

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РОССИЙСКИХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПОВ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Мельничук А.В., Нестеров В.А., Судаков В.А., Сыпало К.И.

*Московский Авиационный Институт (Национальный Исследовательский
Университет)*

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

Национальный исследовательский центр “Институт имени Н.Е. Жуковского”

alexander.melnichyuk@gmail.com, sudakov@ws-dss.com

Аннотация: В реализации программного приложения для определения рациональных взлетно-посадочных характеристик воздушных судов российского производства предложены принципы экспертной системы. Разработана модульная архитектура процесса определения параметров взлета и посадки в рассматриваемой системе. Разработан прототип клиент-серверного программного приложения для электронного полетного планшета на примере конкретного типа российского воздушного судна.

Ключевые слова: программное приложение, экспертная система, взлетно-посадочные характеристики, электронный полетный планшет, electronic flight bag.

Введение

Взлетно-посадочные характеристики (ВПХ) имеют критически важное значение для обеспечения безопасности полетов воздушных судов (ВС). К ВПХ относятся:

- определение максимальной взлетной массы ВС;
- характерные скорости (V_1 – скорость принятия решения, V_R – скорость подъема передней опоры шасси, V_2 – безопасная скорость взлета, V_{REF} – скорость захода на посадку);
- посадочная масса.

В последнее время широкое распространение для их расчета получили специализированные программные приложения для электронного планшета летчика (Electronic Flight Bag - EFB), в качестве которых используются планшетные компьютеры.

Использование вышеуказанных программных приложений позволяет ускорить процесс расчета ВПХ, а их вычислительные мощности позволяют осуществлять расчеты ВПХ для всех возможных положений механизации крыла и режимов тяги при взлете и выбрать рациональные их значения, что позволит повысить экономическую эффективность эксплуатации ВС (выраженную в экономии ресурсов двигателей, снижению расхода топлива, увеличению коммерческой загрузки), обеспечивая при этом высокий уровень безопасности при взлете и посадке. Указанные программные приложения существуют для большинства типов зарубежных ВС. Недостатком зарубежных программных решений является то, что правила принятия решений жестко прописаны в «коде» системы и переход на новые типы воздушных судов требует перепрограммирования приложения.

Для ВС отечественного производства подобных систем нет, и необходимость разработки для них системы расчета ВПХ была рассмотрена в [1] и [2]. Актуальной научно-технической задачей является разработка общих принципов создания подобного рода систем применимых для широкого спектра военных и гражданских воздушных судов. Для повышения безопасности ее использования и упрощения наполнения предлагается применить принципы искусственного интеллекта в виде экспертной системы. Экспертную систему предлагается использовать для:

- анализа и проверки правильности, полноты и актуальности исходных данных;
- корректировки результатов расчета в соответствии с правилами перечня минимально исправного оборудования (MEL) и перечня допустимых повреждений и неисправностей (CDL), политики компании;
- предоставления пилотам дополнительной справочной информации (процедуры вылета с одним неработающим двигателем, информации о факторе, ограничивающем в конкретном расчете максимальный взлетный вес воздушного судна);
- информирования пилота о выявленных ошибках и способах их исправления.

1 Постановка задачи

Разрабатываемая система расчета ВПХ должна соответствовать международным требованиям к программным приложениям EFB, представленным в инструктивном материале ICAO Doc 10020 [3].

Опыт использования программного обеспечения для расчета взлетно-посадочных характеристик воздушных судов иностранного производства указывает на большое количество ошибок, связанных с вводом и интерпретацией данных. Поэтому при проектировании графического интерфейса разрабатываемой системы, в целях снижения рисков ошибок при вводе данных пилотами, необходимо также учитывать принципы, изложенные в вышеуказанном нормативном документе ICAO Doc 10020. К основным таким принципам относятся:

- входные и выходные данные должны четко различаться, а вся информация, необходимая для выполнения конкретной задачи, должна быть легко доступна пользователю;
- все данные, необходимые для выполнения расчета взлетно-посадочных характеристик, должны запрашиваться и отображаться с использованием корректных и однозначных наименований, а единицы измерения должны соответствовать единицам измерения, используемым для тех же данных в других источниках в кабине пилотов;
- обозначение вводимых пользователем данных должно четко отличаться от обозначения значений, заданных по умолчанию, а также значений, полученных от других источников (например, бортовых систем, или интернет-ресурсов);
- регистрационный номер воздушного судна, для которого производится расчет, должен четко отображаться для летных экипажей в том случае, когда имеются различия данных между регистрационными номерами;
- система должна принимать введенные данные для расчета только в том случае, если они не выходят за пределы сертифицированных эксплуатационных условий воздушного судна, а также укладываются в диапазон эксплуатационных условий, утвержденный эксплуатантом;
- все допущения, принятые для расчета взлетно-посадочных характеристик (например, состояние работы систем ВС, полная или пониженная тяга) должны быть четко отображены;

- пользователь должен иметь возможность легко исправить входные данные (например, для учета последних изменений);
- любые выбранные отложенные дефекты/отклонения MEL/CDL должны быть четко видимы и идентифицируемы;
- изменения пилотом данных о взлетно-посадочной полосе и/или препятствиях должны быть четко отображены и идентифицируемы.

Функциональным назначением разрабатываемой системы являются определение максимально допустимой взлетной и посадочной масс воздушного судна, рациональных параметров взлета и посадки.

Система будет использоваться для решения следующих задач:

- определение максимально допустимой взлетной массы воздушного судна для фактических условий взлета;
- определение характерных скоростей для фактической взлетной массы и фактических условий взлета;
- определение рациональных параметров взлетной и посадочной конфигурации воздушного судна, при которых обеспечивается наивысшая экономическая эффективность его эксплуатации (режим тяги двигателей, положение механизации крыла самолета, режим торможения), и обеспечивающих необходимый уровень безопасности для выполнения взлета и посадки;
- определение максимальной посадочной массы;
- определение характерных скоростей на посадке для фактической массы самолета и условий посадки;

В разрабатываемой системе предполагается использование блоков, показанных на рисунке 1.

Разделение системы на блоки необходимо для обеспечения ее адаптивности и расширяемости, позволяя учитывать специфику различных типов воздушных судов.

Наполнение расчетного модуля может производиться либо предварительно рассчитанными специфическими для конкретного типа ВС таблицами анализа зависимостей ВПХ, либо электронными данными (оцифрованными номограммами) из руководства по летной эксплуатации.



Рис. 1. Архитектура процесса расчета ВПХ

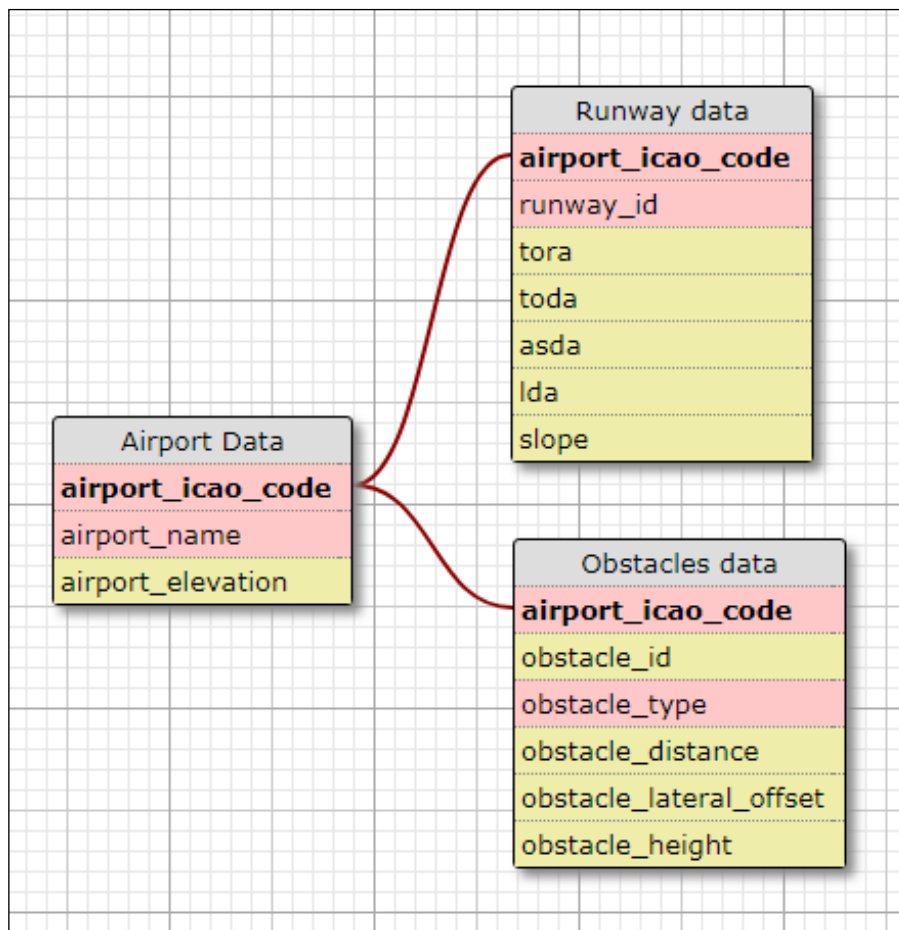


Рис. 2. Фрагмент структуры базы данных характеристик аэропортов

Для наполнения базы данных по аэропортам, ВПП и препятствиям используется информация из специализированных источников аэронавигационной информации. Фрагмент логической структуры указанной базы данных представлен на рисунке 2. Таблица «Airport Data» включает в себя кортежи ИКАО-кодов аэропортов, названия аэропортов и их значения их превышений. В таблицу «Runway data» включены кортежи, касающиеся характеристик взлетно-посадочных полос аэропортов: их идентификаторы, заявленные дистанции (TORA – располагаемая дистанция разбега, TODA – располагаемая дистанция взлета, ASDA – располагаемая дистанция прерванного взлета, LDA – располагаемая посадочная дистанция) и значения уклонов (SLOPE). В таблицу «Obstacles data» входят кортежи идентификаторов препятствий, их типы, удаления препятствия от торца взлетно-посадочной полосы, значения боковых удалений и высот.

Указанная база данных подвержена необходимости частых обновлений. Ее актуальность, целостность, точность и качество имеют критическое значение в процессе расчета характеристик взлета и посадки.

Наполнение базы знаний экспертной системы будет производиться правилами, описывающими влияющие на взлетно-посадочные характеристики ограничения, установленные эксплуатантом/авиационными властями, а также условия для осуществления анализа исходных данных на корректность и актуальность. Анализ исходных данных позволит снизить вероятность допущения ошибки при вводе информации и исключить непреднамеренное использование неактуальной информации (например, использование в расчете устаревшей информации о погодных условиях или устаревшей базы данных характеристик аэродромов). Помимо вышеуказанных ограничений, влияние на расчет взлетно-посадочных характеристик могут оказать отложенные дефекты и отклонения конфигурации по MEL/CDL. Указанные документы представляют собой категоризированные перечни систем, приборов и оборудования ВС, и состоящие из разделов и пунктов, для которых могут быть созданы правила, в соответствии с которыми экспертной системой будет выполняться необходимая корректировка параметров.

Для управления правилами в экспертной системе предлагается создание специального языка описания знаний с использованием концепции предметно-ориентированного языка

программирования (DSL). Данный подход позволит создать ясный и точный язык для работы с предметной областью, обеспечить необходимую гибкость при создании правил и управлении ими.

2 Выбор аппаратной платформы EFB

В соответствии с международным нормативным документом ICAO «Doc 10020. Руководство по электронным полетным планшетам (EFB)» [3], аппаратное обеспечение EFB может быть переносным или встроенным (т.е. установленным стационарно и являться частью конфигурации ВС).

Наиболее перспективными являются EFB переносного типа, аппаратная платформа которых представляет собой планшетный компьютер. Планшетные компьютеры получили широкое распространение в авиации в качестве устройств EFB, поскольку обладают невысокой стоимостью, технология использования переносных EFB летным экипажем не ограничена применением только в кабине ВС, их использование одобрено авиационными властями.

В настоящее время активно развивается отечественная нормативная база, регламентирующая одобрение и применение планшетных компьютеров в авиации в качестве EFB, при этом стремительно растет разнообразие моделей планшетных компьютеров, разрешенных к использованию в качестве EFB. Эксплуатанты ВС уже сейчас на этапе внедрения EFB сталкиваются с непростой задачей выбора наиболее рациональной модели устройства для их конкретного случая (задача выбора рациональной модели планшетного компьютера и ее решение подробно рассматривались в [4] и [5]).

С учетом существующего многообразия электронных планшетов, и, прежде всего, для обеспечения работы программного обеспечения на отечественной элементной базе для минимизации зависимости от зарубежных производителей и снижения санкционных рисков, конечной целью является создание универсальной системы расчета ВПХ, т.е. без привязки к одной определенной аппаратной платформе. Достижение указанной цели возможно как за счет адаптации программно-алгоритмического прототипа разрабатываемой системы под существующие платформы, что является простой технической задачей, так и за счет разработки с использованием универсальных систем программирования, транслирующих код для соответствующих виртуальных машин, обеспечивающим возможность использования системы на всем многообразии существующих устройств, без необходимости индивидуальной доработки под каждое из них. К таким универсальным решениям сейчас относятся системы программирования React Native и Flutter. Несмотря на то что данные системы разрабатываются преимущественно зарубежными разработчиками, они являются свободными и распространяются с открытыми исходными текстами, что снижает риски прекращения поддержки, позволяет самостоятельно дорабатывать системные библиотеки и минимизирует вероятность вредоносных «закладок» в коде.

3 Реализация программного приложения на примере ВС Ту-204

Поскольку на первом этапе реализации программного приложения стоит задача создания программно-алгоритмического прототипа, выбор начальной платформы не имеет критичного значения. Поэтому, в целях упрощения тестирования разрабатываемого прототипа и обеспечения возможности быстрой адаптации к другим платформам за счет простоты синтаксиса, его разработка ведется в среде программирования Xcode на языке Swift.

Интерфейс разрабатываемого ПО представлен на рис. 2.

Разрабатываемая программная реализация системы расчета взлетно-посадочных характеристик для EFB размещена в открытом доступе веб-сервиса Github и доступна по ссылке:

<https://github.com/MelnichukAlexander/>

В соответствии с РЛЭ рассматриваемого типа воздушного судна, расчет характеристик взлета самолета Ту-204 состоит из двух этапов: определения максимально допустимой взлетной массы и определения характерных скоростей для значения фактической взлетной массы.

Максимально допустимая взлетная масса определяется исходя из условий достаточности располагаемой дистанции продолженного взлета, достаточности располагаемой дистанции прерванного взлета, прохождения траектории взлета выше препятствий по курсу взлета, обеспечения нормируемого градиента набора высоты с одним отказавшим двигателем и обеспечения отрыва на скорости не более ограничения максимальной путевой скорости.

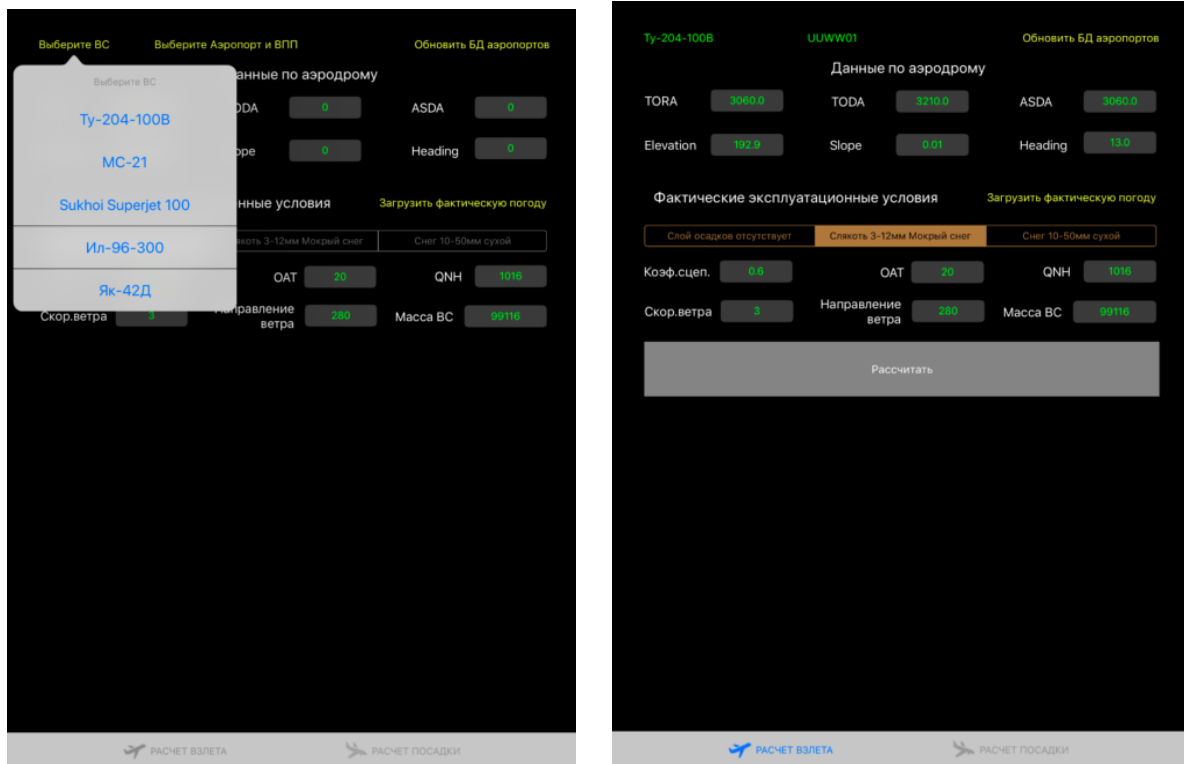


Рис. 3. Интерфейс прототипа программного приложения

Процесс определения максимально допустимой взлетной массы, характерных скоростей и рационального режима работы двигателя для выполнения взлета представлен в РЛЭ следующим алгоритмом:

1. определяется максимальная приведенная масса, ограниченная характеристиками аэродрома, ветром и состоянием ВПП;
2. определяется максимальная масса, ограниченная наличием препятствия высотой более 50 метров с расчетом удаления от точки старта;
3. определяется максимальная приведенная масса, ограниченная наличием препятствия высотой не более 50 метров с расчетом удаления от конца взлетной дистанции;
4. определяется максимальная взлетная масса, ограниченная нормируемым градиентом набора высоты;
5. определяется максимальная взлетная масса, ограниченная максимальной путевой скоростью отрыва;
6. определяется максимально допустимая взлетная масса самолета из пяти найденных значений масс путем выбора наименьшей из них;
7. определяются скорости для фактической взлетной массы (V_1 , V_R , V_2);
8. определяется рациональное значение режима работы двигателей на взлете.

Вышеуказанные параметры определяются по номограммам, приведенным в РЛЭ ВС. Для автоматизации расчета, выполнена оцифровка номограмм и построены их математические модели. Например, в соответствии с построенной математической моделью, взлетная масса, ограниченная нормируемым градиентом набора высоты, представляет собой следующую функцию (1):

$$(1) \quad m_{\text{взл}} = f(T, H_{\text{аэр}}),$$

где T – температура воздуха на аэродроме, $H_{\text{аэр}}$ – высота аэродрома.

В зависимости от значений, которые принимают параметры T и $H_{\text{аэр}}$, взлетная масса $m_{\text{взл}}$, ограниченная набором высоты, может быть определена 12 разными способами.

Например, при $15 \leq T \leq 20$ и $1800 \leq H_{\text{аэр}} \leq 2000$, $m_{\text{взл}}$ определяется в соответствии с (2):

$$(2) \quad m_{\text{взл}} = (4 - 0,2T)[(118061 - 8,48485H_{\text{аэр}}) - (119430 - 10,596H_{\text{аэр}})] + (119430 - 10,596H_{\text{аэр}})$$

Расчет характеристик посадки также состоит из двух этапов: определения максимально допустимой посадочной массы и скорости захода на посадку V_{REF} . Максимально допустимая посадочная масса определяется исходя из требований достаточности располагаемой посадочной дистанции и обеспечения нормируемого градиента набора высоты с одним неработающим двигателем при уходе на второй круг на скорости $V_{\text{REF}} - 2,1\%$.

Процесс вышеуказанных расчетов взлетно-посадочных характеристик расчета выполняется в вычислительном модуле системы и определяется оцифрованными номограммами зависимостей ВПХ.

Принцип работы программного приложения представляет собой следующее:

1. в поля ввода информации, представленные на сенсорном экране электронного полетного планшета, пользователь вводит требуемые значения. Входные данные включают в себя:
 - наименование аэропорта;
 - взлетно-посадочной полосы;
 - состояние поверхности взлетно-посадочной полосы;
 - состояние атмосферы (направление и скорость ветра, температуру воздуха, давление);
 - конфигурацию воздушного судна и его систем.

Наполнение данными для расчета осуществляется путем ввода значений параметров с помощью экранной клавиатуры, а также загрузки из базы данных. Также планируется реализация автоматизированного наполнения некоторыми данными: автоматический выбор наименования аэродрома, реализуемый с помощью использования встроенного функционала GPS/ГЛОНАСС и автоматическая загрузка данных о фактических погодных условиях и состоянии поверхности взлетно-посадочной полосы на основании метеорологических сводок METAR (METAR – Meteorological Aerodrome Report), издаваемых каждый час или каждые полчаса, и отражающих реальное метеорологическое состояние аэропорта. При необходимости пользователь может указать дополнительные данные: выбрать действующий отложенный дефект/отклонение по MEL/CDL, внести скорректированные данные по взлетно-посадочной полосе, добавить препятствия.

2. Экспертная система выполняет проверку входных данных на полноту, актуальность, корректность и соответствие ограничениям, содержащимся в виде правил в базе знаний экспертной системы. При выявлении каких-либо несоответствий процесс расчета не выполняется и на экран выводится соответствующее уведомление с рекомендациями по исправлению входных данных. Если экспертная система приняла входные данные, то далее они передаются расчетному модулю.
3. В расчетном модуле на основании оцифрованных материалов руководства по летной эксплуатации происходит обработка входных данных.
4. Результаты расчетов передаются из вычислительного модуля в экспертную систему для формирования выходных данных, которые будут выводиться на экран.

Заключение

Использование в программном приложении принципов экспертной системы позволит обеспечить гибкость при определении взлетно-посадочных характеристик и инвариантность по отношению к типам воздушных судов, упростит наполнение системы правилами определения ВПХ без необходимости внесения изменений в программном коде. Практическая польза разрабатываемой системы состоит в повышении эффективности и безопасности эксплуатации парка российских воздушных судов крупномасштабных предприятий, а также в повышении конкурентоспособности российской авиационной техники за счет предоставления рассмотренного в работе программного обеспечения в качестве сопутствующего сервиса, совершенствующего технологию летной эксплуатации ВС.

Литература

1. Мельничук А. В., Судаков В. А. Предпосылки создания системы автоматизированного расчёта взлетно-посадочных характеристик воздушного судна // Гагаринские чтения – 2016: XLII Международная молодёжная научная конференция: Сборник тезисов докладов: В 4 т. М.: Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), 2016. – С.428-429.
2. Мельничук А.В., Марценюк Е.А. Предпосылки создания ЭС для определения требуемых характеристик процесса взлета/посадки ВС в зависимости от погодных условий и конкретных параметров взлетно-посадочной полосы // 16-я Международная конференция «Авиация и космонавтика - 2017»: Сборник тезисов докладов, Москва: Типография «Люксор», 2017. – С.174-175.
3. ICAODoc 10020 «Руководство по электронным полетным планшетам (EFB)» – 2016 // [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://dspk.cs.gkovd.ru/library/viewitem.php?id=1082> (дата обращения 15.04.18).

4. *Мельничук А. В., Марценюк Е.А.* Предпосылки создания ЭС для выбора электронного планшета электронной информационной системы EFV для летного экипажа воздушного судна // Международная молодежная научная конференция «XXXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых): Материалы конференции. Сборник докладов, в 4 т. – Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2017. – Т.2. – С.781-784.
5. *Сыпало К.И., Нестеров В. А., Дутов А. В., Судаков В. А.* Нечеткие области предпочтений и их применение в задаче выбора электронного планшета летчика // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2018. №2. С.60-68.