УДК 004.94.69

**В. В. Мельник,** *к.е.н., доцент,*
apbkafhm@gmail.com
**І. П. Частоколенко,** *к.ф.-м.н., доцент,*
apbkafhm@gmail.com
**А. П. Марченко,** викладач
apbkafmap@gmail.com
Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України,
вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, 18034, Україна

# МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНЬОГО ФАКТИЧНОГО ЧАСУ ВИКОНАННЯ ОДНОГО ЕТАПУ БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНИХ РОБІТ В УМОВАХ ЗБУРЮЮЧИХ ВПЛИВІВ

*У статті запропоновано математичну модель визначення середнього фактичного часу виконання одного етапу будівельно-монтажних робіт в умовах збурюючих впливів. Враховано вплив параметрів двох типів: множини постійно діючих факторів на даному виробничому етапі і множини імовірно діючих збурюючих впливів. Моделювання здійснювалося як з урахуванням підготовчого періоду, на якому безпосередньо виконання фронту робіт не здійснюється, так і без нього.*

*Під час моделювання застосовувався метод введення додаткової події з пуассонівським характером розподілу. Отримано величину, яка характеризує середньофактичний час виконання одного етапу фронту робіт, не пов'язаного з іншими в умовах збурюючих впливів.*

***Ключові слова:*** *процеси напрацювання, середня швидкість зростання, обсяг робіт, затримуюче зривання, руйнуюче зривання, випадкове зривання, додаткова подія, час реалізації, інтервал відновлення, інтенсивність впливу.*

**Постановка проблеми.** Будівництво є однією з основних галузей народного господарства, яка вимагає високої організації виробничих процесів.

Будь-який процес складається із взаємопов'язаних операцій і вимагає належної організації планування. Виробничі потоки інтегровані з проектних, технічних, фінансових та інших процесів, тому важливою є їх чітка взаємодія, яка забезпечить їхню неперервність та ефективність [3].

Оскільки будівельний процес є динамічним і значною мірою залежить від навколишнього середовища, то актуальним є передбачення і врахування його впливу на час виконання окремих етапів будівельно-монтажних робіт.

**Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій.** Показано, що сучасний стан науково-технічної проблеми математичного моделювання в галузі будівництва при обмеженому обсязі статистичної інформації – це логічне продовження робіт таких вчених, як: В. С. Немчинов, В. В. Новожилов, М. П. Бусленко, Р. Белман та інших [4–6]. Однак очевидно, що нині на практиці використовуються моделі з досить обмеженими можливостями стосовно адекватного [7–8] відображення реальних процесів будівництва. Пріоритетним шляхом вирішення проблеми вважається побудова локальних математичних моделей і методів їх реалізації на ЕОМ [4–5].

**Мета роботи** ґрунтується на математичному моделюванні визначення середнього фактичного часу виконання одного етапу будівельно-монтажних робіт в умовах збурюючих впливів.

**Виклад основного матеріалу.** Для математичного опису процесу виконання фронту робіт на окремому виробничому циклі необхідно інтерпретувати виконання обсягу робіт як безперервно змінний у часі показник, який залежить від впливу параметрів двох типів. До першого типу відноситься множина постійно діючих факторів на виробничому етапі, які обумовлені:

- особливостями забезпечення виконання обсягу робіт (необхідний інвентар, приміщення, обладнання, зовнішньо-кліматичні умови і т.д.);
- рівнем матеріально-технічної бази (якістю і кількістю обладнання, недостатньою потужністю розчинного вузла, основних і допоміжних приміщень, обслуговуючого персоналу і т.д.);

- необхідними витратами (продуктивною роботою, технологічними перервами, відпочинком і особистими потребами, підготовчо-заключною роботою).

До другого типу відноситься множина імовірно діючих збурюючих впливів, тобто таких, момент настання, тривалість і характер впливу яких завчасно розрахувати неможливо [2].

Вони визначаються:

- збоями в постачанні бетону, розчину, транспорту, цементу, інертних і лісових матеріалів, а також виробів з них, залізобетонних виробів і конструкцій, металовиробів і конструкцій, цегли, інших матеріалів;
- простоями через несправність або відсутність машин, механізмів, інструменту, більшу нормативної кількості робочих у бригадах, непідготовленість робочого місця після завершення попереднього процесу, відсутність вказівок технічного персоналу, метеоумови та з інших причин;
- порушеннями технології, в результаті яких доводиться переробляти певний фронт робіт;
- порушеннями трудової дисципліни і наднормованим відпочинком, запізненням, збільшенням часу обіду, передчасним зупиненням роботи, відволіканням невиробничого характеру.

Баланс робочого часу міністерств та їх підрозділів визначається за результатами фотографії робочого дня в одиницях витрат робочого часу (люд. год і %) [3].

У рамках описуваних моделей реалізація впливу множини постійних параметрів буде визначати середню «швидкість» виконання обсягу робіт, що характеризується деяким коефіцієнтом $K$, який визначимо як співвідношення запланованого приросту обсягу виконаних робіт $B$ до сумарного робочого часу на досліджуваному етапі:

$$K = B/\eta. \qquad (1)$$

Коефіцієнт $K$ можна інтерпретувати як «темп» виконання цього фронту робіт. Він залежить від таких параметрів, як: кількість людей, техніки, погодні умови і т.д. Вплив множини імовірнісних факторів в описаних конструкціях ми будемо класифікувати або як затримуючий, або знижуючий (руйнівний). А саме: ми будемо називати затримуючими ті ймовірнісні фактори, в момент закінчення впливу яких результат виконання фронту робіт залишається на колишньому рівні, тобто буде дорівнювати відповідному результату до моменту початку впливу зазначених параметрів. Знижуючі – ті, після яких виконання фронту робіт необхідно починати заново, тобто до моменту закінчення впливу. Результат виконаного обсягу робіт дорівнює вихідному нульовому рівню, який був у момент початку досліджуваного періоду і пов'язаний з виконанням фронту робіт.

Зазначимо, що еволюція в часі процесу виконання фронту робіт не завжди є такою, як у вищеописаній моделі. В ряді випадків при складанні моделі процесу виконання фронту робіт необхідно враховувати наявність підготовчого етапу, на якому безпосередньо виконання фронту робіт не відбувається [10]. Далі під моделлю I будемо розуміти модель, в якій ця обставина не враховується (підготовчий етап відсутній), а під моделлю II – модель, у рамках якої враховується наявність етапу, на якому не планується збільшення обсягу фронту робіт, що виконується.

Опишемо моделі процесу виконання заданого обсягу робіт за допомогою конструкцій, які в термінології технічних систем називаються процесами напрацювання [8, 9]: $\Omega(t)$. В будь-який момент часу запланований фронт робіт виконується або не виконується.

Визначимо $V(t) = 0$, якщо в момент $(t)$ намічений фронт виконання робіт не виконується, а $V(t) = 1$, якщо програма виконання фронту робіт виконується.

Тоді

$$N(t) = \int_0^1 V(x)dx \qquad (2)$$

– чистий відпрацьований час до моменту $t$. З процесом $N(t)$ пов'язують так званий процес напрацювання $\Omega(t)$, визначений таким чином:

$$\Omega(t) = N(t) - \int_0^{\tau_t} V(x)dx, \qquad (3)$$

де $\tau_t$ – момент останнього руйнівного зривання виконання фронту робіт на інтервалі $(0, t)$, після якого підготовку об'єкта необхідно відновити з вихідного рівня результату згідно з розробленим планом.

Стосовно досліджуваної конструкції необхідним є деяке узагальнення зазначеного процесу, щоб враховувати середню «швидкість» зростання виконання фронту робіт, а саме: нехай $K$ – константа, що характеризує середній приріст обсягу робіт в одиницю часу. Визначимо процес $\Omega_к(t)$ рівністю

$$\Omega_k(t) = KN(t) - K\int_0^{\tau_t} V(x)dx. \qquad (4)$$

Введений нами процес $\Omega_к(t)$ апроксимує процес виконання фронту робіт. При цьому величина $K$ дозволяє враховувати середній «темп» зростання обсягу фронту робіт в моделі I.

Зауваження. Значення коефіцієнта $K$ фактично визначається нормативними документами, досвідом практичної реалізації цього типу робіт [5]. Під час виконання запланованого фронту робіт (тобто коли $V(t) = 1$) на інтервалі $(t, t + dt)$ може виникнути або затримуюче зривання з імовірністю $\alpha_0 dt$, або знижуюче (руйнівне) – з імовірністю $a_1\, dt$, в результаті якого запланований фронт робіт не буде виконуватися протягом певного робочого часу. Тривалості зривань зазначених видів – випадкові величини, відповідно, $\Psi_0$ та $\Psi_1$ з довільними законами розподілу. На проміжках $\Psi_0$ і $\Psi_1$ заплановане завдання не виконується. Для моделі I визначимо, що якщо зривання в ході виконання фронту робіт сталося в момент $t'$, а його відновлення – в момент $t''$, тоді $V(t) = 0$ при $t \in (t', t'')$. Крім того, у випадку затримуючого збою ходу виконання фронту робіт

$$\Omega_к(t'' + 0) = \Omega_к(t' - 0). \qquad (5)$$

При руйнівному зриванні $\Omega_к(t'' + 0) = 0$. Отже, руйнівне зривання повертає процес напрацювання $\Omega_к(t)$ до вихідного початкового рівня. Для моделі II, крім того, на проміжку виконання підготовчого етапу $\eta_0$ маємо $V(t) = 0$. При цьому, у випадку збою затримуючого характеру на проміжку $t \in (t', t'')$ також маємо

$$\Omega_к(t'' + 0) = \Omega_к(t' - 0). \qquad (6)$$

У випадку руйнівного зривання $\Omega_к(t'' + 0) = 0$. Отже, таке зривання повертає процес $\Omega_к(t)$ до початкового рівня, при цьому виконання запланованого фронту робіт починається з самого початку з урахуванням підготовчого періоду.

**Виведення основних співвідношень для часу виконання фронту робіт.** Випадок виконання обсягу робіт з нульового рівня. Нехай $\eta_1\,(B, x)$ – час досягнення процесом напрацювання $\Omega_к(t)$ (модель I) рівня $B$ за умови, що $\Omega_к(0) = x$. Зрозуміло, що $\eta_1\,(B, x)$ – випадкова величина. Позначимо через $\overline{\eta}_1(B, x)$ математичне сподівання цієї випадкової величини. Інакше кажучи, $\eta_1\,(B, x)$ – час виконання запланованого обсягу робіт $B$ при середньому «темпі» $K$ з урахуванням впливу випадкових зривань, коли виконання фронту робіт починається з рівня $x$, де $(0 \le x \le B)$. Перетворення Лапласа–Стілт'єса для функції розподілу випадкової величини $\eta_1\,(B, x)$ позначимо через $\eta_1\,(B, x, S)$. Очевидно, що математичне сподівання $\overline{\eta}_1(B, x)$ визначається рівнянням

$$\overline{\eta}_1(B, x) = -\frac{\frac{\partial}{\partial S}\eta_1(B,x,S)}{S} = 0. \qquad (7)$$

Знайдемо $\eta_1(B, x, S)$. Рівняння, що визначає цю функцію, легко отримати методом введення додаткової події [1], а саме: за допомогою потоку катастроф. Візьмемо число $S > 0$ і припустимо, що відбуваються деякі катастрофи, моменти настання яких утворюють пуассонівський процес з параметром $S$. Тоді число $\eta_1(B, x, S)$ є імовірністю того, що за час реалізації фронту робіт $\eta_1(B, x)$ не відбудеться ніякої катастрофи. Назвемо інтервали відновлення $\Psi_0$ і $\Psi_1$ «негативними» або «позитивними» залежно від того, настає чи не настає на цих інтервалах катастрофа. Тоді $(1 - \Psi_0(S))$ – імовірність того, що інтервал $\Psi_0$ «негативний»; $\Psi_1(S)$ – імовірність того, що інтервал $\Psi_1$ – «позитивний». Крім того, $g(S) = \alpha_0 + \alpha_1 + S - \alpha_0\Psi_0(S)$ – параметр найпростішого потоку катастроф, руйнівних зривань і «негативних» неруйнівних зривань. При цьому $\alpha_0$ – інтенсивність кількості простоїв (середня кількість простоїв в одиницю часу), а $\alpha_1$ – інтенсивність впливу знижуючих факторів. Позначимо: $\overline{\Psi}_0$ – середній час дії затримуючих факторів (середні втрати на один простій); $\overline{\Psi}_1$ – середні втрати на простій для руйнуючих факторів при виявленні непродуктивних витрат (транспортні та вантажно-розвантажувальні роботи, порушення технологічної послідовності виконання робіт, виправлення браку, пошкоджень і низька якість попередніх робіт, що викликано неправильністю вказівок інженерно-технічного регламенту і дефектами проектної документації і т.д.), інакше кажучи – середній час дії знижуючих факторів при одному зриванні. Тепер за допомогою нескладних міркувань, отримуємо наступне рівняння, що визначає функцію $\eta(B, x, S)$:

$$\eta(B,x,S) = exp\left\{-\frac{(B-x)}{K}g(S)\right\} + [1 - \\ - exp\left\{\frac{(x-B)}{K}g(S)\right\}\frac{\alpha_1}{g(S)} \cdot \Psi_1(S)\eta(B,0,S). \qquad (8)$$

Дійсно, для того щоб за час виконання фронту робіт $\eta(B, x)$ катастрофи не настали (імовірність цього дорівнює $\eta(B, x, S)$), необхідно і достатньо, щоб:

1) або за час досягнення планованого обсягу виконання фронту робіт $\eta(B, x)$ не відбулося жодної події наступного сумарного потоку: потоку катастроф і потоку руйнуючих зривань (для цього необхідно і достатньо, щоб на про-

міжку тривалості $\frac{В}{K}$ «чистого» відпрацьованого часу не настала жодна подія найпростішого сумарного потоку з інтенсивністю $g(S)$);

2) або за час виконання фронту робіт $\eta(B,x)$ настала хоча б одна подія зазначеного сумарного потоку з інтенсивністю $g(S)$, імовірність чого дорівнює $1-exp\left\{\frac{(x-B)}{K}g(S)\right\}$, причому першою такою подією була руйнівна відмова системи (імовірність $\alpha_1/g(S)$), і за інтервал $\Psi_1$ плюс нова реалізація розв'язування задачі з нульового рівня $\eta(B,0)$ жодні катастрофи не мали місця (імовірність $\Psi_1\eta(B,0,S)$). Застосовуємо формулу повної імовірності до виразу (8).

Оскільки на число $S$ ми не накладали жодних обмежень, окрім $S>0$, то рівність (8) справедлива для всіх $S>0$. Використовуючи принцип аналогічного продовження, отримуємо, що ця рівність справедлива для будь-якого $S$ з області $Re\,S>0$. Зі співвідношення (8) при $x=0$ випливає:

$$\eta(B,0,S)=exp\left\{-\frac{В}{K}g(S)\right\}+[1-exp\{-\frac{В}{K}g(S)\}\frac{\alpha_1\Psi_1(S)}{g(S)}\cdot\eta(B,0,S). \tag{9}$$

Звідси знаходимо $\eta(B,0,S)$:

$$\eta(B,0,S)\,[1-(1-exp\left\{-\frac{В}{K}g(S)\right\}\frac{\alpha_1\Psi_1(S)}{g(S)}=exp\left\{-\frac{В}{K}g(S)\right\}\ ; \tag{10}$$

$$\begin{gathered}\eta(B,0,S)[g(S)-\alpha_1\Psi_1(S)+\\ +\alpha_1\Psi_1(S)\,exp\left\{-\frac{В}{K}g(S)\right\}/g(S)]=exp\left\{-\frac{В}{K}g(S)\right\}.\end{gathered} \tag{11}$$

$$\begin{gathered}\eta(B,0,S)(g(S)-\alpha_1\Psi_1(S)+\\ +\alpha_1\Psi_1(S)\,exp\left\{-\frac{В}{K}g(S)\right\}/g(S))=g(S)exp\left\{-\frac{В}{K}g(S)\right\};\end{gathered} \tag{12}$$

$$\eta(B,0,S)=g(S)exp\left\{-\frac{В}{K}g(S)\right\}/g(S)-\alpha_1\Psi_1(S)+\alpha_1\Psi_1(S)\,exp\left\{-\frac{В}{K}g(S)\right\}. \tag{13}$$

Знайдена функція $\eta(B,0,S)$ – перетворення Лапласа-Стілт'єса реального часу виконання фронту робіт, починаючи з самого початку в умовах випадкових збурень, для реалізації якого в ідеальних умовах потрібно $B$ одиниць і «чистого» (нормативного) часу. Домножимо обидві частини рівності (13) на $g(S)$, отримуємо:

$$\begin{gathered}g(S)\eta(B,0,S)=g(S)\,exp\left\{-\frac{В}{K}g(S)\right\}+[1-exp\left\{-\frac{В}{K}g(S)\right\}]\,.\\ \alpha_1\Psi_1(S)\eta(B,0,S).\end{gathered} \tag{14}$$

Продиференціюємо цей вираз по $S$ (в точці $S=0$), враховуючи при цьому такі формули:

$$-\Psi'_0(S)/_{S=0}=\overline{\Psi}_0,$$

$$-\Psi'_1(S)/_{S=0}=\overline{\Psi}_1,$$

$$\begin{gathered}\Psi_0(0)=1,\\ \Psi_1(0)=1,\\ \eta(B,0,S)=1,\\ g(0)=\alpha_1,\\ g'(S)=1-\alpha_0\Psi'_0(S),\\ g'(S)=1-\alpha_0\Psi'_1(0)=1+\alpha_0\overline{\Psi}_0.\end{gathered}$$

$$\begin{gathered}g'(S)\eta(B,0,S)+g(S)\eta'(B,0,S)=g'(S)exp\left\{-\frac{В}{K}g(S)\right\}+g(S)exp\left\{-\frac{В}{K}g(S)\right\}\left(-\frac{Bg'(S)}{K}\right)+\\ +exp\left\{-\frac{В}{K}g(S)\right\}(\frac{В}{K}g'(S)\alpha_1\Psi_1(S)\eta(B,0,S)+\left[1-exp\left\{-\frac{В}{K}g(S)\right\}\right]\alpha_1\Psi_1(S)\eta(B,0,S)+\\ +\left[1—exp\left\{-\frac{В}{K}g(S)\right\}\right]\alpha_1\Psi_1(S)\eta'^{(B,0,S)}.\end{gathered} \tag{15}$$

При $S=0$

$$\left(1+\ \alpha_0\overline{\Psi}_0\right)\cdot 1+\alpha_1\left(-\overline{\eta}(B,0)\right)=$$

$$= \left(1 + \alpha_0 \overline{\Psi}_0\right) exp\left\{-\frac{\mathrm{B}}{K}\alpha_1\right\} + \alpha_1\, exp\left\{-\frac{\mathrm{B}\alpha_1}{K}\right\}\left(-\frac{\mathrm{B}}{K}\left(1 + \alpha_0\overline{\Psi}_0\right)\right) + exp\left\{-\frac{\mathrm{B}\alpha_1}{K}\right\}\frac{\mathrm{B}}{K}\big(1 +$$

$$+\alpha_0\overline{\Psi}_0\big)\alpha_1 \cdot 1 \cdot 1 + \left[1 - exp\left\{-\frac{\mathrm{B}\alpha_1}{K}\right\}\alpha_1\left(-\overline{\Psi}_1\right) + \left[1 - exp\left\{-\frac{\mathrm{B}\alpha_1}{K}\right\}\right]\alpha_1\left(\overline{\eta}(B,0)\right)\alpha_1\left(-\overline{\eta}(B,0)\right) +\right.$$

$$+\left[exp\left\{-\frac{\mathrm{B}\alpha_1}{K}\right\} - 1\right]\alpha_1\left(-\overline{\eta}(B,0)\right) = exp\left\{-\frac{\mathrm{B}\alpha_1}{K}\right\}\left(\alpha_0\overline{\Psi}_0 + 1 + \alpha_1\left(-\frac{\mathrm{B}}{K}\right)\right)\left(1 + \alpha_0\overline{\Psi}_0\right) + \frac{\mathrm{B}}{K}\big(1 +$$

$$+\alpha_0\overline{\Psi}_0\big)\alpha_1 + \alpha_1\overline{\Psi}_1\big) - \alpha_1\overline{\Psi}_1 - \left(1 + \alpha_0\overline{\Psi}_0\right). \tag{16}$$

$$-\overline{\eta}(B,0)\,(\alpha_1 + \alpha_1 exp\left\{-\frac{\mathrm{B}\alpha_1}{K}\right\}(1 + \alpha_0\overline{\Psi}_0 - \frac{\mathrm{B}\alpha_1}{K} - \alpha_0\alpha_1\overline{\Psi}_0\frac{\mathrm{B}}{K} + \left(\frac{\frac{\mathrm{B}}{K}}{\alpha_1}\right) + \frac{\mathrm{B}}{K}\alpha_0\alpha_1\overline{\Psi}_0 +$$

$$+\alpha_1\overline{\Psi}_1) - \alpha_1\overline{\Psi}_1 - \overline{\eta}(B,0)\alpha_1 exp\left\{-\frac{\mathrm{B}\alpha_1}{K}\right\} = exp\left\{-\frac{\mathrm{B}\alpha_1}{K}\right\}\left(1 + \alpha_0\overline{\Psi}_0 + \alpha_1\overline{\Psi}_1\right) - \alpha_1\overline{\Psi}_1 -$$

$$-\left(1 + \alpha_0\overline{\Psi}_0\right); \tag{17}$$

$$\overline{\eta}(B,0) = \frac{h}{\alpha_1}\left(exp\left\{-\frac{B\alpha_1}{K}\right\} - 1\right), \tag{18}$$

де $h = 1 + \alpha_0\overline{\Psi}_0 + \alpha_1\overline{\Psi}_1$.

Величина $\overline{\eta}(B,0)$ характеризує середній фактичний час виконання одного етапу фронту робіт в дослідженій моделі.

**Висновки.** Побудовано математичну модель процесу виконання фронту робіт на окремому виробничому циклі з урахуванням множини імовірно діючих збурюючих впливів, яка дає можливість розраховувати величину середнього фактичного часу виконання одного етапу фронту робіт, не пов'язаного з іншими етапами, а також характеризує його залежність від основних параметрів.

## Список літератури


1. Бродецкий Г. Л. Эффективность запоминания промежуточных результатов в системах с отказами, разрушающими информацию / Г. Л. Бродецкий // Техническая кибернетика. – 1978. – № 6.
2. Климов Г. П. Стохастические системы обслуживания / Г. П. Климов. – М., 1966.
3. Недавний О. И. Обоснование времени производства строительных работ / О. И. Недавний, С. М. Кузнецов, Н. М. Кандаурова // Известия вузов. Строительство. – 2013. – № 9. – С. 107–114.
4. Оптимизация организационно-технологических решений при строительстве зданий и сооружений / С. М. Кузнецов, Н. А. Сироткин, К. С. Кузнецова, И. Л. Чулкова // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – № 9. – С. 57–60.
5. Хибухин В. П. Математические методы планирования и управления строительством / В. П. Хибухин, В. З. Величкин, В. И. Втюрин. – Л. : Стройиздат, 1990. – С. 184.
6. Суворова А. П. Модели взаимодействия в интегрированных системах управления строительным комплексом / А. П. Суворова // Экономика строительства. – 2003. – № 9. – С. 49–59.
7. Сироткин Н. А. Имитационная модель обоснования очередности строительства обьектов / Н. А. Сироткин, С. М. Кузнецов, С. Н. Ячменьков // Путь и путевое хозяйство. – 2007. – № 10. – С. 30–31.
8. Сергеев В. И. Методологические основы и модели формирования макрологистических систем / В. И. Сергеев. – СПб. : СПбУЭиФ, 1990. – С. 30.
9. Семченков А. С. Проблемы гражданского строительства / А. С. Семченков // Бетон и железобетон. – 1995. – № 1. – С. 2–6.
10. Криводубский О. А. Математическая модель планирования строительно-монтажных работ / О. А. Криводубский, О. А. Шевчук // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. – 2012. – Вип. 4 (33). – С. 144–148.


## References


1. Brodeczkiy, G. L. (1978), Efficiency of intermediate results storing in the systems with failures which destroy the information. *Tehnicheskaya kibernetika*, (6) [in Russian].
2. Klimov, G. P. (1966), Stochastic service systems. Moscow [in Russian].
3. Nedavniy, O. I., Kuzneczov, S. M. and Kandaurova, N. M. (2013), Substantiation of the time for building production. *Izvestiya vuzov. Stroyitel`stvo*, (9), pp. 107–114 [in Russian].
4. Kuzneczov, S. M., Sirotkin, N. A., Kuzneczova, K. S. and Chulkova, I. L. (2009), Optimization of organizational and technolo-

gical decisions at building and facilities construction. *Promyshlennoye i grazhdanskoe stroyitel`stvo*, (9), pp. 57–60 [in Russian].
5. Khibukhin, V. P., Velichkin, V. Z. and Vtyurin, V. I. (1990), Mathematical methods of construction planning and management. L.: Strojizdat, p. 184 [in Russian].
6. Suvorova, A. P. (2003), Models of interaction in integrated systems of construction complex management. *Ekonomika stroyitel`stva*, (9), pp. 49–59 [in Russian].
7 Sirotkin, N. A., Kuzneczov, S. M. and Yachmen`kov, S. N. (2007), Simulation model for substantiation of objects construction priority. *Put` i putevoye khozyajstvo*, (10), pp. 30–31 [in Russian].
8. Sergeev, V. I. (1990), Methodological foundations and models for macrologistic systems formation. St. Petersburg: SPbUEiF, p. 30 [in Russian].
9. Semchenkov, A. S. (1995), Problems of civil engineering. *Beton i zhelezobeton*, (1), pp. 2–6 [in Russian].
10. Krivodubskiy, O. A. and Shevchuk, O. A. (2012), Mathematical model for planning of construction works. *Zbirnyk naukovyh pracz` Harkivs`kogo universytetu povitryanyh syl,* 4 (33), pp. 144–148 [in Russian].

**V. V. Melnik,** *Ph.D., associate professor,*
apbkafhm@gmail.com
**I. P. Chastokolenko,** *Ph.D., associate professor,*
apbkafhm@gmail.com
**A. P. Marchenko,** *lecturer*
apbkafmap@gmail.com
Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes of National University of Civil Defense of Ukraine
Onoprienko str., 8, Cherkasy, 18034, Ukraine

## MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINATION OF AVERAGE ACTUAL TIME FOR EXECUTION OF ONE STAGE OF CONSTRUCTION WORKS IN THE CONDITIONS OF PERTURBATIONS

***Formulation of the problem***. *Construction is one of the main sectors of the economy that requires high organization of production processes.*

*Any process consists of interrelated transactions and requires proper planning organization. Workflows are integrated with design, technical, financial and other processes, so their clear interaction, that will ensure their continuity and effectiveness, is important.*

*As the process of construction is dynamic and largely depends on the environment, it is urgent to foresight and consider its impact on the time of execution of individual stages of construction works.*

***The main material.*** *The article offers mathematical model for determination of average actual time for execution of one stage of construction works in the conditions of perturbations. The impact of parameters of two types: permanent factors set provided in manufacturing stage and the set of likely perturbations is taken into account. Modeling has been carried out both on the basis of preparatory period, on which direct execution of the field of operations is not carried out, and without it.*

*During the modeling the method of additional event with Poisson character of distribution has been used. A value that characterizes the average actual time for execution of one stage of operations not related to others in the conditions of perturbations is obtained.*

***Conclusions.*** *Mathematical model of execution of the field of operations on a single production cycle, taking into account the set of likely perturbations, which makes it possible to count the value of the average actual time for execution of one stage of operations, not related to other stages, and describes its dependence on basic settings is built.*

***Keywords.*** *development processes, average rate of increase, volume of work, additional event, implementation time, recovery interval, exposure intensity.*

*Рецензенти: В. М. Рудницький, д.т.н, професор,*
*С. В. Поздєєв, д.т.н., професор*