

ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ АВИАЦИОННОГО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА

Процесс технологической подготовки определяет готовность авиационного специализированного комплекса (АСК) и реализуемого им технологического процесса к проведению авиационно-химических работ (АХР). Проблема повышения готовности АСК может быть разрешена путем оптимизации (сокращения) времени проведения подготовительных мероприятий.

Определяющим фактором при проведении АХР является готовность АСК и реализуемого им технологического процесса [1]. Для снижения риска несвоевременного включения технологического процесса проводится анализ последовательности и длительности подготовительных мероприятий, представляющих собой составную часть процесса технологической подготовки. Подготовительные мероприятия, приведенные в порядке их проведения и обозначенные через затрачиваемое на них время, сведены в табл. 1.

Общее время T , затрачиваемое на проведение подготовительных мероприятий, от момента поступления заявки от хозяйства на проведение АХР с использованием N технологий описывается выражением

$$T = \sum_{i=1}^N (t_1 + t_2 + \dots + t_{11}), \quad (1)$$

где $i = 1, \dots, N$ – порядковый номер технологического процесса;

$t_1 - t_{11}$ – время проведения подготовительных мероприятий.

Выборка значений времени проведения подготовительных мероприятий $t_1 - t_{11}$ с 1970 по 2000 год по данным отчетов 2-го летного отряда ПАНХ ФГУАП «Оренбургские Авиалинии» приведена в табл. 2. Полученная матрица исследования дополнена независимыми параметрами: Y – год, Q – объем АХР, n – количество используемых сельскохозяйственных летательных аппаратов (СЛА); a – количество ЭВМ, используемых в процессе технологической подготовки.

Математическая обработка результатов наблюдения включает регрессионный ана-

Таблица 1. Последовательность проведения подготовительных мероприятий

Обозначение	Подготовительные мероприятия
t_1	Поступление от хозяйства заявки на проведение АХР
t_2	Согласование со станцией защиты растений
t_3	Финансирование областной администрацией
t_4	Обследование обрабатываемых площадей
t_5	Составление программы работ по хозяйствам
t_6	Подготовка наземного комплекса
t_7	Составление летного задания на каждый авиадень
t_8	Планирование используемой технологии
t_9	Подготовка летательного аппарата
t_{10}	Подготовка сельскохозяйственного оборудования
t_{11}	Подготовка летного состава

лиз. При решении задач, связанных с отысканием оптимальных условий протекания сложных многопараметрических процессов, широкое распространение получили полиномиальные регрессионные модели [2].

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i \times X_i + \sum_{i \leq j}^m b_{ij} \times X_i \times X_j + \dots, \quad (2)$$

где y – параметр оптимизации;

b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – выборочные коэффициенты регрессии, полученные по результатам эксперимента;

$X_i, X_i X_j$ – параметры и их взаимодействия, $i, j = 1, 2, \dots, n$.

Полиномиальные регрессионные модели получены по упрощенному методу Д. Бран-

Таблица 2. Затраты времени на отдельные подготовительные мероприятия

Y	Q	n	a	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t ₁₁
1970	376	50	5	4	15	47	25	9	24	4	9	24	13	7
1971	386	50	5	6	18	44	24	8	22	6	8	25	12	8
1972	395	50	5	4	14	48	24	8	24	4	11	24	12	7
1973	406	50	5	5	13	46	22	7	23	4	9	24	14	8
1974	410	50	7	4	14	48	24	8	25	5	10	25	13	9
1975	414	49	7	6	15	45	23	7	24	4	9	24	12	8
1976	433	49	8	4	14	47	25	8	24	4	9	24	12	8
1977	442	48	9	5	13	49	24	9	23	3	8	26	11	7
1978	445	48	9	4	14	48	23	8	24	4	9	24	13	8
1979	447	46	11	4	13	49	26	8	23	5	8	25	12	8
1980	451	46	12	6	14	50	25	7	22	4	10	26	10	9
1981	436	45	12	5	15	47	25	8	25	3	8	25	11	7
1982	420	44	13	4	15	49	24	9	25	5	7	23	11	8
1983	405	42	14	5	13	48	24	8	24	4	9	24	12	8
1984	397	40	15	3	12	46	25	9	26	5	10	25	13	6
1985	389	38	16	5	15	47	26	9	25	3	10	25	11	8
1986	373	36	17	6	16	44	23	7	26	5	9	24	12	9
1987	358	36	19	4	14	49	25	8	25	3	10	25	13	7
1988	343	35	21	5	15	47	23	9	25	5	8	22	14	9
1989	335	35	23	3	16	50	22	7	23	5	11	25	11	8
1990	327	34	26	5	15	49	25	8	25	3	10	24	11	9
1991	329	34	29	5	15	51	26	9	25	5	9	25	11	10
1992	330	30	32	6	13	46	26	7	23	4	9	25	12	8
1993	331	25	34	5	12	51	25	10	22	7	10	22	10	7
1994	333	21	36	5	13	47	23	9	23	5	11	26	11	9
1995	335	18	41	4	13	49	23	8	23	5	10	25	13	8
1996	338	17	43	5	12	47	25	11	22	3	11	23	11	6
1997	339	16	45	5	13	49	25	9	25	5	10	25	13	7
1998	340	14	47	3	12	50	26	10	23	5	9	24	11	9
1999	342	14	48	5	13	47	25	9	25	6	10	23	13	7
2000	343	12	50	4	14	48	24	8	24	4	9	24	12	8

Таблица 3. Полиномиальные регрессионные модели

	Полиномиальные регрессионные модели
t ₂	$y = -0.1166 \cdot 10^3 \cdot x_2^0 + 0.1087 \cdot 10^1 \cdot x_2^1 - 0.3165 \cdot 10^2 \cdot x_2^2 + 0.2927 \cdot 10^5 \cdot x_2^3 + 0.6060 \cdot 10^1 \cdot x_3^0 - 0.6622 \cdot 10^0 \cdot x_3^1 + 0.2072 \cdot 10^1 \cdot x_3^2 - 0.1937 \cdot 10^3 \cdot x_3^3 + 0.1448 \cdot 10^2 \cdot x_4^0 - 0.2117 \cdot 10^0 \cdot x_4^1 - 0.1691 \cdot 10^1 \cdot x_4^2 + 0.2264 \cdot 10^3 \cdot x_4^3$
t ₃	$y = 0.6376 \cdot 10^2 \cdot x_2^0 - 0.2898 \cdot 10^0 \cdot x_2^1 + 0.2405 \cdot 10^3 \cdot x_2^2 + 0.2219 \cdot 10^6 \cdot x_2^3 - 0.1248 \cdot 10^1 \cdot x_3^0 - 0.2273 \cdot 10^0 \cdot x_3^1 + 0.9803 \cdot 10^2 \cdot x_3^2 - 0.5536 \cdot 10^4 \cdot x_3^3 + 0.3800 \cdot 10^2 \cdot x_4^0 - 0.5597 \cdot 10^0 \cdot x_4^1 - 0.1029 \cdot 10^1 \cdot x_4^2 + 0.7996 \cdot 10^4 \cdot x_4^3$
t ₄	$y = -0.8638 \cdot 10^3 \cdot x_2^0 + 0.6429 \cdot 10^1 \cdot x_2^1 - 0.1592 \cdot 10^1 \cdot x_2^2 + 0.1309 \cdot 10^4 \cdot x_2^3 - 0.3934 \cdot 10^2 \cdot x_3^0 + 0.1853 \cdot 10^1 \cdot x_3^1 + 0.2798 \cdot 10^1 \cdot x_3^2 + 0.1592 \cdot 10^3 \cdot x_3^3 + 0.2115 \cdot 10^2 \cdot x_4^0 + 0.1172 \cdot 10^0 \cdot x_4^1 + 0.1636 \cdot 10^1 \cdot x_4^2 - 0.1507 \cdot 10^3 \cdot x_4^3$
t ₆	$y = -0.2124 \cdot 10^1 \cdot x_2^0 - 0.2047 \cdot 10^0 \cdot x_2^1 + 0.1104 \cdot 10^2 \cdot x_2^2 + 0.1428 \cdot 10^5 \cdot x_2^3 - 0.8857 \cdot 10^1 \cdot x_3^0 - 0.2849 \cdot 10^0 \cdot x_3^1 + 0.9958 \cdot 10^3 \cdot x_3^2 + 0.5512 \cdot 10^4 \cdot x_3^3 + 0.1984 \cdot 10^2 \cdot x_4^0 + 0.3629 \cdot 10^0 \cdot x_4^1 - 0.9819 \cdot 10^2 \cdot x_4^2 - 0.1297 \cdot 10^3 \cdot x_4^3$
t ₁₀	$y = -0.1828 \cdot 10^3 \cdot x_2^0 + 0.1362 \cdot 10^1 \cdot x_2^1 - 0.3351 \cdot 10^2 \cdot x_2^2 + 0.2706 \cdot 10^5 \cdot x_2^3 + 0.1762 \cdot 10^0 \cdot x_3^0 + 0.2821 \cdot 10^1 \cdot x_3^1 - 0.1047 \cdot 10^2 \cdot x_3^2 + 0.7835 \cdot 10^5 \cdot x_3^3 + 0.1448 \cdot 10^2 \cdot x_4^0 - 0.1092 \cdot 10^0 \cdot x_4^1 + 0.4984 \cdot 10^3 \cdot x_4^2 + 0.2041 \cdot 10^4 \cdot x_4^3$

дона [3]. Метод заключается в том, что уравнение (2) записывается в виде:

$$Y = a \times \prod_{s=1}^M f_s(X_s), \quad (3)$$

где $f_s(X_s)$ – любая функция величины X_s .

В случае нелинейной зависимости вид функции $f_s(X_s)$ определяется с помощью корреляционного поля, потом по виду определяется тип зависимости, и способом наименьших квадратов рассчитываются коэффициенты.

Полученные регрессионные модели приведены в табл. 3.

Адекватность моделей оценена по их характеристикам и приведена в табл. 4. Характеристики моделей показывают, что наиболее адекватны те, в которых параметрами-аргументами является a – количество ЭВМ.

Для нахождения минимальных значений временных параметров строится регрессионная модель для каждого параметра, где в качестве параметров аргументов приняты значения Q , n и a . Определяются границы изменения Q , n , a , и в этих границах находятся оптимумы значения каждого временного параметра. Границы изменения значения параметров-аргументов определяются по выборке из матрицы исследования, приведенной в табл. 2, и сводятся в табл. 5.

Оптимумы для значений временных параметров приведены в табл. 6.

Анализ оптимальных значений временных параметров, приведенных в табл. 5, показал, что независимый параметр a (количество ЭВМ), определяющий уровень автоматизации, не оказывает существенного влияния на следующие зависимые параметры (подготовительные мероприятия): поступление заявки на проведение АХР; финансирование областной администрацией; обследование обрабатываемых площадей; составление программы работ по хозяйствам; подготовка наземного комплекса; подготовка летного задания; составление летного задания; планирование используемой технологии; подготовка с.-х. летательного аппарата; подготовка с.-х. оборудования; подготовка летного состава.

Следовательно, перечисленные мероприятия обусловлены низким уровнем автоматизации. Напротив, такие подготовительные

Таблица 4. Наиболее адекватные полиномиальные регрессионные модели

Параметр	Максимальные по вкладу параметры-аргументы	Характеристики модели			
		коэффициент детерминации	средняя абсолютная ошибка	средняя ошибка в процентах	адекватность модели
t_2	$a = 0,8678$	0,70	0,78	5,61	+
t_3	$a = 0,9150$	0,63	1,18	2,46	+
t_4	$a = 0,7922$	0,65	0,71	2,92	+
t_6	$a = 0,9155$	0,68	0,72	3,01	+
t_{10}	$a = 0,9032$	0,51	0,78	6,52	+

Таблица 5. Границы изменения значения параметров-аргументов.

параметры-аргументы	Границы изменения
Q - объем АХР	327,0000 ÷ 451,0000
n - количество СХС	12,0000 ÷ 50,0000
a - количество ЭВМ	5,0000 ÷ 50,0000

Таблица 6. Оптимумы значений временных параметров

Параметр	min	Q	n	a
Поступление заявки на проведение АХР	3,025	377,839	12,000	5,000
Согласования со станцией защиты растений	7,814	439,219	24,160	42,575
Финансирование областной администрацией	38,371	390,859	12,950	5,000
Обследование обрабатываемых площадей	0,001	425,579	12,570	5,675
Составление программы работ по хозяйствам	4,775	327,000	31,760	5,000
Подготовка наземного комплекса	15,118	327,000	12,000	5,000
Составление летного задания	3,682	450,999	41,449	49,999
Планирование используемой технологии	3,505	449,139	49,809	49,999
Подготовка с.-х. летательного аппарата	23,868	359,239	12,000	49,999
Подготовка с.-х. оборудования	9,994	450,999	49,999	34,925
Подготовка летного состава	4,953	417,519	17,700	5,000

мероприятия, как согласования со станцией защиты растений; составление летного задания; планирование используемой технологии; подготовка сельскохозяйственного летательного аппарата, имеют оптимальные значения при максимуме независимого параметра *a*.

Таким образом, на основе использования полиномиальных регрессионных моделей

показана возможность сокращения времени проведения подготовительных мероприятий и повышения уровня готовности АСК для проведения агротехнических мероприятий за счет повышения уровня автоматизации. Наряду с этим целесообразно использование полученных моделей для прогнозирования параметров планируемых АХР.

Список использованной литературы:

1. Султанов Н.З., Хибатуллин С.Г. К вопросу об автоматизации технологических режимов проведения авиационно-химических работ // Тез. докладов V российской научно-технической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах» – Оренбург, ОГУ. – 2002. С. 139 – 145.
2. Драйпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. – М.: Статистика, 1973.– 364 с.
3. Brandon D. B. Developing Mathematical Models for Computer Control, USA Journal V.S. №7, 1959. – s. 42-46.