

УДК 519.876.5

В.В. КОНОНЕНКО, канд. техн. наук, доц., Р.О. РЕШОТКА, студент  
А.В. КОНОНЕНКО, студентка, Криворізький національний університет

## СИСТЕМНО-ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ТА МІНІМІЗАЦІЇ ВИТРАТ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПРОЕКТУ ПОГЛИБЛЕННЯ ШАХТНИХ СТВОЛІВ

Запропоновано системно-динамічну модель оптимізації параметрів проведення поглиблювальних робіт на рудних та вугільних шахтах. Застосовано динамічний метод оцінки інвестиційних рішень у сфері поглиблення стволів шахт на основі компаундування вартості витрат на проект з поглиблення. Обґрунтовано доцільність застосування побудованої моделі для оптимізації темпів проведення поглиблювальних робіт з метою мінімізації передбачуваної вартості витрат інвестиційного проекту.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Заходи, що пов'язані з підготовкою нових горизонтів на рудних та вугільних шахтах, закономірно вважаються ключовою передумовою підтримання виробничої потужності діючого видобувного підприємства. Початкова висота вертикального ствола (стовбура) шахти, закладеного при її будівництві, зазвичай визначається виходячи з глибини залягання верхніх горизонтів, по мірі відпрацювання яких з'являється необхідність у проведенні поглиблювальних робіт з ціллю досягнення і подальшого опрацювання нових горизонтів.

Зважаючи на високий рівень трудомісткості зазначеного комплексу робіт, а також співвідношення необхідних для його реалізації витрат до наявних фінансових ресурсів підприємства, інвестиційні проекти, пов'язані з необхідністю поглиблювальних робіт, можна віднести до категорії великих, тобто таких, що мають стратегічний характер і принципове значення для самого підприємства. Подібні проекти затверджуються вищим керівництвом і реалізуються як середньо- або довгострокові. Становлячи менше 20% від загальної кількості інвестиційних проектів підприємства, їх вартість, відповідно до принципу Парето, може сягати до 80% фінансових ресурсів [1].

Виходячи з цього, актуальним практичним завданням залишається обґрунтування темпів проведення робіт з поглиблення шахтних стволів з ціллю мінімізації сукупної вартості інвестиційного проекту, пов'язаного з їх реалізацією.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми. Питанням оптимізації параметрів ведення робіт з поглиблення шахтних стволів для забезпечення їх ефективності присвячені роботи вітчизняних та зарубіжних науковців: О.М. Задорожного, Ю.О. Веселова, Г.С. Веселовського, В.М. Серебрянникова, К.Ю. Пасіченка та інших. Так, зокрема, в роботі К.Ю. Пасіченка та ін. [2] обґрунтовано найбільш перспективні технологічні схеми поглиблення шахтних стволів, у працях проф. М.М. Покровського [3-4] здійснено аналіз швидкості проходки ствола та чинників її підвищення, частково враховано вартісні аспекти проведення комплексу робіт, що розглядається, та здійснено обширне дослідження особливостей проектування стволів. Дослідження проф. О.М. Задорожного та ін. [5-6] містять розрахункові формули для обчислення швидкостей робіт на стадії проектування, а також, пропозиції щодо оптимізації зазначених робіт за критерієм «вартість». У роботі О.М. Задорожного та Ю.О. Веселова [7] запропонована методика визначення тривалості видів робіт та прохідницьких операцій при поглибленні ствола та проаналізовані резерви її зменшення. Виходячи з цього, можна констатувати недостатню пропрацьованість вартісного аспекту при оптимізації параметрів ведення робіт з поглиблення. Існуючі підходи не передбачають застосування компаундування (операція, зворотна до дисконтування) для забезпечення співставлення теперішньої вартості проекту та очікуваної його вартості в майбутньому, що не відповідає вимогам обґрунтованості вартісного аналізу.

**Новизна. Методологічне та загальнонаукове значення.** Новизна даного дослідження полягає в застосуванні системно-динамічного підходу для імітаційного моделювання комплексу робіт з поглиблення ствола шахти, що дозволяє здійснити пошук оптимальних значень параметрів поглиблення ствола програмними засобами системно-динамічного моделювання при забезпеченні мінімізації інвестиційних витрат на основі генетичних алгоритмів, загальна

практика використання яких показала високий ступінь гнучкості та ефективності. При цьому, запропонована схема поступового фінансування робіт передбачає використання динамічних методів оцінки вартості проекту виходячи з припущення, що значний вплив на вибір альтернативних інвестиційних проектів здійснюють витрати певних розмірів, які можливо передбачати, відносячи їх до певних термінів.

**Викладення основного матеріалу.** Системно-динамічний підхід у дослідженні систем, застосований в даній роботі з метою побудови моделі оптимізації темпів поглиблення шахтних стволів з проведенням вартісного аналізу, був запропонований американським вченим Дж. Форрестером. Як один з видів імітаційного моделювання, цей підхід дозволяє проводити експериментальні дослідження над змодельованими системами-аналогами в тих випадках, коли натурні експерименти над ними є небажаними або неможливими. Як зазначено в результатах дослідження О. Яригіна [8], ця та інші визначні особливості обумовили широке застосування системно-динамічного моделювання в управлінні стратегією американських та європейських підприємств. Говорячи про перспективи застосування імітаційного моделювання, варто згадати й про його недоліки. Скористаємося для цього результатами досліджень [9-10] та узагальнимо деякі з них у вигляді переліку:

- відсутність добре структурованих принципів побудови моделей;
- складність аналізу та осмислення результатів, отриманих в результаті моделювання;
- складність визначення ступеня адекватності моделі.

Зважаючи на зміст деяких недоліків імітаційного моделювання, вважаємо за необхідне відмітити евристичний характер його результатів.

Враховуючи, що підготовка нового горизонту потребує значної кількості часу, а відпрацювання запасів на горизонті здійснюється за невеликий строк, практично, поглиблення стволів повинно здійснюватися майже постійно (з невеликими перервами).

При моделюванні приймають, що термін поглиблення ствола  $T_{II}$  має бути меншим ніж половина терміну відпрацювання вище лежачих горизонтів  $T_B$  (1), міс.

$$T_B = 12h/v_{oc} \quad (1)$$

де  $h$  – висота поверху відпрацювання, м;  $v_{oc}$  – темп річного пониження очисних робіт, м/рік.

Директивна тривалість поглиблення ствола визначається відношенням (2), міс.

$$T_{II} \leq 6h/v_{oc} \quad (2)$$

Тривалість усього терміну поглиблення ствола  $T_{II}$  з певним рівнем умовності можна поділити на 2 етапи: тривалість комплексу підготовчих робіт  $t_o$  і тривалість комплексу поглиблювальних робіт.

Останній етап в свою чергу ділиться на тривалість проходки поглиблюваної частини ствола  $t_1$ , тривалість проходки прилягаючих до ствола виробок  $t_2$  та тривалість армування ствола  $t_3$ .

Зважаючи на існуючу практику, величину тривалості виконання комплексу підготовчих робіт (3) приймають рівною 35-50% усієї тривалості поглиблення ствола  $T_{II}$ , міс.

$$t_o = T_{II} \cdot k_o, \quad (3)$$

де  $k_o$  – коефіцієнт, що враховує частку тривалості комплексу підготовчих робіт в загальній тривалості поглиблення ствола (4)

$$k_o = 0.35 \div 0.5. \quad (4)$$

Запропонована модель здійснює пошук оптимальних значень швидкостей виконання робіт і коефіцієнта  $k_o$  виходячи з критерію мінімізації вартості проекту  $C$  при дотриманні умов (5)

$$\begin{cases} v_{1\min} \leq v_1 \leq v_{1\max} \\ v_{2\min} \leq v_2 \leq v_{2\max} \\ v_{3\min} \leq v_3 \leq v_{3\max} \\ T_{II}(1 - k_o) = V_1/v_1 + V_2/v_2 + V_3/v_3, \end{cases} \quad (5)$$

де  $V_1$  – загальний обсяг виконання робіт з проходки ствола, м;  $V_2$  – загальний обсяг виконання робіт з проходки прилягаючих виробок, м<sup>3</sup>;  $V_3$  – загальний обсяг виконання робіт з армування ствола, м;  $v_1$  – технічна швидкість проходки ствола, м/міс;  $v_2$  – технічна швидкість проходки прилягаючих до ствола виробок, м<sup>3</sup>/міс;  $v_3$  – технічна швидкість виконання армування ствола,

м/міс;  $v_{1\min}$ ,  $v_{2\min}$ ,  $v_{3\min}$  – мінімальні швидкості ведення робіт з проходки ствола, прилягаючих до ствола виробок та армування ствола відповідно;  $v_{1\max}$ ,  $v_{2\max}$ ,  $v_{3\max}$  – максимальні швидкості ведення робіт з проходки ствола, прилягаючих до ствола виробок та армування ствола відповідно;

Виконаємо заміну змінних для лінеаризації обмежень.

$$V_1/v_1 = t_1, V_2/v_2 = t_2, V_3/v_3 = t_3.$$

В результаті заміни змінних система обмежень приймає вигляд (6)

$$\begin{cases} t_1 + t_2 + t_3 - T_{II}(1 - k_o) = 0 \\ t_i^{\min} \leq t_i \leq t_i^{\max}. \end{cases} \quad (6)$$

Діаграма побудованої моделі показана на рис. 1.

Сутнісний зміст елементів базової структури будь-якої системно-динамічної моделі і тлумачення графічних об'єктів діаграм подані в [11].

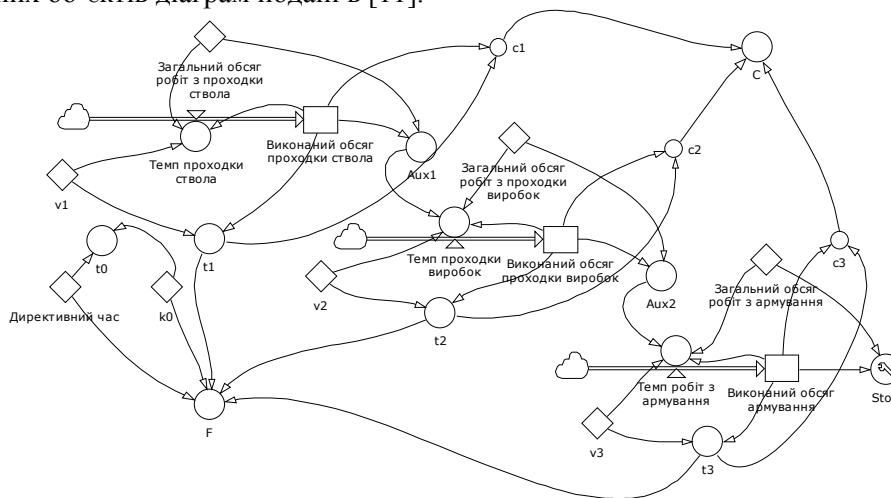


Рис. 1. Діаграма системно-динамічної моделі оптимізації темпів проведення поглиблювальних робіт з мінімізацією вартості проекту

Запишемо рівняння моделі мовою системно-динамічного імітаційного моделювання:

```

init «Виконаний обсяг проходки ствола» = 0
flow «Виконаний обсяг проходки ствола» = +dt*(«Темп проходки ствола»)
unit «Виконаний обсяг проходки ствола» = m
init «Виконаний обсяг проходки виробок» = 0
flow «Виконаний обсяг проходки виробок» = +dt*(«Темп проходки виробок»)
unit «Виконаний обсяг проходки виробок» = m^3
init «Виконаний обсяг армування» = 0
flow «Виконаний обсяг армування» = +dt*(«Темп робіт з армування»)
unit «Виконаний обсяг армування» = m
аух «Темп проходки ствола» = IF('Виконаний обсяг проходки ствола' < 'Загальний обсяг робіт з проходки ствола'; v1; 0 << m/day >>)
unit «Темп проходки ствола» = m/day
аух «Темп проходки виробок» = IF('Виконаний обсяг проходки виробок' < 'Загальний обсяг робіт з проходки виробок'; v2 * Аух1; 0 << m^3/day >>)
unit «Темп проходки виробок» = m^3/day
аух «Темп робіт з армування» = IF('Виконаний обсяг армування' < 'Загальний обсяг робіт з армування'; v3 * Аух2; 0 << m/day >>)
unit «Темп робіт з армування» = m/day
аух Аух1 = IF('Виконаний обсяг проходки ствола' >= 'Загальний обсяг робіт з проходки ствола'; 1; 0)
аух Аух2 = IF('Виконаний обсяг проходки виробок' >= 'Загальний обсяг робіт з проходки виробок'; 1; 0)
аух t1 = 'Виконаний обсяг проходки ствола' / v1

```

```

doc t1 = 'Тривалість виконання робіт з проходки ствола'
unit t1 = day
aux t0 = 'Директивний час'*k0
doc t0 = 'Тривалість виконання комплексу підготовчих робіт'
aux Stop = STOPIF('Виконаний обсяг армування'>='Загальний обсяг робіт з армування')
doc Stop = 'Елемент управління зупинкою імітації'
aux F = t1+t2+t3-'Директивний час'*(1-k0)
doc F = 'Змінна для забезпечення виконання лінійної системи обмежень' (6)
unit F = day
aux c1 = ('Виконаний обсяг проходки ствола'*106,79<<UAN/m>>)*((1+0,00049863)
doc c1 = 'Витрати на виконання робіт з проходки поглиблюваної частини ствола при річній
дисконтній ставці в 18,2% та умовній вартості проходки 1 метра ствола 106,79 грн'
unit c1 = UAN
aux C = c1+c2+c3
doc C = 'Витрати проекту при дисконтній ставці в 18,2% та умовних вартостях робіт'
unit C = UAN

```

Суть імітації полягає в тому, що на кожному кроці значення рівні збільшуються відповідно до величин темпів вхідних потоків («Темп проходки ствола», «Темп проходки виробок», «Темп робіт з армування»), які в свою чергу залежать від технічних темпів виконання робіт ( $v_1, v_2, v_3$ ).

Рівні відображають виконані на кожному кроці імітації обсяги робіт з проходки ствола, проходки виробок та армування ствола відповідно.

Після того, як виконано весь обсяг робіт з проходки ствола, модель переходить до виконання проходки виробок, потім – до армування.

Виконання цієї послідовності забезпечуються з допомогою змінних Aux1 і Aux2, в яких реалізовані умовні оператори IF.

Після виконання усього обсягу робіт з армування модель автоматично припиняє імітацію завдяки елементу управління імітацією Stop.

Вартісний аналіз здійснюється шляхом приведення вартості виконання кожного виду робіт у відповідності з поточним кроком імітації та виконаним об'ємом робіт.

Подібна методика, що наведена в джерелах [1,12], дозволяє уникнути деяких недоліків оцінки вартості інвестиційних проектів на основі статичних методів.

Критичний аналіз статичних методів оцінки інвестиційних рішень, проведений В.К. Галіциним та ін. в [12].

Використання динамічних методів оцінки інвестиційних рішень із застосуванням системно-динамічного моделювання надає можливість отримати передбачувану вартість витрат проекту на кожен момент його проведення з відображенням у графічній формі (див. рис. 2-4).

Згідно з умовними позначеннями, змінні  $c_1, c_2, c_3$  і  $C$  акумулюють передбачувану вартість виконання проходки ствола, виробок, армування та всього проекту відповідно.

Для вищої точності розрахунку тривалості виконання робіт, кроком імітації в моделі прийнято 1 день.

Після проведеної оптимізації на контрольному прикладі з умовними даними програма видає оптимальні значення, представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Оптимальні значення змінних моделі

Змінна	Мінімальна межа	Максимальна межа	Оптимальні значення
$k_0$	0.35	0.5	0,406
$v_1$	50	60	56,16
$v_2$	120	150	149,58
$v_3$	70	120	102,39

Результати прогону моделі для оптимальних значень, побудовані за допомогою інструменту «Часовий графік», містяться на рис. 2. Загальна компаундована вартість проекту станом на останній період його реалізації (466 день) складає 286890 грн.

При введенні даних, які задовольняють умовам (6), але не передбачають мінімізації вартості за генетичними алгоритмами ( $k_0 = 0,41$ ;  $v_1 = 54,69$  м/міс;  $v_2 = 145,35$  м<sup>3</sup>/міс;  $v_3 = 103,2$  м/міс), система показує результат, зображений на рис. 3.

Загальна вартість проекту при цьому складатиме 288343 грн (на 1453 грн більше ніж при здійсненні мінімізації вартості за генетичними алгоритмами). Орієнтована тривалість проекту, при цьому, зростає на 12 днів.

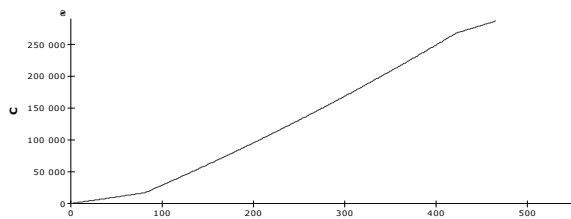


Рис. 2. Зміна вартості проекту в умовах оптимальних значень параметрів  $k_0, v_1, v_2, v_3$

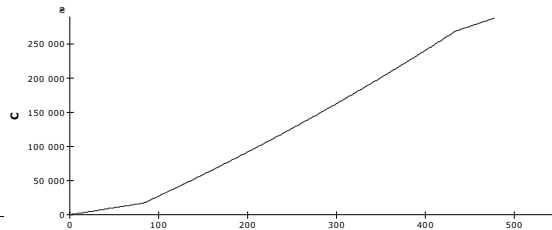


Рис. 3. Зміна вартості проекту в часі при значеннях  $k_0, v_1, v_2, v_3$ , що згенеровані при забезпеченні обмежень (6), та без мінімізації  $C$

На рис. 4 показано результати імітації для довільних значень параметрів ( $k_0 = 0,4$ ;  $v_1 = 50$  м/міс;  $v_2 = 120$  м<sup>3</sup>/міс;  $v_3 = 70$  м/міс).

За таких умов значення  $C$  складає 297881 грн (що на 10991 грн перевищує результат першого прогону моделі, показаного на рис. 1).

Орієнтована тривалість реалізації проекту зростає у порівнянні з першою імітацією на 114 днів.

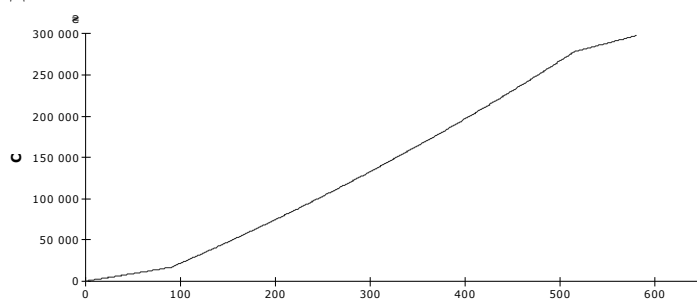


Рис. 4. Зміна вартості проекту в часі при довільних значеннях параметрів

**Висновки.** Отже, використання запропонованого підходу дозволяє забезпечити економію фінансових ресурсів та оптимізацію тривалості проекту, про що свідчать результати імітації роботи системи для різних

початкових умов.

Перспективи наведених результатів дослідження пов'язані з їх використанням при аналізі інвестиційних проектів поглиблення шахтних стволів рудних або вугільних шахт.

Зважаючи на зростаючий у суспільстві інтерес до проблем енергозбереження та раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів, подальший аналіз практичного завдання оптимізації параметрів ведення поглиблювальних робіт може ґрунтуватись на розширенні кола оптимізаційних значень шляхом введення до моделі змінних, які позначають витрати підприємства на енергетичні ресурси, що використовуються в ході виконання всіх видів поглиблювальних робіт.

#### Список літератури

1. Пересада А.А. Проектне фінансування: [підручник] / Пересада А.А., Майорова Т.В., Ляхова О.О. – К.: КНЕУ, 2005. – 736 с.
2. Пасиченко К.Ю. Анализ технологических схем углубки стволов / К.Ю. Пасиченко, С.В. Борщевский, В.Ф. Формос // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». – 2010. – №11. – С. 108-111.
3. Покровский Н.М. Проходка и углубка стволов шахт / Покровский Н.М. – М: Недра, 1967. – 244 с.
4. Покровский Н.М. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М: Недра, 1987. – 248 с.
5. Задорожний А.М. Обоснование оптимальных темпов ведения работ по углубке стволов при реконструкции шахт / А.М. Задорожний, В.В. Кононенко // Горный журнал. – 1992. – №7. – С. 45-48.
6. Задорожний А.М. Оптимизация работ по углубке вертикальных стволов по критерию «стоимость» / А.М. Задорожний, В.В. Кононенко, В.М. Серебрянников. – Кривой Рог, 1995. – 5 с. – Деп. в ГНТБ Украины 20.11.95. – № 1524-В95.
7. Веселов Ю.А. Углубка стволов шахт: [справочник] / Ю.А. Веселов, А.М. Задорожний. – М.: Недра, 1989. – 239 с.

8. **Ярыгин О.Н.** Изучение системной динамики как инструмент формирования компетентности менеджера и исследователя / **О.Н. Ярыгин, Е.С.Роганов** // Вектор науки ТГУ. Серия: Экономика и управление. – 2012. – №2. – С. 88-92.
9. **Вітлінський В.В.** Моделювання економіки: [навч. посібник] / **Вітлінський В.В.** – [2-е вид., без змін]. – К: КНЕУ, 2007. – 408 с.
10. **Власов М.П.** Моделирование экономических процессов: / **М.П. Власов, П.Д. Шимко.** – Ростов н/Д : Феникс, 2005. – 408 с.
11. **Форрестер Дж.** Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика) / **Форрестер Дж.** – М: «Прогресс», 1971. – 340 с.
12. **Галіцин В.К.** Моделі і методи оцінки інвестиційних проектів: [монографія] / **Галіцин В.К., Суслов О.П., Кубрушко Ю.О.** – К.: КНЕУ, 2005. – 168 с.

Рукопис подано до редакції 19.03.14

УДК 622.237:338.5

И.Е. ГРИГОРЬЕВ<sup>4</sup>, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет,  
А.А. КИТОВ, аспирант, ГП «ГПИ «Кривбасспроект»

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦИКЛИЧНОСТИ ЦЕН НА МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КАРЬЕРОВ**

В работе исследовано влияние цикличности цен минеральных ресурсов на эффективность проектных решений при формировании рациональных вариантов ведения горных работ.

**Проблема и ее связь с научными и практическими вопросами.** Переход к рыночному укладу экономики, введение нового механизма хозяйствования в нашей стране, сокращение внутреннего спроса на минеральные ресурсы вследствие кризисных явлений, привели к необходимости повышения уровня конкурентоспособности украинских горнодобывающих предприятий.[1]

В рыночных условиях одним из наиболее влиятельных и неопределенных факторов для горных предприятий является цена на производимую продукцию. Именно изменение цен на минеральные ресурсы является ключевым фактором для определения наиболее рациональных вариантов развития горных работ при проектировании разработки месторождений полезных ископаемых. Этот фактор влияет не только на формирование дохода предприятия, но и обуславливает многие проектные технико-технологические решения.[2]

В связи с этим, для горнодобывающих предприятий возникает необходимость учета колебания цен на производимый минеральный ресурс. Учет колебания цен повысит эффективность проектных решений при определении рационального режима ведения горных работ.

Целью данной работы является исследование влияния изменения цены минеральных ресурсов на эффективность проектных решений при формировании рациональных вариантов ведения горных работ и повышения основных технико-экономических показателей проекта.

**Анализ исследований и публикаций.** Вопросам повышения эффективности работы горнодобывающих предприятий посвящено множество научных трудов, как зарубежных ученых – Ф. Котлера, Ф. А. Хайека[3], М. Портера, А. А. Томпсона[4], И. Ансоффа, Г. Асселя., так и отечественных - В. И. Герасимчука, И. Л. Решетниковой, А. Е. Воронковой, Ю. Ф. Ярошенка, Ю.Г. Вилкула, А. А. Азаряна[5], В. В. Перегудова, А. Е. Грицины, и множества других.

На основе проведенного анализа этих работ установлено, что данные исследования не учитывают влияние циклических колебаний, присущих экономике. Их существование было доказано достаточно давно. Результаты были изложены в трудах таких ученых как: Д. Китчин, С. Кузнец, К. Жугляр[6], Н.Д. Кондратьев[7], Ж.В. Форрестер, А. В. Кортаев, Л. Е. Гринин[8] и т.д.