

Для цитирования: А.А. Горбунов, А.Д. Припадчев. Формирование облика магистрального воздушного судна на этапе разработки технического предложения. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47(3): 49-59. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-3-49-59

For citation: A.A. Gorbunov, A.D. Pripadchev. Shaping the appearance of a long-range aircraft at the stage of developing a technical proposal. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47 (3): 49-59. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-3-49-59

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT
УДК 004.9:629.734
DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-3-49-59

ФОРМИРОВАНИЕ ОБЛИКА МАГИСТРАЛЬНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА НА ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРЕДЛОЖЕНИЯ

А.А. Горбунов, А.Д. Припадчев

Оренбургский государственный университет,
460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13, Россия

Резюме. Цель. Процесс проектирования магистрального воздушного судна (ВС), в частности на этапе предварительного проектирования, предполагает сравнение и анализ большого количества проектных альтернатив при заданных критериях эффективности. При этом решается задача выбора состава рациональных проектно-конструкторских параметров, что является актуальной проблемой этапа предварительного проектирования ВС. **Метод.** Разработанный метод, позволяет определить вектор параметров, обеспечивающий рациональные характеристики при заданном критерии эффективности. В связи с чем, предлагаем ввести глобальный критерий эффективности — взлетная масса ВС, а частными критериями выступают аэродинамическое качество на крейсерском режиме полета и величина топливной эффективности. **Результат.** В такой постановке задачи проектирования приходится решать ряд взаимосвязанных задач, причем, одни являются формализованными, а для других пока не существует математического аппарата и ПО, позволяющего автоматизировать процесс. Отличительной особенностью предлагаемого подхода к поиску рационального проектного решения является применение методов статистического анализа в сочетании с методами высокоточного математического моделирования, программно-реализованные в единой информационной среде с применением языков Фортран V и C++. **Вывод.** Предлагаемый метод выбора состава рациональных проектно-конструкторских параметров позволяет на ранних стадиях и этапах проектирования магистрального ВС, сформировать облик и обеспечить заданные характеристики для его составных элементов.

Благодарности. Работа выполнена в рамках стипендии Президента РФ № СП-3606.2018.1 от 29.12.2017 г., для молодых ученых и аспирантов на выполнение научного исследования по теме «Методология автоматизированного синтеза проектных и конструкторских параметров транспортной техники нового поколения».

Ключевые слова: воздушное судно; выбор параметров; облик воздушного судна; параметрический синтез; вектор параметров; многопараметрический подход; концептуальная модель

SHAPING THE APPEARANCE OF A LONG-RANGE AIRCRAFT AT THE STAGE OF DEVELOPING A TECHNICAL PROPOSAL

A.A. Gorbunov, A.D. Pripadchev

Orenburg State University,
13 Pobedy Ave., Orenburg 460018, Russia

Abstract. Objective. The process of designing a long-range aircraft, in particular at the preliminary design stage, involves comparing and analyzing a large number of design alternatives with specified performance criteria. At the same time, the problem of choosing the composition of rational design parameters is solved, which is an actual problem of the preliminary design stage of a long-range aircraft. **Methods.** The developed method allows determining the vector of parameters that provides rational characteristics for a given efficiency criterion. In this regard, the authors propose to introduce a global efficiency criterion – the takeoff weight of the long-range aircraft, and the specific criteria are the aerodynamic quality in cruise and the value of fuel efficiency. **Results.** In this formulation of the design problem, it is necessary to solve several interrelated problems,

some of which are formalized, while others do not yet have a mathematical construct and software that allows automating the process. A distinctive feature of the proposed approach to finding a rational design solution is the use of statistical analysis methods in combination with methods of high-precision mathematical modeling, software-implemented in a single information environment using the Fortran V and C++ languages. **Conclusion.** The proposed method for selecting the composition of rational design parameters allows forming the appearance and providing the specified characteristics for its component elements at the early stages and stages of designing the long-range aircraft.

Acknowledgement. The work was carried out within the framework of the scholarship of the President of the Russian Federation No. SP-3606.2018.1 dated December 29, 2017, for young scientists and graduate students to carry out scientific research on the topic "Methodology of automated synthesis of design and design parameters of new generation transport equipment."

Keywords: aircraft; parameter selection; aircraft appearance; parametric synthesis; parameter vector; multiparametric approach; conceptual model

Введение. Согласно государственной Программе Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013-2025 годы», к 2025 году (относительно 2017 года) планируется увеличить выпуск авиационной техники военного и гражданского назначения на 46 %, поднять производительность труда на промышленных предприятиях авиационной промышленности на 34,9 %, [1, 2].

Проводимые экспериментальные исследования, основанные на численном моделировании и физических экспериментах, позволяют с потребной степенью точности определить характеристики проектируемой продукции. Однако их проведение невозможно без ряда предшествующих этапов (предварительного и эскизного проектирования), на которых принимается ряд важных решений, определяющих облик проектируемой системы элементов — магистральных ВС. Общими тенденциями перспективного проектирования является решение частных оптимизационных задач и совершенствование аэродинамических характеристик ВС. Вопрос совершенствования аэродинамических характеристик магистральных ВС непосредственно связан с обликом ВС и системой несущих поверхностей, в частности.

Основное отличие предлагаемого подхода от существующих заключается в разработанном научно-методическом обеспечении, позволяющем совершенствовать процесс проектирования магистрального ВС на основе выбранного критерия эффективности на одном иерархическом этапе проектирования. Для достижения заданных показателей на множестве возможных решений, изменяя угол стреловидности, сужение и удлинение крыла, площадь, геометрическую крутку, а также форму поперечного сечения вдоль размаха крыла (аэродинамическая крутка), осуществляем поиск рационального варианта проектного решения.

Традиционный процесс проектирования ВС предполагает эскизную прорисовку будущего объекта — «Первый рисунок ВС» и оценку его пригодности для реализации поставленной цели. Отличительная особенность данной стадии проектирования — сравнение и анализ большого количества проектных альтернатив (плановых проекций ВС, сочетание элементов и т. д.) [3-6]. Сравнение проектных альтернатив и выбор рационального решения производятся на основе сопоставления характеристик, которыми обладает та или другая проектная альтернатива, в различных условиях ее функционирования (скорость ВС, высота полета, дальность полета и др.). В этой связи появляется необходимость в анализе большого числа статистических данных в некотором доверительном интервале.

При проектировании ВС применяется специальный математический аппарат, ПО для анализа и систематизация результатов специальных летных испытаний, технологии концептуального проектирования, опирающиеся на последовательно наращиваемый научно-технический задел, а также методы статистического анализа, но комплексно задача поиска оптимального проектного решения в виде прикладного ПО — не реализована [7-9].

Предлагаемый в работе метод включает в себя традиционные принципы проектирования, программно-реализованные в единой информационной среде сочетающиеся с авторской методикой, построенной на применении методов статистической обработки информации, поз-

воляющий найти вектор параметров при выбранном критерии эффективности на этапе предварительного проектирования.

Постановка задачи. Задача формирования облика на этапе разработки технического предложения может быть сформулирована в следующей постановке: найти такой вектор параметров, характеризующих форму, структуру и размеры ВС, который бы обеспечивал удовлетворение требований и ограничений, предъявляемых к ВС и достижения минимума (максимума) целевой функции.

Процесс проектирования начинается исходя из условий физической реализуемости и удовлетворения системы фундаментальных соотношений уравнений весового баланса, гравитационного баланса, энергетического баланса, устойчивости и балансировки ВС.

$$\sum m_i - 1 = 0; n_y m_q - Y = 0; \quad (1)$$

$$P - X - m \frac{dV}{dt} = 0; \bar{x}_T - \bar{x}_F + m_z^c y = 0; m_z = 0.$$

В качестве глобального критерия эффективности выбираем взлетную массу ВС, m_0 , т.к. значения дальности полета, крейсерской скорости, полезной нагрузки, стоимости и ресурса частей, а также заданная длина ВПП соизмеримы, (рис. 1.).

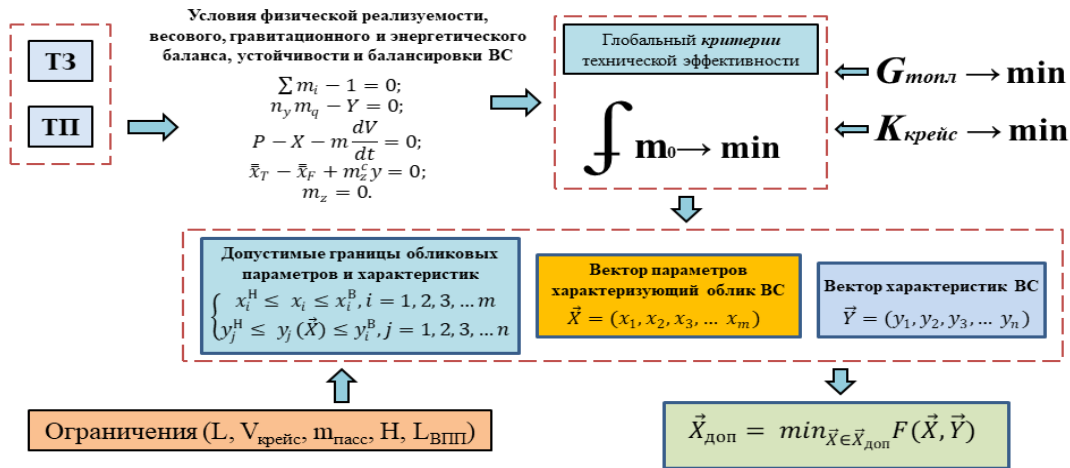


Рис. 1. Традиционный подход к задаче формирования облика магистрального ВС на этапе разработки технического предложения

Fig. 1. Traditional approach to the task of forming the appearance of the main aircraft at the stage of developing a «feasibility stage»

Частными критериями технической эффективности выступают аэродинамическое качество на крейсерском режиме полета $K_{крейс}$ и величина топливной эффективности $G_{топл}$.

Совокупность параметров, подлежащих вычислению и оптимизации, образуют вектор параметров, характеризующий облик ВС

$$\vec{X} = (x_1, x_2, x_3, \dots x_m) \quad (2)$$

Характеристики ВС, зависящие от параметров $x_1, x_2, x_3, \dots x_m$, образуют вектор характеристик ВС

$$\vec{Y} = (y_1, y_2, y_3, \dots y_n) \quad (3)$$

Параметры, задающие облик и характеристики, связаны между собой некоторыми зависимостями.

При математической формулировке задачи удовлетворение требованиям системы равенств 1, выполняется системой ограничений, состоящей из вектора параметров $\vec{X}$ и вектора $\vec{Y}$, записываемой в виде системы неравенств

$$\begin{cases} x_i^H \leq x_i \leq x_i^B, i = 1, 2, 3, \dots m \\ y_j^H \leq y_j(\vec{X}) \leq y_j^B, j = 1, 2, 3, \dots n \end{cases} \quad (4)$$

где x_i^H – нижняя допустимая граница обликвого параметра; x_i^B – верхняя допустимая граница обликвого параметра; y_j^H – нижняя допустимая граница характеристики; y_j^B – верхняя допустимая граница характеристики.

Вектор $\vec{X}$, принадлежащий области допустимых решений ($\vec{X} \in \vec{X}_{\text{доп}}$), определяет возможную проектную альтернативу.

Тогда при выбранном критерии эффективности m_0 , среди допустимых вариантов, может существовать такой вектор параметров $\vec{X}$, доставляющий экстремум величины критерия оптимальности, при котором $m_0 \rightarrow \min$ с сохранением вектора характеристик $\vec{Y}$, удовлетворяющего требованиям в пределах выбранных ограничений [10, 11, 12, 13], приобретает вид

$$\vec{X}_{\text{доп}} = \min_{\vec{X} \in \vec{X}_{\text{доп}}} F(\vec{X}, \vec{Y}) \quad (5)$$

В сложившихся условиях появляется необходимость в разработке нового подхода и разработке методики, принципы построения которой не были бы жестко привязаны к эмпирическим зависимостям и существующим расчетным формулам.

Методы исследования. В исследовании использованы методы статистического анализа, математического моделирования, экспериментального исследования и численный метод. Безусловно, и современные подходы в области автоматизированного проектирования ВС, отраслевые обзорно-аналитические материалы, принцип системного анализа, математической логики, технологии объектно-ориентированного программирования.

Обсуждение результатов. Рассматриваемое множество альтернативных векторов схемных решений, с учетом выражения (2), параметры, описывающие облик, образуют матрицу векторов схемных решений

$$\vec{X} = \begin{pmatrix} x_{11}, & x_{12}, & x_{13}, & \dots & x_{1m} \\ x_{21}, & x_{22}, & x_{23}, & \dots & x_{2m} \\ x_{31}, & x_{32}, & x_{33}, & \dots & x_{3m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1}, & x_{i2}, & x_{i3}, & \dots & x_{im} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Характеристики, зависящие от параметров для выражения (6), образуют матрицу характеристик, зависящих от векторов параметров $\vec{X}$. Ограничения представляют собой набор характеристик, заданных техническим заданием. Для магистрального ВС выполняющего функцию «тонна–километр» к таким характеристикам относят L , $V_{\text{крейс}}$, $m_{\text{пасс}}$, H , $L_{\text{ВПП}}$ и т.д.

$$\vec{Y} = \begin{pmatrix} y_{11}, & y_{12}, & y_{13}, & \dots & y_{1n} \\ y_{21}, & y_{22}, & y_{23}, & \dots & y_{2n} \\ y_{31}, & y_{32}, & y_{33}, & \dots & y_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{i1}, & y_{i2}, & y_{i3}, & \dots & y_{in} \end{pmatrix} \quad (7)$$

С учетом выражения (5), проведем преобразования выражений (6, 7) и, исходя из предположения, что каждая альтернативная схема вектора проектных решений $\vec{X}$, описывают отдельно взятую проектную альтернативу (8), (рис. 2.).

В качестве альтернативных схем проектных решений возьмем параметры среднемагистральных ВС [14-17].

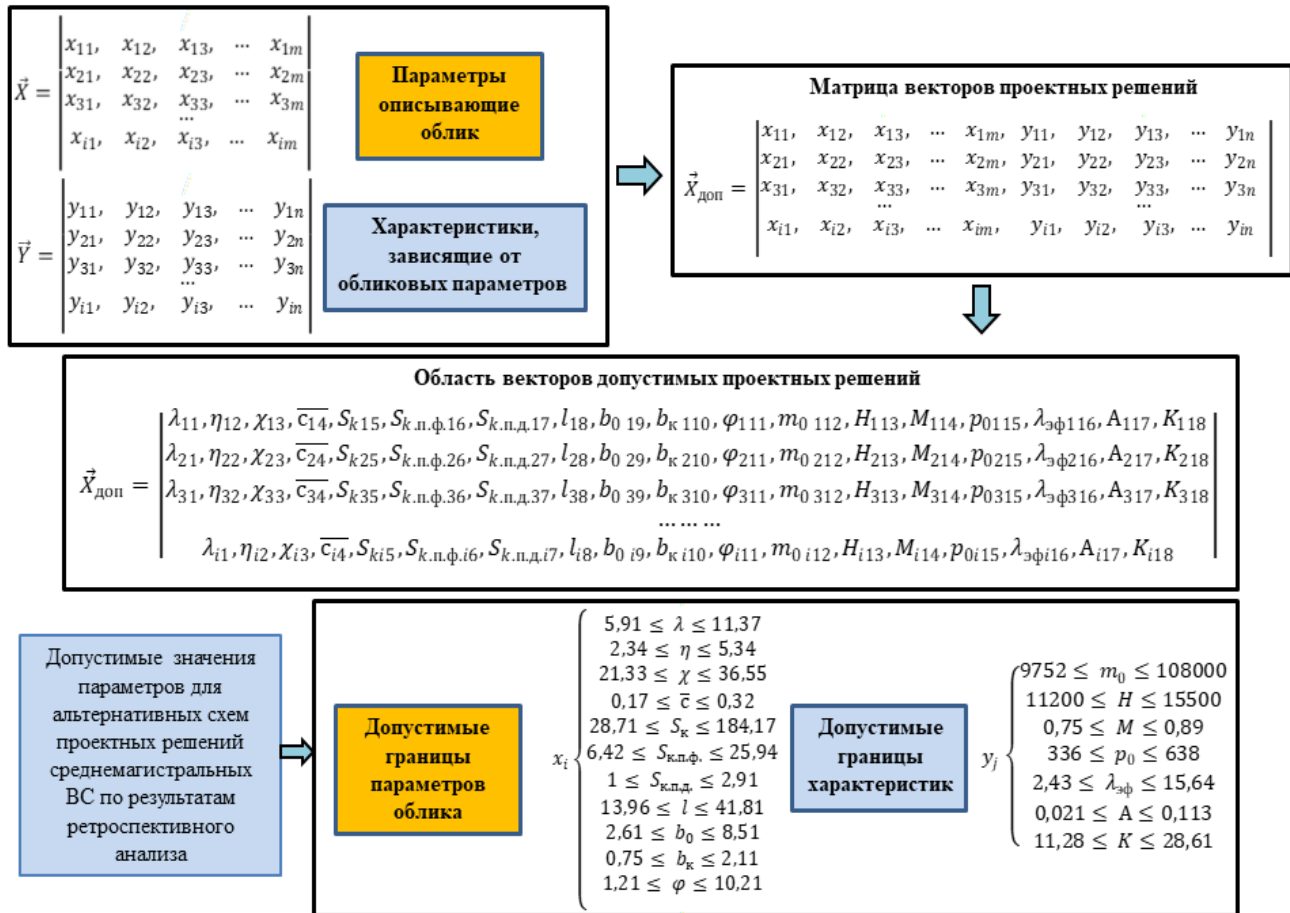


Рис. 2. Альтернативные вектора схемных решений
Fig. 2. Alternative vectors of circuit solutions

$$\vec{X}_{\text{доп}} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1m} & y_{11} & y_{12} & y_{13} & \dots & y_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2m} & y_{21} & y_{22} & y_{23} & \dots & y_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \dots & x_{3m} & y_{31} & y_{32} & y_{33} & \dots & y_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & x_{i3} & \dots & x_{im} & y_{i1} & y_{i2} & y_{i3} & \dots & y_{in} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Рассматривалась группа параметров, характеризующая плановые проекции, соотношение площадей, режимные характеристики, массовые характеристик, удельные величины и аэродинамические характеристики.

Допустимые границы обликовых параметров для выборки среднемагистральных ВС лежат в следующих пределах (9), границы характеристик (10). Применяя разработанное прикладное ПО, осуществляем идентификацию параметров, в наибольшей степени, характеризующих облик и характеристики ВС в заданном конструктивном и обликовом базисе — базовые параметры, (рис. 3.). Зная базовые параметры, можно провести прогнозирование для остальных параметров. При заданных ограничениях (L , $V_{\text{крейс}}$, $m_{\text{пасс}}$, H , $L_{\text{ВПП}}$), параметрах характеризующих облик ВС ($X_i^H \leq X_i \leq X_i^B$) и характеристик, зависящих от вектора параметров ($Y_i^H \leq Y_i \leq Y_i^B$) осуществляем исследование параметрической модели, прогнозируя поведения целевой функции (5) в окрестностях оптимума при выбранных частных критериях технической эффективности.

$$x_i \left\{ \begin{array}{l} 5,91 \leq \lambda \leq 11,37 \\ 2,34 \leq \eta \leq 5,34 \\ 21,33 \leq \chi \leq 36,55 \\ 0,17 \leq \bar{c} \leq 0,32 \\ 28,71 \leq S_k \leq 184,17 \\ 6,42 \leq S_{k.p.f.} \leq 25,94 \\ 1 \leq S_{k.p.d.} \leq 2,91 \\ 13,96 \leq l \leq 41,81 \\ 2,61 \leq b_0 \leq 8,51 \\ 0,75 \leq b_k \leq 2,11 \\ 1,21 \leq \varphi \leq 10,21 \end{array} \right. \quad (9)$$

$$y_j \left\{ \begin{array}{l} 9752 \leq m_0 \leq 108000 \\ 11200 \leq H \leq 15500 \\ 0,75 \leq M \leq 0,89 \\ 336 \leq p_0 \leq 638 \\ 2,43 \leq \lambda_{эф} \leq 15,64 \\ 0,021 \leq A \leq 0,113 \\ 11,28 \leq K \leq 28,61 \end{array} \right. \quad (10)$$



Рис. 3. Определение параметров в наибольшей степени, характеризующих облик и характеристики ВС
Fig. 3. Determination of the parameters to the greatest extent characterizing the appearance and characteristics of the aircraft

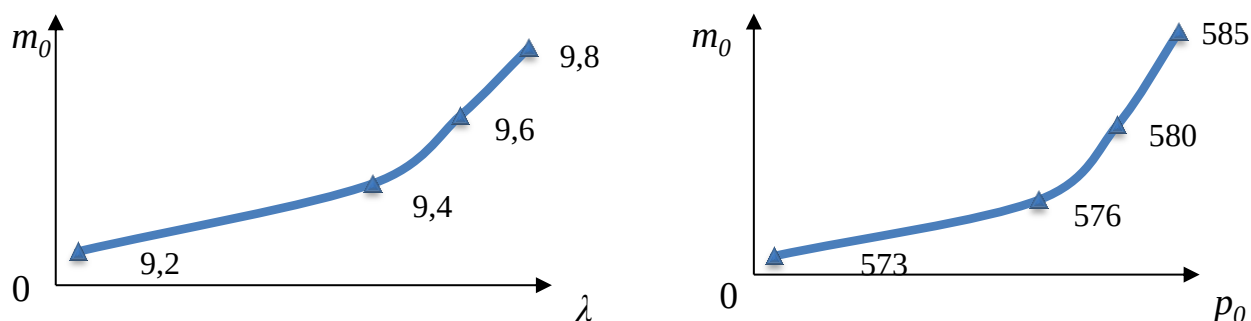
Задавая значения величин базовых параметров, в пределах накладываемых ограничений по верхним и нижним допустимым границам, выражения (9) и (10) получаем точные прогнозируемые значения для остальных параметров, заданных пользователем в ПО.

Например, регрессионная модель для определения площади крыла S_k , представляется выражением (11). Точность модели составляет 0,0000000048690833.

$$y(i,j5)=+(-0,24027074428336e1)*(x(i,j1))^{**3}+(-0,64993340925421e2)*(x(i,j1))^{**2}+(-0,56252961254156e3)*(x(i,j1))^{**1}+(-0,15675099196579e2)*(x(i,j2))^{**3}+(-0,16829976851017e3)*(x(i,j2))^{**2}+(-0,56567791075881e3)*(x(i,j2))^{**1}+(-0,22553122128366e4)*(x(i,j4))^{**3}+(-0,52855350089931e4)*(x(i,j4))^{**2}+(-0,27296074533104e4)*(x(i,j4))^{**1}+(-0,24303434620509e-1)*(x(i,j6))^{**3}+(-0,12167554502326e1)*(x(i,j6))^{**2}+(-0,13848148105156e2)*(x(i,j6))^{**1}+(-0,15253265223630e4)*(x(i,j14))^{**3}+(-0,44474298172343e4)*(x(i,j14))^{**2}+(-0,41947538627132e4)*(x(i,j14))^{**1}+(-0,17895797513960e-1)*(x(i,j18))^{**3}+(-0,93225827308657e0)*(x(i,j18))^{**2}+(-0,12696418649272e2)*(x(i,j18))^{**1}+(-0,10769019126818e3) \quad (11)$$

где * – умножение; ** – возведение в степень.

Совокупность регрессионных моделей для каждого параметра выступает математическим аппаратом, алгоритмом, в решение оптимизационной задачи по выбору состава вектора рациональных параметров. На рис. 4. представлено влияние величины удлинения крыла на взлетную массу ВС и влияние величины удельной нагрузки на крыло.



m_0 – взлетная масса ВС; λ – удлинение крыла; p_0 – удельная нагрузка на крыло
 m_0 - aircraft takeoff weight; λ - wing elongation; p_0 is the specific wing loading

Рис. 4. Зависимость взлетной массы ВС от величин удлинения крыла и удельной нагрузки

Fig. 4. The dependence of the take-off weight of the aircraft on the values of wing elongation and specific load

Достоверность полученных результатов обеспечивается:

- путем применения прикладного ПО при расчете элементов ВС, с погрешностью расхождения от результатов физического и математического моделирования в пределах 7 %;
- использованием аттестованного и поверенного измерительного оборудования;
- применением сертифицированного программного обеспечения ANSYS Fluent и открытой интегральной платформы SALOME, верифицированного на задачах расчета по методу стандартных блоков.

В современной практике проектирования относительная масса крыла находится в следующих допустимых значениях, (рис. 5).

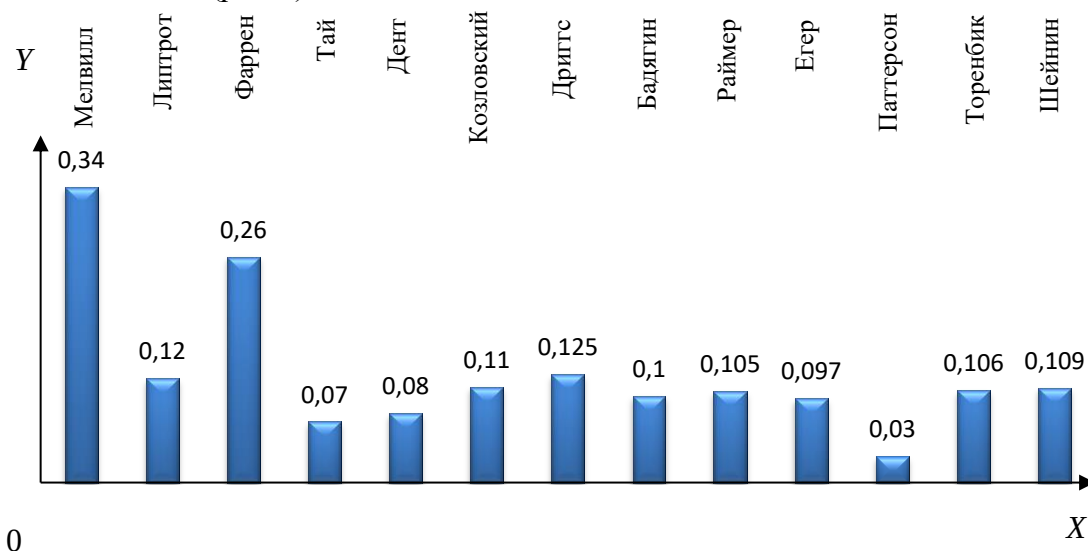


Рис. 5. Диапазон доверительных относительных масс крыла для магистральных ВС, вычисленных по различным методикам проектирования

Fig. 5. Confidence range of relative wing weight for aircraft calculated according to various design methods

В случае если величина относительной массы крыла находится в доверительных пределах, можно переходить к следующим стадиям проектирования. Для определения значений исследуемых параметров магистрального ВС с учетом накладываемых ограничений необходимо провести прогноз по построенным полиномиальным моделям на базовых параметрах. В качестве примера представлено решение задачи по определению рационального состава параметров крыла среднемагистрального ВС и компоновки элементов «Крыло+дополнительная аэродинамическая поверхность (ДАП)», (рис. 6.).

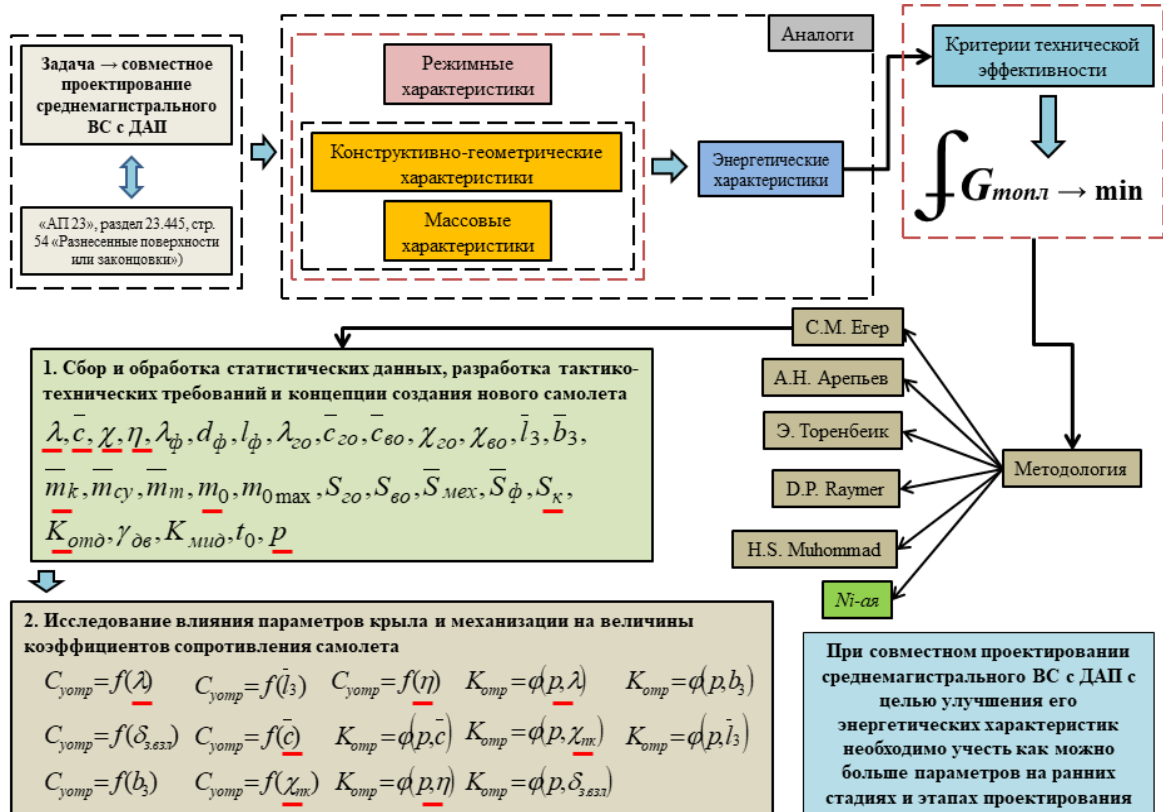


Рис. 6. Постановка оптимизационной задачи по определению рационального состава параметров крыла ВС
Fig. 6. Formulation of the optimization problem to determine the rational composition of the aircraft wing parameters

Предложенная в рамках НИР методика на примере элементов магистрального ВС в сочетании с прикладным ПО, реализующие выбор параметров и поиск рационального состава параметров на ранних стадиях и этапах проектирования магистрального ВС, позволяют обеспечить искомые характеристики для проектируемого ВС и его составных элементов.

В классическом подходе учет наличия в составе облика ВС законцовки, начинается при определении массы ВС в первом приближении. Оптимизация проектных параметров, влияющих на аэродинамические характеристики, осуществляется непосредственно после определения взлетной массы, тогда как оценка аэродинамических характеристик проводится после составления компоновочных чертежей и центровочных ведомостей. Т.е. учет влияния законцовки на аэродинамические характеристики ВС происходит на слишком поздних стадиях проектирования, когда ряд важных решений уже принят.

Предлагаемый подход к процессу совместного проектирования магистрального ВС и законцовки позволяет провести анализ и выбор состава проектно-конструкторских параметров на стадиях, предшествующих расчету взлетной массы, учитывает значительный объем исходной информации (рис. 7.).

Центральным ядром модели является проектируемое ВС, для проектирования которого предлагается применять совокупность разработанных методов. Комплекс средств автоматизации проектирования (КСАП) позволяет реализовывать процесс выбора состава проектно-конструкторских параметров магистрального ВС на различных иерархических уровнях в единой информационной среде по предлагаемым методам (рис. 8.). Предлагаемый метод на примере элементов магистрального ВС позволяет на ранних стадиях и этапах проектирования обеспечить искомые характеристики при наложенных ограничениях.

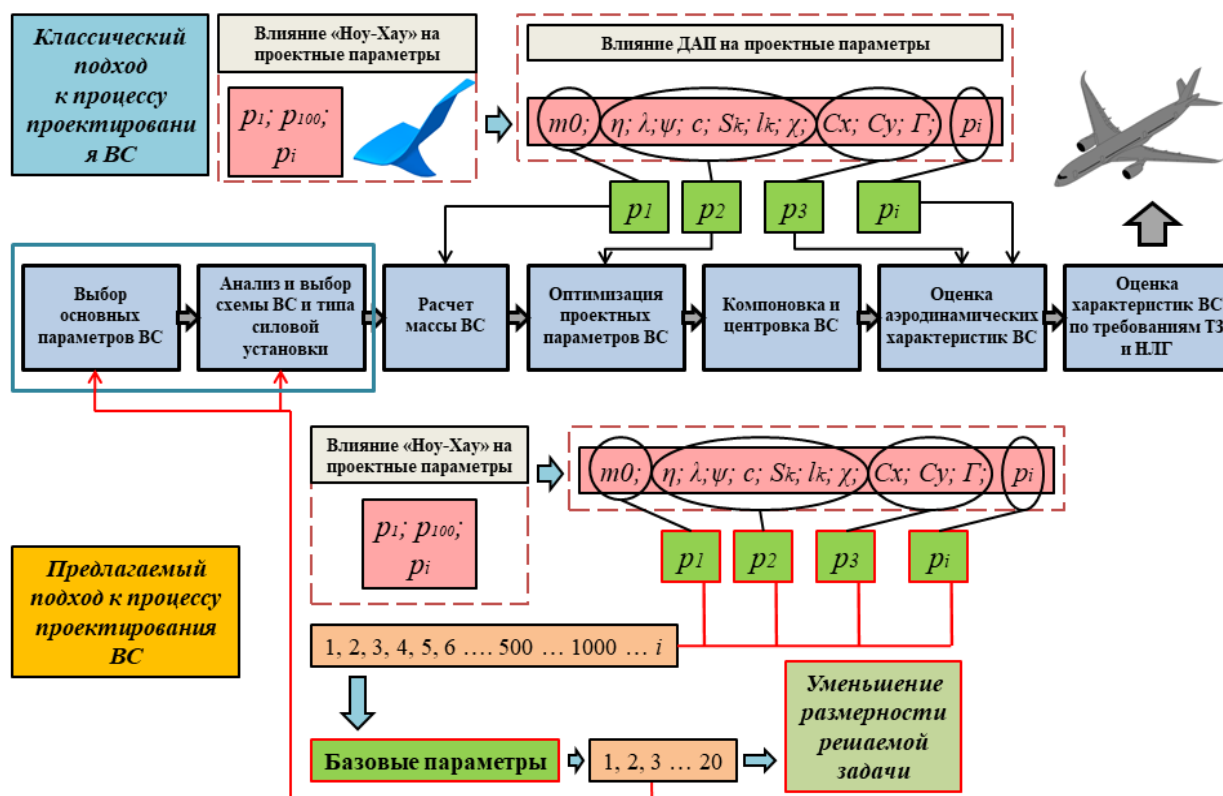


Рис. 7. Предлагаемый подход к процессу формирования облика магистрального ВС
Fig. 7. The proposed approach to the process of forming the appearance of the main aircraft

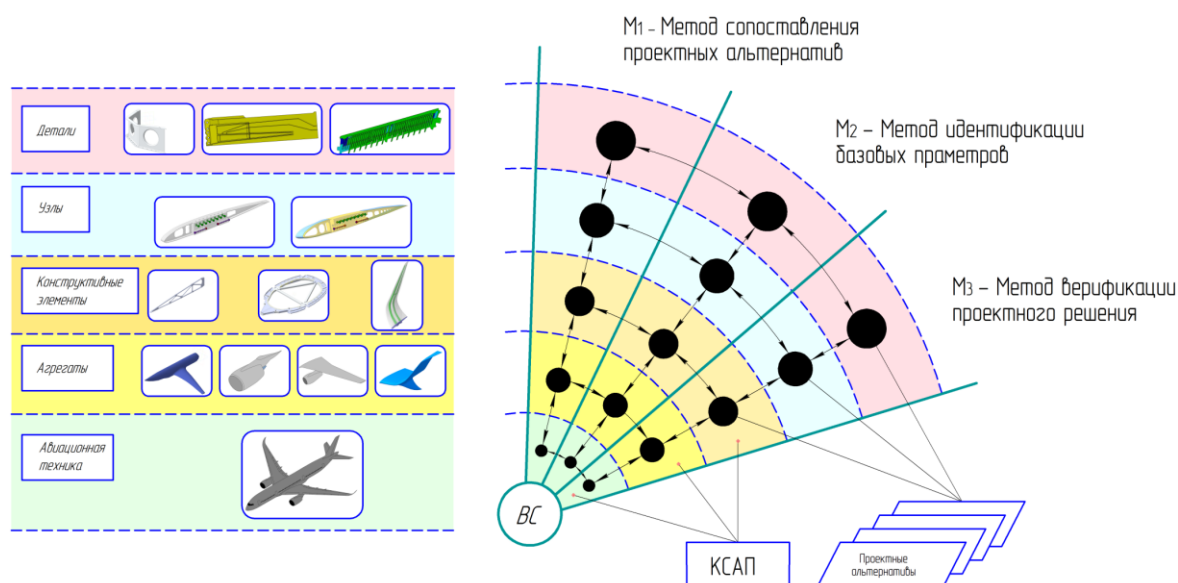


Рис. 8. Модель взаимосвязи разработанных методов выбора состава проектно-конструкторских параметров магистрального ВС
Fig. 8. A model of the relationship between the developed methods for selecting the composition of aircraft design parameters

Результаты приняты в проектную и конструкторскую деятельность АО ПО «Стрела», филиал АО ВПК «НПО машиностроение» – КБ «Орион», а также в АО Государственная корпорация «Ростех», «РТ-Техприемка». Проектные альтернативы в предлагаемой модели в соответствии с заложенным принципом проектирования передают соответствующие параметры на последующие иерархические уровни, а в пределах одного иерархического уровня реализуется возможность обмена между параметрами проектных альтернатив для решения той или иной задачи по разработанным методам.

Общение (связь) между орбитами реализуется за счет передачи файла модели, который содержит информацию о геометрических элементах, атрибутах, свойствах и характеристиках, которые рассматриваются как единое целое, представляя собой набор параметров упорядоченных и связанных в систему, обладающую некоторыми свойствами (характеристиками). Отдельно взятый сектор представляет собой область допустимых решений для проектной альтернативы.

Вывод. Представленные результаты НИР легли в основу концепции формирования облика, математического и прикладного ПО реализующего методику выбора состава рациональных проектно-конструкторских параметров, что позволило комплексно учитывать параметры прямо или косвенно влияющие на характеристики ВС в целом при одинаковых условиях выполнения показателей эффективности на иерархическом уровне, применительно к различным типам ВС и отдельным составным элементам.

Язык программирования C++ позволил гибко интегрировать разработанное ПО на предприятия авиационного и оборонно-промышленного кластера.

Благодарности. Работа выполнена в рамках стипендии Президента РФ № СП-3606.2018.1 от 29.12.2017 г., для молодых ученых и аспирантов на выполнение научного исследования по теме «Методология автоматизированного синтеза проектных и конструкторских параметров транспортной техники нового поколения».

Библиографический список:

1. Федеральная целевая программа «Развитие авиационной промышленности на 2013–2025 годы». СПС «Консультант +».
2. Егер С.М., Лисейцев Н.К., Самойлович О.С. Основы автоматизированного проектирования самолётов : учеб. пособие для студентов авиационных специальностей вузов. М. : Машиностроение, 1986. 232 с.
3. Белоцерковский А.С. Создание и применение математических моделей самолетов. М.: Наука, 1984, 144 с.
4. Концептуальное проектирование самолёта : учеб. пособие / В.А. Комаров [и др.]. 2-е изд., перераб. и доп. Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2013. 120 с.
5. Халиулин В.И. Анализ характеристик вертолета нетрадиционной компоновки / В.И. Халиулин, А.М. Гирфанов, Н.В. Левшонков // Авиационная промышленность, 2019. № 2. С. 16-19. 4 с.
6. Raymer D.P. Aircraft Design: A Conceptual Approach. Washington: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1992.
7. Gorbunov A.A. Implementation of the functional simulator of aircraft elements design procedures at the stage of the life limit / A.A.Gorbunov, A.D. Pripadchev, I.S. Bykova // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 1, No. 13. pp. 4019-4026.
8. Международная энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение/гл. ред. А.Г. Братухин. М. : ОАО «НИИ АСК», 2015. 608 с.
9. Бурнаев Е.В., Зайцев А.А. Суррогатное моделирование разноточных данных в случае выборок большого размера // Информационные процессы. 2015. Т. 15, № 1. С. 97–109.
10. Lakshmi S.V. A Study on a Common Fixed Point Theorem / S.V. Lakshmi // International Journal of Theoretical & Applied Sciences. 2016. Vol 8. № 1pp. 67-71.
11. Choudhary R. Fixed Point Results in Parametric Metric Space / R. Choudhary, A.K. Garg // International Journal on Emerging Technologies. 2019. Vol 10. No. 2b. pp. 100-104.
12. Khan S.S. Soft Computing- A Journey from Statistics / S.S. Khan // International Journal of Theoretical & Applied Sciences. 2017. Vol 9. № 2. pp. 260-268.
13. Sathiyakumari K. Overlapping Community Structure Detection using Twitter Data / K. Sathiyakumari, M.S. Vijaya // International Journal on Emerging Technologies. 2020. Vol 11. No 1. pp. 101-107.
14. Garg U.K. Optimization of Process Parameters for Metal Ion Remediation using Agricultural Waste materials / U.K. Garg, H.K. Garg // International Journal of Theoretical & Applied Sciences. 2016. Vol 8. No. 1. pp. 17-24.
15. Brandon B. Developing Mathematical Models for Computer Control, USA Journal, 1959, V.S, No 7.
16. Khan S. Analysis of Cloud Computing for Security Issues and Approaches / S. Khan, S. Sharma // International Journal on Emerging Technologies. 2019. Vol 10. No. 1. pp. 68-73.
17. Gorbunov A.A. Identification of the basic parameters of the aircraft wing / A.A. Gorbunov, A.D. Pripadchev, V.I. Chepasov // Russian Engineering Research. 2018. Vol. 38. No. 5. pp. 415 – 418. DOI: 10.3103/S1068798X18050076

References:

1. Federal'naya celevaya programma «Razvitie aviacionnoj promyshlennosti na 2013–2025 gody». – SPS «Kon-sul'tant +»[Federal target program "Development of the aviation industry for 2013–2025". SPS "Consultant +". (In Russ)]

2. Eger S.M., Lisejcev N.K., Samojlovich O.S. Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya samolyotov : ucheb. posobie dlya studentov aviacionnyh special'nostej vuzov. – M. : Mashinostroyeniye, 1986. 232 s.[Eger S.M., Lisey-tsev N.K., Samoilovich O.S. Basics of computer-aided aircraft design: textbook. manual for students of aviation specialties of universities. M.: Mechanical Engineering, 1986. 232 p. (In Russ)]
3. Belotserkovskiy A.S. Sozdanie i primeneniye matematicheskikh modelej samoletov. M. : Nauka, 1984. 144 s.[Belotserkovsky A.S. Creation and application of mathematical aircraft models. Moscow: Nauka, 1984, 144 p. (In Russ)]
4. Konceptual'noye proektirovaniye samolyota : ucheb. posobie / V.A. Komarov [i dr.]. – 2-e izd., pererab. i dop. – Samara : Izd-vo Samar. gos. aerokosm. un-ta, 2013. – 120 s.[Conceptual aircraft design: textbook. allowance / V.A. Komarov [and others]. 2nd ed., Rev. and add. Samara: Publishing house Samar. state aerospace. un-ta, 2013.120 p. (In Russ)]
5. Haliulin V.I. Analiz harakteristik vertoleta netradicionnoj komponovki / V.I. Haliulin, A.M. Girfanov, N.V. Levshonkov // Aviacionnaya promyshlennost', 2019. № 2. S. 16-19. 4 s.[Khaliulin V.I. Analysis of the characteristics of an unconventional helicopter / V.I. Khaliulin, A.M. Girfanov, N.V. Levshonkov // Aviation Industry, 2019. No. 2. pp. 16-19. 4 sec. (In Russ)]
6. Raymer D.P. Aircraft Design: A Conceptual Approach. Washington: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1992.
7. Gorbunov A.A. Implementation of the functional simulator of aircraft elements design procedures at the stage of the life limit / A.A. Gorbunov, A.D. Pripadchev, I.S. Bykova // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12. No. 13. pp. 4019-4026.
8. Mezhdunarodnaya enciklopediya CALS. Aviacionno-kosmicheskoye mashinostroyeniye / gl. red. A.G. Bratukhin. – M. : OAO «NIC ASK», 2015. – 608 s.[. International encyclopedia CALS. Aerospace engineering / Ch. ed. A.G. Bratukhin. M.: JSC "NIC ASK", 2015. 608 p. (In Russ)]
9. Burnaev E.V., Zajcev A.A. Surrogatnoye modelirovaniye raznotochnykh dannykh v sluchae vyborok bol'shogo razmera // Informacionnye processy. 2015. T. 15, № 1. S. 97–109.[Burnaev E.V., Zaitsev A.A. Surrogate modeling of multi-precision data in the case of large samples // Information processes. 2015.Vol. 15, No. 1.pp. 97–109. (In Russ)]
10. Lakshmi S.V. A Study on a Common Fixed Point Theorem / S.V. Lakshmi // International Journal of Theoretical & Applied Sciences. 2016. Vol 8. No. 1. pp. 67-71.
11. Choudhary R. Fixed Point Results in Parametric Metric Space / R. Choudhary, A.K. Garg // International Journal on Emerging Technologies. 2019. Vol 10. No. 2b. pp. 100-104.
12. Khan S.S. Soft Computing- A Journey from Statistics / S.S. Khan // International Journal of Theoretical & Applied Sciences. 2017. Vol 9. No. 2. pp. 260-268.
13. Sathiyakumari K. Overlapping Community Structure Detection using Twitter Data / K. Sathiyakumari, M.S. Vijaya // International Journal on Emerging Technologies. 2020. Vol 11. No. 1. pp. 101-107.
14. Garg U.K. Optimization of Process Parameters for Metal Ion Remediation using Agricultural Waste materials / U.K. Garg, H.K. Garg // International Journal of Theoretical & Applied Sciences. – 2016. – Vol 8. – № 1.– P. 17-24.
15. Brandon B. Developing Mathematical Models for Computer Control, USA Journal, 1959, V.S, N 7.
16. Khan S. Analysis of Cloud Computing for Security Issues and Approaches / S. Khan, S. Sharma // International Journal on Emerging Technologies. 2019. Vol 10. No. 1. pp. 68-73.
17. Gorbunov A.A. Identification of the basic parameters of the aircraft wing / A.A. Gorbunov, A.D. Pripadchev, V.I. Chepasov // Russian Engineering Research. 2018. Vol. 38. No.5. pp. 415 – 418. DOI: 10.3103/S1068798X18050076.

Сведения об авторах:

Горбунов Александр Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры летательных аппаратов; e-mail: gorbynovaleks@mail.ru

Припадчев Алексей Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры летательных аппаратов; e-mail: apripadchev@mail.ru

Information about the authors:

Aleksandr A. Gorbunov, Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department of Aircraft; e-mail: gorbynovaleks@mail.ru

Aleksey A. Pripadchev, Doctor. Sci. (Technical), Prof., Prof. Department of Aircraft; e-mail: apripadchev@mail.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 10.08.2020.

Принята в печать 14.09.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 10.08.2020.

Accepted for publication 14.09.2020.