

СТАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

М. Г. Матвеев*, В. В. Михайлов**

* Воронежская государственная технологическая академия

** Воронежское высшее военное авиационное инженерное училище

В статье рассматривается статическая модель принятия решений при управлении метеозависимыми организационно-техническими системами, основанная на стохастической задаче линейного программирования. Отличительной особенностью данной модели является новый подход к построению вариантов принятия решений и оценки их эффективности. Указанный подход базируется на анализе статистических данных о результатах функционирования ОТС, связанных со степенью адекватности используемой метеоинформации сложившейся системной ситуации.

ВВЕДЕНИЕ

Функционирование ряда организационно-технических систем (ОТС) происходит в условиях метеорологической неопределенности. Учет влияния этих условий в процессе планирования параметров ОТС на некоторый будущий промежуток времени осуществляется путем применения фактических и прогностических метеоданных. В связи с тем, что в системе управления ОТС главенствующую роль играет человек — лицо, принимающее решение (ЛПР), качество управления существенно зависит от качества принятия решений. Несоответствие прогнозируемых метеоусловий действительности приводит к неадекватности принимаемых решений и как следствие — к снижению эффективности функционирования ОТС. Выход из этого положения может быть найден путем совершенствования существующих и построения новых методов прогноза погоды. Однако прогнозирование метеоусловий с высокой степенью соответствия полученных данных фактической погоде — очень сложная задача, решение которой вряд ли возможно в обозримом будущем [4]. Поэтому в настоящее время применение методов принятия решений в условиях метеонеопределенности осуществляется по трем основным направлениям [1, 4]: идеализация процесса управления путем осреднения используемых метеохарактеристик; принятие решения в условиях риска, когда в распоряжении ЛПР имеется информация о вероятностях состояния погоды и полезности результатов принимаемых решений; «игра с природой», подразумевающая,

что погода находится в одном из нескольких неизвестных состояний. Анализ реализаций этих направлений ставит проблему вычисления адекватных итогов управления, разрешение которой требует построения модели принятия решений, основанной на анализе оценок качества применения метеоинформации, сопряженном с анализом критериев эффективности функционирования ОТС.

Таким образом, исследуемая научно-техническая проблема заключается в построении модели принятия решений при управлении метеозависимыми ОТС, обеспечивающей сочетание методов управления и методов рационального выбора методик использования метеоинформации в условиях ее неопределенности. Актуальность данной проблемы обоснована возможностью существенного повышения эффективности управления ОТС при стохастическом влиянии метеофакторов.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОУСЛОВИЙ НА УПРАВЛЕНИЕ МЕТЕОЗАВИСИМЫМИ ОТС

Принципиальная особенность управления метеозависимыми ОТС состоит в неустранимости метеорологической неопределенности за счет увеличения точности и количества измерений. Обусловлено это следующим. Во-первых, данная неопределенность, проявляется не в отдельной точке пространства в фиксированный момент времени, а в достаточно больших непрерывных областях пространства и времени [4]. В это же время фактические метеоданные являются дискретными. Степень их дискретизации в силу ряда экономических и технических причин не

обеспечивает полного восстановления метеоинформации о протекающем процессе или явлении. Во-вторых, уменьшение рассматриваемой неопределенности требует анализа показателей двух видов: показателей качества и ценности метеоинформации [4]. В-третьих, применение метеоинформации осуществляется в условиях отсутствия детерминированного закона влияния погоды на функционирование ОТС [4]. В-четвертых, для получения метеоинформации существует действующая информационная сеть, результаты функционирования которой необходимо грамотно использовать [4].

С целью учета представленной особенности составляющие $y_j(T)$ вектора выходных параметров ОТС предлагается определить функционалами вида:

$$y_j(T) = F_j [q(t), x(t), \xi(t, r)], \forall j = \overline{1, m}, \quad (1)$$

где $x(t)$ и $\xi(t, r)$ — векторы принятия организационно-технических решений и метеорологических условий, изменяющихся во времени t , и пространстве, масштабы которого определяются радиус-вектором r ; $q(t) = (q_1(t), \dots, q_n(t))$ — ограниченные ресурсы.

В этом случае оценка эффективности функционирования ОТС осуществляется путем расчета заданного показателя [1–3]

$$J = f(y), \quad (2)$$

экстремальное значение которого указывает на решение задачи оптимального управления.

При решении статической задачи управления [1, 3] оптимизация осуществляется в точке

$$J(q, x, \xi(t, r)) \rightarrow \underset{x}{opt}, \quad (3)$$

при выполнении условий:

$$\begin{aligned} x &\in \{x\}, \\ q &\in \{q\}, \\ \xi(t, r) &\in \{\xi\}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\{x\}$ — есть множество допустимых решений, $\{q\}$ — множество ресурсов, $\{\xi\}$ — множество состояний погоды.

Выражения (3), (4) в формализованном виде указывают на наличие связи качества решения статических задач оптимального управления от изменяющихся в пространстве и времени метеоусловий $\xi(t, r)$. В основе методологии получения информации об этих условиях лежат четыре взаимодополняющих друг друга источника [4]: данные экстраполяции и (или) интерполяции (ζ^{TP}) характеристик прогнозируемых

условий, обеспечивающие построение трендовых моделей M^{TP} ; аналитические уравнения связи (ζ^{AN}) текущего и будущего состояния погоды, обеспечивающие построение аналитических моделей M^{AN} ; эмпирические данные (ζ^{EM}) будущего состояния погоды, обеспечивающие построение эмпирических моделей M^{EM} , данные (ζ^D) о фактической погоде, полученные путем наблюдения и (или) расчета необходимых составляющих погоды с помощью моделей M^{Φ} .

Использование указанных источников обеспечивает ЛПР информацией о стохастически изменяющихся во времени и пространстве метеорологических факторах. Системная связь этих источников с множеством моделей $M^{\xi(t,r)}$ получения метеорологической информации, а так же между собой формализуется следующим образом:

$$\begin{aligned} M^{\xi(t,r)} &= (M^{TP} \vee M^{AN} \vee M^{EM} \vee M^{\Phi}) \vee \\ &\vee (M^{TP} \wedge (M^{AN} \vee M^{EM} \vee M^{\Phi})) \vee \\ &\vee (M^{AN} \wedge (M^{EM} \vee M^{\Phi})) \vee (M^{EM} \wedge M^{\Phi}) \vee \\ &\vee ((M^{TP} \wedge M^{AN}) \wedge (M^{EM} \vee M^{\Phi})) \vee \\ &\vee ((M^{EM} \wedge M^{\Phi}) \wedge (M^{TP} \vee M^{AN})), \end{aligned} \quad (5)$$

где $\vee(\wedge)$ — символ дизъюнкции (конъюнкции).

Из выражения (5) следует, что получение метеорологической информации может быть осуществлено по одному из следующих направлений: использование трендовых моделей M^{TP} ; использование аналитических моделей M^{AN} ; использование эмпирических моделей M^{EM} ; использование моделей M^{Φ} получения фактических метеорологических данных; совместное использование моделей M^{TP} , M^{AN} , M^{EM} , M^{Φ} , а именно: M^{TP} и M^{AN} ; M^{TP} и M^{EM} ; M^{TP} и M^{Φ} ; M^{AN} и M^{EM} ; M^{AN} и M^{Φ} ; M^{EM} и M^{Φ} ; M^{TP} , M^{AN} и M^{EM} ; M^{TP} , M^{AN} и M^{Φ} ; M^{TP} , M^{EM} и M^{Φ} ; M^{AN} , M^{EM} и M^{Φ} ; M^{TP} , M^{AN} и M^{Φ} .

Анализ приведенных направлений указывает на наличие пятнадцати вариантов использования источников получения метеоинформации, что требует формализации их представления. С этой целью в работах [2, 3] введено понятие стратегии S использования метеорологической информации, под которой понимается заданная методика получения необходимых прогностических и фактических данных о погоде. В формализованном виде k -я стратегия S^k использования метеорологической информации определяются выражением:

$$S^k = (M_i(\xi^\Phi(t, r)), M_j(\xi^{\text{mp}}(t, r)))^k, \quad (6)$$

$$\forall k = k_j = \overline{1, K}, i = \overline{1, N^\Phi}, j = \overline{1, N^{\text{mp}}},$$

где $M_i(\xi^D(t, r))$ и $M_j(\xi^{\text{mp}}(t, r))$ — есть i -я и j -я методики получения фактической и прогностической метеоинформации соответственно, K — количество стратегий использования метеорологической информации, N^Φ и N^{mp} — соответственно количество методик получения фактических и прогностических метеоданных.

Из выражения (6) следует, что множество $\{S^k\}$ стратегий использования метеорологической информации рассматривается как множество векторов в пространстве методик получения фактической и прогностической информации о влияющих на ОУ метеорологических факторах. В общем случае количество K элементов этого множества определяется произведением $K = N^\Phi N^{\text{mp}}$.

СТАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ МЕТЕОЗАВИСИМЫМИ ОТС

Постановку статической задачи оптимального управления [1] в условиях метеонеопределенности предлагается осуществить на базе методов линейного программирования, применение которых обеспечивает, с учетом информации, полученной с помощью стратегии S^k , поиск оптимума целевой функции

$$J^k = c_1 x_1^k + c_2 x_2^k + \dots + c_n x_n^k \rightarrow \text{opt}, \quad (7)$$

заданной на множестве $\{x_j^k\}$ управляемых переменных, при выполнении условий:

$$\alpha_{11}^k x_1^k + \alpha_{12}^k x_2^k + \dots + \alpha_{1n}^k x_n^k \leq b_1,$$

$$\alpha_{21}^k x_1^k + \alpha_{22}^k x_2^k + \dots + \alpha_{2n}^k x_n^k \leq b_2,$$

.....

$$\alpha_{m1}^k x_1^k + \alpha_{m2}^k x_2^k + \dots + \alpha_{mn}^k x_n^k \leq b_m,$$

где множества $\{\alpha_{ij}^k\}$, $\{c_j\}$ и $\{b_i\}$ являются множествами неуправляемых переменных, определяемых спецификой решаемой задачи.

Различные реализации модели (7), (8) обеспечивают оценку потенциальных значений целевой функции J^k в соответствии с выбранной стратегией S^k . В этой модели k -ой стратегии соответствуют коэффициенты α_{ij}^k и управляемые переменные x_j^k , имеющие индекс k . При этом применение различных стратегий обеспечивается выбором различных коэффициентов α_{ij}^k , численные значения которых связаны с

фактическими и прогнозируемыми метеоусловиями. Однако изменение коэффициентов α_{ij}^k приводит и к изменению управляемых переменных x_j^k .

Таким образом, применение множества стратегий $\{S\}$ обеспечивает в статических задачах управления множество вариантов принятия решений. Выбор наилучшей стратегии S^{opt} , и построение на базе этой стратегии наилучшего вектора x^{opt} организационно-технических решений требуют использования дополнительной статистической информации о соответствии принимаемых решений и эффективности функционирования ОТС. С целью получения этой информации предлагается осуществить синтез методов управления, представленных функционалами:

$$y_j^k = Y_j[q(t), x^k(t), \xi(\tau, r), S^k(\xi^\Phi(t, r), \xi^{\text{mp}}(t, r))], \quad (9)$$

$$y_j^s = Y_j[q(t), x^s(t), \xi(\tau, r), S^s(\xi^\Phi(t, r), \xi^{\text{mp}}(t, r))], \quad (10)$$

$$y_j^u = Y_j[q(t), x^u(t), \xi(\tau, r), S^u(\xi(\tau, r))], \quad (11)$$

где $\xi(\tau, r)$ — фактические метеорологические условия, наблюдающиеся в течение времени τ функционирования ОУ.

Отличия значений показателей y^k , y^s , y^u в функционалах (9) — (10) обусловлены применением различных стратегий S^k , S^s и S^u . При прочих равных условиях соответствующие значения в функционале (9) определяются k -ой стратегией S^k , в функционале (10) — эмпирической стратегией S^s , основанной на опыте и интуиции ЛПР, и, наконец, в функционале (11) — идеальной стратегией S^u , построенной с помощью информации о факторах $\xi(\tau, r)$.

Выбор наилучшей стратегии S^{opt} предлагается осуществить путем анализа показателей γ^k и ω^k , рассчитанных на базе архивной информации о критерии J , полученной в результате решения оптимизационных задач (7), (8), и соответствующей множествам значений величин y^k , y^s , и y^u .

При решении оптимизационной задачи на максимум, указанные показатели в работе [3] определяются по формулам:

$$\gamma^k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{J_i(y^k) - J_i(y^s)}{J_i(y^s)}, \quad (12)$$

$$\omega^k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{J_i(y^k) - J_i(y^u)}{J_i(y^u)}, \forall k = \overline{1, K},$$

где N — объем выборки.

Итак, построенная статическая модель принятия решений в условиях метеорологической

неопределенности включает в себя целевую функцию (7) и ограничения (8), функционалы (9)–(11), показатели (12). В основе этой модели лежит синтез подходов к управлению ОТС, реализованных с помощью функционалов (9)–(11) и отличающихся друг от друга вариантами $x^k(t)$, $x^3(t)$, $x^n(t)$ принятия решений, связанными с соответствующими стратегиями использования метеоинформации. Системный анализ эффективности реализаций данных подходов дает возможность выбора наилучшего варианта $x^{\text{опт}}$, применение которого обеспечивает наилучшее состояние y ОТС, по заданному показателю J , в момент окончания ее функционирования. Отличительная особенность данной модели состоит в представлении ее параметров, являющихся в общем случае значениями непрерывных функций, в дискретном виде. При этом увеличение числа стратегий S^k использования метеоинформации приводит к увеличению вероятности выбора вектора $x^{\text{опт}}$ организационно-технических решений, наиболее адекватного текущей системной ситуации. Методика применения данной модели сводится к следующему:

1. С помощью модели (7), (8) по множеству стратегий $\{S^k\}$, включающему в себя стратегии S^n и S^3 , разрабатывается множество $\{x^k\}$, вариантов плана функционирования ОТС, включающее в себя варианты x^3 и x^n .

2. С помощью соотношений (12) выбирается план, обеспечивающий максимум показателей γ^k и ω^k , рассчитанных для каждой из K стратегий множества $\{S^k\}$.

3. На основе анализа численных значений показателей γ^k и ω^k делается вывод об эффективности наилучшей стратегии $S^{\text{опт}}$ и перспективах ее увеличения.

Данная методика дает возможность применения построенной модели для решения не только статических, но и многошаговых задач управления [1]. При этом на этапе планирования разрабатывается план многошагового функционирования ОТС, далее, на каждом последующем этапе с учетом использования уточненной метеорологической и неметеорологической информации, осуществляется корректировка составленного плана.

ПОСТАНОВКА ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Апробирование построенной модели осуществлено на примере решения задачи опреде-

ления оптимальной структуры посевных площадей с учетом погодных условий. Постановка указанной задачи состоит в следующем.

В условиях метеонеопределенности построить модель принятия решений по выбору площадей x_{ij}^k , занятых под i -ую культуру в j -ом районе. В качестве критерия эффективности принять максимум дохода D^k .

При решении этой задачи, в качестве показателя, характеризующего влияние метеоусловий, в работе принята урожайность α_i сельскохозяйственных культур, определяемая по формуле [3]:

$$\alpha_i = \alpha_{\max} \sum_{i=1}^n (\tau_i / \tau) \alpha_i^R \alpha_i^T + \kappa(t - t'),$$

где n — количество этапов вегетационного периода; τ_i — продолжительность i -го этапа; τ — продолжительность вегетационного периода; α_i^R, α_i^T — относительные изменения урожайности на i -ом этапе, обусловленные отклонениями от оптимальных значений количества осадков и температуры воздуха соответственно; t — год, на который составляется прогноз; t' — год, в который наблюдалось максимальное α_{\max} значение урожайности; κ — коэффициент, обеспечивающий учет трендовой составляющей урожайности.

С учетом вышеизложенного, формализация поставленной задачи осуществлена путем построения экономико-метеорологической модели:

$$D^k = \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j=1}^{N_j} (c_i - c'_{ij}) \alpha_{ij}^k x_{ij}^k \rightarrow \max, \forall k = \overline{1, K}, \quad (13)$$

при ограничениях:

1) по площади посева для j -го района

$$\sum_{i=1}^{N_i} x_{ij}^k \leq x_j, \quad \forall j = \overline{1, N_j}, \quad k = \overline{1, K},$$

2) по затратам ресурсов q -го вида

$$\sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j=1}^{N_j} d_{ij}^q \alpha_{ij}^k x_{ij}^k \leq b_q, \quad \forall q = \overline{1, Q}, \quad k = \overline{1, K}, \quad (14)$$

3) неотрицательности переменных

$$x_{ij}^k \geq 0, \quad \forall i = \overline{1, N_i}, \quad j = \overline{1, N_j}, \quad k = \overline{1, K},$$

где N_i — число предполагаемых посевных культур; N_j — количество районов; x_j — общая посевная площадь j -го района; α_{ij}^k — прогнозируемая урожайность i -ой культуры в j -ом районе при использовании k -ой стратегии S^k ; d_{ij}^q — норма затрат ресурсов q -го вида на производство i -ой культуры в j -ом районе; b_q — объем

ресурсов q -го вида; Q — количество используемых ресурсов; c_i — цена единицы i -ой культуры; c'_{ij} — затраты на производство единицы i -ой культуры в j -ом районе.

Модель (13), (14) позволяет оптимизировать структуру посевных площадей в рамках региона, включающего ряд районов. Для оптимизации этой структуры в масштабах каждого района в отдельности предлагается преобразовать данную модель следующим образом:

$$D_j^k = \sum_{i=1}^{N_i} (c_i - c'_{ij}) \alpha_{ij}^k x_{ij}^k \rightarrow \max,$$

$$\forall j = \overline{1, N_j}, k = \overline{1, K},$$

при ограничениях, аналогичных ограничениям (14):

$$\sum_{i=1}^{N_i} x_{ij}^k \leq x_j, \forall j = \overline{1, N_j}, k = \overline{1, K},$$

$$\sum_{j=1}^{N_j} d_{ij}^q \alpha_{ij}^k x_{ij}^k \leq b_q, \forall j = \overline{1, N_j}, q = \overline{1, Q}, k = \overline{1, K},$$

$$x_{ij}^k \geq 0, \forall i = \overline{1, N_i}, j = \overline{1, N_j}, k = \overline{1, K}.$$

Результаты проведенного эксперимента указывают на то, что использование построенной модели принятия решений в сельском хозяйстве обеспечивает значимое повышение эффективности функционирования ОТС при определении оптимальной структуры посевных площадей, заключающееся в повышении показателя γ на 10—15 %, а показателя ω — на 30—40 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 368 с.
2. Матвеев М.Г., Михайлов В.В. Формализация задачи повышения качества управления в условиях стохастичности. / Системы управления и информационные технологии, 2005, № 5 (22), С. 49—52.
3. Михайлов В.В. Оптимизация использования метеоинформации при решении практических задач. / Метеорология и гидрология, 2006, № 2, С. 17—24.
4. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология. — С.-Пб.: Гидрометеиздат, 2005. — 490 с.