

УДК 656.075

А.И. Тихонов

А.М. Комарова

РАЗРАБОТКА ПРОГРЕССИВНЫХ НОРМАТИВОВ ВРЕМЕНИ НА ОПЕРАЦИИ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Аннотация. Показана актуальность разработки прогрессивных нормативов времени на операции ремонтного производства авиационных двигателей в качестве количественной меры планирования и оптимизации трудовых процессов. Доказана необходимость и возможности использования метода ротатбельного планирования эксперимента при построении математической модели нормативов времени выполнения технологической операции ремонта. Дан пример построения нормативной зависимости в виде степенного уравнения регрессии, учитывающего влияние как количественных так и качественных факторов.

Ключевые слова: авиадвигателестроение, двигатель, затраты труда, нормы и нормативы, организация ремонтного производства, оптимизация, ротатбельное планирование.

Alexey Tikhonov

Anastasia Komarova

DEVELOPING THE PROGRESSIVE TIME NORMS ON THE OPERATION OF REPAIR MANUFACTURE FOR THE AIRCRAFT ENGINES USING THE EXPERIMENT PLANNING THEORY

Annotation. The relevance of developing the progressive time norms on the operation of repair manufacture of aircraft engines as a quantitative measure of planning and optimization of the workflows is shown. Proved the necessity and possibility of using the method of rotatable experiment planning when building the mathematical model of time norms for performing the technological repair operation. Given the example of building the normative dependence as an exponential equation of regression, that allows the influence of both the quantitative and qualitative factors.

Keywords: the aircraft engine, engine, labour costs, norms, organization of repair production, optimization, rotatable planning.

Развитие авиадвигателестроительных предприятий России обусловлено глобальными трансформациями в сфере наукоемкого производства и реформированием оборонно-промышленного комплекса страны. Госпрограмма «Развитие авиационной промышленности на 2013–2025 годы» предусматривает внедрение авиадвигателей пятого поколения и разработку авиадвигателей шестого поколения в рамках перечня критических технологий [6].

Проведенный в ходе исследования технико-экономический анализ рынка технического обслуживания и ремонта авиадвигателей показал необходимость создания механизма организации ремонтного производства, где основную роль играет многовариантность технологий и оптимизация используемых ресурсов на основе планирования прогрессивных норм и нормативов. Большие резервы ускорения роста производительности труда на предприятиях авиационного двигателестроения кроются в улучшении использования оборудования, производственных площадей, ликвидации потерь рабочего времени и других ресурсов, что в значительной мере определяется уровнем оптимизации организационных решений с использованием прогрессивных норм и нормативов. Разработка и внедрение организационно-экономического механизма производства должны предусматривать планирование прогрессивных норм и нормативов. Его основной процедурной компонентой является технология выработки профильных управленческих решений.

Срок службы современных авиадвигателей постоянно растет и может еще более увеличиваться за счет проведения разных видов ремонтов и технического обслуживания. Организация ремонтно-

го производства подвержена действию многих технологических и экономических неопределенностей и угроз, объективно существующих в процессе проведения организационных мероприятий. В настоящее время наиболее сложным и значимым является развитие организационно-экономических механизмов ремонтного производства, в том числе в его технологическом аспекте. Организация ремонтного производства определяет показатели различных производственных систем в связи с тем, что технологические процессы могут быть реализованы по-разному. При схожих финансовых и технологических возможностях основным фактором эффективности производственных систем становится уровень сложившейся технологической организации ремонтного производства, а более широко – качество экономического механизма технологической организации ремонтного производства.

Повышение эффективности ремонтного производства авиадвигателей, его конкурентоспособности напрямую связано с возрождением обрабатывающих отраслей промышленности, для которых большое значение наряду с инвестициями, использованием передовых технологий совершенствования организационных решений по труду. Исходя из мирового опыта, необходим переход от традиционных методов организации и нормирования труда, не предполагающих, как правило, проведение тщательного исследования процесса, к методам анализа трудовых процессов на основе планирования прогрессивных норм и нормативов. Поэтому разработки в этой области очень востребованы управленческим персоналом, осуществляющим внутрифирменное управление, в том числе на промышленных предприятиях – осуществляющих ремонт авиадвигателей.

Оценка актуальности сохранения и перспектив развития высокотехнологичных авиационных предприятий, а также исследование возможностей принятия организационных решений показали, что причиной постоянной внутренней реорганизации системы управления является неэффективное использование ресурсов наукоемкой организации. Существующие системы принятия управленческих решений чаще всего неадекватно реагируют на события, которые частично предсказуемы, но быстро изменяются в условиях современных высокотехнологичных рынков. Авиационные предприятия, осуществляющие ремонт авиадвигателей часто оказываются неподготовленными к этой ситуации, как с позиции ресурсов, так и с позиции лага времени для принятия необходимых организационных решений. Требуется совершенствование существующих систем управления организацией ремонтного производства авиационных двигателей путем выявления проблем и возможностей их развития, планирования и оптимизации принятия организационных решений.

Проектирование организационных решений по ремонтному производству авиадвигателей, разработка и обоснование планов развития должны базироваться на количественной оценке ее различных вариантов, на основе планирования использования ресурсов. Количественной мерой такого планирования могут являться прогрессивные нормы и нормативы использования всех видов ресурсов ремонтного производства, определяющими среди которых, при оптимизации трудовых процессов, являются трудовые ресурсы. Нормативной базой, используемой для оптимизации трудовых процессов, является укрупненная систем микроэлементных нормативов времени. Нормы затрат труда, полученные с использованием данной системы, позволяет обеспечить наиболее приемлемый темп работы, не приводящий к чрезмерному утомлению и обеспечивающий достаточно высокую производительность труда. Использование теории планирования эксперимента при расчете нормативов времени позволяет сократить число исходных данных, необходимых для расчета и обеспечить заданную точность.

При разработке нормативов времени имеет место выявление связи случайной величины (времени) с величинами неслучайными (факторами). Для анализа таких связей используется метод центрального композиционного ротатабельного планирования второго порядка. Выбор этого метода обусловлен тем, что ортогональность матрицы факторного эксперимента позволяет оценить все коэффициенты уравнения регрессии независимо друг от друга. Если один из коэффициентов незначим,

его можно исключить из уравнения без пересчета остальных коэффициентов. Ротатабельность матрицы эксперимента заключается в том, что позиции плана подбираются таким образом, чтобы уравнение регрессии позволяло предсказывать значение зависимой переменной – времени выполнения элемента трудового процесса с равной точностью в любых направлениях на равных расстояниях от центра плана [5].

Необходимую информацию о затратах на исследуемый элемент трудового процесса можно получить путем проведения вычислительного эксперимента, в котором нормативные значения времени на элемент трудового процесса (комплекс движений) рассчитываются по микроэлементам на отдельные движения. Применение методов планирования эксперимента позволит получить математически обоснованное, необходимое и достаточное количество значений времени и нужные для их определения значения факторов. При определении затрат времени с использованием микроэлементов каждый элемент трудового процесса должен быть описан в терминах системы БСМ-1. Затем путем анализа микроэлементов, используемых в описании, необходимо выявить все факторы, т.е. переменные величины, влияющие на затраты времени. В реальном трудовом процессе такие факторы можно разделить на три группы: независимые (варьируемые); зависимые (значения этих факторов находятся в корреляционной зависимости от варьируемых факторов); фиксированные факторы (их значения находятся на определенных (неизменяемых) уровнях).

Варьируемые факторы системы микроэлементов при проведении вычислительного эксперимента удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым теорией планирования эксперимента. Их общее число и состав служат основой для построения вычислительного эксперимента сначала в кодированных, а затем в действительных значениях [1]. После подсчета общего числа варьируемых факторов – K , следует рассчитать параметры, необходимые для построения плана эксперимента. Метод ортогонального ротатабельного планирования второго порядка предполагает варьирование каждого фактора на пяти уровнях. Для стандартизации и упрощения записи условий эксперимента и обработки результатов, эти пять уровней нормализуются, т.е. преобразуются в безразмерные и обозначаются следующими кодами: – α ; – 1; 0; +1; + α . Расшифровка кодов представлена в таблице 1.

Таблица 1

Обозначение кодированных значений плана эксперимента

№ п.п	Код	Значение
1	- α	нижняя граница диапазона варьирования фактора, означает наименьшее заданное значение возрастающего фактора, или наибольшее значение убывающего фактора
2	+ α	верхняя граница диапазона варьирования фактора, означает наибольшее заданное значение возрастающего фактора или наименьшее заданное значение убывающего фактора
3	-1	нижний уровень возрастающего или верхний уровень убывающего фактора
4	+1	верхний уровень возрастающего или нижний уровень убывающего фактора,
5	0	нулевой или основной уровень фактора, находящийся в центре заданного диапазона варьирования фактора.

Далее определяется число точек плана, содержащих значения факторов на уровнях +1 и -1. Эта часть плана называется «ядром» плана. Число точек «ядра» плана зависит от количества факторов – k , и дробности эксперимента.

Под полным факторным экспериментом понимается эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней варьируемых факторов. Для полного факторного эксперимента число точек «ядра» плана – n_j , определяется по формуле:

$$n_{\text{я}} = 2^K, \quad (1)$$

где k – число варьируемых факторов.

Поскольку при большом числе факторов проведение полного факторного эксперимента требует значительного числа опытов, рекомендуется переходить к дробному факторному эксперименту, позволяющему значительно уменьшить число опытов при некотором снижении точности математической модели. Для дробного факторного эксперимента число точек «ядра» плана – $n_{\text{я}}$ определяется по формуле:

$$n_{\text{я}} = 2^{K-p}, \quad (2)$$

где p – дробность реплики. Дробной репликой называют план эксперимента, являющийся частью плана полного факторного эксперимента.

При $p = 1$ получают $1/2$ реплики (полуреплику) – план эксперимента, предусматривающий реализацию половины опытов полного факторного эксперимента, при $p = 2$ получают $1/4$ реплики. Затем к «ядру» плана добавляются «звездные» точки – по две на каждый фактор и некоторое количество точек в центре плана, называемых «нулевыми» точками. Под «звездными» точками понимается часть плана эксперимента, содержащая точки плана, в которых проводятся опыты при сочетании факторов на уровнях $\pm\alpha$ и 0.

Модуль « α » носит название «звездного» плеча и рассчитывается по формулам:

$$\alpha = 2^{\frac{K}{4}} \text{ – для полного факторного эксперимента; } \alpha = 2^{\frac{K-p}{4}} \text{ – для дробных реплик.}$$

Число «звездных» точек плана n_{α} определяется по формуле :

$$n_{\alpha} = 2k, \quad (3)$$

Точки в центре плана содержат сочетания факторов на уровнях, равных 0 (нулю). Число точек в центре плана – n_0 , выбирается таким, чтобы обеспечивалось равномерное планирование. Равномерное планирование возможно, если некоторая константа λ не превышает единицы (немного меньше ее):

$$\lambda = \frac{k(n_c + n_0)}{(k+2)n_c}, \text{ где } n_c = n_{\text{я}} + n_{\alpha}. \quad (4)$$

Общее число точек плана эксперимента (общее число опытов) определяется по формуле :

$$N = n_{\text{я}} + n_{\alpha} + n_0, \quad (5)$$

Построение плана факторного эксперимента производится сначала в кодированных, а затем в действительных значениях факторов.

При построении плана эксперимента в действительных значениях необходимо определить действительные уровни каждого из факторов, влияющих на время выполнения движений, составляющих содержание комплекса. Область определения каждого из варьируемых факторов задана в исходных данных. Максимальное значение фактора соответствует «звездной» точке плана в кодированных значениях $X_{(+\alpha)}$. Минимальное значение соответствует «звездной» точке плана в кодированных значениях $X_{(-\alpha)}$. Значение фактора в «нулевой» точке определяется по формуле :

$$\tilde{O}_0 = \frac{\tilde{O}_{(+\alpha)} + \tilde{O}_{(-\alpha)}}{2}, \quad (6)$$

Выбрав величину «звездного» плеча – α по табличным значениям для соответствующего числа факторов и вида эксперимента можно определить интервал варьирования фактора – ΔX по формуле:

$$\Delta \tilde{O} = \frac{\tilde{O}_{(+\alpha)} - \tilde{O}_{(0)}}{\alpha}, \quad (7)$$

С использованием интервала варьирования определяются действительные значения в точках «ядра» плана, соответствующие кодированным значениям +1 и -1 по формулам:

$$X_{(+1)} = X_0 + \Delta X, \quad (8)$$

$$X_{(-1)} = X_0 - \Delta X, \quad (9)$$

В качестве примера рассмотрим определение действительных уровней факторов для варианта комплекса «Определение центра тяжести».

В соответствии с исходными данными на время комплекса влияют три количественных фактора: расстояние перемещения – S, масса предмета – P и размер наибольшей стороны – l. Значения фактора S изменяются в диапазоне от 20 до 500 см; $S_0=260$; $S_{(+1)}=402,68$; $S_{(-1)}=117,32$. Пять действительных уровней для анализируемого фактора P – $P_{(-\alpha)} = 1300$; $P_{(+\alpha)} = 1350$ кг; $P_0=1325$; $P_{(-1)}=1310,14$; $P_{(+1)}=1339,86$. То же для фактора l – $l_{(+\alpha)}=300$ см; $l_{(-\alpha)}=100$; $l_{(0)}=100$; $l_{(-1)}=140$; $l_{(+1)}=259$.

Вычисленные действительные значения факторов записываются в план эксперимента на место соответствующих им кодированных значений. После построения плана эксперимента в действительных значениях определяются значения времени выполнения комплекса движений в каждом опыте плана [3]. Вначале определяется нормативное время каждого микроэлемента входящего в состав комплекса для заданного сочетания уровней факторов в соответствующей точке плана с учетом влияния качественных факторов. Затраты времени на выполнение комплекса определяются суммированием нормативного времени по всем входящим в комплекс микроэлементам. Используемый в качестве математической модели для определения значимости факторов полином второго порядка из-за своей громоздкости неудобен для практического применения при определении зависимости затрат времени от влияющих на нее факторов и построении нормативных таблиц. Поэтому наряду с полиномом второго порядка при автоматизированной разработке нормативов времени следует использовать степенное уравнение регрессии.

Для определения коэффициентов уравнения регрессии необходимо использовать метод наименьших квадратов. При степенной форме связи путем соответствующих преобразований переменных следует проводить линеаризацию уравнений. По установленному степенному уравнению регрессии рекомендуется рассчитывать нормативные значения факторов и времени.

Поскольку время выполнения элемента трудового процесса зависит от разнообразных условий, не имеющих количественной характеристики, т.е. качественных факторов, определяют поправочные коэффициенты, учитывающие их влияние. Для рассмотренного выше примера такими показателями будут являться наличие осторожности (ОС), степень контроля (К), степень ориентирования (ОР) и стесненность (СТ).

В этом случае формула расчета норматива времени примет следующий вид:

$$t = 5.54 \cdot S^{0.95} \cdot P^{0.2} \cdot l^{0.35} \cdot K_{ОС} \cdot K_K \cdot K_{ОР} \cdot K_{СТ}. \quad (10)$$

Предлагается следующая методика учета влияния качественных факторов на затраты времени. Значения затрат времени определяются для такого сочетания уровней всех качественных факторов, которое наиболее часто встречается при выполнении рассматриваемого элемента трудового процесса. Далее последовательно определяются затраты времени для всех имеющихся сочетаний уровней факторов. Отношение найденного значения времени к полученному для наиболее часто встречающихся сочетаний является поправочным коэффициентом для рассматриваемого сочетания.

По установленному уравнению регрессии производится расчет нормативных значений времени от влияющих на его продолжительность факторов. Нормативные значения времени определяются по формуле:

$$t_i = Y \cdot t_{i-1}, \quad (11)$$

где t_i - последующее значение норматива времени; t_{i-1} - предыдущее значение норматива времени; Y - знаменатель геометрической прогрессии ряда нормативных значений времени (определяется в зависимости от уровня допустимой ошибки для конкретного типа производства):

$$Y = \frac{100 + P}{100 - P}, \quad (12)$$

где P - допустимая ошибка отклонения определяемых нормативных значений времени от фактических затрат в % (допустимая погрешность нормативных значений времени). Величина « P » задается в исходных данных. Начальное значение времени t_0 определяется для нижних границ, влияющих на его величину факторов.

Нормативные значения факторов рассчитываются при степенном уравнении регрессии следующим образом:

$$x_i = x_{i-1} \cdot c, \quad (13)$$

где $c = y^{1/\alpha}$ - знаменатель прогрессии ряда табличных значений i -го фактора; α - показатель степени в аппроксимирующей формуле для соответствующего фактора. Рассчитанные значения факторов корректируются таким образом, чтобы нормативное значение являлось средним на интервале от x_{i-1} до x_i .

Таким образом, использование метода ротatableного планирования эксперимента позволяет получить математически обоснованное, необходимое и достаточное количество значений времени и нужные для их определения значения факторов при определении прогрессивных нормативов времени на операции ремонтного производства авиационных двигателей. Использование теории планирования эксперимента при расчете нормативов времени позволяют сократить число исходных данных, необходимых для расчета и обеспечить заданную точность. Полученные прогрессивные нормы выступают количественной мерой планирования и принятия оптимальных организационных решений по труду [2].

Организация ремонтного производства авиадвигателей на основе планирования прогрессивных норм и нормативов представляет собой особенный вид внутрифирменного управления, которое заключается в использовании существующего производственно-технологического потенциала [4].

Библиографический список

1. Андрейчиков, А. В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 386 с. – ISBN 5-279-02188-1
2. Горелик, В. А. Исследование операций и методы оптимизации / В. А. Горелик. – М. : Академия, 2013. – 272 с. – (Бакалавриат). – ISBN 978-5-7695-9660-5.
3. Елисеев, Ю. С. Испытания, обеспечение надежности и ремонт авиационных двигателей и энергетических установок / Ю. С. Елисеев, В. В. Крымов – М. : Высшая школа, 2005. – 348 с.
4. Комарова, А. М. Исследование возможности создания механизма организации ремонтного производства авиационных двигателей / А. М. Комарова // Вестник Московского авиационного института. – 2014. – Т. 21. – № 5. – С. 193–195.
5. Миускова, Р. П. Оптимизация трудовых процессов с использованием математических методов и микроэлементных нормативов времени / Р. П. Миускова, Н. В. Комарова – М. : РУСАКИ, 2004. – 226 с.
6. Государственная программа РФ «Развитие авиационной промышленности на 2013-2025 годы» [Электронный ресурс] : утв. постановлением Правительства от 15.04.2014 № 303. – Режим доступа : http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Reg_gp1_gap_dop.pdf (дата обращения : 03.02.2016).