

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКОЙ ПРОИЗВОДСТВА В АВИАЦИОННОМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ КОМПЛЕКСЕ

В.Н. Тарасов¹, К.Ю. Дибихин²

¹Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443090, г. Самара, Московское шоссе, 77

²Оренбургский государственный университет
460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13

В статье рассмотрен подход к оптимизации технологического процесса подготовки производства авиационного специализированного комплекса. Для этого использован известный метод факторного анализа – метод главных компонент.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, последовательность операций во времени, факторы, факторные нагрузки, метод главных компонент, ортогональное вращение.

Введение. Авиационный специализированный комплекс (АСК), обеспечивающий производство сельскохозяйственных авиационных работ, объединяет значительное число подсистем, выполняющих разнородные и разнесенные во времени функции. Это затрудняет выполнение подсистемой управления диспетчерских функций, функций организационного управления и планирования производства работ. Представляется целесообразной структуризация процесса технологической подготовки производства (ТПП) и оптимизация сроков его реализации для повышения уровня готовности технологического процесса.

Оптимизацию временных параметров предлагается проводить на основе известных методов факторного анализа. Технологический процесс, реализуемый АСК, предполагает проведение заранее планируемых подготовительных операций, направленных на повышение его уровня готовности. Сами подготовительные операции определим как управляющие воздействия. В качестве критерия оптимальности распределения управляющих воздействий во времени примем сумму затрат U управляющих ресурсов и потерь от несвоевременности включения производственных мощностей

$$U = \sum_{i=1}^N [Z_k + Z_f + Z_{it} + Z_t] + P_{U_0} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $i=1, \dots, N$ – порядковый номер технологического процесса; Z_k – затраты кадровых ресурсов; Z_f – затраты финансовых ресурсов; Z_{it} – затраты информационных ресурсов; Z_t – временные затраты;

P_{U_0} – потери от несвоевременности включения производственных мощностей.

В связи с тем, что эффективность проведения технологической подготовки в значительной мере зависит от затрат времени на его реализацию, остановимся на затратах времени, необходимых для проведения подготовительных операций.

Вениамин Николаевич Тарасов – д.т.н., профессор.
Константин Юрьевич Дибихин – к.т.н., доцент.

Структуризация технологического процесса АСК

Структуризация технологического процесса и его составной части – процесса технологической подготовки – производится на основе построения организационной диаграммы. Эта методика, в частности, включает следующие этапы [1]:

- дефрагментация предстоящего объема работ на отдельные операции;
- оценка времени, необходимого на проведение каждой из них;
- определение последовательности операций;
- графическое оформление организационной диаграммы;
- определение критической последовательности операций.

Дефрагментация предстоящего объема работ на отдельные операции

Подготовительные операции обозначим через затрачиваемое на них время t и сведем в табл. 1, представленную выборкой по затратам времени на отдельные подготовительные операции.

Таблица 1

Выборка по затратам времени на отдельные подготовительные операции

Год	Подготовительные операции										
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}
1970	4	15	47	25	9	24	4	9	24	13	7
1971	6	18	44	24	8	22	6	8	25	12	8
1972	4	14	48	24	8	24	4	11	24	12	7
1973	5	13	46	22	7	23	4	9	24	14	8
1974	4	14	48	24	8	25	5	10	25	13	9
1975	6	15	45	23	7	24	4	9	24	12	8
1976	4	14	47	25	8	24	4	9	24	12	8
1977	5	13	49	24	9	23	3	8	26	11	7
1978	4	14	48	23	8	24	4	9	24	13	8
1979	4	13	49	26	8	23	5	8	25	12	8
1980	6	14	50	25	7	22	4	10	26	10	9
1981	5	15	47	25	8	25	3	8	25	11	7
1982	4	15	49	24	9	25	5	7	23	11	8
1983	5	13	48	24	8	24	4	9	24	12	8
1984	3	12	46	25	9	26	5	10	25	13	6
1985	5	15	47	26	9	25	3	10	25	11	8
1986	6	16	44	23	7	26	5	9	24	12	9
1987	4	14	49	25	8	25	3	10	25	13	7
1988	5	15	47	23	9	25	5	8	22	14	9
1989	3	16	50	22	7	23	5	11	25	11	8
1990	5	15	49	25	8	25	3	10	24	11	9
1991	5	15	51	26	9	25	5	9	25	11	10
1992	6	13	46	26	7	23	4	9	25	12	8
1993	5	12	51	25	10	22	7	10	22	10	7
1994	5	13	47	23	9	23	5	11	26	11	9
1995	4	13	49	23	8	23	5	10	25	13	8
1996	5	12	47	25	11	22	3	11	23	11	6
1997	5	13	49	25	9	25	5	10	25	13	7
1998	3	12	50	26	10	23	5	9	24	11	9
1999	5	13	47	25	9	25	6	10	23	13	7
2000	4	14	48	24	8	24	4	9	24	12	8

Оценка времени, необходимого на проведение каждой операции.

Оценим время, необходимое на проведение каждой операции, как среднюю продолжительность в часах и сведем в табл. 2.

Таблица 2

Затраты времени на отдельные подготовительные операции

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Обозначение	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}
Время, ч	4	14	48	24	8	24	4	9	24	12	8

Определение последовательности подготовительных операций

Далее располагаем подготовительные операции с указанием их вида и целесообразной последовательности, т. е. в порядке их проведения. Сводим их в табл. 3.

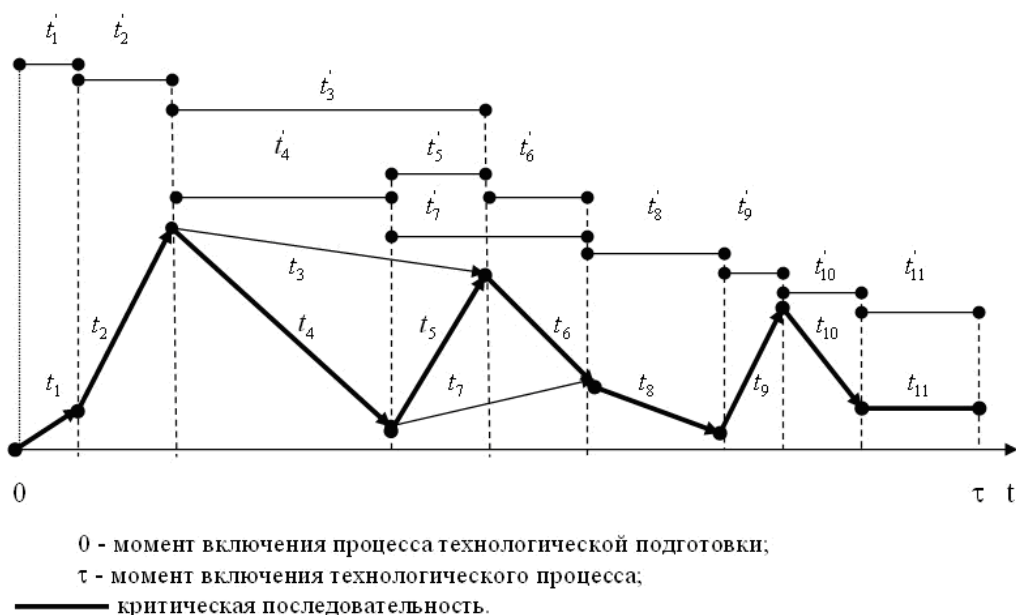
Таблица 3

Последовательность проведения подготовительных операций

№ п/п	Подготовительные операции	Порядок проведения подготовительной операции
1	t_1	—
2	t_2	Должна следовать за 1
3	t_3	Должна следовать за 2
4	t_4	Должна следовать за 2
5	t_5	Должна следовать за 4
6	t_6	Должна следовать за 5
7	t_7	Должна следовать за 4
8	t_8	Должна следовать за 6
9	t_9	Должна следовать за 8
10	t_{10}	Должна следовать за 9
11	t_{11}	Должна следовать за 10

Графическое оформление организационной диаграммы

Для этого составляем организационную диаграмму. Точка отсчета 0 совпадает со временем включения процесса технологической подготовки. Время окончания процесса технологической подготовки и включения технологического процесса в производство обозначена через τ . В верхней части каждая операция представлена на временной шкале горизонтальным отрезком. Длины этих отрезков пропорциональны продолжительности соответствующих операций. Организационная диаграмма последовательности подготовительных мероприятий, способствующих повышению готовности технологического процесса, приведена на рисунке.



Организационная диаграмма последовательности подготовительных мероприятий, способствующих повышению готовности технологического процесса

Определение критической последовательности операций

На организационной диаграмме выделяем критическую последовательность подготовительных операций, характеризующуюся тем, что любые изменения в порядке и времени ее выполнения увеличивает общую продолжительность процесса технологической подготовки. Таким образом, в критическую последовательность вошли следующие подготовительные операции: $t_1; t_2; t_4; t_5; t_6; t_8; t_9; t_{10}; t_{11}$.

Статистические методы определения критической последовательности

Для снижения риска несвоевременного включения технологического процесса предлагается провести статистический анализ последовательности и длительности подготовительных операций, определяющих готовность АСК и реализуемого им технологического процесса. Сформулируем гипотезу о том, что определенные при факторном анализе базовые параметры согласуются с подготовительными операциями, входящими в критическую последовательность организационной диаграммы. Факторный анализ позволяет сократить количество параметров исследования и может проводиться на любых распределениях. Для нахождения матриц факторных нагрузок используем метод главных компонент.

Метод главных компонент (МГК) совпадает с методом расчленения ковариационной или корреляционной матрицы на совокупность ортогональных векторов (компонент) или направлений по числу рассматриваемых переменных m [2]. Указанные векторы соответствуют собственным векторам и собственным значениям корреляционной матрицы. По этому методу собственные значения выделяются в порядке убывания их величины, что становится существенным, если для описания данных используется незначительное число компонент. Векторы попарно ортогональны, и компоненты, полученные по ним, не коррелированы. Хотя несколько компонент могут выделить большую часть суммарной дисперсии переменных, однако для точного воспроизведения корреляций между переменными требуются все компоненты. В

случаях, когда применяется метод главных компонент, не нужно делать гипотез о переменных, они не должны быть даже случайными. В факторном анализе основным предположением является равенство

$$X_i = \sum_{r=1}^k a_{ir} \times F_r + e_i, \quad (2)$$

где X_i – i -я переменная; F_r – r -й фактор; a_{ir} – факторная нагрузка (корреляция между переменной и фактором); k – количество факторов; e_i – остатки, представляющие источники отклонений и действующие на X_i ; r – число выделенных факторов; $i = 1, 2, \dots, p$. Модель факторного анализа (2) внешне напоминает модели многомерного регрессионного и дисперсионного анализа. Принципиальное отличие модели (2) в том, что вектор F факторов – это ненаблюдаемые на практике факторы, а в регрессионном анализе это регистрируемые на практике факторы.

Эти p случайных величин e_i (остаточные факторы) предполагаются независимыми как между собой, так и с k величинами F_r . Уравнения (1) нельзя проверить непосредственно, поскольку p переменных X_i выражены в них через $(p+k)$ ненаблюдаемых переменных, но эти уравнения заключают в себе гипотезу о ковариациях и дисперсиях X_i , которую можно проверить.

Когда определяется число факторов, удовлетворяющих условию $k > 1$, ни факторы, ни нагрузки не определяются однозначно, поскольку в уравнениях (2) факторы F_r могут быть заменены любым ортогональным преобразованием, соответствующим преобразованием нагрузок. Это свойство использовано для преобразования (вращения) факторов, полученных в практическом исследовании. Параметры вращения подбираются так, чтобы переменные, которые в большей или меньшей степени измеряют некоторые легко опознаваемые стороны, имели бы достаточно высокие нагрузки на один фактор и нулевые или почти нулевые – на другие факторы. Типичными методами вращения являются стратегии *варимакс*, *квартимакс* и *эквиماكс*.

После определения матрицы факторных нагрузок $\mathbf{A}$ для лучшей интерпретации факторов используют вращение матрицы $\mathbf{A}$ в пространстве общих факторов. Наиболее распространен метод *варимакс* для вращения матрицы $\mathbf{A}$, предложенный Г. Кайзером и представленный в [3]. Сначала отбираются только факторы с собственными значениями, большими 1. По существу, это означает, что если фактор не выделяет дисперсию, эквивалентную, по крайней мере, дисперсии одной переменной, то он опускается. Этот критерий предложен Кайзером (Kaiser, 1960) и является, вероятно, наиболее широко используемым.

Ортогональное вращение подразумевает, что мы будем вращать факторы, но не будем нарушать их ортогональности друг другу. Ортогональное вращение подразумевает умножение исходной матрицы $\mathbf{A}$ первичных нагрузок на ортогональную матрицу $\mathbf{R}$ (такую матрицу, что $|\mathbf{R}| = 1$, $\mathbf{R} * \mathbf{R}^T = \mathbf{E}$, $\mathbf{V} = \mathbf{A} * \mathbf{R}$).

Алгоритм ортогонального вращения в общем случае таков:

1. $\mathbf{A}$ – матрица первичных факторов.
2. Ищем ортогональную матрицу $\mathbf{R}^T$ для двух столбцов (факторов) a_i и a_j матрицы $\mathbf{A}$ такую, что критерий для матрицы $[a_i a_j] * \mathbf{R}$ максимален.
3. Заменяем столбцы a_i и a_j на столбцы $[a_i a_j] * \mathbf{R}$.
4. Проверяем, все ли столбцы перебрали. Если нет, то 2.
5. Проверяем, что критерий для всей матрицы вырос. Если да, то 2. Если нет, то конец.

Согласно основным положениям метода, предложенного в [3], простота фактора определяется дисперсией квадратов его нагрузок. Если эта дисперсия максимальна, то отдельные нагрузки матрицы близки к нулю или единице, то есть он описывается в упрощенном виде и поэтому наилучшим образом интерпретируется. Просуммировав дисперсии квадратов нагрузок факторов, получим:

$$\sum_{e=1}^r S_e^2 = \frac{1}{m} \sum_{e=1}^r \sum_{i=1}^m a_{ie}^4 - \frac{1}{m^2} \sum_{e=1}^r \left(\sum_{i=1}^m a_{ie}^2 \right)^2 = \max. \quad (3)$$

Полученная в результате величина будет максимальна в случае, когда дисперсия квадратов нагрузок каждого фактора примет наибольшее значение. Критерий имеет тот недостаток, что переменная с большей общностью сильнее влияет на значение угла поворота, т. е. обладает большим весом при определении финального решения. Г. Кайзер предложил делить факторные нагрузки на соответствующие общности, благодаря чему все переменные приводятся к длине, равной 1.

Таким образом, при определении положения осей координат имеем нормированные переменные с равными весами. Нахождение максимума функции приводит к определению положения системы координат, удовлетворяющего требованиям простой ортогональной структуры. Метод главных компонент позволяет после вариационного вращения ортогональных векторов сократить число исследуемых параметров.

Как было показано выше, исследуемые параметры, представленные репрезентативной выборкой по затратам времени на отдельные подготовительные операции за период с 1970 по 2000 год в табл. 1 (включая параметр «Год», определяющий изменение во времени) сведены до восьми факторов и по ним получены суммы квадратов нагрузок, приведенные в табл. 4.

Таблица 4
Сумма квадратов нагрузок
по факторам

Номер фактора	Сумма квадратов нагрузок
1	1.324
2	1.678
3	1.046
4	1.413
5	1.430
6	1.282
7	1.323
8	1.248

Факторный анализ позволил сократить количество параметров исследования с 12 до 8 и определить их базовые параметры. На основании проведенного анализа предполагается, что базовые параметры оказывают решающее влияние на длительность проведения подготовительных операций.

Объединение показателей в факторе, приведенное в табл. 5, определяет природу фактору и указывает на единую природу их поведения. Интерпретируем факторы показателями, которые в них объединились, и опишем их показателем, у которого нагрузка максимальна. По результатам факторного анализа имеем следующие объединения показателей по факторам (табл. 5-12).

Таблица 5
Объединение по фактору 1

Номер параметра	Название параметра	Нагрузка
11	t_{10}	- 0.8892

В факторе 1 базовый параметр – 12.

Таблица 7
Объединение по фактору 3

Номер параметра	Название параметра	Нагрузка
9	t_8	- 0.9682

В факторе 3 базовый параметр – 8.

Таблица 9
Объединение по фактору 5

Номер параметра	Название параметра	Нагрузка
7	t_6	0.9242
11	t_{10}	0.6194

В факторе 5 базовый параметр – 7.

Таблица 11
Объединение по фактору 7

Номер параметра	Название параметра	Нагрузка
10	t_9	0.9262

В факторе 7 базовый параметр – 10.

Таблица 6
Объединение по фактору 2

Номер параметра	Название параметра	Нагрузка
5	t_4	0.9153
6	t_5	0.5511

В факторе 2 базовый параметр – 5.

Таблица 8
Объединение по фактору 4

Номер параметра	Название параметра	Нагрузка
2	t_1	- 0.9075

В факторе 4 базовый параметр – 2.

Таблица 10
Объединение по фактору 6

Номер параметра	Название параметра	Нагрузка
1	Год	- 0.5456

В факторе 6 базовый параметр – 12.

Таблица 12
Объединение по фактору 8

Номер параметра	Название параметра	Нагрузка
3	t_2	0.8671

В факторе 8 базовый параметр – 3.

Таким образом, определены базовые параметры для всех восьми факторов, выделенных при факторном анализе и приведенных в табл. 4.

Далее проверяем гипотезу о том, что определенные при факторном анализе на матрице исследования базовые параметры оказывают решающее влияние на длительность подготовительных операций, то есть согласуются с критической последовательностью. При факторном анализе выявлены следующие базовые параметры: t_1 ; t_2 ; t_4 ; t_6 ; t_8 ; t_9 ; t_{10} ; t_{11} . Таким образом, в критическую последовательность входят все базовые параметры за исключением параметра t_5 . Определяем величину погрешности исходя из того, что, согласно табл. 4, время, затрачиваемое на подготовительные операции, направленные на реализацию одного технологического процесса, составляет 179 часов (100%), а длительность «выпавшего» параметра t_5 составляет восемь

часов. Тогда величина погрешности составит $(t_5 \times 100) / \sum_{i=1}^{11} t_i = (8 \times 100) / 179 = 4,45 \%$.

Величина погрешности не превышает допустимого значения 5%. Следовательно, гипотезу о том, что определенные при факторном анализе базовые параметры согласуются с подготовительными операциями, входящими в критическую последовательность, будем считать подтвержденной.

Применение на практике выявленной закономерности позволит снизить затраты на ТПП, представляющую собой необходимость реализации достаточно объемных и трудоемких методик.

Затраты на внедрение предлагаемого метода в первом приближении могут быть сведены к дооснащению автоматизированной системы ТПП (АСТПП) пакетом прикладных программ Standards Scientifics Programs (SSP19) фирмы IBM, при помощи которого проводились исследования, либо пакетом STATISTICA, в котором также имеется модуль факторного анализа.

Заключение

1. Технологический процесс, реализуемый авиационным специализированным комплексом для производства сельскохозяйственных авиационных работ, предполагает проведение заранее планируемых подготовительных операций, направленных на повышение уровня готовности.

2. Подготовительные операции обозначены через затрачиваемое на них время и представлены выборкой по затратам времени на отдельные подготовительные операции.

3. Оптимизация временных параметров проводится на основе известных методов факторного анализа, в частности метода главных компонент.

4. Факторный анализ позволил сократить количество параметров исследования с 12 до 8 и определить их базовые параметры, оказывающие решающее влияние на длительность проведения подготовительных операций и согласующиеся с критической последовательностью.

5. Поскольку величина погрешности не превышает допустимого значения 4,45%, гипотезу о том, что определенные при факторном анализе базовые параметры согласуются с подготовительными операциями, входящими в критическую последовательность, будем считать подтвержденной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шикин Е.В., Чхартишвили А.Г.* Математические методы и модели в управлении / Е.В. Шикин. – М.: Дело, 2002. – 440 с.
2. *Иберла К.* Факторный анализ / К. Иберла. – М.: Статистика, 1980. – 340 с.
3. *Kaiser H.F.* The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23, 187-200, 1958.
4. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. / Дж.О. Ким, Ч.У. Мьюлер, У.Р. Клекка и др.; Под ред. И.С. Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.

Статья поступила в редакцию 17 июня 2011 г.

OPTIMIZATION OF CONTROL OF TECHNOLOGICAL PODGOTOV MANUFACTURES IN THE AVIATION SPECIALIZED COMPLEX

V.N. Tarasov¹, K.J. Dibihin²

¹ Volga State University of Telecommunications and Computer Science
443090 Samara, the Moscow highway 77

² Orenburg State University
460018 Orenburg, avenue of the Victory 13

In article the approach to optimization of technological process of preparation manufacture preparations an aviation specialized complex is considered. The known method of the factor analysis-method of principal components is for this purpose used.

Key words: *technological preparation of manufacture, sequence of ope-portable radio sets in time, factors, factor loadings, a method of principal components, ortogonal th rotation.*

*Veniamin N. Tarasov – Doctor of Technical Sciences, Professor.
Konstantin J. Dibihin – Candidate of Technical Sciences, Associate professor.*