

УДК 005.411:62:339.14

doi: 10.32620/akt.2020.6.09

О. Є. ФЕДОРОВИЧ¹, О. С. УРУСЬКИЙ², Л. М. ЛУТАЙ¹, К. О. ЗАПАДНЯ¹¹ Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Україна² Інжинірингова компанія Прогрестех-Україна, Київ, Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ СТВОРЕННЯ НОВОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ КОНКУРЕНЦІЇ ТА СТОХАСТИЧНОЇ ПОВЕДІНКИ РИНКУ ЗБУТУ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Ставиться та вирішується задача оптимізація життєвого циклу нової техніки (аерокосмос, продукція машинобудування та інше) в складних економічних умовах. Метою дослідження є розробка методу скорочення життєвого циклу створення складної техніки. Предметом дослідження є планування та управління життєвим циклом складної техніки в умовах жорсткої конкуренції та стохастичної поведінки ринку збуту високотехнологічної продукції. В роботі показані протиріччя між плановим характером сучасного виробництва, яке працює в умовах Industry 4.0 та стохастичною поведінкою ринку збуту продукції. Це протиріччя призводить до актуальності короткострокових планів виробництв, які мають мінімальні ризики. Тому планування виробничої системи здійснюється на портфель замовлень, який можна реалізувати в короткостроковий термін. При плануванні нових замовлень необхідно проводити скорочення життєвого циклу створення нової техніки шляхом проведення аналізу основних етапів: проектування, підготовка виробництва, виробництво. Запропонована оптимізаційна модель вибору заходів (проектних дій) на початковому етапі життєвого циклу. Для формування множини, із якої здійснюється вибір альтернативних варіантів заходів, використовуються оцінки експертів, які впорядковуються з урахуванням важливості показників часу, конкурентоспроможності, інноваційності, витрат та ризиків. Проводиться моделювання скорочення життєвого циклу створення нової техніки в умовах обмежених можливостей виробництва, яке створює високотехнологічну продукцію. Використовуються наступні математичні моделі та методи: системний аналіз, оптимізація за допомогою цілочисельного програмування, багатокритеріальна оптимізація, експертні оцінки, імітаційне моделювання, агентне моделювання, оцінки ризиків. Метод дозволяє шляхом планування скорочення життєвого циклу створення нової техніки та управління ресурсами створити конкурентоспроможну продукцію в умовах обмежених можливостей.

Ключові слова: високотехнологічна продукція; життєвий цикл створення нової техніки; оптимізація життєвого циклу; моделювання життєвого циклу.

Вступ

Створення складної інноваційної продукції в аерокосмічній галузі пов'язано з проведенням заходів щодо формування життєвого циклу (ЖЦ), який включає етапи проектування, підготовки виробництва та реалізації основних виробничих операцій з урахуванням логістичних взаємодій окремих виробничих підрозділів [1].

Розподіленість сучасних аерокосмічних виробництв ускладнює виконання логістичних операцій в умовах синхронізації їх з основними виробничими операціями, що впливає на тривалість ЖЦ [2]. Крім того, необхідно при створенні нової аерокосмічної техніки враховувати прогноз поведінки ринку збуту продукції, який в умовах економічної турбулентності стає менш передбачуваним та має велику динаміку змін на довгостроковому терміні [3]. Звідси випливає актуальність теми запропонованої публікації,

в який становиться та вирішується задача оптимізації життєвого циклу створення складної аерокосмічної техніки в умовах конкуренції та стохастичної поведінки ринку збуту високотехнологічної продукції.

1. Постановка завдання дослідження

Уявимо логістичну схему процесу взаємодії розподіленої виробничої системи (РВС) та ринку збуту високотехнічної продукції (рис. 1).

Необхідно відмітити наступну особливість сучасної взаємодії РВС та ринку збуту продукції – це плановий характер виробництва (детермінована основа планування та реалізації виробничого процесу) та стохастична поведінка ринку, пов'язана з динамікою зміни інтересів інвесторів та замовників високотехнічної продукції, турбулентністю економічних процесів, нестабільним політичним середовищем.

Звідси випливає протиріччя між суто плановою системою роботи РВС та стохастичною поведінкою ринку [4]. Тому довгострокові прогнози поведінки ринку, на теперішній час, мають великі ризики і на перший план виходять короткострокові прогнози, які дозволяють оцінювати найближчу перспективу та створювати реалізовані плани виробництва інноваційної техніки.

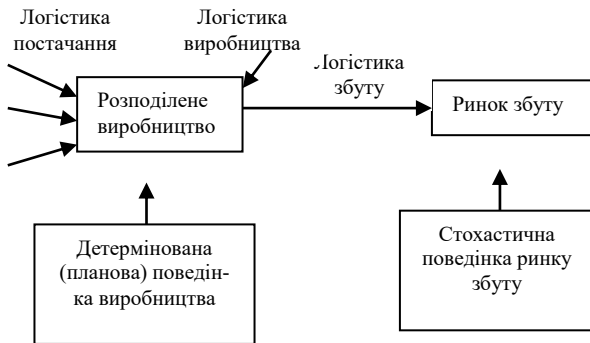


Рис. 1. Взаємодія РВС з ринком збуту продукції

На рис. 2 наведено криві попиту для високотехнологічної продукції. Крива 1 відповідає попиту при відносно стабільній поведінці ринку з можливістю випуску продукції на достатньо тривалому періоді часу. З ростом конкуренції та виникненням нестабільності, плани виробництва повинні, у великій мірі, відповідати короткостроковому періоду випуску продукції (крива 2), що призводить до прискорення процесів проектування, підготовки виробництва, виробництва та реалізації виробів на ринку збуту високотехнологічної продукції.

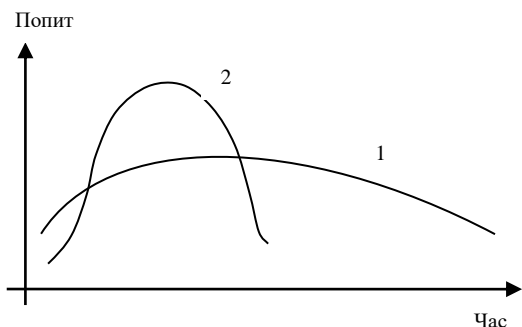


Рис. 2. Криві попиту на високотехнологічну продукцію

Таким чином, виникає проблема скорочення тривалості ЖЦ в умовах економічної нестабільності з урахуванням реальних можливостей виробничого підприємства. Комплексне вирішення цієї проблеми потребує системного аналізу всіх складових ЖЦ зі створення високотехнологічного виробу.

2. Рішення завдання дослідження

Проведемо декомпозицію основних етапів ЖЦ для системного представлення задачі скорочення тривалості життєвого циклу.

На рис. 3 наведена дворівнева подання ЖЦ. Кількість рівнів можна збільшити в залежності від складності заходів проектних дій, які проводяться щодо створення складної техніки. Усю множину заходів можна розбити на проектні дії, які проводяться на основі минулого досвіду та існуючих для них нормативів та стандартів і виникаючих нових проектних дій, пов'язаних з інноваційними рішеннями, які забезпечують конкурентоспроможність нової продукції, що створюється.

Кожну i -у дію щодо створення складної техніки можна оцінити за допомогою набору показників: тривалість – $t_i \in T$, витрати на реалізацію – $z_i \in Z$, конкурентоздатність – $q_i \in Q$, інноваційність – $h_i \in H$, ризик успішного виконання – $r_i \in R$.

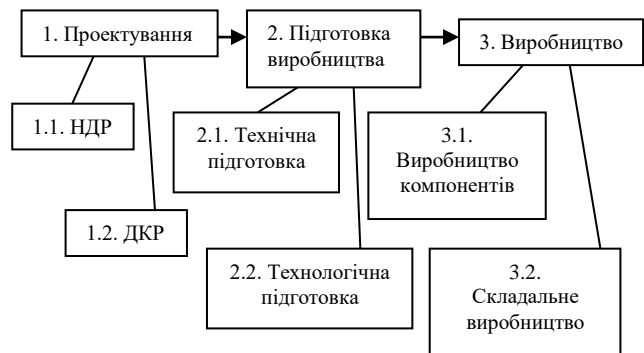


Рис. 3. Дворівнева декомпозиція етапів ЖЦ

Необхідно відмітити, що практика створення складних виробів привела до необхідності вибору альтернатив із множини можливих заходів та проектних дій щодо створення складної техніки на кожному етапі ЖЦ. Тому для пошуку оптимальних рішень необхідно оцінювати раціональний вибір заходів (дій) із множини існуючих для даного виду складного виробу. Великі труднощі виникають у випадку необхідності використання інноваційних рішень, які з однієї сторони дають можливість підвищити конкурентоспроможність виробу, а з другої – призводити до ризиків реалізації проекту щодо створення нової техніки. Таким чином, основні показники щодо реалізації основних етапів ЖЦ, з урахуванням вибраного j -го рівня деталізації можна представити наступним чином:

$$T = \sum_{i_j} t_{i_j} \cdot x_{i_j} + \sum_{i_{2j}} t_{i_{2j}} \cdot x_{i_{2j}} + \sum_{i_{3j}} t_{i_{3j}} \cdot x_{i_{3j}} ;$$

$$Z = \sum_{i_j} z_{i_j} \cdot x_{i_j} + \sum_{i_{2j}} z_{i_{2j}} \cdot x_{i_{2j}} + \sum_{i_{3j}} z_{i_{3j}} \cdot x_{i_{3j}} ;$$

$$Q = \sum_{i_{1j}} q_{i_{1j}} \cdot x_{i_{1j}} + \sum_{i_{2j}} q_{i_{2j}} \cdot x_{i_{2j}} + \sum_{i_{3j}} q_{i_{3j}} \cdot x_{i_{3j}} ;$$

$$H = \sum_{i_{1j}} h_{i_{1j}} \cdot x_{i_{1j}} + \sum_{i_{2j}} h_{i_{2j}} \cdot x_{i_{2j}} + \sum_{i_{3j}} h_{i_{3j}} \cdot x_{i_{3j}} ;$$

$$R = \sum_{i_{1j}} r_{i_{1j}} \cdot x_{i_{1j}} + \sum_{i_{2j}} r_{i_{2j}} \cdot x_{i_{2j}} + \sum_{i_{3j}} r_{i_{3j}} \cdot x_{i_{3j}} .$$

Тут $x_{i_{1j}}$, $x_{i_{2j}}$, $x_{i_{3j}}$ – булеві змінні, які відповідають вибору конкретного заходу на кожному етапі ЖЦ для заданого j -го рівня деталізації:

$$x_{i_{kj}} = \begin{cases} 1 - \text{вибір } i\text{-го заходу на } j\text{-м рівні} \\ \text{деталізації для } k\text{-го етапу ЖЦ;} \\ 0 - \text{у іншому випадку} \\ \text{(відсутність вибору } i_{kj} \text{ заходу);} \end{cases}$$

$i_{kj} = \overline{1, m_k}$, де m_k – величина множини можливих альтернативних заходів для k -го етапу ЖЦ j -го рівня деталізації.

Раціональний вибір заходів дозволить, в залежності від показника, що нас цікавить (T , Z , Q , H , R) здійснити оптимізацію ЖЦ в умовах допустимих значень основних показників T' , Z' , Q' , H' , R' .

Для скорочення часу реалізації ЖЦ необхідно знайти $\min T$:

$$T = \sum_{i_{1j}} t_{i_{1j}} \cdot x_{i_{1j}} + \sum_{i_{2j}} t_{i_{2j}} \cdot x_{i_{2j}} + \sum_{i_{3j}} t_{i_{3j}} \cdot x_{i_{3j}} ,$$

в умовах обмежених можливостей, пов'язаних з виконанням вимог щодо інших показників:

$$Z \leq Z', \quad Z = \sum_{i_{1j}} z_{i_{1j}} \cdot x_{i_{1j}} + \sum_{i_{2j}} z_{i_{2j}} \cdot x_{i_{2j}} + \sum_{i_{3j}} z_{i_{3j}} \cdot x_{i_{3j}} ;$$

$$Q \geq Q', \quad Q = \sum_{i_{1j}} q_{i_{1j}} \cdot x_{i_{1j}} + \sum_{i_{2j}} q_{i_{2j}} \cdot x_{i_{2j}} + \sum_{i_{3j}} q_{i_{3j}} \cdot x_{i_{3j}} ;$$

$$H \geq H', \quad H = \sum_{i_{1j}} h_{i_{1j}} \cdot x_{i_{1j}} + \sum_{i_{2j}} h_{i_{2j}} \cdot x_{i_{2j}} + \sum_{i_{3j}} h_{i_{3j}} \cdot x_{i_{3j}} ;$$

$$R \leq R', \quad R = \sum_{i_{1j}} r_{i_{1j}} \cdot x_{i_{1j}} + \sum_{i_{2j}} r_{i_{2j}} \cdot x_{i_{2j}} + \sum_{i_{3j}} r_{i_{3j}} \cdot x_{i_{3j}} .$$

Важливим моментом в оптимізації ЖЦ є вибір можливих заходів (проектних дій) M_{kj} , для кожного k -го етапу ЖЦ з урахуванням j -го рівня деталізації. Доцільно, для вирішення цієї задачі, скористатися думкою експертів щодо створення складної техніки. Для простоти вибору експертами множини заходів можна скористатися якісними оцінками у вигляді значень змінних $y_{i_{kj}}$, де кожне значення

представлено у вигляді літер латинського алфавіту, наприклад:

$$y_{i_{kj}} = \begin{cases} A - \text{чудово;} \\ B - \text{відмінно;} \\ C - \text{добре;} \\ D - \text{задовільно;} \\ E - \text{незадовільно.} \end{cases}$$

Тоді кожний захід можна оцінити у вигляді «слова», в якому на першому місці знаходиться значення найбільш важливого показника, а наприкінці – найменш важливе. Нехай, з урахуванням вимог щодо скорочення ЖЦ, на першому місці знаходиться показник тривалості ЖЦ – T , на другому – конкурентоспроможність Q , на третьому – витрати на реалізацію Z , на четвертому – інноваційність H , на п'ятому – ризики успішного виконання проекту щодо скорочення тривалості ЖЦ R . Тоді будь-який захід можна навести у вигляді «слова», наприклад: $V C A B D$.

Множину можливих заходів відокремлених експертами для k -го етапу j -го рівня деталізації ЖЦ можна представити у вигляді, наприклад:

1. $V C A B D$
2. $A D D D D$
3. $C D C C B$
4. $B V C D C$
5. $A C D C D$
6. $B D C D B$.

Отриману експертами множину рішень необхідно лексикографічно впорядкувати. З урахуванням впорядкування, отримаємо:

5. $A C D C D$
2. $A D D D D$
1. $V C A B D$
6. $B D C D B$
4. $B V C D C$
3. $C D C C B$.

Найліпше рішення, яке необхідно використовувати в якості заходів щодо скорочення ЖЦ, знаходяться зверху отриманого списку. Для скорочення можливих варіантів вибору заходів можна використовувати обмежувальне «слово», яке задається експертами.

Нехай, для нашого прикладу це «слово» має вигляд $V C C B D$. Помістимо це «слово» до впорядкованого списку. В результаті отримаємо:

5. $A C D C D$
2. $A D D D D$
1. $V C A B D$
6. $V C C B D$
6. $B D C D B$
4. $B V C D C$
3. $C D C C B$.

Звідси видно, що для вибору можливих заходів щодо скорочення ЖЦ, необхідно використовувати заходи 5, 2, 1.

Для перевірки правильності вибору заходів (проектних дій), які впливають на скорочення тривалості ЖЦ, доцільно використовувати агентне моделювання [5].

Для імітаційного моделювання тривалості ЖЦ необхідно використовувати наступні агенти:

1. Агент установки j -го рівня деталізації ЖЦ.
2. Агент установки k -го етапу ЖЦ.
3. Агент вибору із множини $m_{k,j}$ i -у проектну дію для j -го рівня та k -го етапу ЖЦ.
4. Агент формування тривалості T ЖЦ з урахуванням послідовності моделювання етапів ЖЦ.
5. Агент оцінки конкурентоспроможності Q нового виробу з урахуванням усіх етапів ЖЦ.
6. Агент оцінки витрат Z на проект щодо створення нового виробу.
7. Агент оцінки інноваційності – H .
8. Агент оцінки ризиків R з урахуванням усіх етапів ЖЦ.
9. Агент формування бази даних (БД) для усіх обраних експертами заходів (проектних дій) з урахуванням рівнів деталізації та етапів ЖЦ.
10. Агент монітор (формує системний час та реалізує послідовність подій виконання проектних дій на обраному рівні деталізації ЖЦ).

На рис. 4 представлена структурна схема агентної моделі.

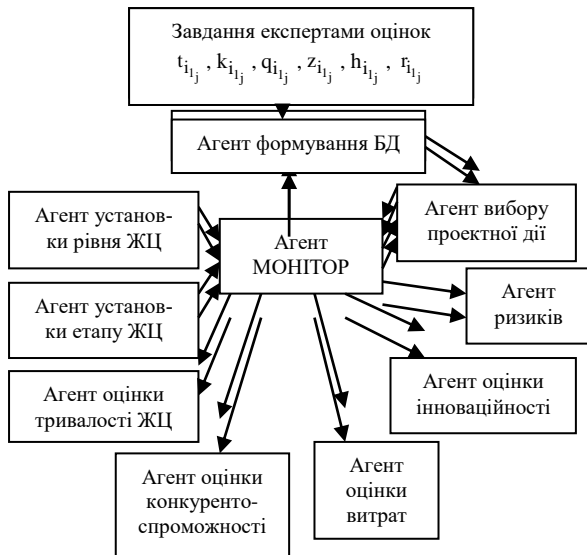


Рис. 4. Структурна схема агентної моделі

Висновки

Проведено аналіз сучасної взаємодії виробничої системи з ринком збуту високотехнологічної

продукції. Виявлено протиріччя між плановим характером виробництва зі стохастичною поведінкою ринку. Показано, що через зростаючу конкуренцію, економічну нестабільність, сучасних викликів та загроз скорочення періоду попиту на продукцію призводить до постановки та вирішення актуальної задачі скорочення тривалості життєвого циклу високотехнологічної аерокосмічної продукції, що випускається. Проведено системний аналіз ЖЦ з урахуванням рівнів деталізації та етапів ЖЦ. Побудована оптимізаційна модель скорочення тривалості циклу ЖЦ. Враховуються основні показники ЖЦ: тривалість, витрати, конкурентоспроможність, інноваційність, ризики. Сформована множина заходів (проектних дій) щодо створення інноваційного виробу з урахуванням рівнів декомпозиції та етапів ЖЦ. Проведено моделювання виконання проектних дій щодо створення нової техніки з урахуванням послідовності етапів ЖЦ.

Запропонований підхід доцільно використовувати на початкових етапах створення інноваційного виробу при плануванні проектних дій, необхідних ресурсів, термінів виконання заказу в умовах обмежених можливостей та мінливості економічного середовища.

Література

1. Мелёхин, В. Б. Теоретические аспекты эффективного управления поведением социально-экономических объектов в нестабильной окружающей среде [Электронный ресурс] / В. Б. Мелёхин, Н. Ш. Шихалиева // Интернет журнал «Науковедение». – 2014. – Вып. 4 (23), – Режим доступа: <https://naukovedenie.ru/PDF/116EVN414.pdf>. – 11.02.2020.
2. Uskenbayeva, R. K. Situational Management for Process Implementation of Working Operations of the Business Process [Text] / R. K. Uskenbayeva, B. K. Kurmangaliyeva, D. Yedilkhan // 54th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE) . – Hangzhou; China, 2015. – P. 292–297. DOI: 10.1109/SICE.2015.7285573.
3. Федорович, О. Е. Методы и модели исследования виртуальных производств, ориентированных на выпуск высокотехнологической продукции [Текст] / О. Е. Федорович, К. О. Западня, О. А. Гайденко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2017. – № 1 (136). – С. 54–59.
4. Федорович, О. Е. Логистика выполнения портфеля заказов высокотехнологической продукции развивающегося виртуального предприятия [Текст] / О. Е. Федорович, Ю. Л. Прончаков // Авиационно-космическая техника и технология. – 2016. – № 3 (130). – С. 99-102.

5. Кравець, Р. О. Динамічна координація стратегій мультиагентних систем [Текст] / Р. О. Кравець // Бюлетень Національного університету «Львівська політехніка». – 2011. – №. 699. – Р. 134–144.

References

1. Melekhin, V. B., Shihalieva, N. S. Teoreticheskie aspekty effektivnogo upravleniya povedeniem sotsial'no-ekonomicheskikh ob"ektov v nestabil'noy okruzhayushchey srede [Theoretical aspects of effective management by behavior of socioeconomic objects in unstable environment]. *Internet journal "NAUKOVEDENIE"*, July-August 2014, Issue 4 (23), Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/116EVN414.pdf>. (accessed 11.02.2020)

2. Uskenbayeva, R. K., Kurmangaliyeva, B. K., Yedilkhan, D. Situational Management for Process Implementation of Working Operations of the Business Process. *54th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)*, Hangzhou, China, 2015, pp. 292-297. DOI: 10.1109/SICE.2015.7285573.

3. Fedorovich, O. E., Zapadnya, K. O., Gaidenko, O. A. Metody i modeli issledovaniya virtual'nykh proizvodstv, orientirovannykh na vypusk vysokotekhnologicheskoi produktsii [Methods and models to research the virtual manufactures oriented on the issue of high-tech products]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2017, no. 1 (136), pp. 54-59.

4. Fedorovich, O. E., Pronchakov, Yu. L. Logistika vpolneniya portfelya zakazov vysoko-tehnologicheskoi produktsii razvivayushchegosya virtual'nogo predpriyatiya [Logistics of high-tech product orders stock execution for the growing virtual enterprise]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2016, no. 3 (130), pp. 99-102.

5. Kravets, P. O. Dynamichna koordynatsiya stratehiy mul'tyahentnykh system [Dynamic coordination of multi-agent systems strategies]. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic"*, 2011, no. 699, pp. 134-144.

Надійшла до редакції 11.10.2020, розглянута на редколегії 16.11.2020

ОПТИМИЗАЦИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СОЗДАНИЯ НОВОЙ ТЕХНИКИ В УСЛОВИЯХ КОНКУРЕНЦИИ И СТОХАСТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ РЫНКА СБЫТА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

О. Е. Федорович, О. С. Уруский, Л. Н. Лутай., К. О. Западня

Ставится и решается задача оптимизации жизненного цикла новой техники (аэрокосмос, продукция машиностроения и т.д.) в сложных экономических условиях. Целью исследования является разработка метода сокращения жизненного цикла создания сложной техники. Предметом исследования является планирование и управление жизненным циклом сложной техники в условиях жесткой конкуренции и стохастического поведения рынка сбыта высокотехнологичной продукции. В работе показаны противоречия между плановым характером современного производства, которое работает в условиях Industry 4.0 и стохастическим поведением рынка сбыта продукции. Это противоречие приводит к актуальности краткосрочных планов производств, имеющих минимальные риски. Поэтому планирование производственной системы осуществляется на портфель заказов, который можно реализовать в краткосрочный период. При планировании новых заказов необходимо проводить сокращение жизненного цикла создания новой техники путем проведения анализа основных этапов: проектирование, подготовка производства, производство. Предложена оптимизационная модель выбора мероприятий (проектных действий) на начальном этапе жизненного цикла. Для формирования множества, из которого осуществляется выбор альтернативных вариантов мероприятий, используются оценки экспертов, которые упорядочиваются с учетом важности показателей времени, конкурентоспособности, инновационности, расходов и рисков. Проводится моделирование сокращения жизненного цикла создания новой техники в условиях ограниченных возможностей производства, которое создает высокотехнологичную продукцию. Используются следующие математические модели и методы: системный анализ, оптимизация с помощью целочисленного программирования, многокритериальная оптимизация, экспертные оценки, имитационное моделирование, агентное моделирование, оценки рисков. Метод позволяет путем планирования сокращения жизненного цикла создания новой техники и управления ресурсами создать конкурентоспособную продукцию в условиях ограниченных возможностей.

Ключевые слова: высокотехнологичная продукция; жизненный цикл создания новой техники; оптимизация жизненного цикла; моделирование жизненного цикла.

**OPTIMIZATION OF THE NEW TECHNIQUE CREATION LIFE CYCLE
IN A COMPETITIVE ENVIRONMENT AND STOCHASTIC BEHAVIOR
OF HIGH TECHNOLOGY PRODUCTS MARKET**

O. Fedorovich, O. Uruskyi, L. Lutai, K. Zapadnya

The task to optimize the life cycle of new technique (aerospace, engineering products, etc.) in difficult economic conditions is stated and solved. The aim of the study is to develop a method to reduce the life cycle of complex technique creation. The subject of the research is the planning and management of the life cycle of complex technique in a highly competitive environment and stochastic behavior of high-tech products market. The paper shows the contradictions between the planned nature of modern production, which operates in conditions of Industry 4.0 and the stochastic behavior of the market. This contradiction leads to the relevance of short-term production plans with minimal risks. Therefore, the planning of the production system is carried out based on the portfolio that can be done in the short term. When planning new orders, it is necessary to shorten the life cycle of new equipment creation by analyzing the main stages: design, preparation of production, production. The optimization model to select the measures (project actions) at the initial stage of the life cycle is proposed. In order to generate the set from which the alternative options for activities are selected, expert assessments being ordered on the basis of the importance of time indicators, competitiveness, innovation, costs and risks are used. Simulation of the shortening of the new technique creation life cycle at a time of capacity constraints of production that creates high-tech products is carried out. The following mathematical models and methods are used: system analysis, optimization using integer programming, multi-criteria optimization, expert assessments, simulation modeling, agent-based modeling, risk assessment. The method allows to create competitive products at a time of capacity constraints by means of planning to shorten the life cycle of new technique creation and resources management.

Keywords: high-tech products; life cycle of new technique creation; life cycle optimization; life cycle modeling.

Федорович Олег Євгенович – д-р техн. наук, проф., зав. каф. комп’ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Уруський Олег Семенович – д-р техн. наук, Директор інжинірингової компанії Прогрестех-Україна, Київ, Україна.

Лутай Людмила Миколаївна – канд. техн. наук, доцент кафедри мехатроніки та електротехніки, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Западня Ксенія Олегівна – канд. техн. наук, доц., доц. каф. комп’ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Oleg Fedorovich – Doctor of technical sciences, Professor, head of department of Computer Science and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: o.fedorovych@khai.edu, ORCID: 0000-0001-7883-1144.

Oleg Uruskyi – Doctor of Engineering Science, director of Progresstech Ukraine engineering company, Kyiv, Ukraine, Kyiv, e-mail: Poexp2005@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2374-5318.

Liudmyla Lutai – Candidate of Technical Sciences PhD (Engineering Sciences), Associate Professor of the department Mahatronics and Electrical Engineering, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: l.lutay@khai.edu, ORCID: 0000-0003-1822-8938.

Kseniia Zapadnia – Candidate of Technical Sciences PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Sciences and Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: k.zapadnia@khai.edu, ORCID: 0000-0002-9705-7470.