

Іванейко І.Д., Іванейко М.М.

Національний університет «Львівська політехніка»

(вул. Карпінського, 6, Львів, 79013, Україна; e-mail: idinew@ua.fm, mykhajlo666@gmail.com,
orcid.org/0000-0002-8873-6930, orcid.org/0000-0002-5390-0446)

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СКОРОЧЕННЯ ТЕРМІНУ БУДІВНИЦТВА З ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСНО-МЕХАНІЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

У статті запропоновано принципи зменшення терміну будівництва з використанням комплексних механізованих технологічних процесів (КМТП) завдяки збалансуванню часу на залежних захватках і процесах. Для процесів використовують спеціальні та універсальні машини (УМ).

Для визначення ефективності прийнятих варіантів збалансування процесів надано математичні критерії. Розроблено матриці в координатах «вид роботи- ранг» з пріоритетом по ресурсу (ОВРР) для збалансування строків виконання робіт послідовно-паралельними способами на «залежних» захватках. Надані математичні формули визначають змінні параметри на суміжних залежних процесах. Розрахунок тривалості будівництва та часу критичного шляху виконується у матриці в координатах «захватки-види робіт» (ОВР).

Для аналізу розроблено 11 варіантів збалансування термінів виконання робіт. У них час критичного шляху зменшується до 13 ... 19,5 %, а термін зведення будівлі - до 26 ... 31,5 % порівняно з базовим.

Ключові слова: поточне будівництво, комплексно-механізована бригада, матричний спосіб розрахунку, оптимізація потоків, метод критичного шляху.

Вступ. Досягти впровадження збалансованих комплексно-механізованих технологічних процесів (КМТП) та отримати енергозбереження від зведення будівлі можливо за рахунок пошуку ефективних варіантів конструктивно-організаційно-технологічного рішень (КОТР) у даних умовах виконання робіт [3-7, 12] Аналіз КМТП показав, що сьогодні не повною мірою вирішені питання широкого впровадження комплексних бригад, універсальних та технологічних транспортних машин (ТТМ) у виробництво [7, 15, 17, 18]. Тому необхідно дослідити вплив організаційно-технологічних можливостей комплексного процесу на затрати ресурсів для зведення будівлі.

Під час вирішення системотехнічних задач та прийняття ефективної технології зведення будівлі не завжди вирішуються питання на стиках рішень проектування конструктивних елементів, порядку зведення їх на об'єкті та технологічних можливостей машин. У поданій статті розглядається вирішення питання скорочення терміну будівництва для постійного трудового ресурсу у комплексно-механізованому технологічному процесі із застосуванням універсальних машин (УМ) [17, 18].

Для заданої кількості процесів досягти скорочення терміну будівництва без простою ресурсу дають змогу ритмічні процеси [1, 2, 14, 20, 21]. Досягнути збалансування термінів виконання процесів спеціальними машинами можливо завдяки зміні інтенсивності. Виконані дослідження [2] показали, що зменшувати інтенсивність для перетворення неритмічних потоків у ритмічний не є доцільним з економічного погляду. Основними причинами є зниження продуктивності праці виконання процесів за рахунок застосування менших типорозмірів машин та зменшення об'ємів робіт на паралельних роботах. [7, 10, 11, 13, 16] Застосування за цих обсягів більш продуктивної машини потребує зміни конструктивного рішення і дослідження зростання додаткових витрат [6].

Аналізи зміни трудомісткості та часу виконання робіт виконувались для нового будівництва та надбудов житлових і громадських будівель. Виконання робіт відбувалось рекомендованим складом ланки відповідно до норм. Аналіз зміни параметрів на початковому етапі не дозволяє потоково виконувати зведення будівлі. Для раціонального потокового суміщення різних видів процесів у часі, як показали дослідження [17, 18], необхідне збільшення обсягів мало-об'ємних робіт

та зменшення періодів розгортання наступної роботи [17,18].

Дослідження зменшення періоду розгортання двох неритмічних потоків наведено в [18]. Збалансування цих робіт на захватках досягається послідовно-паралельним методом з використанням комплексно-механізованого технологічного процесу. Машина (спеціальні, УМ і ТТМ) під час виконання двох процесів перерозподіляють між собою обсяги робіт на двох «залежних» захватках. Застосування цього методу для двох розбалансованих процесів дало змогу зменшити величину найменшого періоду розгортання потоку до тривалості виконання першої роботи на першій захватці. Скорочення тривалості будівництва поточковими методами в деяких випадках може збільшувати час критичного шляху (Critical Path Method) [18]. Тому у методиці зменшення тривалості будівництва КМТП для збалансування часу виконання робіт варто включити всі технологічно сумісні процеси, з використанням методики критичного шляху(МКШ).

Тому була запропонована гіпотеза: на всіх процесах зведення будівлі та на технологічно сумісних «залежних» захватках потрібно досягати рівності термінів виконання робіт за рахунок додаткового впровадження послідовного і послідовно-паралельного способів їхнього виконання,

для скорочення терміну будівництва, із застосуванням комплексно-механізованих технологічних процесів.

Мета роботи. Для заданого ресурсу на об'єкті, з використанням комплексно-механізованих технологічних процесів досягти теоретичного збалансування їхнього виконання у часі шляхом об'єднання та перерозподілу обсягів робіт послідовним та послідовно-паралельним методами без зменшення загальної продуктивності праці.

Матеріали і методи дослідження. Збалансування часу виконання КМТП на зведенні будівлі та захватках досягається послідовним об'єднанням (із неперервним освоєнням фронту робіт) та паралельним перерозподілом (визначення середньої тривалості на залежних захватках) обсягів і тривалості виконання робіт. Розрахунок зведення будівлі виконується методами критичного шляху та поточковим із неперервним використанням ресурсу. Для суміжних робіт треба визначити кількість технологічно «залежних» захваток, засоби механізації, склад ланки, послідовність виконання та тривалість збалансованих процесів. У разі збалансування процесів послідовним способом їхні значення визначаються в матриці ОВР [18] (табл. 1), а послідовно-паралельним – ОВРР (табл. 2) [2].

Таблиця 1 – Розрахункова матриця тривалості і термін будівництва

| ОВР | | Фронти і тривалість виконання процесів | | | | | Варіант* | | | |
|----------|-----|--|-----|----------|-----|----------|--------------|----------------|-----------|---------------|
| | | | | | | | Варіант k | | | |
| | | 1 | ... | j | ... | m | N_{ik} | T_k^p | $T_{чпk}$ | $T_k^п/T_k^p$ |
| Процесів | А | t_{11} | ... | t_{1j} | ... | t_{1m} | N_1 | T_{2k}^p | $T_{чп1}$ | $T_k^п/T_k^p$ |
| | Б | t_{21} | ... | t_{2j} | ... | t_{2m} | N_2 | | $T_{чп2}$ | $T_k^п/T_k^p$ |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | | | | |
| | i | t_{i1} | ... | t_{ij} | ... | t_{im} | N_i | T_{ik}^p | $T_{чпi}$ | $T_k^п/T_k^p$ |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | | | | |
| | n | t_{n1} | ... | t_{nj} | ... | t_{nm} | N_m | T_{nk}^p | $T_{чпn}$ | $T_k^п/T_k^p$ |
| | | | | | | | $\sum T_k^p$ | $\sum T_{чпk}$ | | |

* N_i - кількість робітників на процесі; T_{ik}^p - період розгортання процесу; $T_{чпi}$ - сумарні затрати часу на процесі; $T_k^п$ - термін початку процесу; T_k^p - термін завершення процесу.

Таблиця 2 – Матриця для визначення тривалості паралельних робіт

| ОВРР | | Ранги та тривалість виконання процесів | | | | | | | | | | |
|---------|-----|--|----------|-----------|-----|----------|-----|-----|----------|----------|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | ... | p | ... | ... | s | ... | ... | q |
| Процеси | А | t_{11} | ... | $t_{1,3}$ | ... | t_{1p} | ... | ... | 0 | ... | ... | 0 |
| | Б | 0 | t_{22} | t_{23} | ... | t_{2p} | ... | ... | 0 | ... | ... | 0 |
| | В | 0 | 0 | t_{33} | ... | t_{3p} | ... | ... | 0 | ... | ... | 0 |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 0 |
| | i | 0 | 0 | 0 | 0 | t_{ip} | ... | ... | t_{is} | ... | ... | 0 |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 0 |
| | m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | t_{ms} | ... | ... |

Матриці ОВР розміру $m \times n$ і ОВРР - $m \times p$ зі значенням рангу:

$$p = n + m - 1,$$

де m - кількість процесів; n - кількість захваток; p - кількість рангів.

Мета задачі розробити модель збалансовану за критеріями:

- відхилення термінів виконання процесів: $\frac{\sum_{j=1}^n t_{ij}}{T_{min}} \approx 1$;
- відхилення часу виконання робіт на «залежних» захватках: $\frac{t_{ip}}{t_{mid p}} \approx 1$,

де t_{ij} - час виконання i -ого процесу на j -ій захватці; $1 \dots i \dots m$ - кількість процесів на будівництві; $1 \dots j \dots n$ - кількість захваток на будівництві; t_{ip} - час виконання i -ого процесу на p -му ранзі; $1 \dots p \dots q$ - кількість рангів на будівництві; T_{min} - найменше значення процесу на будівництві за умови, що їх період розгортання потоку більший від першої тривалості попереднього процесу; $t_{mid p}$ - середнє значення об'єднаних процесів.

У разі послідовного об'єднання сукупності робіт час виконання КМТП на захватці визначається як:

$$s_j = t_{ij} = \sum_{i=i}^{i+r} t_{ij},$$

де t_{ij} - час виконання i -ої роботи на j -ій захватці до i після об'єднання робіт; s_j - сумарний час виконання робіт на j -ій захватці; r - кількість об'єднаних робіт на j -ій захватці.

Після об'єднання робіт на будівлі визначається розмір матриці:

$$m = m - \sum_{k=1}^d r_k,$$

де r_k - кількість об'єднаних робіт на k -му етапі; m - кількість робіт до i після їхнього укрупнення на будівлі; $1 \dots k \dots d$ - кількість етапів об'єднання на будівлі.

Паралельний перерозподіл часу на захватках виконують у матриці ОВРР. Для включення значень з матриці ОВР в матрицю ОВРР визначаються:

- ранги p -ого процесу: $p = j + i - 1$;
- тривалість на захватці: $t_{ip} = t_{ij}$;
- сумарний час об'єднаних процесів на ранзі: $s_p = \sum_{i=i}^{i+f} t_{ip}$,

де s_p - сумарний час виконання робіт на p -му ранзі; f - кількість робіт, які виконуються паралельно.

Ранги виконання робіт: початковий - $p_1 = i$; кінцевий - $p_2 = i + n + f - 2$; поточний - $p = i + s$. Загальна кількість рангів на яких розраховуються нові терміни виконання робіт, дорівнює:

$$P = p_2 - p_1.$$

Для визначення нової тривалості виконання робіт сумарна тривалість ділиться на кількість робіт, які виконуються паралельно:

$$t_{cp} = s_p / f_p,$$

де f_p - кількість об'єднаних на p -му ранзі; t_{cp} - середнє значення роботи на p -му ранзі.

Остаточна тривалість робіт повинна дорівнювати цілому числу. Інакше визначається кількість процесів, на яких треба

БУДІВНИЦТВО

збільшити час їхнього виконання на одиницю, щоб виконувалась умова:

$$s_p = \sum_{i=i}^{i+f} t_{ip} = t_{ip}^{min} \cdot f_p + 1 \cdot w,$$

де t_{ip}^{min} – ціле число значення t_{cp} ; w - додаткова кількість робіт для отримання цілого числа суми s_p .

Для встановлення нового часу виконання робіт розглядається матриця розміром $f \times (n + f - 1)$ у системі ОВРР. Встановлення нових значень виконується з ліва на право. На кожному ранзі для роботи підраховуються всі сумарні тривалості від початкового до даного рангів. Значення більшої тривалості робіт ставиться на пізнішу «залежну» роботу або на першу нижню роботу, яка має менший сумарний час виконання робіт.

Результати досліджень. Для вирішення гіпотези беремо типові вихідні дані (табл. 3) [2]. Термін виконання робіт методом критичних шляхів дорівнює 46 днів. Термін виконання поточних робіт з неперервним використанням ресурсу становить 54 дні, а з неперервним освоєнням фронтів робіт - 46 днів.

Для визначених даних розробляються варіанти, щоб збалансувати терміни виконання робіт послідовним і послідовно-паралельним методами. Паралельні методи в цьому дослідженні містять два, три і чотири процеси.

Таблиця 3 - Вихідні дані

| ОВР | | Захватки, тривалості процесу | | | |
|---------|---|------------------------------|----|-----|----|
| | | I | II | III | IV |
| Процеси | А | 4 | 8 | 10 | 6 |
| | Б | 2 | 5 | 2 | 3 |
| | В | 7 | 4 | 9 | 1 |
| | Г | 4 | 5 | 7 | 6 |

Вихідними розрахунковими даними є матриця 4×4 , і 3×4 з об'єднаними процесами Б!В. Для розрахунку створюються матриця ОВР (одна) та дві матриці ОВРР. Модифікована матриця під чотири процеси показана у табл. 4.

Таблиця 4 - Матриця для визначення тривалості паралельних робіт

| ОВРР | | Ранги, тривалості виконання процесів | | | | | | |
|---------|---|--------------------------------------|---|----|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Процеси | А | 4 | 8 | 10 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| | Б | 0 | 2 | 5 | 2 | 3 | 0 | 0 |
| | В | 0 | 0 | 7 | 4 | 9 | 1 | 0 |
| | Г | 0 | 0 | 0 | 4 | 5 | 7 | 6 |

Для аналізу практично розглянуто всі варіанти організації робіт з послідовним і послідовно-паралельним виконанням робіт у матрицях 3×4 та 4×4 . Оптимальні варіанти розрахунку матриць наведені у табл. 5 та 6.

Таблиця 5 - Визначення тривалості зведення будівлі на варіанті 2

| ОВР | | Захватки і тривалість робіт | | | | Вихідні дані | | | Варіант 2 А+Б!В+Г | | |
|---------|---|-----------------------------|----|-----|----|--------------|-----------|-----------------------|-------------------|-----------|-----------------------|
| | | I | II | III | IV | T_1^p | $T_{чп1}$ | $\frac{T_1^p}{T_1^3}$ | T_2^p | $T_{чп2}$ | $\frac{T_2^p}{T_2^3}$ |
| Процеси | А | 4 | 8 | 10 | 6 | 19 | 28 | $\frac{0}{28}$ | 4 | 27 | $\frac{0}{27}$ |
| | Б | 4 | 8 | 8 | 7 | | | | | | |
| | В | 2 | 5 | 2 | 3 | 2 | 21 | $\frac{21}{42}$ | | 29 | $\frac{4}{33}$ |
| | Г | 7 | 4 | 9 | 1 | 11 | 22 | $\frac{32}{54}$ | | | |
| Сума | | 4 | 8 | 5 | 6 | 32 | 83 | | 13 | 83 | |

Таблиця 6 - Визначення тривалості зведення будівлі на варіантах 8 і 11

| ОВР | | Захватки і тривалість процесів | | | | Варіант 8 А+Б-В+Г | | | Варіант 11 А+Б+В+Г | | |
|---------|---|--------------------------------|----|-----|----|-------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|-----------|-----------------------|
| | | I | II | III | IV | T_1^p | $T_{чп1}$ | $\frac{T_1^п}{T_1^з}$ | T_1^p | $T_{чп1}$ | $\frac{T_1^п}{T_1^з}$ |
| Процеси | А | 4 | 8 | 10 | 6 | 4 | 20 | $\frac{0}{28}$ | 4 | 20 | $\frac{0}{20}$ |
| | | 4 | 5 | 7 | 4 | | | | | | |
| | | 4 | 5 | 7 | 4 | | | | | | |
| | Б | 2 | 5 | 2 | 3 | 20 | $\frac{19}{31}$ | 21 | 4 | 21 | $\frac{4}{26}$ |
| | | 5 | 8 | 4 | 3 | | | | | | |
| | | 5 | 7 | 4 | 5 | | | | | | |
| | В | 7 | 4 | 9 | 1 | 6 | 22 | $\frac{21}{42}$ | 5 | 22 | $\frac{9}{28}$ |
| | | 7 | 4 | 7 | 4 | | | | | | |
| | | 8 | 4 | 6 | 4 | | | | | | |
| | Г | 4 | 5 | 7 | 6 | 7 | 21 | $\frac{17}{38}$ | 8 | 20 | $\frac{17}{37}$ |
| | | 4 | 7 | 4 | 6 | | | | | | |
| | | 4 | 6 | 4 | 6 | | | | | | |
| Суми | | | | | | 17 | 83 | | 17 | 83 | |

Обговорення результатів. Під час зведення будівлі не змінюються продуктивність машин, обсяги та сумарні трудомісткість і тривалість виконання робіт.

За рахунок збалансування процесів (три КМТП, табл. 7) послідовним і послідовно-паралельним способом час критичного шляху зменшується у межах 0 -13 % і термін зведення будівлі - 8.5-26 %. Значення відхилення термінів виконання процесів (найбільшого до найменшого) для розрахованої моделі знаходиться у межах 1,5-1,07. Найменше їхнє відхилення досягається з використанням на всіх процесах комплексних бригад універсальних машин.

Таблиця 7 - Тривалості зведення будівлі та час виконання робіт за допомогою послідовного і послідовно-паралельного методу та засоби механізації

За рахунок збалансування процесів (чотири КМТП, табл. 8) послідовно-паралельним способом час критичного шляху зменшується у межах 4,5-19,6 %, і термін зведення будівлі - 13-31,5 %. Значення відхилення термінів виконання процесів (від найбільшого до найменшого) для розрахованої моделі знаходиться у межах 2.33-1,07. Найменше їхнє відхилення досягається для ув'язки всіх процесів послідовно-паралельним способом. Спеціальні машина використовується на найбільш трудомісткому процесі А - для всіх варіантів.

| Метод розрахунку, машини | Варіанти і час і тривалості будівництва | | | | |
|-------------------------------------|---|-----------|------------|------------|--------------|
| | Вихідний | 1 Б!В* | 2 А+Б!В | 3 Б!В+Г | 4 А+Б!В+Г |
| СРМ | 46 | 46 | 44 | 42 | 40 |
| Потоковий | 54 | 46 | 44 | 42 | 40 |
| $\frac{\sum t_{max}}{\sum t_{min}}$ | 2.33 | 1.5 | 1.41 | 1.12 | 1.07 |
| Спеціальні | | А, Г | Г | А | - |
| Універсальні | | * | А* | Г* | А,Г* |
| Зменшення T^p ** | | с | с | + | +/с |

* - на роботах Б і В використана універсальна машина; ** - збалансування процесів будівництва (с) та для зменшення розгортання потоків (+).

Таблиця 8 - Тривалості зведення будівлі та часу виконання робіт за послідовно-паралельним способом

| Метод розрахунку | Варіанти і тривалості робіт | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|------|---------|-------|-------|---------|
| | Вихідні дні | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| | | A+B | B+B | B+Г | A+B-B+Г | A+B+B | B+B+Г | A+B+B+Г |
| СРМ | 46 | 43 | 44 | 41 | 38 | 40 | 43 | 37 |
| Потоковий | 54 | 43 | 47 | 47 | 38 | 40 | 45 | 37 |
| $\frac{\sum t_{max}}{\sum t_{min}}$ | 2.33 | 1.1 | 1.75 | 2.33 | 1.1 | 1.16 | 1.75 | 1.1 |
| Спеціальні | | A,B,Г | A,B,Г | A,Б | A | A, Г | A | A |
| Універсальні | | Б | Б | В,Г | Б,В,Г | Б,В | Б,В,Г | Б,В,Г |
| Зменшення T ^p | | + | с | + | + | +/с | +/с | +/с |

Попереднє дослідження цього методу показало, що мала тривалість виконання робіт досягається за більшої кількості збалансованих процесів.

Висновки. Теоретичні дослідження показали доцільність включення моделі КМТП у систему 4G під час визначення доцільного способу скорочення часу критичного шляху та термінів зведення будівлі.

У моделі комплексного механізованого технологічного процесу потрібно розробити математичну модель збалансування робіт великої трудомісткості паралельним способом та збільшення інтенсивності робіт.

Для практичного впровадження моделі необхідно розробити алгоритм прийняття машин КМТП та їхнього збалансування за часом для скорочення терміну зведення будівлі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. ДСТУ Б.А.3.1 -22:2016- К: Визначення тривалості будівництва об'єктів. Мінрегіон України, 2014. 43 с.
2. Афанасьев В.А. Поточная организация строительства. Л.: Стройиздат, 1990. 303 с.
3. Беляков Ю.И., Снежко А.П. Реконструкция промышленных предприятий. К.: Вища школа, 1988. 255 с.
4. Гусаков А.А. Системотехника строительства. М.: Стройиздат, 1983. 440 с.
5. Завадскас Э.-К.К. Системотехническая оценка технологических решений строительного производства. Л.: Стройиздат, 1991. 257 с.
6. Іванейко І.Д., Мудрий І.Б., Олексів Ю.М. Формування та ефективність технологічних конструктивних рішень стрічкових фундаментів зведених із-за меж котловану. Сучасні

технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. пр. Луцьк: ЛНТУ, 2015. Вип. 3. С. 79-92.

7. Канюка Н.С., Шевчук Б.М., Белостоцький О.Б. Справочник по проектированию организации строительства. К.: Будівельник, 1969. 447 с.
8. Канюка Н.С., Резуник А.В., Новацкий А.А. Комплексная механизация трудоемких работ в строительстве. К.: «Будівельник», 1977. 256 с.
9. Клиндус А. М., Хохлачева Г.А. Расчет непрерывного строительного потока. К.: УМК ВО, 1991. 200 с.
10. Мудрий І.Б., Сиротюк Д.Ю. Область застосування міні кранів при зведенні підземної частини будівлі. Науковий вісник будівництва. Харків: ХНУБА, 2016. Т.84. №2. С.115-121.
11. Осипов О.Ф., Осипов С.О., Осипова А.О. Зведення монолітних багатопверхових будинків. Проектування технологій. / за ред. О.Ф. Осипова. К.: ФОП Ямчинський О.В., 2020. 195 с.
12. Романушко Є.Г., Романушко В.Є. Оцінка умов та організаційно-технологічних рішень будівельно-монтажних робіт при реконструкції будівель. Тези доповідей III міжнародної науково-технічної конференції «Ефективні технології в будівництві». К.: ХНУБА, 2018. С.65-66.
13. Спектор М.Д. Выбор оптимальных вариантов организации и технологии строительства. М.: Стройиздат, 1980. 159 с.
14. Ушацький С.А., Шейко Ю.П., Тригер Г.М. та ін. Організація будівництва / за ред. С.А. Ушацького. К.: Кондор, 2007. 521 с.
15. Чебанов Т.Л. Технологія зведення швидко-збірних та розбірних пліткових теплиць. Автореферат дис. канд.техн.наук. К.: КНУБА, 2020. 22 с.
16. Шумаков І.В. Теоретико-методологічні принципи формування організаційно-технологічних рішень зведення підземної частини цивільних будівель. Автореферат дис. д-ра техн. наук. Харків: ХНУБА, 2015. 35 с.

17. Іванейко І.Д., Олексів Ю.М. Збалансування термінів виконання будівельних процесів для потокової організації робіт з використанням універсальних машин. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин: зб. наук. праць*. К.: КДТУБА, 2015. Вип. 34. С. 103-114.
18. Іванейко І.Д., Олексів Ю.М. Збалансування неритмічних потоків комплексно-механізованими бригадами. *Містобудування та територіальне планування. Наук.-техн. зб.* К.: КНУБА, 2016. Вип. 62. Ч. 1. С. 222-227.
19. Шумаков І.В., Микаутадзе Р.І., Ляхов І.І. Оптимизационные тенденции в прогнозировании продолжительности строительства. *Научный вестник строительства*. Харків: ХНУБА, 2018. Т. 91. №1. С. 115-121.
20. Pan J.C., Chen J., Chao C. Minimizing tardiness in a two-machine flow-shop. *Computers & Operations Research*. 2002. № 29. pp. 869-875.
21. Schaller J. Note on minimizing total tardiness in a two-machine flowshop. *Computers & Operations Research*. 2015. № 32 (12). pp. 3273-3281.

REFERENCES:

1. DSTU B.A.3.1 -22:2016. *Vyznachennia tryvalosti budivnytstva obiektiv*. К.: Minrehion Ukrainy, 2014. 43 s.
2. Afanasyev V.A. *Potochnaya organizatsiya stroitelstva*. L.: Stroyizdat, 1990. 303 s.
3. Belyakov Yu.I., Snezhko A.P. *Rekonstruktsiya promyshlennykh predpriyatiy*. К.: Vishcha shkola, 1988. 255 s.
4. Gusakov A.A. *Sistemotekhnika stroitelstva*. М.: Stroyizdat, 1983. 440 s.
5. Zavadskas E.-K.K. *Sistemotekhnicheskaya otsenka tekhnologicheskikh resheniy stroitel'nogo proizvodstva*. L.: Stroyizdat, 1991. 257 s.
6. Ivaneiko I.D., Mudryi I.B., Oleksiv Yu.M. Formuvannya ta efektyvnist tekhnologichnykh konstruktivnykh rishen strichkovykh fundamentiv zvedenykh iz-za mezh kotlovanu. *Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi: zb. nauk. pr.* Lutsk: LNTU, 2015. Vyp. 3. S. 79-92.
7. Kanyuka N.S., Shevchuk B.M., Belostotskiy O.B. *Spravochnik po proyektirovaniyu organizatsii stroitelstva*. К.: Budivelnik, 1969. 447 s.
8. Kanyuka N.S., Rezunik A.V., Novatskiy A.A. *Kompleksnaya mekhanizatsiya trudoyemkikh robot v stroitelstve*. К.: «Budivelnik», 1977. 256 s.
9. Klindus A. M., Khokhlacheva G.A. *Raschet nepreryvnogo stroitel'nogo potoka*. К.: UMK VO, 1991. 200 s.
10. Mudryi I.B., Syrotiuk D.Iu. Oblast zastosuvannya mini kraniv pry zvedenni pidzemnoi chastyny budivli. *Naukoviy visnyk budivnytstva*. Kharkiv: KhNUBA, 2016. Т. 84. №2. S. 115-121.
11. Osypov O.F., Osypov S.O., Osypova A.O. *Zvedennia monolitnykh bahatopoverkhovykh budynkiv. Proektuvannya tekhnologii*. / za red. O.F. Osypova. К.: FOP Yamchynskiy O.V., 2020. 195 s.
12. Romanushko Ye.H., Romanushko V.Ie. Otsinka umov ta orhanizatsiino-tekhnologichnykh rishen budivselno-montazhnykh robіt pry rekonstruktsii budivel. *Tezy dopovidei III mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Efektyvni tekhnologii v budivnytstvi»*. К.: KNUBA, 2018. S. 65-66.
13. Spektor M.D. *Vybor optimalnykh variantov organizatsii i tekhnologii stroitelstva*. М.: Stroyizdat, 1980. 159 s.
14. Ushatskiy S.A., Sheiko Yu.P., Tryher H.M. ta in. *Orhanizatsiia budivnytstva / za red. S.A. Ushatskoho*. К.: Kondor, 2007. 521 s.
15. Chebanov T.L. *Tekhnologhiia zvedennia shvydkozbirnykh ta rozbirnykh plivkovykh teplyts. Avtoreferat dys. k.t.n.* К.: KNUBA, 2020. 22 s.
16. Shumakov I.V. *Teoretyko-metodolohichni pryntsyipy formuvannya orhanizatsiino-tekhnologichnykh rishen zvedennia pidzemnoi chastyny tsyvilnykh budivel. Avtoreferat dys. d.t.n.* Kharkiv: KhNUBA. 2015. 35 s.
17. Ivaneiko I.D., Oleksiv Yu.M. Zbalansuvannya terminiv vykonannya budivelnykh protsesiv dlia potokovoi orhanizatsii robіt z vykorystanniam universalnykh mashyn. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannya rynkovykh vidnosyn: zb. nauk. pr.* К.: KDTUBA, 2015. Vyp. 34. S. 103-114.
18. Ivaneiko I.D., Oleksiv Yu.M. Zbalansuvannya nerytmichnykh potokiv kompleksno-mekhanizovanyimi bryhadamy. *Mistobuduvannya ta terytorialne planuvannya. Nauk.-tekhn. zbirnyk*. К.: KNUBA, 2016. Vyp. 62. Chastyna 1. S. 222- 227.
19. Shumakov I.V., Mikautadze R.I., Lyakhov I.I. Optimizatsionnyye tendentsii v prognozirovanii prodolzhitelnosti stroitelstva. *Naukoviy visnyk budivnytstva*. Kharkiv: KhNUBA, 2018. Т. 91. №1. S.115-121.
20. Pan J.C., Chen J., Chao C. Minimizing tardiness in a two-machine flow-shop. *Computers & Operations Research*. 2002. № 29. pp. 869-875.
21. Schaller J. Note on minimizing total tardiness in a two-machine flowshop. *Computers & Operations Research*. 2015. № 32 (12). pp. 3273-3281.

Ivaneiko I.D., Ivaneiko M.M. THEORETICAL RESEARCH INTO SHORTENING CONSTRUCTION TIMES USING INTEGRATED PROCESSES. During problem-solving of energy efficient construction, we have to implement balanced constructional-organizational-technical solutions. Article suggests ways of reducing construction times using integrated technical processes (ITP) by balancing time between related seizures and processes. These processes involve usage of special and universal machines (UM).

БУДІВНИЦТВО

Project goal: Achieve theoretical balance of time by combining and reorganizing total work amount in streamlined and parallel ways without reducing work productivity while using integrated technical processes.

To determine the effectiveness of assigned variants of process balancing, mathematical criteria are created. Also, we develop a rank-by-type of work matrices with priority by resource (oRTV) for balancing terms of streamlined-parallel ways on related seizures. Given mathematical formulas determine changing parameters of adjacent related processes. Calculation of construction time is then taken from seizure-by-type of job matrix (oST).

Modelling is done on examples from previous research. For analysis purposes 11 variants of balancing work terms have been developed. In these variants critical path time is reduced to 13-19.5% and total construction time to 26 – 31.5%.

We have developed a model of construction that balances technological capabilities of processes with organized completion sequence. These results can be included in the system of determining variants of organization and technical decisions in creating digital databases for determining total construction times.

Key words: flow-line conveyer method of construction, integrated brigade, matrix method of flow-line conveyer computations, optimization of flow-line conveyer, critical path method.

Иванейко И.Д., Иванейко М. М. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОКРАЩЕНИЯ СРОКА СТРОИТЕЛЬСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСНО-МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. В процессе решения проблемы энергосберегающего возведения здания нужно ввести сбалансированные конструктивно организационно-технологические решения.

В статье предложены принципы уменьшения срока строительства с использованием комплексных механизированных технологических

процессов (КМТП) за счет сбалансирования времени на зависимых захватках и процессах. Для процессов используют специальные и универсальные машины (УМ).

Цель работы: для заданного ресурса на объекте, с использованием комплексных механизированных технологических процессов, достичь теоретического сбалансирования их выполнения во времени за счет организационного объединения и перераспределения объемов работ последовательным и параллельным способами без уменьшения общей производительности труда.

Для определения эффективности принятых вариантов сбалансирования процессов предоставлены математические критерии. Разработаны матрица в координатах ранг-вид работы с приоритетом по ресурсу (ОВРР) для сбалансирования сроков выполнения работ последовательно параллельного способа на «зависимых» захватках. Предоставляемые математические формулы определяют переменные параметры на смежных зависимых процессах. Расчет продолжительности строительства и времени критического пути выполняется в матрице в координатах захватки-виды работ (ОВР).

Моделирование выполняется на примерах предыдущих исследований. Для анализа разработаны 11 вариантов сбалансирования сроков выполнения работ. В них время критического пути уменьшается до 13...19,5%, а срок возведения здания - до 26...31,5%.

Разработанная модель возведения здания, балансирует технологических возможностей процессов с организационной последовательностью их выполнения. Результаты ее могут быть включены в систему принятия вариантов организационно-технологических решений при формировании электронных цифровых баз данных для определения продолжительности строительства.

Ключевые слова: поточное строительство, комплексно-механизированные бригады, матричный способ расчета потоков, оптимизация потоков, метод критического пути.

DOI: 10.29295/2311-7257-2020-100-2-126-132

УДК 691.333:624.012.26

Мислицька А.О., Савицький М.В., Шехоркіна С.Є.

*Державний вищий навчальний заклад Придніпровська державна академія будівництва та архітектури
(вул. Чернишевського, 24а, Дніпро, 49005, Україна; e-mail: mislitska2508@gmail.com; sav15@ukr.net;*

S_VT@ukr.net; orcid.org/0000-0001-9609-7270; orcid.org/0000-0003-4515-2457; orcid.org/0000-0002-7799-2250)

ГРУНТОБЕТОННІ ПЕРЕКРИТТЯ МАЛОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ: ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І РОЗРОБКА НОВОГО КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ

Рівень сучасних технологій дозволяє зводити житло, яке забезпечує, з однієї сторони достойну якість життя, а з іншої сторони, кардинальне зниження негативного впливу на навколишнє середовище. На сьогоднішній день найбільшими попитом користується дерев'яне каркасне домобудування з його порівняно невисокою вартістю, екологічністю, енергоефективністю, комфортабельністю, а також швидкими строками зведення. Просторова жорсткість таких конструкцій забезпечується дерев'яним каркасом та перекриттями, які створюють систему горизонтальних зв'язків конструкції будівлі, розподіляючи навантаження по всьому каркасу будівлі.