

УДК 001.891.3:629.3:656.7.076:631.11

Соловйова О.О., канд.екон. наук, Пронь С.В., Висоцька І. І., канд.екон. наук

МОДЕЛЮВАННЯ ВИКОНАННЯ АГРАРНИХ РОБІТ З УРАХУВАННЯМ ТРАНСПОРТНОЇ СКЛАДОВОЇ

Анотація. В даній статті досліджено процес вирощування сільськогосподарських культур як складну динамічну систему, складність якої полягає у наявності великої кількості різнорідних підсистем, у тому числі й транспортної. Розроблено економіко-математичну модель виконання аграрних робіт.

Ключові слова: математична модель, підсистема, множина операцій, види ресурсів, технологічна карта, авіаційна техніка, наземна техніка.

УДК 001.891.3:629.3:656.7.076:631.11

Соловьева А.А., канд.экон. наук, Пронь С.В.,
Высоцкая И. И., канд.экон. наук

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫПОЛНЕНИЯ АГРАРНЫХ РАБОТ С УЧЕТОМ ТРАНСПОРТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

Аннотация. В данной статье исследован процесс выращивания сельскохозяйственных культур как сложную динамическую систему, сложность которой заключается в большом количестве разнородных подсистем, в том числе и транспортной. Разработана экономико-математическая модель выполнения аграрных работ

Ключевые слова: математическая модель, подсистема, множество операций, виды ресурсов, технологическая карта, авиационная техника, наземная техника.

UDC 001.891.3:629.3:656.7.076:631.11

Soloviova O. O., Cand. Econ. Sci. (Ph.D.), Pron S. V.,
Vysotska I.I, Cand. Econ. Sci. (Ph.D.)

MODELING OF EXECUTION OF AGRICULTURAL WORKS TAKING INTO ACCOUNT OF THE TRANSPORT COMPONENT

Abstract: In this article the agricultural crops cultivation process has been investigated as a complex dynamic system, the complexity of which consists in a large number of heterogeneous subsystems, including transport. The economic-mathematical model of agricultural work execution has been developed.

Keywords: mathematical model, subsystem, a plurality of operations, the types of resources, technological card, aviation equipment, ground equipment.

Вступ

Транспортна складова має значний вплив на виробництво продукції сільського господарства залежно від ступеня його інтенсивності та рівня розвитку агропромислової інтеграції, оскільки транспорт бере безпосередню участь у технологічному процесі вирощування сілськогосподарських культур. Криза, що панує в нашій країні, змушує впроваджувати сучасні ресурсозберігаючі No-till технології вирощування сільськогосподарських культур, що неможливо без удосконалення транспортної складової. Тому важливим є розробка моделі виконання аграрних робіт з урахуванням інтегрованої транспортної системи, ефективність функціонування якої полягає у раціональному використанні наземної та авіаційної техніки, що призведе до зменшення матеріальних та фінансових ресурсів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Дослідженнями проблем впровадження ресурсозберігаючих технологій та ефективності функціонування транспортних систем у сільському господарстві присвячені наукові дослідження таких зарубіжних та вітчизняних вчених: Уейн Рівз, В.Г. Андрійчука, В.І. Бойка, А.С. Даниленка, М.Я. Дем'яненко, О.Ю. Єрмакова, М.М. Косолапа, В.І. Криворучка, А.М. Малієнка, О.М. Онищенко, С.П. Танчика, В.Ф. Сайка, В.О. Єщенко, А.Г. Дибір, М.І. Славков, К.В. Марінцева, Г.М. Михайлов, М.П. Матійчик, В.В. Мова, В.П. Поліщук, О.В. Худолєнко, Хабутдінов, Г.М. Юн та ін.

Проведений аналіз сучасних наукових робіт показав, що в цих роботах недостатньо приділено уваги щодо моделювання транспортної системи в аграрному комплексі як підсистеми складної динамічної системи вирощування сільськогосподарських культур.

Мета статті. Дослідження процесу вирощування сільськогосподарських культур як складної динамічної системи з урахуванням впливу транспортної складової та розробка економіко-математичної моделі виконання аграрних робіт.

Виклад основного матеріалу

З точки зору окремого господарства організацію і ведення сільськогосподарського виробництва можна розглядати як управління складною динамічною системою в умовах дії випадкових факторів. Складність системи полягає у наявності великої кількості різнорідних підсистем – земельні ділянки, культури, транспортні засоби, механізми і обладнання, авіаційна техніка, добрива, речовини, паливо, техніка, люди. Динамічність полягає як у природі

виробничого процесу – вирощуванні рослин упродовж природнього річного циклу, так і у впливі попереднього циклу та раніш вирощуваних культур і виконаних робіт на ефективність дій у наступних часових періодах. Випадковими факторами є погодні умови, поява та розповсюдження шкідників та хвороб рослин, а також зміна цін на ресурси, послуги та кінцеву продукцію.

Зробимо формалізований опис елементів такої системи з метою використання в економіко-математичній моделі.

Нехай в поточному році t господарство розглядає можливість вирощувати культури на m_t земельних ділянках. Надалі будемо казати, що господарство в році t розглядає множину полів $I_t = \{1, \dots, m_t\}$. Кожне поле $i \in I_t$ має свої особливості i , насамперед, це площа s_i , попередня культура p_i , довжина гону L_i та відстань d_i від злітної смуги. Якщо на полі неможливо виконувати роботи за допомогою авіації, то формальною ознакою цього буде нескінчене (дуже велике) значення відстані d_i .

В господарстві можливо вирощування певної множини культур K , не кожна з яких обов'язково вирощується кожен рік. Вибір підмножини культур $K_t \subseteq K$, що будуть вирощуватися в році t , є предметом моделювання і пошуку оптимальних варіантів.

Нехай $K_{ipt} \subseteq K$ буде множиною культур, вирощування яких доцільно розглядати на полі i в році t після попередника p . Вибір культури для поля i в році t буде визначатися булевими змінними x_{ki} , сума яких має дорівнювати одиниці $\sum_{k \in K_{ipt}} x_{ki} = 1$, що означає вибір хоча би однієї культури.

Для кожної культури $k \in K_{ipt}$ існує множина варіантів (технологій) її вирощування V_{kip} . Під окремим варіантом ми розуміємо не абстрактну технологію, а скоріше конкретну технологічну карту, прив'язану до поля та його умов, які включають характеристики ґрунту, розташування та рельєф місцевості. Вибір варіанта $v \in V_{kip}$ буде визначатися булевими змінними y_{vki} , сума яких має дорівнювати нулю або одиниці $\sum_{v \in V_{kip}} y_{vki} = x_{ki}$ в залежності від значення змінної x_{ki} , що означає, що має бути вибраний хоча б один варіант вирощування культури k , якщо вона буде вирощуватися на полі i .

Кожен варіант $v \in V_{kip}$ у свою чергу характеризується множиною операцій Ω_v , які потрібно виконати у певні строки. Для моделювання строків виконання операцій розіб'ємо рік на періоди $\{\tau_1, \dots, \tau_N\}$, наприклад, тижні або декади. Тоді кожна операція $\omega \in \Omega_v$ має початковий і кінцевий періоди $\tau_b^\omega, \tau_e^\omega$. Операція має певний обсяг (або об'єм) та потребує використання ресурсів. Ресурси ми тут розуміємо у широкому сенсі. Якщо конкретизувати, то по відношенню до наземних транспортних засобів та механізмів це кількість годин використання засобів, по відношенню до авіаційного транспорту це кількість льотних годин, по відношенню до добрив та речовин це вага або об'єм, по відношенню до робітників це кількість людино-годин. Кожен вид ресурсу має свій тип обмежень на використання, так авіаційний транспорт має обмеження на щоденну, щомісячну та річну кількість льотних годин, для наземного транспорту доцільно розглядати обмеження на кількість годин використання в окремий період, кількість добрив та речовин може бути обмежена запасами та фінансовими можливостями придбати додаткові об'єми, тобто це обмеження на річне використання. Підкреслимо, що тут обсяги використання ресурсів для операції $\omega \in \Omega_v$ прив'язується до конкретного поля та його характеристик і особливостей.

Згрупуємо ресурси по видам та позначимо їхнє використання в операції $\omega \in \Omega_v$ наступним чином: $\bar{w}_{\omega v k i}^H$ – вектор використання ресурсів наземних транспортних засобів та механізмів, $\bar{w}_{\omega v k i}^A$ – вектор використання ресурсів повітряних транспортних засобів, $\bar{w}_{\omega v k i}^M$ – вектор використання добрив, речовин, ПММ. Кожен елемент цих векторів дорівнює обсягу використання відповідного ресурсу, необхідного для повного виконання операції ω у варіанті вирощування v культури k на полі i .

Оскільки операції дозволено виконувати протягом декількох періодів, то введемо змінні $z_{\omega v k i}^\tau$ для операції ω і її періодів $\tau_b^\omega, \dots, \tau_e^\omega$, які будуть вказувати на те, яка доля операції виконується в кожний період $\tau \in [\tau_b^\omega, \tau_e^\omega]$. Звісно, що ці змінні додатні, а їх сума не має перевищувати 1, якщо варіант $v \in V_{kip}$ є вибраним, і 0, якщо варіант v не є вибраним, $\sum_{\tau \in [\tau_b^\omega, \tau_e^\omega]} z_{\omega v k i}^\tau = y_{v k i} (\leq y_{v k i})$. Для деяких операцій може використовуватися нерівність, що буде означати, що ми допускаємо часткове виконання операції на випадок недостатньої кількості

ресурсів. Звісно, що неповне виконання операції призводить до зменшення врожаю, і така залежність має бути присутня у моделі.

Щоби відобразити залежність очікуваного врожаю культури k на полі i при варіанті її вирощування v від обсягів та строків виконання операцій будемо використовувати лінійну регресійну модель виду

$$U_{vki} = U_{vki}^0 + \sum_{\omega \in \Omega_v} \sum_{\tau = \tau_b^{\omega}}^{\tau_e^{\omega}} u_{\omega vki}^{\tau} z_{\omega vki}^{\tau}, \quad (1)$$

де $U_{vki}^0, u_{\omega vki}^{\tau}$ – коефіцієнти регресійної моделі.

Звісно, що така модель відображає залежність очікуваного урожаю в певних межах. Наприклад, вона не дасть зменшення врожаю до нуля, якщо не буде виконана операція посіву. Таку модель, радше, треба розглядати як залежність відхилення врожаю від очікуваного рівня. Тому не для всіх операцій ми будемо дозволяти неповне виконання, а також обмежимо зменшення об'єму для тих, яким дозволимо зменшення. Водночас, така модель дозволяє враховувати вплив строків виконання операцій на урожай за допомогою різних коефіцієнтів $u_{\omega vki}^{\tau}$ для однієї операції ω – для більш сприятливих періодів τ в межах інтервалу $[\tau_b^{\omega}, \tau_e^{\omega}]$ цей коефіцієнт має бути більшим, ніж для інших періодів. Урожай U_{vki} є змінною оптимізаційної моделі.

Перейдемо тепер до питання моделювання використання ресурсів. Господарство може мати власні ресурси, використовувати орендовані, залучати до виконання робіт сторонні організації, мати запаси добрив, речовин та ПММ, або придбавати додаткові об'єми. Вище ми згрупували ресурси по видам. Розглянемо один із видів $\bar{w}_{\omega vki}^*$, не уточнюючи поки-що який. Тоді використання господарством ресурсів цього виду в період τ виражається формулою:

$$\sum_{i \in I_t} \sum_{k \in K_{ipt}} \sum_{v \in V_{kip}} \sum_{\omega \in \Omega_v} \bar{w}_{\omega vki}^* z_{\omega vki}^{\tau}.$$

Різні види ресурсів мають різні обмеження по використанню у часі. До авіаційної техніки висуваються найбільш жорсткі вимоги, тому має контролюватися та обмежуватися наліт годин у відповідності до нормативів у кожному періоді τ . До наземної техніки вимоги менш жорсткі, тому використання може обмежуватися за декілька періодів, виходячи з фізичних можливостей використання наземної техніки. Добрива, речовини, ПММ

обмежені наявною кількістю, яка може бути довільно розподілена між періодами. Розглянемо також можливість залучати додаткові ресурси за додаткову плату. Тоді обмеження на використання ресурсів будуть мати такий вигляд:

$$\sum_{i \in I_t} \sum_{k \in K_{ipt}} \sum_{v \in V_{kip}} \sum_{\omega \in \Omega_v} \bar{w}_{\omega vki}^A z_{\omega vki}^\tau \leq \bar{\rho}_\tau^A \text{ для авіаційної техніки,}$$

$$\sum_{i \in I_t} \sum_{k \in K_{ipt}} \sum_{v \in V_{kip}} \sum_{\omega \in \Omega_v} \bar{w}_{\omega vki}^H z_{\omega vki}^\tau \leq \bar{R}_\tau^H + \bar{\rho}_\tau^H \text{ для наземної техніки,}$$

$$\sum_{\tau=\tau_1}^{\tau_N} \sum_{i \in I_t} \sum_{k \in K_{ipt}} \sum_{v \in V_{kip}} \sum_{\omega \in \Omega_v} \bar{w}_{\omega vki}^A z_{\omega vki}^\tau \leq \bar{R}^M + \bar{\rho}^M \text{ для запасів.}$$

У наведених формулах \bar{R}_τ^H та \bar{R}^M – це вектори наявних ресурсів; $\bar{\rho}_\tau^A$, $\bar{\rho}_\tau^H$, $\bar{\rho}^M$ – це вектори обсягів ресурсів, що орендуються або придбаваються, а елементи цих векторів є змінними моделі.

У якості критерія оптимальності будемо розглядати прибуток, який може отримати господарство від вирощування культур по результатам виробничого року. Для кожної операції $\omega \in \Omega_v$ згідно варіанту $v \in V_{kip}$ визначені витрати $c_{\omega vki}$, які будемо розглядати як змінні витрати. Додаткові ресурси $\bar{\rho}_\tau^A$, $\bar{\rho}_\tau^H$ орендованої техніки слід розглядати як вектори з дискретними приростами значень елементів. Тобто, ми можемо залучити один літак або два, тому відповідні додаткові ресурси можуть змінюватися дискретно і за кожну зміну ми маємо сплачувати певну фіксовану плату. Отже, ці витрати будуть мати змінну та постійну складову.

Використовуючи вище введені поняття та позначення, випишемо модель у вигляді оптимізаційної задачі

$$\sum_{i \in I_t} \sum_{k \in K_{ipt}} \sum_{v \in V_{kip}} \left(d_k U_{vki} - \sum_{\omega \in \Omega_v} c_{\omega vki} z_{\omega vki}^\tau \right) - \sum_{\tau=\tau_1}^{\tau_N} \left((\bar{c}_\tau^A, \bar{\rho}_\tau^A) + (\bar{c}_\tau^H, \bar{\rho}_\tau^H) \right) - (\Delta \bar{c}_\tau^M, \bar{\rho}_\tau^M) \rightarrow \max$$

(1)

при обмеженнях

$$U_{vki} = U_{vki}^0 + \sum_{\omega \in \Omega_v} \sum_{\tau=\tau_b^\omega}^{\tau_e^\omega} u_{\omega vki}^\tau z_{\omega vki}^\tau, \quad v \in V_{kip}, \quad k \in K_{ipt}, \quad i \in I_t, \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I_t} \sum_{k \in K_{ipt}} \sum_{v \in V_{kip}} \sum_{\omega \in \Omega_v} \bar{w}_{\omega vki}^A z_{\omega vki}^\tau \leq \bar{\rho}_\tau^A, \quad \tau \in [\tau_1, \tau_N], \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I_t} \sum_{k \in K_{ipt}} \sum_{v \in V_{kip}} \sum_{\omega \in \Omega_v} \bar{w}_{\omega vki}^H z_{\omega vki}^\tau \leq \bar{R}_\tau^H + \bar{\rho}_\tau^H, \quad \tau \in [\tau_1, \tau_N], \quad (4)$$

$$\sum_{\tau=\tau_1}^{\tau_N} \sum_{i \in I_t} \sum_{k \in K_{ipt}} \sum_{v \in V_{kip}} \sum_{\omega \in \Omega_v} \bar{w}_{\omega vki}^A z_{\omega vki}^\tau \leq \bar{R}^M + \bar{\rho}^M, \quad (5)$$

$$\alpha_{\omega vki} y_{vki} \leq \sum_{\tau \in [\tau_b^\omega, \tau_e^\omega]} z_{\omega vki}^\tau \leq y_{vki}, \quad \omega \in \Omega_v, \quad v \in V_{kip}, \quad k \in K_{ipt}, \quad i \in I_t, \quad (6)$$

$$\sum_{v \in V_{kip}} y_{vki} = x_{ki}, \quad k \in K_{ipt}, \quad i \in I_t, \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K_{ipt}} x_{ki} = 1, \quad i \in I_t, \quad (8)$$

$$x_{ki} \in \{0,1\}, \quad k \in K_{ipt}, \quad i \in I_t, \quad (9)$$

$$y_{vki} \in \{0,1\}, \quad v \in V_{kip}, \quad k \in K_{ipt}, \quad i \in I_t, \quad (10)$$

$$z_{\omega vki}^\tau \geq 0, \quad \tau \in [\tau_1, \tau_N], \quad \omega \in \Omega_v, \quad v \in V_{kip}, \quad k \in K_{ipt}, \quad i \in I_t, \quad (11)$$

$$\bar{\rho}_\tau^A \in \bar{\Theta}^A, \quad \bar{\rho}_\tau^H \in \bar{\Theta}^H. \quad (12)$$

В моделі (1)–(12) формули мають такий сенс.

(1) – цільова функція, яка складається з очікуваного доходу від продажу врожаю за вирахуванням витрат на вирощування культур та на придбання додаткових обсягів ресурсів;

(2) – розрахунок очікуваного обсягу врожаю культури k на полі i в разі застосування варіанту вирощування v в залежності від строків та обсягів виконання операцій $\omega \in \Omega_v$, що передбачаються цим варіантом;

(3) – обмеження на обсяги ресурсів авіаційного транспорту, які можуть бути використані господарством в період τ ;

(4) – обмеження на обсяги ресурсів наземного транспорту та механізмів, які можуть бути використані господарством в період τ ;

(5) – обмеження на обсяги добрив, речовин, ПММ та інших речовин, які може використати господарство за весь виробничий цикл;

(6) – допустимі межі варіації обсягу виконання операцій $\omega \in \Omega_v$ в залежності від того обраний варіант вирощування v чи ні ($0 \leq \alpha_{\omega vki} \leq 1$);

(7) – логічна умова чи будуть обиратися варіанти вирощування культури в залежності від того чи буде вирощуватися культура k на полі i ;

(8) – вимога вибрати одну культуру для вирощування на полі i в році t ;

(9)–(11) – області визначення змінних x_{ki} , y_{vki} , $z_{\omega vki}^{\tau}$;

(12) – області визначення змінних $\bar{\rho}_{\tau}^A$ та $\bar{\rho}_{\tau}^H$. Ці змінні розглядаються як дискретні, які можуть приймати скінчену множину значень, і відображають можливість господарства залучати сторонні авіаційні та наземні ресурси.

Наведемо список позначень моделі.

I_t – множина полів господарства, на яких розглядається вирощування культур в році t , $i \in I_t$ – індекс окремого поля;

K_{ipt} – множина культур, вирощування яких доцільно розглядати на полі i в році t після попередника p , $k \in K_{ipt}$ – індекс окремої культури;

V_{kip} – множина варіантів (технологій) вирощування культури k на полі i після попередника p , $v \in V_{kip}$ – індекс окремого варіанта;

Ω_v – множина технологічних операцій, з яких складається варіант вирощування v , $\omega \in \Omega_v$ – індекс окремої операції;

$\{\tau_1, \dots, \tau_N\}$ – множина періодів, на який розбитий виробничий цикл, $\tau \in [\tau_1, \tau_N]$ – номер окремого періоду;

$[\tau_b^{\omega}, \tau_e^{\omega}]$ – інтервал періодів, упродовж якого може виконуватися операція ω , включаючи найбільш раннє та найбільш пізнє виконання;

d_k – очікувана вартість культури k на ринку;

U_{vki} – змінна моделі – очікуваний урожай культури k на полі i при варіанті вирощування v ;

$c_{\omega vki}$ – змінні витрати на виконання операції ω в варіанті вирощування v культури k на полі i ;

$z_{\omega vki}^{\tau}$ – змінна моделі – частка операції ω варіанту вирощування v культури k на полі i , що виконується в період τ ;

\bar{c}_{τ}^A , \bar{c}_{τ}^H – вектори вартостей залучення додаткових авіаційних та наземних ресурсів;

$\bar{\rho}_{\tau}^A$, $\bar{\rho}_{\tau}^H$ – змінні моделі – обсяги додатково залучених авіаційних та наземних ресурсів;

$\Delta \bar{c}_\tau^M$ – вектор зміни вартості додаткових обсягів добрив, речовин, ПММ порівняно з вартістю запасів;

$\bar{\rho}_\tau^M$ – змінні моделі – вектор додаткових обсягів добрив, речовин, ПММ, придбаних для виконання робіт в виробничому сезоні;

$U_{vki}^0, u_{\omega vki}^\tau$ – коефіцієнти регресії, яка відображає залежність врожаю культури k при варіанті вирощування v на полі i від обсягів та термінів виконання операцій $\omega \in \Omega_v$;

$\bar{w}_{\omega vki}^A, \bar{w}_{\omega vki}^H, \bar{w}_{\omega vki}^M$ – вектори прямих витрат авіаційних, наземних ресурсів та добрив, речовин, ПММ на виконання операції ω в варіанті вирощування v культури k на полі i ;

$\bar{R}_\tau^H, \bar{R}_\tau^M$ – вектори наявних в господарстві наземних ресурсів та добрив, речовин, ПММ;

$\alpha_{\omega vki}$ – коефіцієнт припустимого зменшення обсягу виконання операцій $\omega \in \Omega_v$ в варіанті вирощування v культури k на полі i , при якому зберігається адекватність формули (2) залежності врожаю від обсягів та термінів виконання операцій;

x_{ki}, y_{vki} – булеві змінні моделі – вибір культури, що буде вирощуватися на полі i , та вибір варіанту вирощування культури k на полі i ;

$\bar{\rho}_\tau^A, \bar{\rho}_\tau^H$ – вектори дискретних змінних – обсяги залучених господарством авіаційних та сторонніх наземних ресурсів.

Висновки

В даній роботі досліджено процес вирощування сільськогосподарських культур як складну динамічну систему з урахуванням впливу транспортної складової та розроблено економіко-математичну модель виконання аграрних робіт, застосування якої дозволить у процесі організації і ведення сільськогосподарського виробництва приймати своєчасні обґрунтовані управлінські рішення з метою отримання максимального прибутку.

Література

1. Михайлов Г.М. Ефективність формування парку літальних апаратів для виконання сільгоспхімробіт: монографія / Г.М. Михайлов, К.В. Марінцева. – К.: ДП Видавництво «Зовнішня торгівля», 2010. – 220 с.

2. Кутыркин А.В. Разработка моделей и алгоритмов решения функциональных задач управления транспортными системами и производством [Текст] : дис... доктора техн. наук : 05.22.01 / Кутыркин Александр Васильевич. – М., 2004. – 383 с.

3. Використання No-till технології та її значення для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва [Електронний ресурс] — [URL:http://repository.vsau.org/getfile/6166.pdf](http://repository.vsau.org/getfile/6166.pdf).

4. Пронь С. В. Теоретичні аспекти поняття транспортної системи аграрних робіт [Текст] / С. В. Пронь, І. І. Висоцька // Молодий вчений. — 2016. — №4.

Рецензенти:

Хабутдінов Р.А., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Матейчик В.П., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Reviewers:

Khabutdinov R.A., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Mateichyk V.P., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **15.02.2017 р.**