

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННЫМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫМ КОМПЛЕКСОМ

К. Ю. Дибихин, кандидат технических наук, докторант ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»

Эффективность управления сельскохозяйственными авиационными работами обусловлена спецификой процесса технологической подготовки авиационного специализированного комплекса, связанной с наличием неопределенности, представленной техногенными и естественными факторами. Проведение технологических летных операций подвержено противодействиям, усугубляющимся неопределенностью метеорологических условий на трассе перелета и локальных метеорологических состояний сельскохозяйственного полигона, оказывающих непосредственное влияние на качество распределения химических веществ. В статье изложен подход к процессу технологической подготовки, как к сложной, многопараметрической структуре. Представленная работа посвящена анализу управленческих, организационных и технологических структур, исследованию возможности прогнозирования внешних условий на основе использования полиномиальных регрессионных моделей.

Ключевые слова: процесс, управление, фактор, неопределенность, регрессионная модель

Производство сельскохозяйственных авиационных работ занимает особое место в ряду сезонных агротехнических мероприятий, характеризующихся стабильной периодичностью и значимыми масштабами. Наряду с явными преимуществами (высокая производительность, отсутствие повреждений почвенного покрова), сельскохозяйственные авиационные работы без организационного планирования и многоуровневого управления представляют собой источник повышенной опасности, как для исполнителей работ, так и для окружающей среды, представленной геобиоценозом сельскохозяйственного полигона.

Применение сельскохозяйственного летательного аппарата, как составной части авиационного комплекса, включающей совокупность подсистем, обеспечивающих данное применение, происходит в условиях технологической летной операции, отражающей взаимодействие всех задействованных средств, участвующих в обеспечении и решении задач, поставленных при планировании агротехнических технологий [3,с.17]. Эффективность использования летательного аппарата, как средства доставки, описывается математической моделью и содержит описание многопараметрических процессов, протекающих в летной операции [1,с.14]

$$МОД(W) \mid = \langle Act, Kon(Act, \{U\}) \rangle, \quad (1)$$

где W - показатели эффективности;
 $\mid =$ - знак оператора модельного отображения;
 Act - совокупность действий, отражающих функционирование сельскохозяйственного летательного аппарата;
 Kon - совокупность противодействий;
 $\{U\}$ - условия проведения летной операции.

В математической модели летной операции для описания элементов вводятся два вида параметров: прогнозируемые параметры $\{\pi\} = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i\}$, как совокупность технических характеристик, описывающих выбираемый элемент подсистемы авиационного специализированного комплекса; тактические параметры $\{\tau\} = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_s\}$, как совокупность характеристик, определяющих показатель эффективности средства доставки.

Тактические параметры представим функционально зависимыми от прогнозируемых и неноминальных значений параметров условий летной операции

$$\tau_s = f_s [\{\pi\}, \{U_0\}], \quad s = \overline{1, n_\tau}, \quad (2)$$

На основе математической модели летной операции устанавливаем зависимости показателя эффективности в виде

$$W = W(\{\tau\}, \{\beta\}, \{U\}), \quad (3)$$

где $\{\beta\} = \{\beta_1, \beta_j, \dots, \beta_m\}$ - совокупность параметров противодействия;
 $\{U\} = \{u_1, u_\sigma, \dots, u_{iu}\}$ - совокупность параметров условий летной операции.

Отсюда задача выбора рационального варианта a^* , средства доставки математически может быть сформулирована следующим образом

$$W(\{\tau\}^*, \{\beta\}, \{U\}) \rightarrow \max, \quad (4)$$

где

$$\{\tau\}^* = a^* = \{\tau_1^*, \tau_2^*, \dots, \tau_n^*\}. \quad (5)$$

При формулировании задачи указывается на выбор рационального варианта сельскохозяйственного летательного аппарата, поскольку в условиях неопределенности, обусловленных наличием $\{\beta\}$ и $\{U\}$, выбрать однозначно оптимальный вариант невозможно. Исследование задач выбора при моделировании сложных технических систем и их взаимодействий с внешней средой является предметной областью, включающей задачи планирования и управления. Решение задач такого класса приводит к необходимости идентификации и классификации условий неопределенности, поскольку лишь

такой подход позволяет, в результате, получить на выходе адекватные модели исследуемых многопараметрических процессов.

В связи с этим необходимо четко определить принципиальные различия между параметрами противодействия и условиями летной операции. Выявление таких различий возможно на основе приближенных качественно-количественных оценок степени их неопределенности.

Комплекс параметров противодействия, представленный в модели (3) и описанный выражением $\{\beta\} = \{\beta_1, \beta_j, \dots, \beta_m\}$, представляет собой совокупность негативных воздействий, направленных на снижение эффективности средства доставки. Возникновение, развитие и существование комплекса параметров противодействия обусловлено, прежде всего, трудно прогнозируемыми последствиями антропогенной энтропии, находящей свое отражение в техногенных факторах. К техногенным факторам следует отнести:

1. снижение прямой видимости вследствие атмосферных выбросов промышленных предприятий, а также деятельности их инфраструктуры;

2. повышение предельно-допустимых концентраций (ПДК) уровней загазованности и запыленности вследствие эксплуатации автомобильного и железнодорожного транспорта;

3. электромагнитные излучения теле- и радиовещательных станций, технических служб и систем мобильной связи, а также сопутствующие им побочные эффекты (радиопомехи, внеполосные излучения, сплейтеры и т.д.).

Наличие техногенного электромагнитного излучения обуславливает радиоэлектронное противодействие, представляющее собой сумму активных действий по созданию помех радиоэлектронным средствам системы управления, в частности, и системы управления авиационным комплексом в целом. В вышеупомянутые системы – управления входят системы радиосвязи, радиолокации, радионавигации и управления средствами внесения химикатов, а также другие системы, эффективность функционирования которых в результате радиоэлектронного противодействия резко снижается [6, с.11].

Практически на все виды агротехнических мероприятий, проводимых с применением сельскохозяйственной авиации, решающее влияние оказывает метеорологическая компонента, представленная:

- определенным диапазоном температур почвы и воздуха;
- изменяющимся направлением и силой ветра;
- атмосферным давлением;
- влажностью;
- облачностью;
- рядом сопутствующих процессов и явлений.

Глобальные процессы, происходящие в атмосфере, касаются проведения технологической летной операции лишь в плане соответствия летно-технических характеристик выбранного типоразмера сельскохозяйственного летательного аппарата объективно существующим метеорологическим условиям участка траектории, представленного длиной перелета $L_{пер}$.

Наиболее важным представляется учет воздействия метеорологической составляющей непосредственно на процесс распределения химических веществ

у подстилающей поверхности, показатели качества которого могут существенно отличаться. Влияние метеорологической компоненты на процесс внесения связано с физико-химическими свойствами объекта воздействия:

- его агрегатного состояния (твердое, жидкое, газообразное);
- физическими размерами составляющих его частиц;
- его температурой.

В последнее десятилетие наиболее эффективным считается внесение химикатов путем мелкодисперсного распыливания. Такой способ распределения химических веществ в наибольшей степени зависит от метеорологических условий, поскольку без ее учета может представлять серьезную опасность в экологическом плане.

Следовательно, при определении возможных к исполнению видов авиационных работ, следует придерживаться следующего правила: в течение суток совокупность реализуемых технологий может и должна изменяться вне зависимости от среднесуточных метеорологических состояний.

Проведенный анализ условий и факторов противодействия позволяет осуществить приближенное моделирование функциональных зависимостей, и сделать ряд заключений, свидетельствующих о наличии как минимум трех компонент, которые необходимо принимать во внимание при планировании летной операции. Это географические G , метеорологические M и техногенные факторы, представленные искусственными препятствиями, электромагнитными помехами IM , создающими условия для возникновения активного и пассивного противодействия средству доставки.

Математически условия противодействия представим функциональной зависимостью:

$$Kon (Act, \{ U \}) = f(G, M, IM). \quad (6)$$

где G - географические факторы;
 M - метеорологические факторы;
 IM - электромагнитные помехи.

Тогда модель технологической летной операции (1) примет вид

$$МОД (W) | = \langle Act, f(G, M, IM) \rangle, \quad (7)$$

отображающий наличие выявленных факторов и условий, приведенных в (6).

Наряду с условиями и факторами противодействия, следует признать объективно существующими факторы содействия проведению технологической летной операции. К ним относятся локальные метеорологические состояния LMC , представленных в [5, с.9], и способствующих повышению качества внесения химикатов. К таким факторам следует отнести инверсию Inv , стоки холодных воздушных масс m , наличие приземного тумана Du и конвекцию C .

$$LMC = f(Inv, m, Du, C), \quad (8)$$

где LMC – локальные метеорологические состояния;

Inv – инверсия;

m – воздушные массы;

Du – наличие тумана;

C – конвекция.

Тогда при условии

$$Act = f(LMC), \quad (9)$$

после подстановки выражения Act получим новое математическое описание

$$МОД(W) \mid = \langle f(Inv, m, Du, C), f(G, M, IM) \rangle, \quad (10)$$

представляющее собой уточненную модель технологической летной операции.

Анализ условий противодействия и содействия позволяет не только учитывать их в процессе решения задач управления и планирования, но использовать для достижения цели повышения эффективности производства сельскохозяйственных авиационных работ. Это, в свою очередь, предполагает решения частных задач не только распознавания, но и прогнозирования условий протекания многопараметрических процессов, сопровождающих технологические летные операции.

Исходя из предпосылок, представленных проведенным анализом, сформулирована постановка цели и задач прогнозирования. Целевая функция имеет вид следующего математического выражения:

$$W = W(\{\tau\}, \{\beta\}, \{U\}) \rightarrow \max, \quad (11)$$

демонстрирующего максимизацию показателя эффективности.

При этом на отдельные параметры накладывается ряд ограничений:

1) масса средства доставки

$$m_0 < m_{СЛА} \leq m_{взл}; \quad (12)$$

2) масса топлива

$$m_{топл} < m_{взл}; \quad (13)$$

3) масса загружаемых химических веществ

$$600 \text{ кг} < m_{хм} \leq 1000 \text{ кг} \quad (14)$$

4) время проведения работ ограничено светлым временем суток

$$t_{Своч} < t_{раб} \leq t_{Сзах}. \quad (15)$$

Согласно [4,с.93] задачи управления технологическим процессом связаны с многопараметрической оптимизацией, объектом управления которой является технологический процесс с m управляемыми входами $[X = (x_1, x_2, \dots, x_m)]$, при помощи которых производится оптимизация. На технологический процесс воздействуют неуправляемые и неконтролируемые факторы $e = e_1, e_2, \dots, e_l$ в соответствии с принципиальной схемой управления, приведенной на рисунке 1. Выходные показатели, характеризующие технологический процесс, представлены вектором критерия качества Y

$$Y = \{ Y_1(X, e), Y_2(X, e), \dots, Y_s(X, e) \}. \quad (16)$$

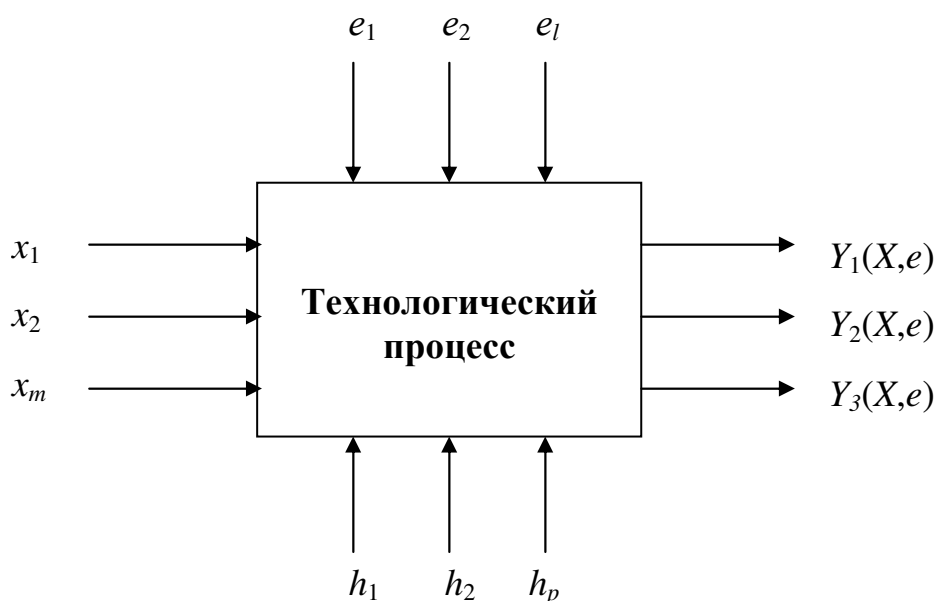


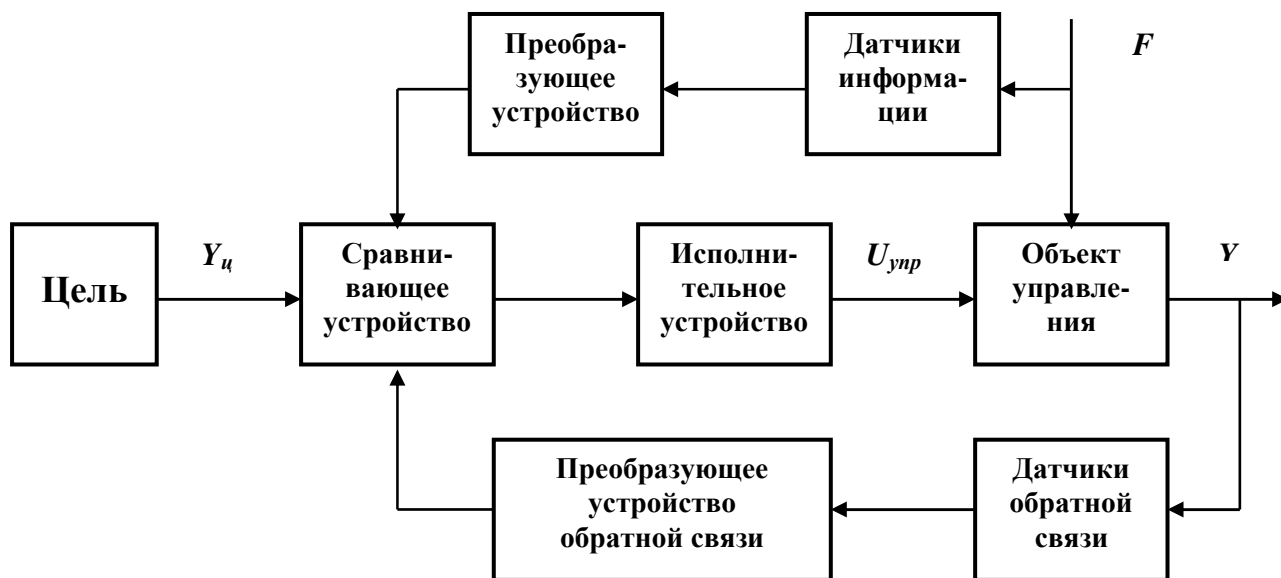
Рисунок 1 - Принципиальная схема управления технологическим процессом, как объектом многопараметрической оптимизации

Управляемые переменные $x_i, i = \overline{1, m}$ независимы друг от друга в процессе оптимизации и могут изменяться в заданных пределах

$$x_{i \min} \leq x_i \leq x_{i \max} \quad (17)$$

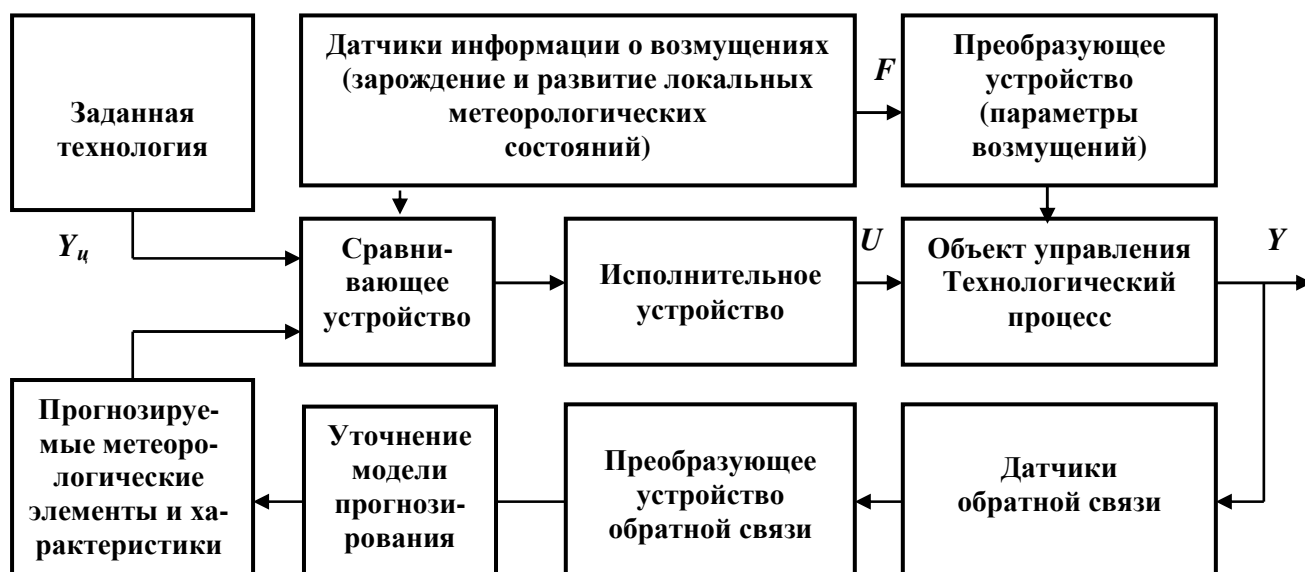
и характеризуют режимы технологического процесса. Критериями выбираются те, которые необходимо улучшить путем выбора управляемых переменных. Неуправляемые факторы $e_j, j = \overline{1, l}$ создают неопределенность. Имеется p входов (показателей $h_k, k = \overline{1, p}$), определяемых возмущениями. Идентификация системы управления связана с необходимостью выбора адекватного принципа управления. Этот выбор следует осуществлять на основе учета перечисленных влияющих факторов, обусловленных неопределенностью, и неуправляемых факторов, определяемых возмущениями. Наиболее целесообразным представляется выбор принципа комбинированного управления, описанного в [7, с. 16], и позволяющего достигнуть наилучших показателей качества.

Структурная схема, реализующая принцип комбинированного управления, представлена на рисунке 2.



Р и с у н о к 2 Структурная схема, реализующая принцип комбинированного управления: Y_c - целевой сигнал; $U_{упр}$ - управляющее воздействие; Y - выходной показатель; F - возмущения

На основе принципиальной и структурной схем управления, реализующей принцип комбинированного управления, разработана структурно-функциональная схема системы управления, представленная на рисунке 3.



Р и с у н о к 3 Структурно-функциональная схема автоматизированной системы управления: Y_c - целевая функция; U - управляющее воздействие; Y - выходной показатель; F - возмущения

Целевой функцией $Y_{ц}$ системы управления качеством является мониторинг и выдерживание технологических параметров. Информация об отклонениях, превышающих допустимые нормативы, через датчики обратной связи и преобразующее устройство обратной связи в виде измеренных значений, поступает на сравнивающее устройство параллельно с данными о заданной технологии. При наличии значительных отклонений сравнивающее и исполнительное устройства формируют управляющее воздействие U на изменение параметров технологического процесса.

Наряду с данными об отклонениях, поступающих по цепи обратной связи, на систему управления воздействуют возмущения, представленные информацией с датчиков о возмущениях, включающих информацию о зарождении и развитии локальных метеорологических состояний.

Поскольку локальные метеорологические состояния, во многом определяющие условия распределения химических веществ, обусловлены неопределенностью и представлены взаимодействием многопараметрических процессов, примем множество описывающих их параметров прогнозируемыми величинами. Определение каждого параметра из данного множества представим в виде задачи прогнозирования $Indef$. Тогда задачу прогнозирования локальных метеорологических состояний LMC можно сформулировать математически в виде нечеткого множества:

$$X_{LMC}(\Pi_{Indef}) = \{ \pi \}_{Indef}, \pi \in \Pi_{Indef}, Indef=1, n. \quad (18)$$

В данном случае под n понимается количество решаемых задач при неопределенном числе значимых параметров. Примем установку, в соответствии с которой наиболее важным условием содействия повышению качества внесения химикатов, является инверсионная составляющая локальных метеорологических состояний. Тогда

$$LMC = f(Inv), \quad (19)$$

где LMC - локальные метеорологические состояния;

Inv - инверсия.

Или, в вероятностном аспекте

$$LMC = P f(Inv), \quad (20)$$

где P - вероятность зарождения и развития инверсии.

Для целей прогнозирования на основе строгих математических методов, используются регрессионные модели. С целью получения регрессионной модели для параметра Inv , представленного в матрице исследования, построенной на основе результатов выборки из журнала наблюдений, приведенных в табл. 1, был проведен регрессионный анализ.

Матрица исследования

DATA_NUM	TIME_NUM	CLO_HI	CLO_LO	BOR_LO	VIS	WIND_DIR	WIND_MIDL	WIND_GUST	TEMP	DAMP	POINT	PRES_TEND	PRES_ABS	INV
1.00	0.0	3000	0.00	0.00	25000	5.00	3.00	4.00	1.20	85.0	-1.00	-0.70	753.3	3.75
1.00	3.0	9000	0.00	0.00	25000	5.00	3.00	5.00	1.20	89.0	-1.00	-0.10	753.3	3.50
1.00	6.0	9000	0.00	0.00	25000	6.00	2.00	4.00	7.70	64.0	-1.00	-0.30	753.3	4.20
1.00	9.0	10000	0.00	0.00	25000	10.00	2.00	4.00	9.10	47.0	-1.00	-0.60	753.0	0.00
1.00	12.0	10000	3000	0.40	10000	10.00	5.00	11.00	7.00	85.0	0.50	0.60	753.5	0.00
1.00	15.0	10000	5000	0.40	10000	9.00	4.00	8.00	6.00	94.0	5.00	-0.20	753.3	0.00
1.00	18.0	10000	9000	0.75	25000	10.00	4.00	7.00	5.50	94.0	5.00	-0.10	753.2	0.00
1.00	21.0	7000	7000	0.80	25000	10.00	6.00	8.00	5.30	94.0	4.00	-0.20	753.0	0.00
1.00	23.0	7000	7000	0.80	25000	10.00	5.00	8.00	5.50	97.0	5.00	-0.50	752.7	2.90
2.00	0.0	6000	6000	0.80	25000	11.00	4.00	8.00	5.70	94.0	5.00	-0.10	753.1	0.00
2.00	3.0	10000	9000	0.24	4000	11.00	5.00	7.00	5.50	94.0	5.00	-0.30	753.3	0.00
2.00	6.0	10000	9000	0.18	4000	10.00	3.00	7.00	6.00	98.0	5.00	0.70	753.8	0.00
2.00	9.0	10000	2000	1.30	10000	10.00	4.00	7.00	12.40	64.0	6.00	-0.60	753.4	0.00
2.00	12.0	10000	8000	1.10	25000	11.00	5.00	10.00	14.30	51.0	4.00	-0.60	752.9	0.00
2.00	15.0	10000	8000	1.00	10000	14.00	2.00	9.00	11.00	69.0	6.00	0.80	753.5	0.00
2.00	18.0	8000	0	0	25000	8.00	3.00	5.00	8.40	78.0	5.00	-0.50	753.2	1.45
2.00	21.0	6000	0	0	25000	9.00	3.00	5.00	7.20	85.0	5.00	0.20	753.1	1.50
2.00	23.0	5000	0	0	25000	9.00	1.00	3.00	5.30	93.0	6.00	-0.40	752.7	1.90

Исследования проводились с использованием системы анализа временных рядов «Эконометрика», разработанной и программно реализованной в ЦЭМИ АН РФ. Система позволяет проведение комплексного статистического анализа последовательности измерений метеорологических элементов и характеристик. Анализ проводим на полиномиальной регрессионной модели, построенной методом Брандона [2, с.46]. Для этого строим модель для параметра *Inv* на основе определения вкладов параметров-аргументов. Значения вкладов в модель приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Вклады параметров-аргументов в модель

	Название параметра	Обозначение параметра	Вклад в модель
1	Дата	DATA_NUM	0.0261
2	Время	TIME_NUM	0.0000
3	Верхняя граница облачности	CLO_HI	0.0704
4	Нижняя граница облачности	CLO_LO	0.0386
5	Нижняя граница нижней облачности	BOR_LO	0.0000
6	Приборная видимость	VIS	0.0249
7	Направление ветра	WIND_DIR	0.5249
8	Средняя скорость ветра	WIND_MIDL	0.0262
9	Скорость ветра при порывах	WIND_GUST	0.0000
10	Температура воздуха	TEMP	0.0667
11	Относительная влажность	DAMP	0.0289
12	Точка росы	POINT	0.0000
13	Тенденция изменения давления	PRES_TEND	0.0412
14	Абсолютное давление	PRES_ABS	0.1521

Определим значимые по вкладу параметры-аргументы, приведенные их в табл. 3.

Значимые по вкладу параметры-аргументы

	Название значимого по вкладу параметра	Вклад в модель
3	Верхняя граница облачности	0.0704230
7	Направление ветра	0.5248895
10	Температура воздуха	0.0667298
14	Абсолютное давление	0.1521278

Полиномиальная регрессионная модель для параметра Inv , имеет вид, представленный в табл. 4.

Полиномиальная регрессионная модель для параметра Inv

Модель
$y = 0.2242 \times 10^{-1} \times x_1^0 - 0.1046 \times 10^{-1} \times x_1^1 - 0.1195 \times 10^{-1} \times x_3^0 + 0.9935 \times 10^{-4} \times x_3^1 -$ $- 0.1161 \times 10^{-7} \times x_3^2 - 0.1759 \times 10^{-1} \times x_4^0 + 0.1989 \times 10^{-4} \times x_4^1 + 0.9136 \times 10^{-1} \times x_6^0 -$ $- 0.6774 \times 10^{-5} \times x_6^1 + 0.1170 \times 10^2 \times x_7^0 - 0.1567 \times 10^1 \times x_7^1 + 0.3053 \times 10^{-1} \times x_7^2 +$ $+ 0.1575 \times 10^{-2} \times x_7^3 + 0.2277 \times 10^{-1} \times x_8^0 + 0.6597 \times 10^{-1} \times x_8^1 - 0.1737 \times 10^{-1} \times x_8^2 -$ $- 0.8425 \times 10^1 \times x_{10}^0 + 0.1621 \times 10^1 \times x_{10}^1 - 0.6525 \times 10^{-2} \times x_{10}^2 + - 0.3066 \times 10^1 \times x_{11}^0 +$ $+ 0.1001 \times 10^1 \times x_{11}^1 - 0.1111 \times 10^{-2} \times x_{11}^2 + 0.4163 \times 10^{-5} \times x_{11}^3 + 0.1693 \times 10^{-1} \times x_{13}^0 +$ $+ 0.2797 \times 10^1 \times x_{13}^1 + 0.1295 \times 10^{-1} \times x_{13}^2 + 0.4273 \times 10^9 \times x_{14}^0 - 0.1701 \times 10^7 \times x_{14}^1 +$ $+ 0.2255 \times 10^4 \times x_{14}^2 - 0.9974 \times 10^1 \times x_{14}^3$

Произведем оценку адекватности модели по ее характеристикам, приведенным в табл. 5.

Характеристики модели

Характеристики модели	Значения
Коэффициент детерминации	0.95
Средняя абсолютная ошибка	0.33

Результаты оценки адекватности полиномиальной регрессионной модели показали, что, коэффициент детерминации, имеющий значение 0.95, а также средняя абсолютная ошибка, имеющая допустимое значение 0.33, подтверждают адекватность модели.

Исходя из вышеизложенного, установлено, что полученные результаты, подтвержденные численно, однозначно подтверждают пригодность полученной полиномиальной регрессионной модели для использования в подсистеме прогнозирования.

Проведенные исследования и полученные результаты, позволяют сделать следующие обобщающие выводы:

1. Анализ концепций, подходов и методов, направленных на повышение эффективности управления производством сельскохозяйственных авиационных

работ показал, что в основе достижения достаточной эффективности и экологической безопасности лежит математическая формулировка тактической схемы проведения летной операции, отражающая ряд влияющих условий и факторов.

2. Возможности моделирования локальных технологических операций ограничены в связи с наличием факторов противодействия, обусловленных особенностями конкретного сельскохозяйственного полигона: отсутствия надежных естественных ориентиров, неблагоприятных метеорологических условий (ограничение видимости, значительная ветровая нагрузка).

3. Анализ и классификация параметров и факторов противодействия приводят к выводу о наличии как минимум трех составляющих (компонент), которые необходимо принимать во внимание при планировании технологической летной операции. Это географические, метеорологические и техногенные факторы. Поверхность сельскохозяйственного полигона представлена специфическими географическими особенностями: склонами, возвышенностями, естественными и искусственными препятствиями. Их наличие приводит к необходимости их учета.

4. Наряду с условиями и факторами противодействия следует признать объективно существующими факторы содействия проведению технологической летной операции. К ним относятся локальные метеорологические состояния, способствующие повышению качества внесения химикатов. К таким факторам следует отнести инверсию, наличие стелящегося тумана, стоки холодных воздушных масс и конвекцию. Выявленные факторы и условия содействия и противодействия проведению тактической летной операции сельскохозяйственным летательным аппаратом приводят к необходимости построения и анализа их структурных моделей.

5. Создание системы управления связано с необходимостью выбора принципа управления, осуществляемого на основе учета влияющих факторов, обусловленных неопределенностью и наличием неуправляемых факторов, определяемых возмущениями. Исходя из разнообразия представленных факторов, имеющих антропогенную и техногенную природу, наиболее целесообразным представляется выбор принципа комбинированного управления.

6. На основе принципиальной схемы управления и структурной схемы, реализующей принцип комбинированного управления, сконфигурирована структурно-функциональная схема системы управления производством сельскохозяйственных авиационных работ.

7. Полученные результаты и сделанные по ним выводы подтверждают возможность построения подсистемы прогнозирования локальных метеорологических состояний на основе полученной полиномиальной регрессионной модели.

Библиографические ссылки

1. Богданов Ю.С. Оценка эффективности транспортных вертолетов / Ю. С. Богданов, В. С. Брусов. – М. : МАИ, 1982. – 45 с.

2. Брандон Д. Б. Совершенствование математических моделей для компьютерного управления / Д. Б. Брандон // Программные продукты и системы. – 1999. – №7. – С. 46-49.
3. Брусов В. С. Системный анализ и автоматизированное проектирование летательных аппаратов. / В. С. Брусов. – М. : МАИ, 1982. – 28 с.
4. Булгаков С. С. Автоматизированный тестовый контроль производства / С. С. Булгаков, Д. Б. Десятов, С. А. Еремин [и др.]. - М. : Радио и связь, 1992. – 126 с.
5. Дибихин К. Ю. Управление качеством авиационно-химических работ на основе учета локальных метеорологических состояний сельскохозяйственных полигонов / К. Ю. Дибихин // Агро XXI. –2009. – №.7-9. – С. 9-11.
6. Ж - Уайт Д.Р. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи / Д.Р. Ж - Уайт. - М. : «Сов. радио», 1977. – 352 с.
7. Пищухин А. М. Автоматизация на основе мультиструктурных систем / А.М. Пищухин. – Оренбург : ОГУ, 2001. – 258 с.