

**СИСТЕМНО-АНАЛІТИЧНИЙ ОПИС АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
ПЛАНУВАННЯ ВАНТАЖЕННЯ-ВИВАНТАЖЕННЯ: СИТУАЦІЙНО-
ЕВРІСТИЧНИЙ МЕТОД ПОБУДОВИ МОДЕЛІ**

доцент В.С. Меркулов, ст. викл. І.Г. Бізюк

**СИСТЕМНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ПОГРУЗКИ-
ВЫГРУЗКИ: СИТУАЦИОННО-ЭВРИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД
ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ**

доцент В.С. Меркулов, ст. преп. И.Г. Бизюк

**SYSTEM-ANALYTICAL DESCRIPTION OF THE AUTOMATED SYSTEM
OF PLANNING OF LOADING-UNLOADING: SITUATIONAL-HEURISTIC
METHOD OF MODEL CONSTRUCTION**

Associate Professor V. Merkulov, Senior Lecturer I. Biziuk

У статті розглядається можливість застосування ситуаційно-евристичного методу (СЕМП) для побудови моделі процесу оперативного планування вантажно-вивантажних робіт на залізничному транспорті.

Метод реалізований комплексом кроків, які використовують накопичені знання з урахуванням оперативної обстановки в регіоні дороги.

Побудований з застосуванням СЕМП програмний проект експлуатується в відділі планування перевезень й організації вантажної роботи служби перевезень регіональної філії "Південна залізниця".

Ключові слова: оперативне планування, вантаження - вивантаження, автоматизація, регулювальне завдання, експлуатаційна робота, прогноз, модель, ситуаційно-евристичні методи, нормативні показники, вагон, фактори, ситуація, кортеж, критерій.

В статье рассматривается возможность применения ситуационно-эвристического метода (СЭМП) для построения модели процесса оперативного планирования погрузочно-выгрузочных работ на железнодорожном транспорте.

Метод реализован комплексом шагов, которые используют накопленные знания с учетом оперативной обстановки в регионе дороги.

Построенный с применением СЕМП программный проект эксплуатируется в отделе планирования перевозок и организации грузовой работы службы перевозок регионального филиала "Южная железная дорога".

Ключевые слова: оперативное планирование, погрузка - выгрузка, автоматизация, регулировочное задание, эксплуатационная работа, прогноз,

модель, ситуационно-эвристические методы, нормативные показатели, вагон, факторы, ситуація, кортеж, критерий.

The Article considers the possibility of application of situational - heuristic method (SHMC) for the construction of the model process of operative planning of loading-unloading works at the railway transportation.

Under the estimate that settles accounts by means of SHMC, the steady level of implementation of one or another indexes attained by an object is thought of as situation that has been risen under the target period.

The great number of unforeseeable processes and operations takes place at the construction of optimal plan of operating work, where the terms of implementation constantly change. Authenticity of prognosis depends on exactness of their determination. Therefore it is possible to use average technological norms for the operative planning. However, for every technological process it is expedient to educe the list of its affecting factors, and to build a prognosis taking into account their influence in every specific situation.

A method is implemented by the complex of steps that use the accumulated knowledge with an operative situation taken into account in the region of road. Three stages of calculations are envisaged: preparatory, operative and self-learning.

At the preparatory stage, we determine the list of influencing factors for each calculated sizes and draw up algorithms for their calculation.

At the operational stage, we select data with the closest situations to the initial for the calculation of each forecast indicator of corteges of array of experience.

The self-learning stage allows you to adjust the calculated sizes after receiving the current data.

Built with the use of SHMC a programmatic project is exploited in the department of planning of transportations and organization of freight work of service of transportations of regional branch "Yuzhnaya railway".

Keywords: *the operative planning, loading - unloading, automation, regulation task, operating work, prognosis, model, situational-heuristic methods, normative indexes, carriage, factors, situation, cortege, criteria.*

Вступ. Після одержання результатів з використанням методу гілок і меж [1,2] пропонується обрати методику для остаточного «доведення» календарних планів і, у тому числі, регульовального завдання.

Визначення мети та завдання дослідження. При побудові оптимального плану експлуатаційної роботи має місце безліч непередбачуваних процесів і операцій, умови виконання яких постійно змінюються. Від точності їх визначення залежить достовірність прогнозу. Тому для оперативного планування використовуються усереднені технологічні норми. Однак, для кожного технологічного процесу доцільно виявити перелік впливаючих на нього факторів, і будувати прогноз з урахуванням їх впливу в кожній конкретній ситуації.

ЕОМ дозволяють використовувати для прогнозування і прийняття керуючих рішень самокоригуючі, самонавчальні і самоорганізуючі моделі. Одними з методик побудови таких моделей є ситуаційно-евристичні методи прогнозування (СЕМП) і нормування (СЕМН) [3,4].

Основний матеріал. СЕМП реалізований комплексом кроків, що передбачають використання накопичених знань з урахуванням оперативної обстановки в регіоні.

Плановані нормативні показники $\{x_{\tau}^{jk}\}$ - норми вантажної роботи по k -му роду вантажних вагонів j -ї станції на τ -й інтервал планового періоду; $j=1,2,\dots,J$ - порядковий номер станції; $k=1,2,\dots,K$ - порядковий номер роду вантажних вагонів при обмеженнях:

$$\left| \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{\tau}^{jk} \right| = b, \quad \text{де} \quad b \approx |\tilde{X}_{\tau}|,$$

де \tilde{X}_{τ} - директивне регулювальне завдання по регіону в цілому.

Ці показники розраховуються на підставі відомих до моменту планування впливаючих факторів: основних - (Φ_n^U) , $n=\overline{1,N}$ і додаткових - (Φ_l^V) , $l=\overline{1,L}$, де N та L - чисельності відповідних факторів.

Позиційно-упорядкована сукупність факторів або, іншими словами, ситуація $(\Phi_{\tau}^U, \Phi_{\tau}^V)$ являє собою відому до моменту планування інформацію, що дає можливим зробити більш точний прогноз x_{τ}^{jk} . Із додаткових факторів використовуються порівняно добре досліджені на момент прогнозування календарні особливості планового періоду $(\bar{\Phi}_{\tau}^V)$ і погодні умови $(\overline{\bar{\Phi}}_{\tau}^V)$ (статистика при вивантаженні).

Вихідна ситуація перед застосуванням СЕМП: $(\Phi_{\tau}^U, \bar{\Phi}_{\tau}^V, \overline{\bar{\Phi}}_{\tau}^V)$.

Під прогнозом, який розраховується за допомогою СЕМП, розуміється досягнутий об'єктом стійкий рівень виконання тих чи інших показників у ситуації, яка склалася на плановий період $\tilde{X}_1^{z+1}, \tilde{X}_2^{z+1}, \dots, \tilde{X}_k^{z+1}$.

Позначимо всю їх сукупність (\tilde{X}_k^{z+1}) , причому величина $\tilde{X}^{z+1} = \sum_k \tilde{X}_k^{z+1}$ має фізичний зміст, тобто група прогнозованих показників однорідна. Наприклад, кількості відправлених зі станції поїздів та їх розподіл за звітними періодами. Методика передбачає три етапи розрахунків: підготовчий, оперативний та самонавчання.

На підготовчому етапі визначаємо перелік факторів, що впливають, для кожної розрахункової величини і складаємо алгоритми для їх розрахунку. Потрібно прагнути, щоб впливаючі фактори були взаємно незалежні. У цьому випадку порівняно просто оцінити вплив кожного з них на показник. Автономно вводяться експертні дані з вихідними значеннями.

Кількісні характеристики і відповідні їм значення прогнозованих показників складають кортеж досвіду. Чим точніше обраний кортеж, тим об'єктивніше буде отримане регулювальне завдання.

Кортежі за $T-1$ перед планових періодів утворюють масив досвіду

$$\left\{ \Phi_{\tau}^U, \bar{\Phi}_{\tau}^V, \bar{\bar{\Phi}}_{\tau}^V, x_{\tau}^{jk} \right\}, \quad \tau = 1, 2, \dots, T-1$$

В якості впливаючих використовуються тільки ті фактори, значення яких на плановий період можуть бути визначені. Однак на фактичне виконання прогнозованих показників можуть чинити сильний вплив і чисто випадкові величини, значення яких передбачити неможливо. До таких факторів, наприклад, належать стихійні лиха, надзвичайні події і т.д. Досвідні дані, що відносяться до умов, які різко відрізняються від звичайних, в розрахунках не використовуємо.

Методика передбачає можливість логічного контролю. Якщо, наприклад, різниця між прогнозом і фактичним виконанням перевищила заданий рівень, то кортежу досвіду автоматично присвоюється забороняюча ознака. Для розрахунку використовується відкоригований масив досвіду, який не містить різких, нехарактерних відхилень.

Передбачаються тільки лінійні форми зв'язку між впливаючими факторами і обчислюваними величинами. За рекомендаціями технолога визначаються частки впливу кожного фактора \bar{x}_i на показник. Коефіцієнти \bar{x}_i називаються довгостроковими нормативами. На підготовчому етапі бажано в масив досвіду вводити кортежі без впливу додаткових факторів.

Тоді прогноз
$$\tilde{X}^j = \sum_{i=1}^I \bar{x}_i \Phi_i^j.$$

На кожен \bar{x}_i накладаються технологічні обмеження: $x_i^{\min} \leq \bar{x}_i \leq x_i^{\max}$, де x_i^{\min} , x_i^{\max} – граничні значення, що задаються технологом.

Сукупність коефіцієнтів (\bar{x}_i) можна визначити кількома способами. У дослідженні реалізовано алгоритм пошуку довгострокових нормативів, виходячи з умови

$$\sum_{i=1}^z (X^j - \tilde{X}^j)^2 = \sum_{i=1}^z \left[X^j - \sum_{i=1}^I \bar{x}_i \Phi_i^j \right]^2 \rightarrow \min,$$

де X^j – звітне значення; \tilde{X}^j – прогнозоване значення.

Аналізуються всі незаборонені кортежі масиву досвіду. Знайдені таким способом коефіцієнти (\bar{x}_i) використовуємо при оцінці міри близькості різних ситуацій і в інших операціях.

На оперативному етапі для розрахунку кожного прогнозного показника з кортежів масиву досвіду вибираються кортежі з найбільш близькими ситуаціями до вихідної. Тут можна провести деяку аналогію з діяльністю людини, яка, приймаючи оперативне рішення, перебирає в пам'яті раніше прийняті рішення в ситуаціях, близьких до такої, що склалася.

У масиві досвіду Z може виявитися ситуація, яка за значенням факторів в точності збігається з ситуацією на перед плановий період. Однак з цього не випливає, що в якості прогнозу можна брати відповідне звітне значення. Це було б виправдано при детермінованій зв'язку між прогнозованими показниками і впливаючими факторами. Насправді, цей зв'язок має стохастичний характер.

Тому результати прогнозування будуть більш надійними, якщо використовувати не єдиний досвід, а кілька, близьких за ситуаціями [5,6].

Довгострокові нормативи використовуються для вибору з масиву досвіду найбільш близьких до перед планової ситуації. Критерій близькості j -го кортежу масиву досвіду задається у вигляді функції $K^j = \xi(\Phi_i^j, \bar{x}_i, \Phi_i^{z+1})$.

Функція ξ визначає спосіб відбору близьких ситуацій. Не можна стверджувати, що в масиві досвіду завжди є хоча б один кортеж j , у якого ситуація точно збігається з перед плановою, що склалася до початку розрахунку. Однак, серед кортежів знайдеться кілька вихідних ситуацій, які в певному сенсі більш близькі до перед планової, порівняно з іншими. Чим правильніше обраний критерій відбору близьких ситуацій, тим точнішим буде розрахунок.

Ситуація визначається вектором з координатами $(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_i)$. Для оцінки близькості ситуації j до $z+1$ будемо використовувати покоординатну оцінку.

Ситуацію j -го кортежу масиву Z будемо вважати близькою до ситуації $z+1$, якщо виконується умова:

$$K_{(z+1,j)} = K^j = |(\Phi_i^{z+1} - \Phi_i^j) | \leq \varepsilon_i$$

где ε_i – припустиме відхилення ($i=1, 2, \dots, I$).

Впливаючі фактори можуть бути нерівнозначними, що визначає нерівнозначність величин ε_i . Якщо в області, що задовольняє цій умові, не знайдеться достатньої кількості ситуацій ($M < M_{min}$), то припустиму різницю критеріїв збільшуємо з заданим кроком. Критерії мають евристичний характер, що відображено у назві методу.

В окремі періоди значення звітних показників істотно відрізняються від прогнозованих з-за впливу умов, які не враховуються моделлю, а також неточностей самого оперативного обліку.

СЕМП включає облік перехідних періодів при різкій зміні умов роботи.

У цих випадках у масиві досвіду ще немає кортежів досвіду роботи в змінених умовах. Модель може "навчитися" лише кількома кортежами досвіду останніх періодів ($p=1, 2, \dots, P$). Цю її інерційність можна певною мірою виправити коефіцієнтом тенденції.

Алгоритм розрахунку узагальненого коефіцієнта тенденції такий:

$$\gamma^p = \begin{cases} \frac{X^p}{\tilde{X}^p}, & \text{якщо } \frac{X^p}{\tilde{X}^p} \in [1 - \Delta, 1 + \Delta] \\ 1 + \Delta, & \text{якщо } \frac{X^p}{\tilde{X}^p} > 1 + \Delta \\ 1 - \Delta, & \text{якщо } \frac{X^p}{\tilde{X}^p} < 1 - \Delta \end{cases}$$

Розрахункове значення $\gamma^{z+1} = \sum \beta^p \gamma^p$, де X^p, \tilde{X}^p - відповідно звітне і прогнозоване значення показника за період P ; Δ – задана допустима похибка прогнозу; β^p – константа, що визначає вагу періоду P у списку останніх p розрахунків.

Значення P визначається шляхом аналізу результатів прогнозування при різних значеннях p . У більшості проведених експериментів найкраща

достовірність прогнозу досягалася при $P = 4$.

Середня похибка за період при тому чи іншому значенні ρ :

$$\bar{\Delta}_p = \frac{\sum_{i=1}^m |\tilde{X}^i - X^i|}{m\bar{X}_m},$$

де \bar{X}_m - середнє значення показника за P періодів; m - число дозволених кортежів масиву досвіду Z .

У СЕМП зберігається скориговане значення складової показника, що залежить тільки від основних факторів. Це дає можливість точніше визначити ступінь впливу додаткових факторів.

Етап самонавчання дозволяє коригувати розрахункові величини після отримання звітних даних. Розбіжність виникає з-за неточностей в оперативному обліку і диспетчерській інформації.

Спочатку знаходимо відхилення звітного значення показника від прогнозованого без урахування коефіцієнта тенденції: $\Delta^{z+1} = \tilde{X}^{z+1} - \tilde{X}^{z+1}$.

Якщо ця різниця перевищує задану технологом межу, то самонавчання переривається, і кортежу досвіду присвоюється забороняюча ознака. Надалі такі кортежі в прогнозуванні не беруть участь. Якщо відхилення не перевищує допуску, то розрахунок триває.

У загальному випадку в матриці, крім звітного значення, повинні формуватися стовпці скоригованого досвіду, куди по закінченні кожного періоду на місце прогнозованого значення показника \tilde{X}_i^{z+1} заносяться

$$X_i^{z+1} = \tilde{X}_i^{z+1} + \rho(X_i - \tilde{X}_i^{z+1}),$$

де X_i - звітне значення показника; ρ - коефіцієнт коригування, $\rho \in [0,1]$.

Це значення записується в $z+1$ -й кортеж масиву досвіду Z . Далі здійснюється зсув кортежів масиву досвіду на один крок. При цьому $z+1$ -й кортеж стає z -м, другий кортеж стає першим, а перший пересилається в архів. Кортеж $z+1$ звільняється для введення і формування нової перед планової ситуації. Таким чином, у масиві досвіду залишаються кортежі останніх z розрахунків.

Оптимальне значення коефіцієнта ρ пропонується розраховувати періодично. Спочатку визначається середнє відхилення звітних показників від прогнозованих за P останніх періодів:

$$\Delta_1 = \sum_{j=z-p}^z \frac{\tilde{X}_i^j - X_i^j}{P}$$

Якщо $\Delta_1 > \Delta$, то довгострокові нормативи перераховують. Коригують нормативи \tilde{x}_i на підставі останніх z кортежів досвіду. Значення ρ відшукується покроковим перебором.

Висновки. Оперативне планування експлуатаційної роботи надає змогу визначення майбутніх обсягів роботи і можливих труднощів виробничих процесів для встановлення найкращих способів і послідовності виконання директив. Враховуючи, що відхилення щодобових показників, наприклад, для дороги в цілому,

від місячних технічних норм досягають десятків, а по станціях в окремі дні – декількох сотень відсотків, збалансований календарний план є запорукою якісної реалізації пропускнуої і перероблювальної спроможностей станцій.

Побудований з застосуванням СЕМП програмний проект покладений в основу автоматизованої системи оперативного планування вантаження-вивантаження, яка експлуатується в відділі планування перевезень й організації вантажної роботи служби перевезень регіональної філії "Південна залізниця".

Список використаних джерел

1. Меркулов В.С. Метод гілок і меж в календарному плануванні вантажно-вивантажувальних робіт. [Текст] / В.С. Меркулов, І.Г.Бізюк // Збірник наукових праць УкрДУЗТ, випуск 157, X., 2015.- С.140-142.
2. Самсонкін В.М. Ситуаційно-евристичний підхід до календарного планування вантажно-розвантажувальних робіт в регіоні залізниці [Текст] /В.М.Самсонкін, В.С. Меркулов –Залізничний транспорт України № 4, 2007. – С.8-10.
3. Тулупов, Л.П. Управление и информационные технологии на железнодорожном транспорте: Учебник для вузов ж.-д. транспорта [Текст] / Л.П.Тулупов, Э.К.Лецкий., Шапкин И.Н., Самохвалов А.И.// М. Маршрут.- 2005. - 467с.
4. Giannetti C, Risk based uncertainty quantification to improve robustness of manufacturing operations [text] / C.Giannetti, R.Ransing // Computers&Industrial Engineering: - Vol.101, - 2016,- Pag.70-80
5. Najaf, P., & Famili, S. (2013). Application of an Intelligent Fuzzy Regression Algorithm in Road Freight Transportation Modelling [Text] / P. Najaf, S. Famili // Promet – Traffic&Transportation, 2013. – № 25 (4). – P. 311-322.

Меркулов Віктор Сергійович, доцент кафедри обчислювальної техніки та систем управління Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків, Україна, twins54@yandex.ru, Тел.: (057) 730-10-40. E-mail: twins195461@gmail.com

Бізюк Ірина Григорівна, старший викладач кафедри обчислювальної техніки та систем управління Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків, Україна, Тел.: (057) 730-10-40. E-mail: igbiziuk@gmail.com

Merkulov Viktor Sergeyeovich, Associate Professor at computer and control systems Department of Ukrainian State Academy of Railway Transport, Tel.: (057) 730-10-40. E-mail: twins195461@gmail.com

Biziuk Iryna Grygoriyevna, Senior Lecturer at computer and control systems department of Ukrainian State Academy of Railway Transport, Tel.: (057) 730-10-40. E-mail: igbiziuk@gmail.com