник АО «ЦНИИмаш», по совместительству профессор кафедры «Системный анализ и управление» Аэрокосмического института Московского авиационного института (национальный исследовательский университет)

Официальные оппоненты: **Бетанов-Владимир Вадимович**

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник – заместитель начальника экспертно-аналитического центра АО «Российские космические системы»

Разумный Владимир Юрьевич

кандидат технических наук, доцент департамента механики и процессов управления инженерной академии ФГАОУ ВО «Российского университета дружбы народов»

Ведущая организация: 4-й Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации, 141091, Московская обл., г. Королёв, ул. М.К. Тихонравова, д. 29

Защита состоится «16» марта 2023 г. в 16:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.327.03 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по адресу: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте МАИ по ссылке: https://mai.ru/events/defence/index.php?ELEMENT_ID=169680#.

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Отзывы, заверенные печатью, просим выслать по адресу: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4, Учёный совет МАИ.

Учёный секретарь диссертационного совета

24.2.327.03, д.т.н., доцент



А.В. Старков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Существует категория задач, связанных с принятием решений по широкому кругу вопросов, для которых исходные данные, на основании которых принимаются решения, заданы не количественным показателем, а имеют чисто качественный характер. Вместе с тем, решения в конечном виде имеют и количественный характер. Для задач данной категории характерно то, что число качественных характеристик может быть очень велико, кроме того, показатели могут быть взаимозависимы. Согласно классификации, предложенной в 1958 г. в статье Г. Саймона и А. Ньюэлла, такие задачи относятся к категории неструктуризованных. Задачи подобного типа имеются во многих областях человеческой деятельности, в том числе и в космической отрасли.

В настоящей работе рассматривается решение неструктуризованной задачи применительно к одной важной задаче из области обеспечения управления космическими аппаратами (КА), суть которой заключается в следующем.

В процессе управления космическими аппаратами с использованием наземных средств взаимодействия с КА возникают ситуации, называемые спорными, когда необходимо использовать одно и то же наземное средство в одно и то же время для проведения сеансов связи с несколькими космическими аппаратами. Для принятия решения о порядке задействования наземных средств взаимодействия необходимо учесть такие факторы, как состав выполняемых с КА операций, тип КА, срок пребывания КА на орбите, этап эксплуатации КА, режим полёта КА и других, имеющих качественный характер и взаимосвязанных между собой. В этих условиях разрешение спорных ситуаций поручается группе экспертов, которые выделяют совокупность факторов, влияющих на возможные последствия принятия решений по разрешению конкретной спорной ситуации, производят сравнительную качественную оценку возможных ущербов управлению КА и по результатам оценки определяют порядок задействования наземных средств для обслуживания запросов на проведение сеансов связи с космическими аппаратами.

Вместе с тем какое-либо научно-методическое обеспечение и руководящие документы по разрешению спорных ситуаций отсутствуют. Важным фактором является также ограниченность времени на принятие решений при разрешении спорных ситуаций, что может привести к нарушению сроков планирования задействования средств. Принятие необоснованных решений может привести значительному ущербу управлению космическими аппаратами вплоть до потери космического аппарата. В условиях роста численности космических аппаратов в составе орбитальной группировки вероятность возникновения спорных ситуаций возрастает. Планирование задействования этих средств является одним из проблемных вопросов обеспечения космической деятельности. Складывающаяся ситуация становится недопустимой и требующей разработки нового механизма принятия решений.

В данной работе определены основные требования к принятию решений: подбор рациональной численности экспертной группы, обеспечение требуемого качества её специалистов, получение информации от экспертов в соответствии с возможностями человеческой системы переработки информации согласно данным психологических исследований, учёт множества разнородных взаимосвязанных факторов качественного характера, возможность экспертной группы принимать согласованные решения, определение правил работы экспертов, возможность обоснования решающего правила принимаемых решений и объяснения принимаемых решений на основе экспертных данных, возможность использования программных средств для ЭВМ при принятии решений.

Проведен анализ методов принятия решений на возможность выполнить заданные требования, позволивший выбрать метод анализа иерархий, имеющий математически обоснованный способ обработки экспертных данных. Другие методы, в том числе МАУТ, скаляризации критериев (линейной свёртки Гермейера, коэффициентов Фишберна и др.), выполнение заданных требований не обеспечивают.

На основании изложенного разработана методика принятия решений о порядке задействования наземных средств взаимодействия с космическими

аппаратами, позволяющей разработать программное обеспечение для ЭВМ, используемое при принятии решений, имеет важное практическое значение и является актуальной.

Степень разработанности задачи определения порядка задействования наземных средств взаимодействия с КА НСЭН

Вопросы задействования наземных средств взаимодействия с КА научного и социально-экономического назначения (НСЭН) при разрешении спорных ситуаций рассмотрены в работах Дудко А. Н., Кучерова Б. А., Литвиненко А. О., Поливникова В.М., Матюшина М.М., Соколова Н.Л., Овечко В.М. Колпина М.А., Проценко П.А., Слащева А.В. Приоритетное обслуживание в системах связи рассмотрено в работах Парк Дзин-Соо, Саммур Мохаммед, Терри Стефан, Ван Цзинь, Олвера-Эрнандес Юлизис. Однако в работах этих авторов вопросы комплексного учёта всех возможных для анализа факторов с использованием механизма экспертных оценок, расчёта и использования приоритетов запросов на проведение сеансов связи с КА не рассматривались.

Объекты исследования: процедуры принятия решений, зависящих от множества разнородных и взаимосвязанных факторов, имеющих качественный характер.

Предмет исследования: принятие решений о порядке задействования наземных средств взаимодействия с космическими аппаратами.

Цель работы: повышение качества и оперативности планирования задействования наземных средств взаимодействия с космическими аппаратами за счёт принятия обоснованных решений о порядке задействования наземных средств взаимодействия и обеспечения автоматизации процесса принятия решений.

Задачи исследования:

1. Определить способ представления исходных данных задачи, характеризующихся большим количеством, разнородностью, взаимосвязью и, в основном, качественным характером.

2. Разработать методику принятия решений о порядке задействования наземных средств взаимодействия с космическими аппаратами при возникновении спорных ситуаций.

3. Разработать формальные модели для автоматизации процесса принятия решений о порядке задействования наземных средств взаимодействия с КА.

4. Определить порядок задействования наземных средств взаимодействия с космическими аппаратами при возникновении спорных ситуаций.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач использовались методы теории множеств, принятия решений, графов, матриц, системного анализа, экспертных оценок, анализа иерархий, парных сравнений.

Положения, выносимые на защиту

1. Принципы формирования, структура и формальное представление исходных данных, используемых при принятии решений о порядке задействования наземных средств.

2. Методика назначения приоритетов запросам на проведение сеансов связи с космическими аппаратами, включающая формальные модели подготовки согласованных данных и расчёта значений приоритетов запросов, позволяющие разработать программные средства для расчёта численных значений приоритетов запросов.

3. Порядок задействования наземных средств взаимодействия с космическими аппаратами на основе приоритетов запросов на проведение сеансов связи с космическими аппаратами, включающий алгоритм планирования, обеспечивающий совместно с разработанными формальными моделями возможность разработки программных средств планирования задействования наземных средств взаимодействия.

Научная новизна

1. Требования к принятию решений о порядке задействования наземных средств взаимодействия с космическими аппаратами.

2. Использование метода анализа иерархий для решения задачи принятия решений о порядке задействования наземных средств взаимодействия.

3. Принципы формирования, формальное представление и структура исходных данных, *позволяющие* представить множество разнообразных, взаимосвязанных факторов качественного характера, влияющих на принятие решений, в форме иерархии.

4. Методика назначения приоритетов запросам на проведение сеансов связи с КА, *отличающаяся* возможностью расчёта приоритетов запросов на основе множества согласованных исходных данных.

5. Формальные модели подготовки согласованных данных и расчёта значений приоритетов запросов на проведение сеансов связи с КА, алгоритм планирования задействования наземных средств, *обеспечивающие* возможность разработки программных средств планирования задействования наземных средств с учётом возникновения спорных ситуаций.

6. Порядок задействования наземных средств взаимодействия с космическими аппаратами, *основанный* на использовании приоритетов запросов в.

Теоретическая значимость работы

Настоящая диссертация развивает прикладные методы принятия решений и методы планирования задействования средств взаимодействия с КА при возникновении спорных ситуаций по задействованию наземных средств взаимодействия с КА.

1. Развитие прикладных методов принятия решений заключается в разработке требований к принятию решений, разработке формальных моделей расчёта показателей оценки согласованности экспертных данных на основе теории анализа иерархий.

2. Развитие методов планирования задействования средств взаимодействия с КА заключается в разработке формальных моделей подготовки данных и расчёта значений приоритетов запросов на проведение сеансов связи с КА, в разработке алгоритма планирования задействования наземных средств взаимодействия с КА при разрешении спорных ситуаций на основе численных значений приоритетов запросов.

Практическая значимость работы состоит в:

- возможности создания нормативно-правовой базы по разрешению спорных ситуаций по задействованию наземных средств;
- возможности заблаговременной подготовки согласованных данных для расчёта значений приоритетов запросов;
- совершенствовании системы планирования задействования наземных средств взаимодействия с КА при возникновении спорных ситуаций на основе приоритетов запросов.

Степень достоверности результатов исследования обеспечивается корректным использованием апробированного аппарата указанных теорий множеств, принятия решений, графов, матриц, методов системного анализа, экспертных оценок, анализа иерархий, парных сравнений, использованием информации реально существующей базы данных о факторах, учитываемых при принятии решений, моделированием вариантов принимаемых решений, выполнением требований к научному обоснованию решений.

Апробация результатов работы. По теме диссертации опубликовано 13 работ [1-13], из них 6 [1-6] в рецензируемых изданиях, определённых высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации, 10 [1-5, 7, 10-13] в соавторстве, получены 2 патента на изобретения [10, 11], 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ [12, 13]. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на конференции в МГТУ им. Н.Э. Баумана «Современные проблемы науки и образования в ракетно-космической технике и автоматизация производства».

Личный вклад. Автором определены требования к обоснованности и оперативности принятия решений, предложены условия, определяющие численность экспертной группы, разработана методика назначения приоритетов запросов на проведение сеансов связи с КА, включая формальные модели подготовки согласованных данных и расчёта значений приоритетов запросов, разработаны алгоритмы эквивалентного преобразования иерархической

структуры исходных данных при объединении её элементов в группы и алгоритм планирования задействования наземных средств взаимодействия с учётом возникновения спорных ситуаций по задействования средств, обеспечивающие совместно с разработанными моделями возможность разработки программных средств для автоматизации процесса принятия решений.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа содержит введение, 5 глав, заключение, перечень сокращений и условных обозначений, список терминов, список литературы. Диссертация изложена на 151 листе, в том числе 14 рисунков и 30 таблиц, список литературы включает 87 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования диссертационной работы, охарактеризовано состояние исследуемого вопроса, сформулированы цель и задачи исследования, положения, выносимые на защиту, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, степень достоверности исследования. Представлены сведения о публикациях автора, об апробации результатов работы и состав работы.

В первой главе проведен анализ существующего порядка задействования наземных средств взаимодействия с космическими аппаратами. Рассмотрен процесс разрешения спорных ситуаций, особенности его реализации в различных режимах планирования, отмечены такие недостатки, как отсутствие руководящих документов по разрешению спорных ситуаций, количественных оценок важности факторов, влияющих на разрешение спорных ситуаций, способа комплексного учёта влияния факторов на разрешение спорных ситуаций, численных оценок важности запросов на проведение сеансов связи с КА, что делает невозможным обоснованное разрешение спорных ситуаций. Наиболее существенным возможным последствием принятия необоснованных решений является потеря космического аппарата. Для оценки важности запросов на проведение сеансов связи обоснована необходимость использования обобщённого числового

показателя – приоритета запроса, учитывающего все возможные для оценки факторы.

Проведен анализ основных факторов, влияющих на порядок задействования наземных средств взаимодействия с КА, позволивший выделить их такие особенности, как большое количество и разнородность, качественный характер, наличие взаимосвязей между факторами.

С учётом особенностей факторов, влияющих на принятие решений, рекомендаций теории принятия решений по научному обоснованию решений, необходимости принятия решений в контуре управления космическими аппаратами определены основные требования к принятию рассматриваемых решений, которые приведены во введении.

Во второй главе рассмотрены вопросы формирования иерархической структуры исходных данных, требования к экспертам, предложены условия, определяющие численность экспертной группы, подтверждающие рекомендации литературы о рациональном составе экспертной группы не менее семи и не более двадцати специалистов.

Определён порядок разработки, разработаны принципы формирования, на их основании – иерархическая структура исходных данных задачи, представленная на рисунке 1, и её формальная модель, являющиеся основой для разработки и формализации этапов подготовки данных для расчёта значений приоритетов. Обоснована необходимость расположения на нижнем уровне иерархической структуры операций, проводимых с КА, на вышерасположенных уровнях – элементов, определяющих условия выполнения операций и влияющих на принятие решений, на верхнем уровне – приоритета запроса, как целевой функции.

Во третьей главе рассмотрена методика назначения приоритетов запросов на проведение сеансов связи с космическими аппаратами. Приведено обоснование использования метода анализа иерархий для назначения приоритетов запросов.

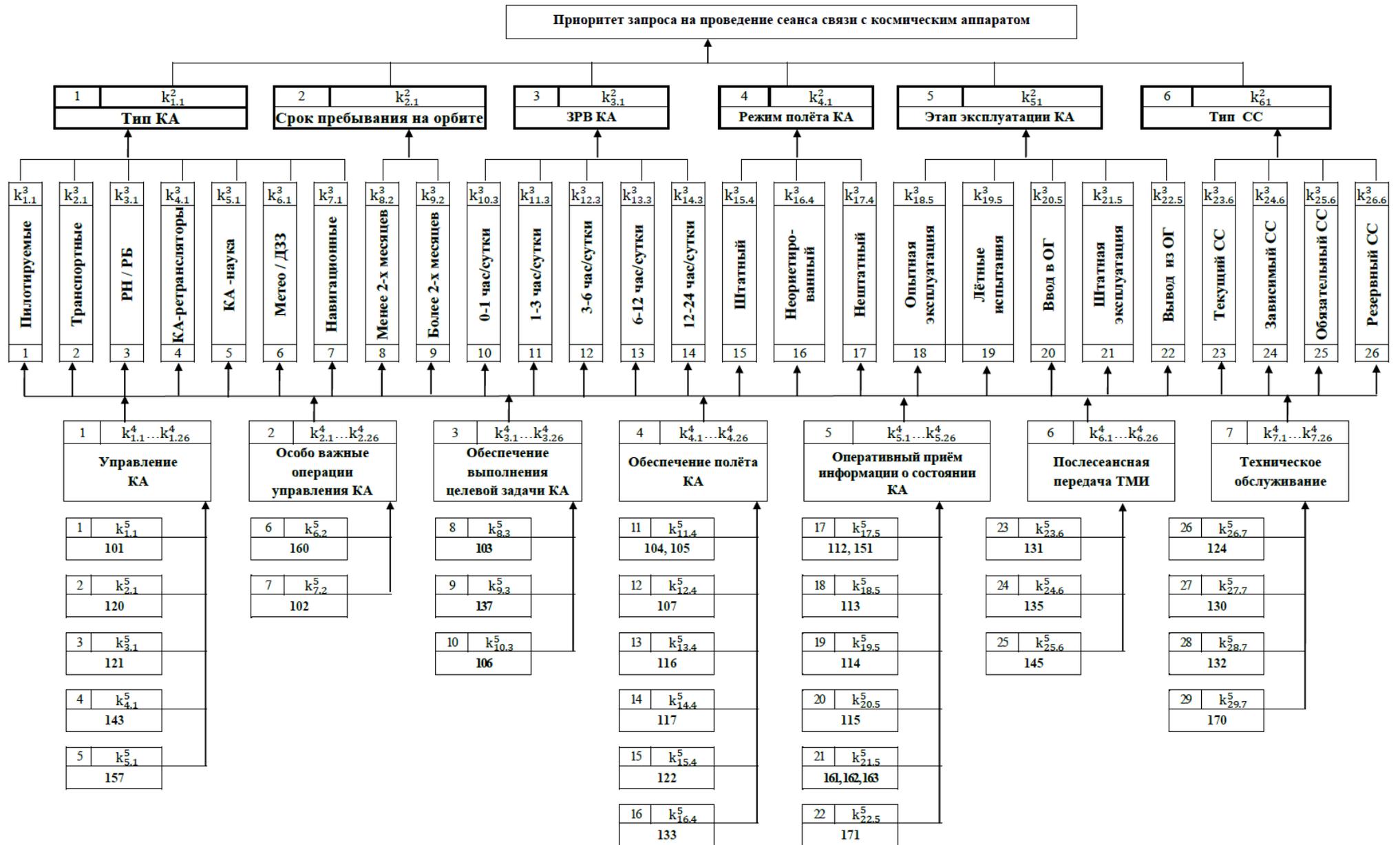


Рисунок 1 –Иерархическая структура исходных данных

Определены перечень и содержание этапов подготовки данных и расчёта значений приоритетов запросов. На первом этапе каждый эксперт формирует матрицы отношений, отражающие результаты попарных качественных сравнений элементов группы определённого уровня иерархической структуры относительно каждого элемента вышерасположенного яруса ИС, связанного с элементами данной группы. Качественные оценки основаны на способности человека производить разграничения пятью определениями: равный, слабый, сильный, очень сильный и абсолютный. Каждой качественной оценке соответствует численное значение. Выбор численных значений основывается на склонности человека приводить количественные оценки в соответствии с числами 1, 3, 5, 7, 9, используемыми в методе анализа иерархий. Далее на основании каждой матрицы отношений формируется частная обратно-симметричная матрица сравнений, отражающая относительную важность всех сравниваемых элементов группы в численном выражении. Элементом обратно-симметричной матрицы присущи следующие соотношения: $a_{ii}=1$, $a_{ij}=1/a_{ji}$. Важнейшими свойствами матрицы сравнений являются возможность оценки согласованности суждений каждого эксперта и мнений группы экспертов, а также возможность определения приоритетов элементов иерархической структуры (сравниваемых элементов, факторов), равных нормализованным значениям главного собственного вектора, соответствующего максимальному собственному значению матрицы. Каждая матрица сравнений проверяется на согласованность. Оценка согласованности частных мнений группы экспертов проводится по значению коэффициента конкордации Кендалла. Выявление экспертов, нарушающих согласованность суждений, осуществляется по нарушению условия транзитивности и формулы согласованности экспертных оценок.

На основании частных матриц сравнений формируются обобщённые матрицы сравнений путём среднегеометрического усреднения по экспертам соответствующих значений элементов частных матриц сравнений, что позволяет снизить влияние больших отклонений оценок некоторых экспертов

на общую оценку. Данные матрицы используются для оценки согласованности обобщённых мнений группы экспертов и иерархии иерархической структуры и для определения итоговых значений приоритетов элементов иерархической структуры. Выявление экспертов, нарушающих согласованность мнений группы экспертов, осуществляется по максимальному отклонению мнений экспертов от среднего мнения группы. При выявлении нарушений согласованностей осуществляется корректировка соответствующих экспертных оценок либо исключение экспертов из состава группы.

На завершающем этапе подготовки данных для расчёта значений приоритетов запросов разрабатываются исходные матрицы уровневых связей иерархической структуры, отражающие взаимосвязи элементов всех пар рядом расположенных уровней ИС. На этапе расчёта значений приоритетов запросов формируются рабочие матрицы уровневых связей, элементы которых присущи рассматриваемому запросу. Приоритет запроса на проведение сеанса связи с КА представляет собой сумму взвешенных приоритетов операций, соответствующих элементам нижнего уровня иерархической структуры, присущих данному запросу. Взвешенность определяется условиями выполнения каждой операции, представляемыми элементами вышерасположенных уровней иерархической структуры, связанными с данной операцией. Данные условия определяются значениями приоритетов этих элементов. Поэтому итоговое значение приоритета операции определяется как произведение приоритета операции на приоритеты связанных с ней элементов вышерасположенных уровней иерархической структуры. Сумма итоговых значений приоритетов операций представляет приоритет запроса, для которого присущи данные операции. Математически это осуществляется путём перемножения рабочих матриц уровневых связей элементов иерархической структуры, начиная с нижнего уровня до верхнего, и суммирования полученных взвешенных значений приоритетов операций. В первую очередь реализации подлежат сеансы связи, для которых приоритеты запросов имеют наибольшие значения, остальные переносятся на другое время и/или средство.

Формально матрица отношений представляет собой множество C^o в виде

$$C^o = \{c_{l,m}^{q,h}\}, l=\overline{1,L}, m=\overline{1,M}, h=\overline{1,H}, q=\overline{1,Q},$$

где l – номер строки, m – номер столбца, L – количество строк, M – количество столбцов матрицы отношений, q – номер вершины вышерасположенного уровня ИС, с которым связана вершина данного уровня; Q – количество вершин на вышерасположенном уровне ИС; h – номер эксперта; H – количество экспертов.

Значения элементов матрицы отношений определяются скобкой (нотацией) Айверсона:

$$c_{l,m}^{q,h} = \begin{cases} 1, & \text{если } o_{l,m}^{q,h} = o_m^t; \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где $o_{l,m}^{q,h}$ – значение качественной оценки h -го эксперта по m -му столбцу при сравнении элементов \mathcal{E}_i и \mathcal{E}_j l -ой строки по влиянию на элемент номер q вышерасположенного уровня; o_m^t – табличное значение качественной оценки по шкале отношений, $o_m^t \in O^t$; O^t – множество табличных оценок.

Матрица сравнений $A = \{a_{ij}\}$ представляет собой квадратную матрицу, строки и столбцы которой соответствуют номерам сравниваемых элементов.

Матрицу сравнений A представим в виде объединения подмножеств A^d :

$$A = \bigcup_{d=1}^3 A^d,$$

$$A^d = \{a_{i,j}^d\}, d = \overline{1,3},$$

$$A^1 = \{a_{i,j}^1\} = \{b_m, m: c_{l,m}^{q,h} = 1, \varphi_2: l \rightarrow i^1, j^1, \varphi_1: m \rightarrow b_m\};$$

$$A^2 = \{a_{i,j}^2\} = \{1, i^2 = j^2\},$$

$$A^3 = \{a_{i,j}^3\} = \{1/b_m, i^3 = j^1, j^3 = i^1: A^3 = A - \bigcup_{d=1,2} A^d\},$$

где $a_{i,j}^d$ – численное значение сравнительной оценки элементов подмножества A^d с номерами (координатами) i и j ;

i, j – номера сравниваемых элементов, соответствующие номерам строк и столбцов матрицы сравнений ($i, j = \overline{1, N}$), верхние индексы определяют принадлежность к подмножеству A^d ;

b_m – табличное численное значение качественной оценки;

m – номер оценки (столбца);

φ_1 – табличное соответствие между качественными оценками матрицы отношений и количественными оценками матрицы сравнений:

φ_2 – табличное соответствие между множеством номеров строк (L^c) матрицы отношений и множеством координат (I^1, J^1) элементов матрицы сравнений (множеством номеров сравниваемых элементов), определяющее положение элементов в матрице сравнений в зависимости от номера строки матрицы отношений.

Схема формирования элементов обратно-симметричной матрицы сравнений представлена на рисунке 2.

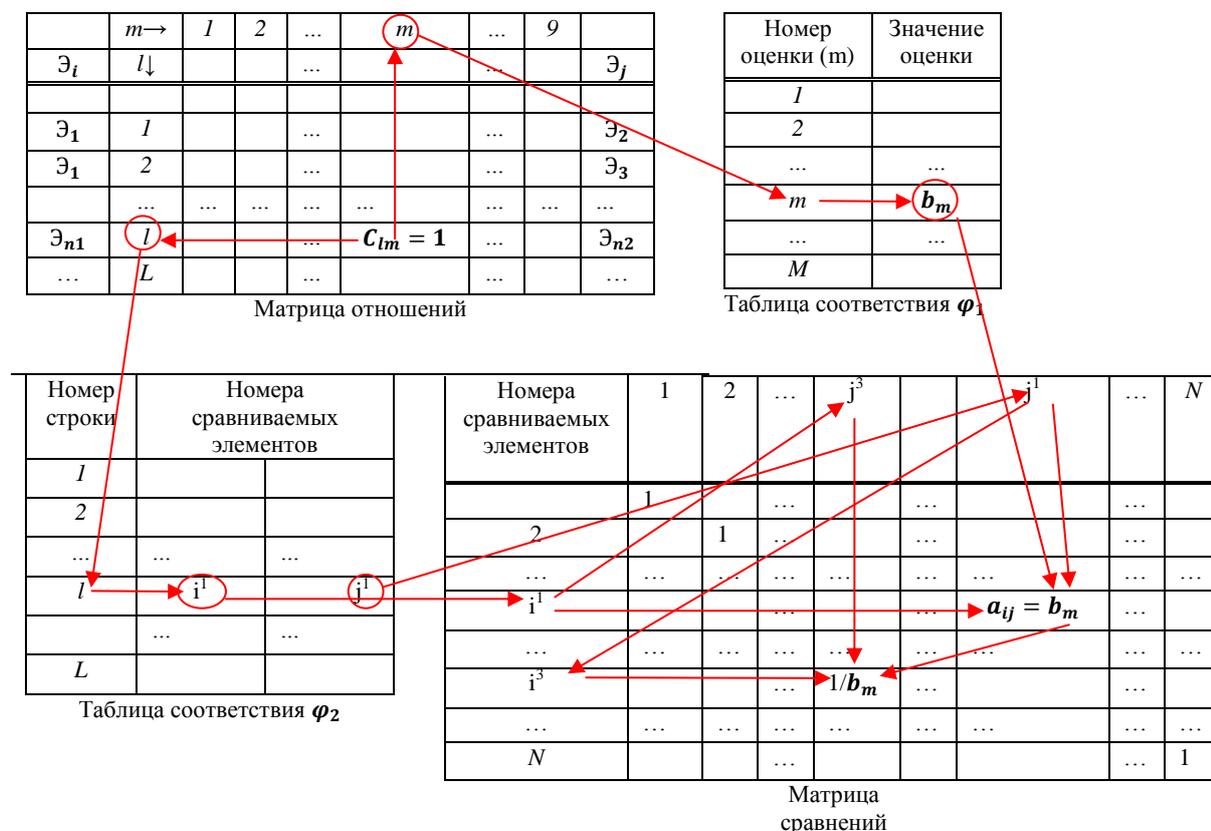


Рисунок 2 – Схема формирования элементов матрицы сравнений

Отношение согласованности, используемое для оценки согласованности суждений каждого эксперта, мнений группы экспертов и иерархии ИС, вычисляется по формуле

$$OC = \frac{I_{нС}}{M(i_{нС})},$$

где $I_{нС}$ – индекс согласованности положительной обратно-симметричной матрицы сравнений, рассчитываемый по формуле

$$I_{нС} = \frac{\lambda_{\max} - N}{N - 1},$$

λ_{\max} – приближенное значение максимального собственного значения;

$M(i_{нС})$ – среднее значение индекса согласованности случайным образом составленной матрицы парных сравнений, которое основано на экспериментальных данных. Значение $M(i_{нС})$ есть табличная величина, входным параметром для которой выступает значение N (размерность матрицы). Значение $OC \leq 0,1$ считается приемлемым.

Приведены расчётные формулы для ранжирования экспертных данных.

Приведен порядок расчёта значений приоритетов элементов иерархической структуры, равных значениям нормализованных собственных векторов обобщённых матриц сравнений.

Исходная матрица уровневых связей представляется в виде

$$K^r = \begin{pmatrix} k_{11}^r & \dots & k_{1q}^r & \dots & k_{1Q}^r \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{p1}^r & \dots & k_{pq}^r & \dots & k_{pQ}^r \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{r1}^r & \dots & k_{rq}^r & \dots & k_{rQ}^r \end{pmatrix},$$

где $k_{p,q}^r$ – значение приоритета элемента номер p уровня r , связанного с элементом q уровня $r-1$.

С учётом изложенного значение приоритета c -го запроса вычисляется по формуле

$$pr_c = e \times \left(\prod_{r=R_{\max}}^2 K^{r, \text{раб}} \right)$$

где pr_c – приоритет c -го запроса;
 e – единичный вектор-строка;
 Π – знак перемножения матриц;
 R_{max} – максимальный номер яруса, соответствующий нижнему уровню иерархической структуры исходных данных;
 $K^{r,раб}$ – рабочая матрица уровневых связей элементов иерархической структуры, формируемая при возникновении спорной ситуации из исходной матрицы путём обнуления значений неактивных элементов.

Разработаны формальные модели формирования указанных матриц и расчёта значений приоритетов запросов.

Показана невозможность применения формулы расчёта приоритетов запросов при объединении элементов иерархической структуры в группы, нарушающем принципы формирования иерархической структуры. Разработан алгоритм преобразования иерархической структуры, позволяющий сформировать матрицы уровневых связей для расчёта приоритетов запросов с использованием матричных вычислений.

В четвёртой главе рассмотрен порядок задействования наземных средств взаимодействия с космическими аппаратами на основе приоритетов запросов, основным элементом которого является алгоритм планирования задействования НСВ с КА, приведенный на рисунке 3.

Данный алгоритм учитывает особенности оперативного (блок 4) и текущего (блок 20) планировании, в частности ограниченность времени на принятие решений, путём распределения поступившего запроса на запланированную в заявке зону (ПЗРВ) радиовидимости (блоки 10-11) с учётом достаточности времени ЗРВ (T_{zrv}) для реализации запроса (T_z) (блоки 8-9), либо поиска возможности реализации запросов за счёт использования свободных зон (СЗРВ) и свободных фрагментов (СФЗРВ) зон радиовидимости (блоки 16-18, 19, 21-22, 31-33). При поступлении спорного запроса с более высоким приоритетом его реализация осуществляется во время и на средстве, занятым запросом с более низким приоритетом (блоки 27-29) с присвоением последнему статуса

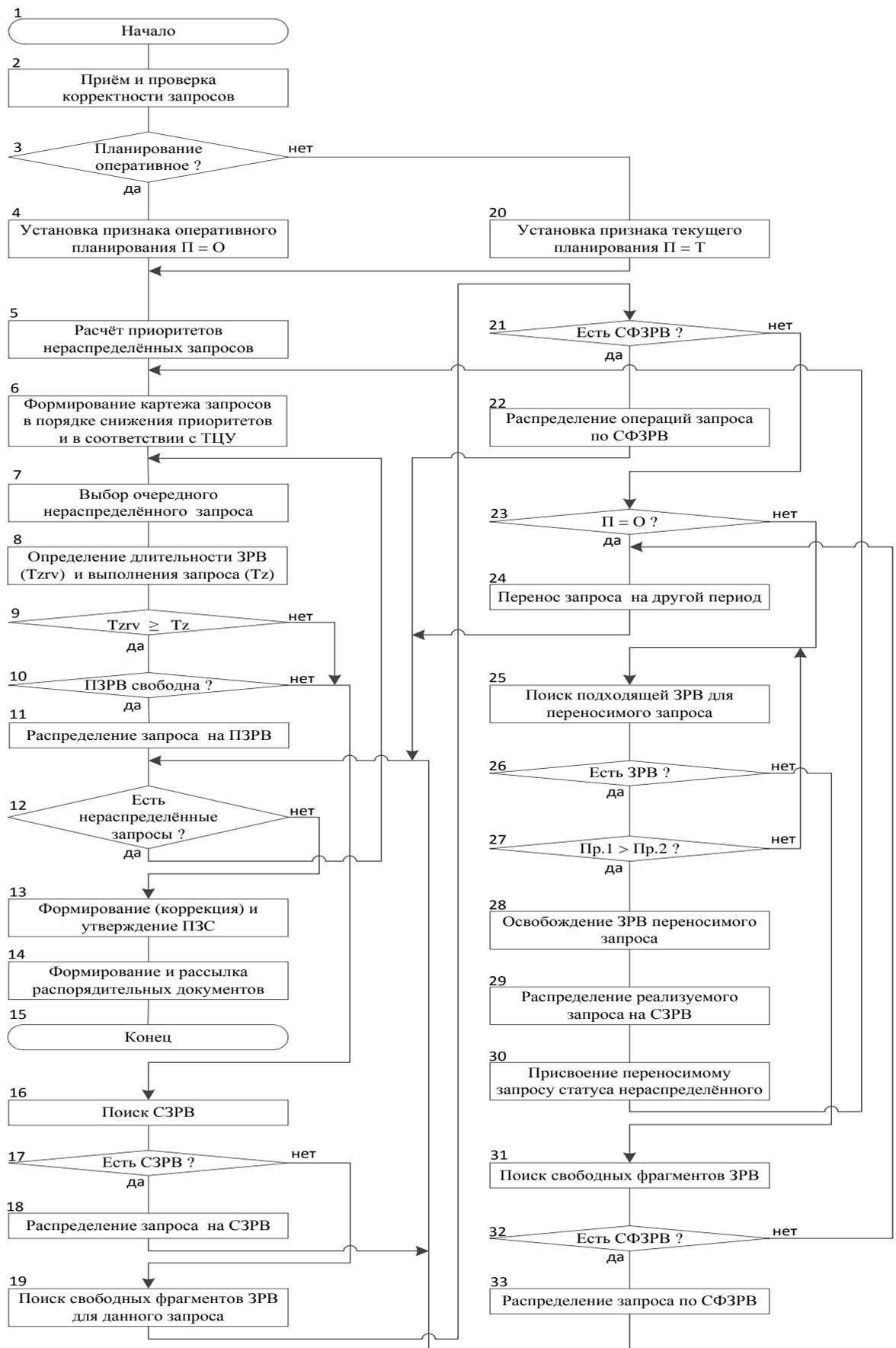


Рисунок 3 – Схема алгоритма планирования задействования наземных средств взаимодействия с космическими аппаратами

нераспределённого (блок 30) для его дальнейшего распределения. Запросы, реализация которых на планируемом (суточном) периоде невозможна, переносятся на другой период планирования (блок 24). Операции приёма и проверки корректности запросов (блок 2), а также формирования (коррекции) ПЗС, формирования и рассылки исполнителям распорядительных документов по реализации ПЗС (блоки 13-14), выполняются существующими программными средствами. Реализация разработанного алгоритма предполагает доработку существующего программного комплекса оперативного планирования в части определения порядка задействования наземных средств взаимодействия с КА при возникновении спорных ситуаций.

Приведен пример определения порядка задействования наземных средств взаимодействия с космическими аппаратами при возникновении реальной спорной ситуации по задействованию средства номер 201 при проведении сеансов связи с КА «Стерх» и «Канопус–В». На основании разработанной иерархической структуры исходных данных (факторов) и экспертных оценок важности её элементов проведены оценки согласованности экспертных данных, удовлетворяющие заданным требованиям, рассчитаны приоритеты элементов иерархической структуры, сформированы исходные матрицы уровневых связей. В соответствии с составом операций, указанных в запросах на проведение сеансов связи с КА «Стерх» и «Канопус–В» и расположенных на нижнем уровне ИС, и ограничениями по их проведению, заданными элементами выше расположенного уровня, сформированы рабочие матрицы уровневых связей для каждого космического аппарата. Перемножив данные матрицы, используя аппарат средства Excel, получены значения приоритетов запросов на проведение сеансов связи с КА «Стерх» и «Канопус–В», равные соответственно 0,00070 и 0,00517, на основании которых принято решение о задействовании средства номер 201 для проведения сеанса связи с КА «Канопус–В», сеанс связи с КА «Стерх» перенесен на следующие сутки. Приведены все формируемые при этом документы.

В пятой главе приведена оценка возможности выполнения требований к принятию решений о порядке задействования наземных средств. Требования к

обоснованности решений обеспечиваются: возможностью привлечения в состав экспертной группы не менее 7-ми и не более 20-ти квалифицированных специалистов; комплексным учётом максимально возможного количества разнообразных и взаимосвязанных факторов качественного характера; согласованностью экспертных данных (суждений каждого эксперта, мнений группы экспертов и иерархии иерархической структуры), оцениваемой значением отношения согласованности, равным не более 0,1; работой экспертов по заполнению матриц отношений, матриц сравнений и матриц уровневых связей, оценки согласованности экспертных данных и расчёта значений приоритетов факторов и запросов на проведение сеансов связи в соответствии с требованиями метода анализа иерархий; возможностью объяснения вариантов решений на основании экспертных оценок; использованием в качестве решающего правила первоочередного обслуживания запросов с наивысшими приоритетами.

Прогнозная экспертная оценка оперативности показывает, что время принятия решения с использованием программных средств для ЭВМ составит не более 4-7 минут при существующем ограничении до 25 минут, что свидетельствует о возможности выполнения требований к оперативности.

Заключение

В диссертации получено решение актуальной научно-технической задачи разработки методики принятия решений о порядке задействования наземных средств взаимодействия с космическими аппаратами, имеющее существенное значение для повышения качества и оперативности планирования задействования средств.

1. Определены основные понятия, используемые при определении порядка задействования наземных средств взаимодействия с космическими аппаратами: наземное средство взаимодействия (НСВ) с КА, спорная ситуация по задействованию НСВ, сеанс связи с КА, запрос на проведение сеанса связи с КА, приоритет запроса на проведение сеанса связи с КА.

2. На основе системного анализа существующего порядка задействования наземных средств взаимодействия с КА определены основные требования к

принятию решений, выполнение которых обеспечит обоснованность и оперативность принятия решений.

3. Предложены условия, определяющие численность экспертной группы.

4. На базе метода анализа иерархий разработана методика назначения приоритетов запросов на проведение сеансов связи с КА, включающая формальные модели подготовки согласованных данных и расчёта значений приоритетов запросов, позволяющие разработать программные средства для расчёта численных значений приоритетов запросов по согласованным экспертным данным. Разработан алгоритм эквивалентного преобразования иерархической структуры при объединении её элементов в группы, обеспечивающий в данном случае возможность использования матричных вычислений при расчёте значений приоритетов запросов. Существенным преимуществом методики является возможность заблаговременно выполнить наиболее трудоёмкую и ответственную работу по подготовке согласованных данных для расчёта значений приоритетов на основе обработки экспертной информации. Новизна и практическая полезность разработанной методики подтверждена полученным патентом на изобретение.

5. Определён порядок задействования наземных средств взаимодействия с космическими аппаратами на основе приоритетов запросов с учётом особенностей различных режимов планирования задействования наземных средств, включающий алгоритм планирования, обеспечивающий совместно с разработанными формальными моделями возможность разработки программных средств, используемых при принятии решений. Новизна и практическая полезность разработанного порядка подтверждена полученным патентом на изобретение.

6. Приведена оценка возможности выполнения требований к обоснованности и оперативности принятия решений, свидетельствующая о возможности их выполнения при управлении КА.

7. Результаты работы используются в АО «ЦНИИмаш» при планировании задействования наземных средств взаимодействия для обеспечения управления космическими аппаратами.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в периодических изданиях из перечня ВАК, соответствующих научной специальности 2.3.1. – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)»:

1. Золотарёв А.Н., Сохранный Е.П. О центре ситуационного анализа, координации и планирования работы средств наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами научного и социально-экономического назначения и измерений. «Космонавтика и ракетостроение», №1(62), 2011, с.162 – 171. (9 с. авт., №1(62), № 1146 в перечне ВАК до 30.11.2015 г.)

2. Дудко А.Н., Золотарёв А.Н., Литвиненко А.О., Сохранный Е.П. Метод оптимальной организации обработки заявок на проведение сеансов связи с космическими аппаратами научного и социально-экономического назначения. «Космонавтика и ракетостроение», №4(65), 2011, с. 84-91. (6 с. авт., № 1146 в перечне ВАК до 30.11.2015 г.)

3. Дудко А.Н., Литвиненко А.О., Сохранный Е.П. Использование метода ситуационного анализа при планировании задействования ТСУ НАКУ с целью обеспечения управления ОГ КА НСЭН. «Космонавтика и ракетостроение», №4(69), 2012, с. 128-141. (8 с. авт., № 1146 в перечне ВАК до 30.11.2015 г.)

4. Дудко А.Н., Кучеров Б.А., Литвиненко А.О., Сохранный Е.П. Метод планирования бесконфликтного задействования наземных технических средств при обеспечении управления группировкой космических аппаратов. «Космонавтика и ракетостроение», №1(74), 2014, с. 155-163. (6 с. авт., № 1146 в перечне ВАК до 30.11.2015 г.)

5. Дудко А. Н., Кучеров Б. А., Литвиненко А. О., Сохранный Е.П. Метод повышения оперативности задействования средств управления космическими аппаратами научного и социально-экономического назначения. «Космонавтика и ракетостроение», №1(86), 2016, с. 103-109. (5 с. авт., № 1145 в перечне ВАК с 01.12.2015 г. по 27.12.2018 г. по группам специальностей)

6. Сохранный Е.П. Задача назначения приоритетов запросов на проведение сеансов связи с космическими аппаратами. «Лесной вестник», №4, 2019, том 23, с. 98-105. (8 с. авт., № 1326 в перечне ВАК по состоянию на 22.10.2021 г.).

Статьи в других периодических изданиях:

7. Вороновский В.В., Дудко А.Н., Матюшин М.М., Сохранный Е.П., Усиков С.Б., Сохранная А.Е. Задача назначения приоритетов запросов на проведение сеансов связи с космическими аппаратами научного и социально-экономического назначения. Формирование иерархической структуры исходных данных. «Космонавтика и ракетостроение», № 1 (100), 2018, с 89-99.

8. Сохранный Е.П. Способы решения основных проблемных вопросов разрешения конфликтных ситуаций по задействованию наземных средств управления космическими аппаратами. Труды МАИ. 2019, № 108, URL:<https://trudymai.ru/hubhished?ID=109228>.

9. Сохранный Е.П. Подготовка данных и расчёт значений приоритетов запросов на проведение сеансов связи с космическими аппаратами научного и социально-экономического назначения. Труды МАИ. 2020, № 111, URL:<https://trudymai.ru/hubhished?ID=115156>.

Патенты на изобретения и свидетельства о государственной регистрации программ для электронных вычислительных машин:

10. Дудко А.Н., Кучеров Б.А., Литвиненко А.О., Овечко В.М., Паздников В.Ю., Сохранный Е.П. Способ разрешения конфликтных ситуаций при управлении полетами космических аппаратов. Патент на изобретение RU 2566171 С2, 20.10.2015. Заявка № 2014101209/11 от 16.01.2014.

11. Вороновский В.В., Дудко А.Н., Кулик М.С., Кучеров Б.А., Литвиненко А.О., Паздников В.Ю., Соловьева Л.Ю., Сохранный Е.П., Усиков С.Б., Хроменков А.С. Способ назначения приоритетов запросам на проведение сеансов связи с космическими аппаратами научного и социально-экономического назначения. Патент на изобретение № 2659773 С1, 03.07.2018. Заявка № 2017138950 от 09.11.2017.

12. Кучеров Б.А., Сохранный Е.П., Дроздова Е.В., Романюгин Д.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010611191. Программный комплекс оперативного планирования задействования средств наземного автоматизированного комплекса управления космическим аппаратами научного и социально-экономического назначения и измерений. 2010.

13. Кучеров Б.А., Сохранный Е.П., Дроздова Е.В., Романюгин Д.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010611192. Программный комплекс информационного обмена центра ситуационного анализа, координации и планирования с абонентами. 2010.