АСПЕКТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ КОМПЛЕКСНЫХ ЗАДАЧ В АВИАСТРОЕНИИ

Горбунов А.А., Горьков В.С., Припадчев А.Д.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург

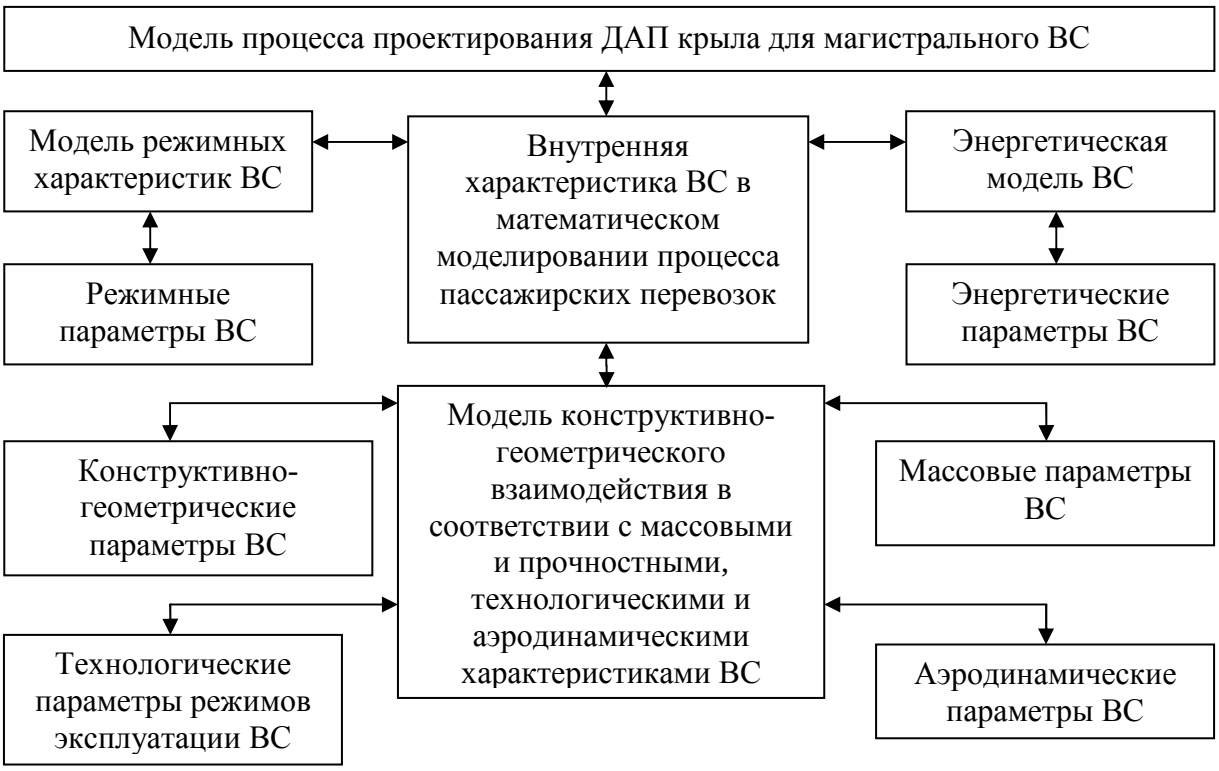
В процессе подготовки и обучения высококвалифицированных специалистов в области авиастроения в современных условиях требуется новый подход к тактике и стратегии обучения. Суть такого подхода заключается в формировании компетентности в области профессиональной деятельности будущего специалиста, работающего в авиационном кластере машиностроения, включающую в себя: проектно-конструкторские, расчетно-проектные, экспериментально-исследовательские и организационно-управленческие компетентности.

В сложившихся обстоятельствах существенную роль необходимо отводить созданию и поддержанию на высоком уровне познавательного интереса обучаемых [1, 2]. Кроме того, специалист должен уметь решать не только производственные, эксплуатационные и управленческие вопросы, но и обладать специализирующими качествами исследователя, проектировщика, инструктора.

Проектирование воздушного судна (ВС) — сложный видоизменяющийся во времени процесс, в котором ВС представлено системой взаимосвязанных компонентов. Эти компоненты находятся в постоянном взаимодействии между собой, выполняют определённые функции, присущие каждому из них, но в совокупности образуют целостный технический объект с определённым набором характеристик, выражаемых как единое целое (технический объект). Проектировать технический объект целесообразно с использованием систем автоматизированного проектирования, применение которых будет ограничиваться только процессом формализации проектных задач. Немаловажную роль в проектировании технического объекта играет его декомпозиция. При этом проектировщик должен выделить объект проектирования, рассмотреть его как в отдельности, так и при взаимодействии с другими компонентами. И здесь на первое место будут выходить сформированные в процессе обучения специалиста компетентности профессиональной деятельности.

В качестве примера рассмотрим задачу автоматизированного проектирования дополнительных аэродинамических поверхностей (ДАП) крыла, входящих в аэродинамический облик ВС, реализацию которой проведем с использованием математической модели, позволяющей решить конкретную задачу по проектированию ДАП крыла для магистрального ВС, а так же провести выбор необходимого типа ДАП для определенного ВС.

Структура математической модели процесса проектирования ДАП крыла магистрального ВС, представлена на рисунке [3].



Структура математической модели процесса проектирования ДАП крыла ВС

В основу целевой функции взята общая сумма расходов на все рейсы всех маршрутов, при сохранении (увеличении) показателя дохода [1]

$$z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{прij} \cdot I_э \rightarrow \min, \tag{1}$$

где c_{ij} — производственные расходы на i-ом маршруте j-ого типа; $I_э$ – индекс эффективности.

В качестве ограничений выступают конструктивно-геометрические, массово-прочностные, режимные, энергетические и аэродинамические характеристики

$$Ограничения \left\{ \begin{array}{l} 0{,}71 \le V_{ij} \le 0{,}9; 9{,}5 \le H_{ij} \le 14; 1430 \le L_{ij} \le 15000. \\ 1{,}7 \le \lambda_{крj} \le 4{,}5; 0{,}2 \le \bar{c}_j \le 0{,}75; 37{,}1 \le l_{фj} \le 58{,}8; \\ 2{,}9 \le d_{фj} \le 5{,}64; 3{,}5 \le S_{мфj} \le 14{,}13; 6 \le \lambda_{фj} \le 12{,}8; \\ 1{,}2 \le \lambda_{нчj} \le 2{,}5; 2 \le \lambda_{хв.чj} \le 4; 0{,}4 \le A_{гоj} \le 0{,}55; \\ 0{,}04 \le A_{воj} \le 0{,}12; 1{,}8 \le \lambda_{ДАП} \le 4{,}8; 1{,}2 \le \eta_{ДАП} \le 2{,}6; \\ 0{,}07 \le \bar{c}_{ДАП} \le 0{,}2; 0{,}02 \le \overline{S_{ДАП}} \le 0{,}08. \\ 20{,}6 \le m_{0ij} \le 560. \\ 8{,}5 \le k_{а.э.} \le 20; 10 \le K_{мах} \le 25; 0{,}12 \le c_{xi} \le 0{,}5. \\ 2{,}2 \le C_{часj} \le 8; 0{,}1 \le \gamma_{двj} \le 0{,}19; 963 \le D_j \le 1900. \end{array} \right\}, \tag{2}$$

где V_{ij} — скорость полета, км/ч; H_{ij} — высота полета, км; L_{ij} — дальность полета, км; $\lambda_{крj}$ — удлинение крыла; $\bar{c}_j$ — относительная толщина крыла; $l_{фj}$ — длина фюзеляжа, м; $d_{фj}$ — диаметр фюзеляжа, м; $S_{мфj}$ — площадь миделевого сечения фюзеляжа, м^2; $\lambda_{фj}$ — удлинение фюзеляжа; $\lambda_{нчj}$ — удлинение носовой части фюзеляжа; $\lambda_{хв.чj}$ — удлинение хвостовой части фюзеляжа; $A_{гоj}$ — статический момент горизонтального оперения; $A_{воj}$ — статический момент вертикального оперения; $\lambda_{ДАП}$ — удлинение ДАП поверхности; $\eta_{ДАП}$ — сужение ДАП; $\bar{c}_{ДАП}$ — относительная толщина ДАП; $\overline{S_{ДАП}}$ — относительная площадь ДАП; m_{0ij} — масса ВС, т; $k_{а.э.}$ — коэффициент аэродинамической эффективности; $K_{мах}$ — максимальное аэродинамическое качество; c_{xi} — индуктивное сопротивление; $C_{часj}$ — часовой расход топлива, т/час; $\gamma_{двj}$ — удельный вес двигателей.

Переменными служат технологические характеристики

$$Переменные\begin{cases} 1{,}8\cdot 10^6 \le Ц_{ij} \le 3{,}7\cdot 10^6; \\ 0 \le c_{прij} \le 1{,}77\cdot 10^8; \\ 2169{,}3 \le Y_j \le 15277{,}8. \end{cases}, \qquad (3)$$

где $Ц_{ij}$ — параметр оценки воздушной линии в относительных единицах; Y_j — параметр оценки ВС в относительных единицах; $c_{прij}$ — производственные расходы на *i*-ом маршруте *j*-ого типа.

Показателем эффективности ВС является индекс эффективности ВС. Индекс эффективности ВС представляется необходимым с технологической точки зрения, как удобная величина при ее использовании в процессе проектирования ДАП крыла для магистрального ВС. Индекс эффективности ВС является линейной функцией шести характеристик

$$I_Э = RD + CGD + MD + ED + TD + AD, \qquad (4)$$

где *RD* — режимные характеристики

$$RD = k_{весi}\cdot\overline{M} + k_{весi}\cdot\overline{H}, \qquad (5)$$

где $k_{весi}$ — весовой коэффициент, закрепленный за *i*-тым параметром; $\overline{M}$ — скорость полета в относительных единицах; $\overline{H}$ — высота полета в относительных единицах.

CGD — конструктивно–геометрические характеристики

$$CGD = k_{весi} \cdot \overline{l_{кр}} + k_{весi} \cdot \overline{l_{ф}} + k_{весi} \cdot \overline{d_{ф}} + k_{весi} \cdot \overline{\lambda_{ф}} + k_{весi} \cdot \overline{\lambda_{нч}} + \\ + k_{весi} \cdot \overline{l_{ДАП}} + k_{весi} \cdot \overline{\lambda}_{ДАП} + k_{весi} \cdot \overline{\eta_{ДАП}}, \quad (6)$$

где $\overline{l_{кр}}$ — длина крыла в относительных единицах; $\overline{l_{ф}}$ — длина фюзеляжа в относительных единицах; $\overline{d_{ф}}$ — диаметр фюзеляжа в относительных единицах; $\overline{\lambda_{ф}}$ — удлинение фюзеляжа в относительных единицах; $\overline{\lambda_{нч}}$ — удлинение носовой части в относительных единицах; $\overline{l_{ДАП}}$ — удлинение носовой части в относительных единицах; $\overline{\lambda}_{ДАП}$ — удлинение носовой части в относительных единицах; $\overline{\eta_{ДАП}}$ — удлинение носовой части в относительных единицах.

MD — массовые характеристики и прочностные

$$MD = k_{весi} \cdot \overline{m_0} + k_{весi} \cdot \overline{m_{пн}}, \quad (7)$$

где $\overline{m_0}$ — нормальная взлетная масса ВС в относительных единицах; $\overline{m_{пн}}$ — масса полезной нагрузки ВС в относительных единицах.

ED — энергетические характеристики

$$ED = k_{весi} \cdot \overline{C_{час}} + k_{весi} \cdot \overline{m} + k_{весi} \cdot \overline{\gamma_{дв}} + k_{весi} \cdot \overline{D}, \quad (8)$$

где $\overline{C_{час}}$ — часовой расход топлива в относительных единицах; $\overline{m}$ — степень двухконтурности двигателя в относительных единицах; $\overline{\gamma_{дв}}$ — удельный вес двигателя в относительных единицах; $\overline{D}$ — максимальный диаметр двигателя в относительных единицах.

TD — технологические характеристики

$$TD = k_{весi} \cdot \overline{a_{пр}} + k_{весi} \cdot \overline{Ц} + k_{весi} \cdot \overline{Y}, \quad (9)$$

где $\overline{a_{пр}}$ — производственные расходы в относительных единицах; $\overline{Ц}$ — параметр оценки воздушной линии в относительных единицах; $\overline{Y}$ — параметр оценки ВС в относительных единицах.

AD — аэродинамические характеристики

$$AD = k_{весi} \cdot \overline{k_{а.э.}} + k_{весi} \cdot \overline{K_{мах}} + k_{весi} \cdot \overline{c_{xi}}, \quad (10)$$

где $\overline{k_{а.э.}}$ — коэффициент аэродинамической эффективности в относительных единицах; $\overline{K_{мах}}$ — максимальное аэродинамическое качество в относительных единицах; $\overline{c_{xi}}$ — индуктивное сопротивление ВС с ДАП в относительных единицах.

Все составляющие индекса имеют равные веса, т.к. в противном случае

необходимо было бы использовать экспертные оценки. Все параметры прямо связаны с показателем эффективности ВС, в то время как некоторые показатели индекса имеют отрицательную связь с эффективностью ВС.

Для формирования индекса эффективности ВС необходимо привести его к некоторому сопоставимому виду. С этой целью используем метод линейного масштабирования. Его суть состоит в том, чтобы отобразить значение каждого параметра от *0* до *1*, сохраняя все пропорции между отдельными значениями. Таким образом, сохраняются все структурные характеристики исходного параметра.

Масштабированное значение вычисляют по формуле

$$x_i^м = (x_i - x_{\min})/(x_{\max} - x_{\min}), \tag{11}$$

где x_i — наблюдаемая величина; x_{min} — минимальное значение рассматриваемого параметра; x_{max} — максимальное значение рассматриваемого параметра.

В том случае, когда непосредственно измеряемый параметр отрицательно связан с эффективностью ВС, применяется обратное линейное масштабирование.

Математическая модель параметрического синтеза устанавливает взаимосвязи множеств РХ, КГХ, МХ, ЭХ, ТХ, АХ — с множеством параметров эффекта выделенных для данного процесса через внутреннюю характеристику ВС, $Э_1$ — экономическую эффективность [8, 9].

1) производственные расходы — $a_{прij}$;

2) производительность ВС — A_{ij};

3) интенсивность движения на линии — N.

Производственные расходы на один рейс на i-ом маршруте ВС j-ого типа, вычисляют по формуле

$$a_{прij} = a_{ij} + a_{кап.влj}, \tag{12}$$

где a_{ij} — себестоимость перевозок, р.

Удельный расход топлива, килограмм топлива на один ньютон тяги в час, вычисляют по формуле

$$C_{Pкрейс} = 0{,}95\left(\left(0{,}82/(1 + 0{,}525\sqrt[3]{m})\right) + M\left(0{,}494 - 0{,}0145H\right)\right), \tag{13}$$

где m — степень двухконтурности двигателя; M — число M полета; H — высота полета, км.

Производительность на i-ом маршруте ВС j-ого типа с дополнительной аэродинамической поверхностью m, вычисляют по формуле

$$A_{ij} = m_{комj}/t_{ij}, \tag{14}$$

где $m_{комj}$ — коммерческая нагрузка, соответствующая данной дальности полета; t_{ij} — время полета, ч.

Интенсивность движения на линии, в процентах, вычисляют по формуле

$$N = 100\left(1 - \left(1/c_{\Delta}\right)\sqrt{\left(1/n - 1\right)\sum_{i=1}^{n}\left(c - c_i\right)^2}\right), \qquad (15)$$

где n — количество отобранных ВС; c_i — количество контрольных ВС в i-серии, %; c_{Δ} — среднеарифметическое значение контрольного компонента ВС.

Аналогичный расчет повторяем для каждого типа ВС на заданном маршруте, с различными типами дополнительных аэродинамических поверхностей. В результате получаем индекс эффективности для каждого типа ВС на заданном маршруте с определенной ДАП, полученные результаты позволяет провести выбор потребного типа ДАП для конкретного ВС.

Развитие познавательного интереса при подготовке высококвалифицированных специалистов в области авиастроения определяется структурой познавательной среды и требует создания модели, обеспечивающей реализацию педагогических условий. При этом, научно-методической базой являются учебные пособия, научно-методические рекомендации и комплекты профессионально ориентированных заданий.

Исходя из вышесказанного познавательная активность будущего специалиста в аэрокосмическом образовании требует включение в процесс как интеллектуальной, так и социальной активности.

Список литературы

1. Фокин, Ю.Г. Теория и технология обучения: деятельностный подход: учеб.пособие для вузов / Ю. Г. Фокин. – 3-е изд., испр. – М. : Академия, 2008. – 240 с.: ил. – (Высшее профессиональное образование). – Алф. указ.: с. 215-221. – Прил.: с. 222-237. - ISBN 978-5-7695-5259-5.

2. Зеер, Э.Ф. Психология профессионального развития / Э.Ф. Зеер – М.: Академия, 2006. – 240 с.

3. Припадчев, А.Д. Определение оптимального парка воздушных судов. Монография / А.Д. Припадчев. – М.: Академия Естествознания, 2009. – 246 с.

4. Кнут, Д. Искусство программирования: в 4т. – Т.1. Основные алгоритмы / Д. Кнут. – 3-е изд. – М. «Вильямс», 2006. 728с.

5. Горбунов, А. А. Математическая модель применяемая в автоматизированном проектировании дополнительных аэродинамических поверхностей крыла воздушного судна / А. А. Горбунов, А. Д. Припадчев - Интернет-журнал «Науковедение». 2014. – №2. – С. 1 – 10.

6. Горбунов А.А. Применение метода линейного программирования при автоматизированном проектировании дополнительных аэродинамических поверхностей / А. А. Горбунов, А. Д. Припадчев - Международный научно-практический журнал «Программные продукты и системы». – 2012. – №4. – С. 203 – 206