11. .**Щёкин А. А.** //Исследование углеродных наноструктур комбинированным методом атомно-силовой микроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния / Автореферат / Зеленоград. – Москва, 2011. − С. 18.

**УДК 69.06:658.012.2**

# ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МЕХАНІЗМІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕОРІЇ ІГОР

*С. Ф. Курта, асп.*
*Запорізька державна інженерна академія*

***Ключові слова:*** *теорія ігор, техніко-економічна модель, висотні виробничі будівлі, вартість гри, сідлова точка*

**Актуальність теми.** Необхідність проведення кількісного аналізу фінансово-економічних ситуацій та прийняття на їх основі управлінських рішень і зумовила використання спеціальних економіко-математичних методів обґрунтування рішень в умовах ринкової невизначеності. Часто у будівельному виробництві з’являється потреба у вирішенні питань з конфліктними ситуаціями за допомогою методів, що дозволяють знаходити кількісні характеристики економічних процесів і мають переваги в обґрунтуванні рішень порівняно з іншими методами.

**Постановка проблеми**. При проектуванні виконання робіт із зведення висотних виробничих будівель в різних граничних умовах діючого виробництва число можливих варіантів вибору провідних механізмів для монтажу конструкцій зазвичай невелике. Це зумовлено тим фактором, що в складних умовах діючого виробництва вкрай складно підібрати стоянки крана (комплектів крана) і тим самим підбір кранів виконується «під місце» із забезпеченням технічних вимог монтажу. Така ситуація не дозволяє істотно збільшити коло розглянутих вантажопідйомних механізмів для забезпечення економічно доцільного їх використання при монтажі будівельних конструкцій. Проте навіть у таких жорстких граничних умовах вибір комплекту засобів механізації вкрай важливий.

**Аналіз публікацій.** Для вирішення вказаних проблем пропонується використання теорії ігор – розділу прикладної математики, який використовується в соціальних науках − економіці, біології, політичних, комп’ютерних науках (головним чином для штучного інтелекту) і філософії. Вперше математичні аспекти теорії були викладенні в класичній книзі 1944 року Джона фон Неймана та Оскара Моргенштерна «Теорія ігор та економічна поведінка». Наведені у вітчизняній [1; 2] та іноземній [3 – 5] літературі методи та моделі визначення оптимальних рішень в умовах конфліктів розглядають умови застосування теорії ігор в основному в економічній галузі та маркетингу. Застосування теорії конфліктних ситуацій при визначенні оптимальних методів організації та технології будівництва висвітлене вкрай обмежено.

**Виділення не вирішених раніше питань.** Запропоновані раніше методи [6; 7] вибору оптимальних складів механізмів для будівництва багатоповерхових споруд застосовувались на підборі технічних даних механізмів та порівнянні їх цінових характеристик між собою. Питання розподілу машино-годин та їх вартості між підібраними (за технічними характеристиками) механізмами в обсязі затвердженої Замовником кошторисної документації не розглядалось.

**Формулювання цілей.** Розробити ефективну модель визначення оптимальних комплектів вантажопідйомних механізмів в обсязі техніко-економічних умов, затверджених Замовником.

**Основний матеріал дослідження**. Розділ математики, що вивчає конфліктні ситуації на основі їх математичних моделей, називається *теорією ігор.* Таким чином, теорія ігор – це математична модель конфліктних ситуацій, що розробляє рекомендації з найбільш раціональним способом дій кожного з учасників гри. Тобто таких дій, які мають забезпечувати їм найкращий результат. Ігрову схему можна надати багатьом ситуаціям у будівельному виробництві. Розглянемо матричну гру з оптимальними змішаними стратегіями. Головним у розгляді ігор є поняття оптимальних стратегій гравців. У цьому понятті вкладено такий зміст: стратегія гравця є оптимальною, якщо застосування цієї стратегії забезпечить йому найбільший гарантований виграш при різних стратегіях іншого гравця. Виходячи з цих позицій, перший гравець розглядає матрицю А своїх виграшів

$$A=\begin{pmatrix} a11.........a1j..........a1n \\ .................................. \\ ai1..........aii...........ain \\ ................................... \\ am1.........ami..........amn \end{pmatrix} \quad (1)$$

таким чином: для кожного значення $i$ ($i$ = 1, 2,…., $m$) визначається мінімальне значення виграшу залежно від прийнятих стратегій другого гравця

$$\min\ aij\ \ (i=1,2,,,,,,,m), \quad (2)$$

так що визначається мінімальний виграш для першого гравця за умов, що він застосує свою $i$-ту чисту стратегію, далі з мінімальних виграшів знаходимо таку стратегію, при котрій цей мінімальний виграш буде максимальним, тобто знаходимо

$$\max \min aij = \alpha\ . \quad (3)$$

Число $\alpha$, визначене за формулою (3), має назву *нижня вартість гри* та показує, який мінімальний виграш може гарантувати собі перший гравець, застосовуючи свої чисті стратегії за різноманітних дій другого гравця.

Другий гравець при оптимальній своїй поведінці має прагнути завдяки своїм стратегіям максимально зменшити виграш першого гравця. З цієї причини для другого гравця знаходиться

$$\max aij. \quad (4)$$

Таким чином, визначається максимальний виграш першого гравця, за умови, що другий гравець застосує свою $i$-ту чисту стратегію, після цього другий гравець відшукує таку свою стратегію, при якій перший гравець отримає мінімальний виграш, таким чином знаходять

$$\min \max aij = \beta. \quad (5)$$

Число $\beta$, визначене за формулою (5), називається *чистою верхньою вартістю гри* та вказує, який максимальний виграш може собі гарантувати перший гравець. Іншими словами, застосовуючи свої чисті стратегії, перший гравець зможе забезпечити собі виграш не менше $\alpha$, а другий гравець завдяки своїм чистим стратегіям зможе не допустити виграшу першого гравця більше ніж $\beta$.

Якщо у грі з матрицею А нижня та верхня чисті ціни гри збігаються, $\alpha = \beta$ , то кажуть, що ця гра має сідлову точку в чистих стратегіях та чисту вартість гри :

$$\nu = \alpha = \beta.$$

Сідлова точка – це пара чистих стратегій відповідно першого та другого гравця, при яких досягається рівняння $\alpha = \beta$ . Пара чистих стратегій першого та другого гравців, які утворюють сідлову точку та сідловий елемент, називається рішенням гри.

Якщо гра не має сідлової точки, то застосування чистих стратегій не дає оптимального рішення гри. У цьому випадку визначається змішана стратегія. Для розв'язання задач зі змішаними стратегіями застосуємо метод розв'язання матричної гри за допомогою лінійного програмування. Цей метод припускає, що ціна гри позитивна. Ця умова не порушує спільності, тому що згідно з теоремою 2,9 [1] завжди можливо підібрати таке число $c$, додавання якого до всіх елементів матриці виграшів дає матрицю з позитивними елементами, а також із позитивним значенням вартості гри. При цьому оптимальні змішані стратегії обох гравців не зміняться.

Розглянемо матричну гру з матрицею А = ($aij$) порядку $m$ × $n$. Згідно з результатами з теореми 2,4 [1] оптимальні змішанні стратегії $x = (x1...xi.....xm), y = (y1....yi.....yn)$ відповідно першого та другого гравців та вартості гри $\nu$ повинні задовольняти відношенням :

$$\sum_{i=1}^{m} xi = 1\,,\ xi \ge 0\ \ (i=1,\,2,......,\,m) \quad \sum_{i=1}^{m} aijxi \ge \nu \quad (j=1,\,2,.....,\,n) \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{n} yj = 1\,,\ yj \ge 0\ \ (j=1,\,2,.......,\,n) \quad \sum_{j=1}^{n} aijyj \le \nu\ , \quad (i=1,\,2,.....,\,m) \quad (7)$$

Виконаємо ділення усіх зрівнянь та нерівностей (6), (7) на $\nu$ (це можливо зробити, тому що ми зробили припущення, що $\nu \succ 0$ ), та введемо позначення:

$$\frac{xi}{v} = pi \quad (i = 1,2,...,m), \qquad \frac{yj}{v} qj \quad (j = 1,2,....n),$$

Отримаємо відповідні відношення (6), (7) у такому вигляді:

$$\sum_{i=1}^{m} pi = \frac{1}{v}, \ \sum_{i=1}^{m} aijpi \geq 1, \ pi \geq 0 \ \ (i = 1,2,....,m);$$

$$\sum_{j=1}^{n} qj = \frac{1}{v}, \ \sum_{j=1}^{n} aijqj \leq 1, \ qj \geq 0 \ \ (j = 1,2,....,m).$$

Оскільки перший гравець намагається знайти такі значення $xi$ та відповідно $pi$, щоб вартість гри $v$ була максимальна, тоді розв’язання першої задачі зводиться до пошуку таких значень $pi$, при яких

$$\sum_{i=1}^{m} pi \to \min, \ \sum_{i=1}^{m} aijpi \geq 1. \tag{8}$$

Другий гравець намагається знайти такі значення $yi$ та відповідно $qj$, щоб вартість гри $v$ була найменшою. Тоді розв’язання другої задачі зводиться до пошуку таких значень $qj$, при яких

$$\sum_{j=1}^{n} qj \to \max, \ \sum_{j=1}^{n} aijqi \leq 1. \tag{9}$$

У результаті перетворень ми отримали двоякі одна одній задачі лінійного програмування. Для розв’язання задач такого типу найкраще застосувати симплекс-метод. Знайшовши розв’язок таких задач, отримаємо значення $pi(i = 1,2,.....,m)$, $qj(j = 1,2,...,n)$ та $v$. Тоді змішанні стратегії, тобто $xi$ та $yj$, знаходять за формулою:

$$xi = vpi \quad (i = 1,\ 2,....\ m); \tag{10}$$

$$yj = vqj \quad (j = 1,\ 2,....\ n). \tag{11}$$

Дана інформація наведена для розуміння процесів, яких потребує задача.

Розглянемо приклад задачі вибору оптимального складу вантажопідйомних механізмів. Згідно з кошторисною документацією для монтажу металоконструкцій промислової споруди загальна вартість машино-годин вантажопідйомних механізмів прийнята в обсязі 251 243 грн. Кошторисна кількість машино-годин 701. Проектом виконання робіт розглянуті варіанти монтажу металоконструкцій трьома видами кранів (рис. 1, 2). Необхідно визначити оптимальний комплект кранів в обсязі затверджених Замовником техніко-економічних умов.

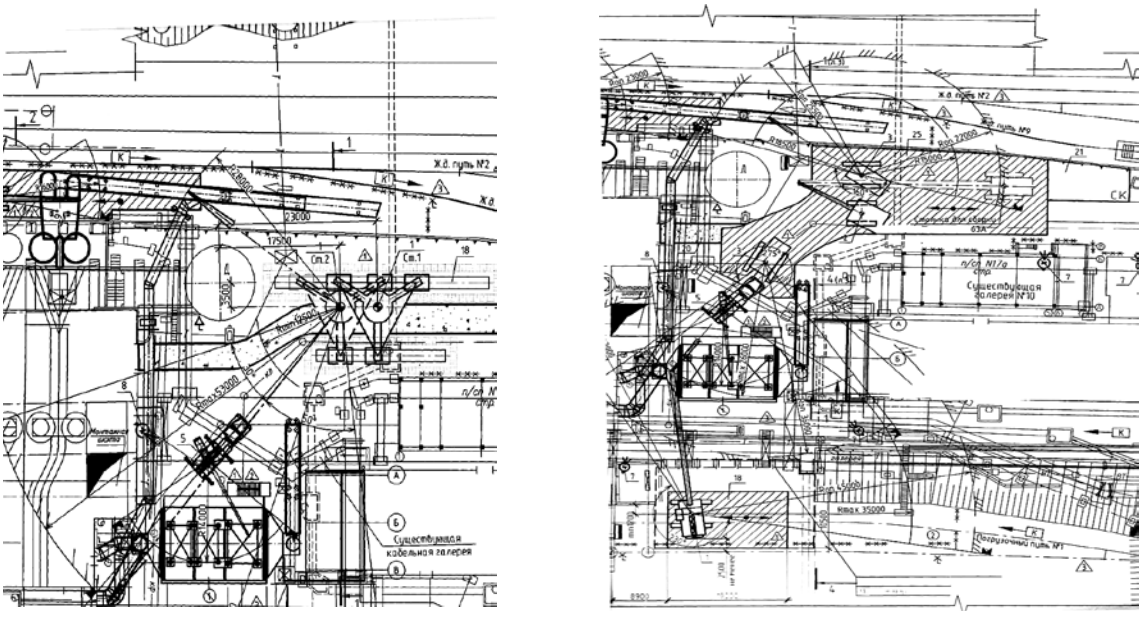

*Рис. 1 – 2. Варіанти монтажу металоконструкцій*

За відомими технічними даними знаходимо показники витрат машино-годин праці вантажопідйомних механізмів на 1 тонну монтажу різних металевих конструкцій споруди, що розглядаються. Визначенні дані зводимо у таблицю.

*Таблиця 1*

| Марка крана | Види робіт | | | | | | Min рядків |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Колони до відм. +11.00 | Колони вище відм. +11.00 | Балки, зв'язки до відм. +11.00 | Балки, зв'язки вище відм. +11.00 | Площадки, огорожа до відм. +11.00 | Площадки, огорожа вище відм. +11.00 | |
| КТА 28 | 1,3 | 0 | 3,17 | 0 | 2,42 | 0 | 0 |
| СКГ 63/100 | 2,6 | 2,8 | 2,05 | 2,1 | 2,8 | 2,9 | 2,05 |
| БК 1000 | 3,04 | 3,1 | 2,54 | 2,7 | 8,43 | 8,6 | 2,54 |
| max стовпців | 3,04 | 3,1 | 3,17 | 2,7 | 8,43 | 8,6 | |

Визначаємо нижню та верхня вартість гри. Нижня вартість гри $v1 = \max\min(aij) = 2{,}54$; верхня вартість гри $v2 = \min\max(aij) = 2{,}7$ .

У зв'язку з тим, що $v1 \neq v2,$ гра не має розв'язання в області чистих стратегій. На практиці це означає, що недоцільно використовувати підйомні механізми однієї марки.

Визначимо оптимальну змішану стратегію, яку слід використовувати для визначення оптимального комплекту кранів.

Складемо систему нерівностей:

Для прямої задачі:

$1.3\,x\,1 + 2.6\,x\,2 + 3.04\,x\,3 \geq 1$

$0\,x\,1 + 2.8\,x\,2 + 3.1\,x\,3 \geq 1$

$3.17\,x\,1 + 2.05\,x\,2 + 2.54\,x\,3 \geq 1$

$0\,x\,1 + 2.1\,x\,2 + 2.8\,x\,3 \geq 1$

$2.42\,x\,1 + 2.8\,x\,2 + 8.43\,x\,3 \geq 1$

$0\,x\,1 + 2.9\,x\,2 + 8.6\,x\,3 \geq 1$

$Z(x) = x1 + x2 + x3 \rightarrow \min$

Для двоїстої задачі:

$1.3\,y\,1 + 0\,y\,2 + 3.17\,y\,3 + 0\,y\,4 + 2.42\,y\,5 + 0\,y\,6 \leq 1$

$2.6\,y\,1 + 2.8\,y\,2 + 2.05\,y\,3 + 2.1\,y\,4 + 2.8\,y\,5 + 2.9\,y\,6 \leq 1$

$3.04\,y\,1 + 3.1\,y\,2 + 2.54\,y\,3 + 2.7\,y\,4 + 8.43\,y\,5 + 8.6\,y\,6 \leq 1$

$L(y) = y1 + y2 + y3 + y4 + y5 \rightarrow \max$

Для розв'язання прямої та двоїстої задачі використаємо алгоритм симплекс-методу. Викладемо початкову та кінцеві ітерації для кожної із задач.

Для прямої задачі:

*Таблиця 2*

*Перша ітерація*

| Крок 0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Базис | БП | $x1$ | $x2$ | $x3$ | $x4$ | $x5$ | $x6$ | $x7$ | $x8$ | $x9$ | $z1$ | $z2$ | $z3$ | $z4$ | $z5$ | $z6$ |
| $z1$ | 1 | 13 / 10 | 13 / 5 | 76 / 25 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $z2$ | 1 | 0 | 14 / 5 | 31 / 10 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $z3$ | 1 | 317 / 100 | 41 / 20 | 127 / 50 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| $z4$ | 1 | 0 | 21 / 10 | 27 / 10 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| $z5$ | 1 | 121 / 50 | 14 / 5 | 843 / 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| $z6$ | 1 | 0 | 29 / 10 | 43 / 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ИС | -6M | -689 / 100M + 1 | -61 / 4M + 1 | -2841 / 100M + 1 | M | M | M | M | M | M | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

*Т а б л и ц я 3*

*Кінцева ітерація*

| Крок 8 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Базис | БП | $x1$ | $x2$ | $x3$ | $x4$ | $x5$ | $x6$ |
| $x8$ | 185513 / 85590 | 0 | 1087991 / 285300 | 0 | 0 | 0 | -242 / 317 |
| $x9$ | 59 / 27 | 0 | 341 / 90 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $x4$ | 2143 / 14265 | 0 | -9749 / 47550 | 0 | 1 | 0 | -130 / 317 |
| $x5$ | 4 / 27 | 0 | -7 / 18 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| $x1$ | 160 / 8559 | 1 | 67 / 2853 | 0 | 0 | 0 | -100 / 317 |
| $x3$ | 10 / 27 | 0 | 7 / 9 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| ИС | -370 / 951 | 0 | 63 / 317 | 0 | 0 | 0 | 100 / 317 |

*П р о д о в ж е н н я т а б л и ц і 3*

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $x7$ | $x8$ | $x9$ | $z1$ | $z2$ | $z3$ | $z4$ | $z5$ | $z6$ |
| -205763 / 85590 | 1 | 0 | 0 | 0 | 242 / 317 | 205763 / 85590 | -1 | 0 |
| -86 / 27 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 86 / 27 | 0 | -1 |
| -10558 / 14265 | 0 | 0 | -1 | 0 | 130 / 317 | 10558 / 14265 | 0 | 0 |
| -31 / 27 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 31 / 27 | 0 | 0 |
| 2540 / 8559 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 / 317 | -2540 / 8559 | 0 | 0 |
| -10 / 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 / 27 | 0 | 0 |
| 70 / 951 | 0 | 0 | M | M | M-100 / 317 | M-70 / 951 | M | M |

$x1 = 0.019 \quad x2 = 0 \quad x3 = 0.37$

$Z(x) = 0.019 + 0 + 0.37 = 0.389$

Для двоїстої задачі:

*Т а б л и ц я 4*

*Перша ітерація*

| Крок 0 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Базис | БП | $y1$ | $y2$ | $y3$ | $y4$ | $y5$ | $y6$ | $y7$ | $y8$ | $y9$ |
| $y7$ | 1 | 13 / 10 | 0 | 317 / 100 | 0 | 121 / 50 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| $y8$ | 1 | 13 / 5 | 14 / 5 | 41 / 20 | 21 / 10 | 14 / 5 | 29 / 10 | 0 | 1 | 0 |
| $y9$ | 1 | 76 / 25 | 31 / 10 | 127 / 50 | 27 / 10 | 843 / 100 | 43 / 5 | 0 | 0 | 1 |
| ИС | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 |

*Т а б л и ц я 5*

*Кінцева ітерація*

| Шаг 3 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Базис | БП | $y1$ | $y2$ | $y3$ | $y4$ | $y5$ | $y6$ | $y7$ | $y8$ | $y9$ |
| $y3$ | 100 / 317 | 130 / 317 | 0 | 1 | 0 | 242 / 317 | 0 | 100 / 317 | 0 | 0 |
| $y8$ | 63 / 317 | 9749 / 47550 | 7 / 18 | 0 | 0 | -1087991 / 285300 | -341 / 90 | -67 / 2853 | 1 | -7 / 9 |
| $y4$ | 70 / 951 | 10558 / 14265 | 31 / 27 | 0 | 1 | 205763 / 85590 | 86 / 27 | -2540 / 8559 | 0 | 10 / 27 |
| ИС | 370 / 951 | 2143 / 14265 | 4 / 27 | 0 | 0 | 185513 / 85590 | 59 / 27 | 160 / 8559 | 0 | 10 / 27 |

$y1 = 0 \quad y2 = 0 \quad y3 = 0.315 \quad y4 = 0.074 \quad y5 = 0$

$L(y) = 0 + 0 + 0.315 + 0.074 + 0 = 0389$

Вартість гри $\nu = \dfrac{1}{y1 + y2 + y3 + y4 + y5} = \dfrac{1}{0.389} = 2.571$

Частота використання стратегії КТА-28

$P1 = x1 * \nu = 0.019 * 2.571 = 0.049$

Частота використання стратегії СКГ- 63/100

$P2 = x2 * \nu = 0 * 2.571 = 0$

Частота використання стратегії БК-1000

$P3 = x3 * \nu = 0.37 * 2.571 = 0.951$

Визначимо оптимальний склад вантажопідйомних механізмів. БК-1000 – провідний, КТА-28 – допоміжний. Розподіл між ними затверджених економічних та технологічних показників такий:

БК1000 = 251 243*0,951 = 239 652 грн; 701* 0,951 = 666,65 маш.-год.

КТА28= 251 243*0,049 = 11 591 грн; 701* 0,049 = 32,246 маш.-год.

**Висновок.** Таким чином, розглянута у статті методика визначення оптимального техніко-економічного складу вантажопідйомних механізмів дозволяє будівельним підприємствам із великою часткою упевненості виконувати планування своєї господарської діяльності. Запропонована методика також може бути використана службою Замовника при виконанні аналізу проектної документації об'єкта будівництва щодо можливості внесення змін із метою зменшення вартості будівництва.

## ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. **Крушевский А. В.** Теория игр / А. В. Крушевский. – К. : Вища школа, 1977. – 216 с.
2. **Кутковский В. Я.** Дослідження операцій : навч. посіб. / В. Я. Кутковский. – Миколаїв : Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2003. – 260 с.
3. **Асаул А. Н.** Управление затратами в строительстве / А. Н. Асаул, Е. Г. Никольская. – СПб; СПбГАСУ; М. : Издательство АСВ. – 2007. – 299 с.
4. **Горностаева Ж. В.** Теория игр как один из методов разработки оптимальной стратегии развития предприятия строительного комплекса / Ж. В. Горностаева, А. С. Якубенко. – Россия: Южно-Рос. гос. ун-т экономики и сервиса.
5. **Оуэн Г.** Теория игр / Г. Оуэн. – М. : Мир, 1971. – 230 с.
6. **Ушацький С. А., Шейко Ю. П.** Організація будівництва / С. А. Ушацький, Ю. П. Шейко. – К. : Кондор, 2007. – 521 с.
7. **Лубенец Г. К.** Подготовка производства и оперативное управление строительством / Г. К. Лубенец. – К. : Будівельник, 1976.– 731 с.

**УДК 629.4:629.12**

# РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ЕМКОСТЕЙ ХРАНЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЯХ

*А. С. Чаплыгин, соиск.*

***Ключевые слова:*** *экстремальная ситуация, разгерметизация, пневматическая подушка, метод конечных элементов*

**Введение.** Как следует из статистических данных, значительная часть экстремальных ситуаций возникает по причине нарушения герметизации специального технологического оборудования, такого как: емкости, трубопроводы, компрессорные установки и т. п. в результате их повреждений или вследствие износа. Опасность здесь заключается в том, что в указанном оборудовании хранения или транспортировки различных жидкостей, которые при своей материальной ценности очень часто являются весьма токсичными продуктами, пожаро- и взрывоопасными. Например, аммиак, хлор, нефть и нефтепродукты и др.

Безопасность и эффективность ведения специальных аварийно-восстановительных работ при разгерметизации трубопроводов и емкостей транспортировки и хранения агрессивных сред в жидком состоянии, в том числе пожаро- и взрывоопасных материалов в жидком состоянии, во многом зависит от выполняемых спецподразделениями операций с использованием тех или иных технических средств. К числу наиболее распространенных и часто применяемых на ранних стадиях возникновения и развития подобных экстремальных ситуаций следует отнести технические средства малой механизации. К их числу относятся бандажи и пневмопластыри