

1. КЛАССИФИКАЦИЯ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Основные требования:

- ♦ критерий должен быть измеряемой (счетной) величиной, способ расчета которой известен;
- ♦ в критерии должны быть учтены основная цель, ради которой создается объект, а также условия и ограничения эксплуатации;
- ♦ критерий должен включать те параметры и характеристики объекта, влияние которых требуется оценить или которые необходимо оптимизировать;
- ♦ необходимо, чтобы на каждом этапе проектирования критерии были непротиворечивыми;
- ♦ желательно, чтобы на всех этапах проектирования критерий был единственным.

Критерии 1 уровня

Функциональная эффективность характеризует, насколько полно и на каком уровне технического (и в том числе весового) совершенства данный вертолет выполняет свою основную задачу. Так, для транспортных и пассажирских вертолетов рассматривают транспортную эффективность, для вертолетов-кранов – эффективность выполнения крановых операций.

Производственная эффективность оценивает, насколько хорош проект с точки зрения технологичности конструкции и других условий, связанных с производством.

Эксплуатационная эффективность позволяет оценить различные варианты проекта или различные аппараты с точки зрения их эксплуатационных качеств.

Критерии 2 уровня

Критерии оценивают характер. отдельного ЛА, как правило, интегрально учитывая его функциональную, производственную и эксплуатационную эффективность. Такую всестороннюю оценку проекта можно осуществить, используя экономические методы.

Наиболее часто на практике в качестве таких критериев применяют себестоимость 1 т·км для транспортных машин, себестоимость обработки 1 га для сельскохозяйственных машин или себестоимость 1 ч эксплуатации для вертолетов-кранов.

Критерии 3 уровня

Методы системной, обобщенной экономической оценки эффективности уже не отдельного самолета или вертолета, а всей совокупности машин данного типа или нескольких типов, создаваемых для решения определенных задач.

2. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Критерий учитывает некоторые комбинации следующих факторов:

- крейсерской скорости, с которой вертолет выполняет работу;
- весового совершенства;
- энергетического совершенства, связывающего расход топлива, необходимого для выполнения транспортной работы, с объемом этой работы.

Каждый из указанных факторов в отдельности может применяться в качестве частного критерия при решении определенных задач. Однако наиболее полными оказываются критерии, учитывающие все перечисленные факторы.

Крейсерская скорость

В течение всего периода развития вертолетов крейсерская скорость их полета постепенно увеличивалась, что объясняется следующим:

- увеличением энерговооруженности вертолетов;
- снижением лобового сопротивления несущих элементов;
- совершенствованием аэродинамических характеристик несущих винтов.

В настоящее время крейсерская скорость составляет от 160 км/ч у сверхлегких машин с поршневыми двигателями до 270...290 км/ч у тяжелых вертолетов, оснащенных газотурбинными двигателями.

Весовое совершенство вертолетов

2

Наиболее часто для оценки весового совершенства применяется широко используемый в практике **коэффициент весовой отдачи**.

$$k_{\text{во}} = \frac{m_{\text{взл}} - m_{\text{пуст}}}{m_{\text{взл}}}; \quad k_{\text{во}} = \frac{m_{\text{полн}}}{m_{\text{взл}}}, \quad (1)$$

где $m_{\text{взл}}$ - взлетная масса; $m_{\text{пуст}}$ - масса пустого вертолета; $m_{\text{полн}}$ - масса полной нагрузки.

Повышение весовой отдачи является важнейшим средством увеличения статического потолка и приведенной производительности транспортного вертолета.

Основными направлениями повышения весового совершенства вертолетов в настоящее время являются:

- выбор рациональных конструктивно-силовых схем и компоновок вертолетов и их агрегатов;
- комплексная оптимизация параметров вертолетов и их агрегатов при проектировании;
- использование новых материалов;
- применение новых технологич. процессов при производстве узлов и агрегатов;
- создание более равнопрочных конструкций и применение материалов с повышенными пределами выносливости;
- снижение действующих нагрузок в конструкциях узлов и агрегатов.

Однако коэффициент весовой отдачи, являясь безусловным параметром, характеризующим весовое совершенство конструкций, не может использоваться в процессе предварительного проектирования как обобщающий критерий транспортной эффективности разрабатываемой машины.

Энергетическое совершенство вертолетов

Критерий позволяет связать дальность полета с количеством топлива, расходуемого транспортным средством для перемещения на эту дальность.

Показатель (коэффициент) энергетического совершенства E определяется как величина обратная удельному расходу топлива \bar{q} на 1 км.

$$\frac{1}{E} = \bar{q} = \frac{C_e g}{3600 K \eta_{\text{пр}} \xi}. \quad (2)$$

где \bar{q} - удельный километровый расход топлива; C_e - удельный расход топлива; K - коэффициент аэродинамического качества вертолета; $\eta_{\text{пр}}$ - пропульсивный коэффициент несущего винта; ξ - коэффициент использования мощности двигателей.

Физический смысл показателя энергетического совершенства - это путь, который может пройти рассматриваемое транспортное средство за счет расходования массы топлива, равной полетной массе, при движении по горизонтали с постоянной крейсерской скоростью.

Энергетическое совершенство оказывается весьма полезным для сравнения необходимых затрат энергии при выполнении одинаковой транспортной работы разными транспортными средствами.

Производительность

Производительность транспортного вертолета оценивается по произведенной им в единицу времени транспортной работе:

$$P_{\text{ср}} = A / T_{\Sigma}, \quad (3)$$

где A - транспортная работа; T_{Σ} - суммарное календарное время, затраченное на выполнение транспортной работы A .

$$A = \sum_i (m_{\text{гр}})_i \cdot L_i \quad \text{или} \quad A = (m_{\text{гр}})_{\text{ср}} L_{\Sigma}, \quad (4)$$

где $(m_{\text{гр}})_i$ - масса груза, перевезенного i -м рейсе; L_i - дальность i -го рейса; L_{Σ} - суммарная дальность всех рейсов; $(m_{\text{гр}})_{\text{ср}}$ - среднее значение массы перевозимого груза.

Суммарное календарное время выполнения операции складывается из полетного времени T_n , времени $T_{пв}$, затрачиваемого на погрузку и выгрузку, времени $T_{то}$, необходимого для выполнения технического обслуживания, времени простоев $T_{пр}$, связанных с ограничениями разного рода и, в том числе, с ограничениями по медицинским нормам летного времени летно-подъемного состава, погодными условиями, четкостью снабжения топливно-смазочными материалами, а также устранением обнаруживающихся неисправностей:

$$T_{\Sigma} = T_n + T_{пв} + T_{то} + T_{пр}. \quad (5)$$

Полетная производительность

$$P_{ср} = \frac{(m_{зр})_{ср} L_{\Sigma}}{T_n} = (m_{зр})_{ср} V_p, \quad (6) \quad \text{или} \quad \bar{P}_n = k_V m_{зр} V_{кр}, \quad (7)$$

где V_p - скорость по расписанию.

где $k_V = V_p / V_{кр}$

Удельная производительность

т.е. отношение производительности к массе пустого снаряженного вертолета $m_{пс}$:

$$\bar{P}_{пс} = \frac{k_V m_{зр} V_{кр}}{m_{пс}}; \quad (8)$$

или относительная производительность к взлетной массе $m_{взл}$:

$$\bar{P}_{пс} = \frac{k_V m_{зр} V_{кр}}{m_{взл}}. \quad (9)$$

Этот критерий, позволяет произвести оценку проекта с точки зрения его весового совершенства с учетом производительности. Однако энергетическое совершенство в явном виде в этом критерии не отражено, оно проявляется через влияние на массу максимального перевозимого груза дальности полета, для которой определяется производительность.

Весовая отдача по полезной нагрузке, перевозимой на заданную дальность

Критерием, оценивающим такую способность вертолета, является весовая отдача по полезной нагрузке $\bar{m}_{пл}$ при фиксированной дальности:

$$\bar{m}_{пл} = m_{зр} / m_{взл}. \quad (10)$$

Величину $\bar{m}_{пл}$ можно также рассматривать как критерий, учитывающий весовое совершенство проектируемого вертолета и его энергетическое совершенство. Однако он не учитывает производительность.

Приведенная производительность

$$\tilde{P}_n = \bar{P} / \bar{q}. \quad (11)$$

Приведенная производительность вертолета с взлетной массой $m_{взл}$, перевозящего груз $m_{зр}$ на дальность L со скоростью $V_p = k_V V_{кр}$, имеющего удельный расход топлива \bar{q} или коэффициент энергетического совершенства E , может быть представлена в следующем виде:

$$\tilde{P}_n = k_V \frac{m_{зр} V_{кр} L}{m_T} = k_V \frac{m_{зр} V_{кр}}{\bar{q}}; \quad (12) \quad \text{или} \quad \tilde{P}_n = k_V^2 \frac{m_{зр} V_{кр} E}{m_{взл}}. \quad (13)$$

Физический смысл критерия (12) показывает, какая производительность будет у условного вертолета, имеющего с проектируемым одинаковые крейсерскую скорость, совершенство по массе, удельные расходы топлива двигателей и аэродинамическое качество, но отличающегося по взлетной массе. Причем взлетная масса условного вертолета должна быть такой, при которой расход топлива на 1 км составит 1 кг.

Выражение (12) удобно для расчета приведенной производительности уже созданных или спроектированных вертолетов, тогда как выражение (13) более удобно для оценки влияния на \tilde{P}_n отдельных входящих в него параметров, изменяемых при проектировании.

Ряд значений приведенной производительности для серийных российских вертолетов в зависимости от года их создания представлен на рис. 1. Каждый новый вертолет помимо того, что он соответствовал требованиям по грузоподъемности, обеспечивал еще и более высокую приведенную производительность.

Значения критерия $\tilde{\Pi} \cdot 10^{-3}$ для вертолетов при дальности полета 300 км составляют: **Ми-4** – 35, **Ми-26** – 167, **Ми-8** – 157 км²/ч. Для вертолетов, созданных в последние годы, $\tilde{\Pi} \cdot 10^{-3}$ равен 300...360 км²/ч.

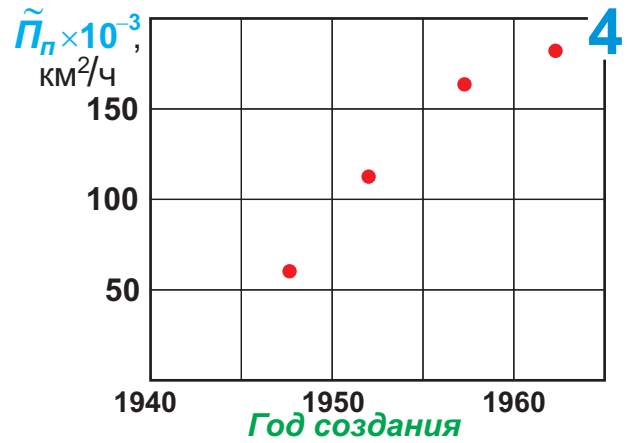


Рис. 1. Значения приведенной производительности серийных российских вертолетов

Приведенная производительность вертолета-крана

$$\tilde{\Pi}_{кр} = \frac{\bar{\Pi}_{кр}}{q_{ч}} = K_T \frac{m_{ц.н}}{\tilde{q}_{ч}} \quad (14)$$

где $\tilde{q}_{ч} = q_{ч} / m_{взл}$; $q_{ч}$ - относительный часовой расход топлива.

Используя зависимость между мощностью и весом аппарата на режиме висения, имеем

$$\tilde{\Pi}_{кр} = 37,5 \cdot \eta_o \cdot \xi \cdot K_T \frac{m_{ц.н} \sqrt{\Delta}}{C_e \sqrt{\rho}} \quad (15)$$

Здесь коэффициент
$$K_T = T_{монт} / T_{пол} \quad (16)$$

где $T_{монт}$ - время затраченное на монтаж; $T_{пол}$ - время полета.

Когда конкретные условия работы вертолета-крана неизвестны, то на основании статистики можно принять $K_m = 0,5$.

3. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

При рассмотрении конкретного проекта необходимо оценить его трудоемкость, капиталоемкость, материалоемкость, а также затраты времени на подготовку производства и производственный цикл.

Поэтому чрезвычайно важно, чтобы при проектировании, в том числе и на ранних его стадиях, были бы внимательно рассмотрены условия будущего серийного производства, а в самой конструкции предусмотрены наиболее прогрессивные и целесообразные технологические процессы.

В процессе проектирования летательного аппарата конструктору постоянно придется разрешать противоречия между требованиями получить минимальный вес и обеспечить приемлемую трудоемкость в серийном производстве и в эксплуатации. При анализе различных вариантов конструкции какого-либо узла или агрегата важно сравнить их с точки зрения трудоемкости изготовления.

4. ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

При разработке проекта необходимо стремиться к:

- получению наименьших значений удельной трудоемкости технического обслуживания;
- снижению трудозатрат на замену основных агрегатов и систем;
- снижению трудоемкости капитальных ремонтов.

Эксплуатационная эффективность достигается:

- модальностью конструкции;
- удобством расположения эксплуатационных лючков и способов их закрывания;
- удобством и простотой контроля уровней жидкостей;
- обеспечением подходов к агрегатам, возможностью снятия одного агрегата без демонтажа других и т.д.

5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕРТОЛЕТА 5

В основе стоимостной оценки летательного аппарата лежит себестоимость одного часа работы. Зная часовые эксплуатационные расходы, можно получить затраты на единицу полезной выполненной работы.

$$C = C_g / П, \quad (17)$$

где C - себестоимость выполняемой работы; C_g - себестоимость летного часа эксплуатации вертолета; $П$ - производительность вертолета.

6. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КРИТЕРИЕВ РАЗНЫХ УРОВНЕЙ

Выбор уровня критериев или одного из критериев данного уровня для оценки степени совершенства выполняемой работы в значительной мере определяется тем, в какой стадии разработки находится проект.

Первый этап – это разработка требований к новому летательному аппарату и обоснование основных его характеристик.

В процессе работы на первом этапе создания летательного аппарата, когда не только рождается идея о создании машины определенной размерности, но и формируется элемент будущей транспортной системы с учетом общего количества таких вертолетов, предполагаемого выпуска их по годам, загрузки во время эксплуатации и сроков списания, уместно использовать критерии третьего самого высокого уровня, позволяющие учесть максимально возможное количество основных факторов, определяющих эффективность системы в рамках всего народного хозяйства страны.

Метод комплексной экономической оценки ставит своей целью наиболее полно и рационально использовать хозяйственные ресурсы страны при решении поставленных задач. При этом учитываются:

- перспективы развития техники, ее техническая эффективность, производительность;
- сроки проектирования, создания и эксплуатации новых изделий;
- производственные возможности промышленности и перспективы развития техники и технологии производства;
- длительность циклов создания новых изделий, объем и трудоемкость их производства;
- достигнутый уровень и тенденции дальнейшего изменения концентрации, специализации, кооперирования и размещения производства;
- ресурсы и перспективы производства конструкционных материалов;
- рациональное использование материальных и трудовых ресурсов, предоставленных промышленности;
- уровень и перспективы развития технических средств и условия эксплуатации и применения новых изделий;
- рациональное использование материальных и трудовых ресурсов в сфере эксплуатации техники.

Второй этап начинается с проработки тактико-технических требований в опытно-конструкторском бюро. Этот период работы характеризуется очень тесным взаимодействием между ОКБ и заказчиком.

Во время работ, составляющих содержание второго этапа, выполняется основной объем работ по оптимизации параметров будущей машины, при которых выполняются заданные в ТТТ летно-технические характеристики будущей машины. В качестве критерия для решения такой задачи в случае транспортного вертолета наиболее подходит величина платного груза при заданных дальности полета и взлетном весе или весовая отдача по полезной нагрузке при заданной дальности.

Целесообразно выполнить расчеты себестоимости выполняемых работ с тем, чтобы получить окончательное оптимальное решение.

Третий этап – это рабочее проектирование, постройка и летные испытания новой машины. Главное содержание работ этого периода – обеспечить намеченные ранее основные летно-технические характеристики и, в первую очередь, веса. В этот период разрабатываются специальные системы весового контроля, учета изменения веса и т. д., с тем чтобы этот важнейший параметр летательного аппарата не вышел из предусмотренных ранее границ.

Во время работ третьего этапа должно быть обеспечено выполнение заданных тактико-техническими требованиями или внутренним решением руководства ОКБ величин, характеризующих технологическую и эксплуатационную эффективность будущего вертолета.

И, наконец, на этой стадии производится ряд дополнительных расчетов для уточнения полученных ранее значений себестоимости эксплуатации, с тем, чтобы получить представление о конечном результате всех предыдущих работ.