

УДК 658.012.23

Ю.А. Білокін

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", Україна

## СИСТЕМНЕ ПОДАННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ СКЛАДНОЇ ТЕХНІКИ З УРАХУВАННЯМ СТАДІЇ УТИЛІЗАЦІЇ

Проаналізовано існуючі підходи до опису життєвого циклу складної техніки. Запропоновано подання життєвого циклу складної техніки з погляду утилізації. Виділено ресурси, що утворюються на стадії утилізації, і відображено зворотні зв'язки між стадіями життєвого циклу у вигляді матеріально-інформаційних потоків (потіки інформації, вторинної сировини, комплектуючих). За допомогою апарату регулярних схем сіток процесів запропоновано формалізований опис життєвого циклу складної техніки, який враховує перекриття окремих стадій у часі та умови переходів між ними.

**Ключові слова:** утилізація складної техніки, життєвий цикл складної техніки, стадія життєвого циклу, регулярні схеми сіток процесів.

### Вступ

Життєвий цикл (ЖЦ) складної техніки (СТ) доцільно розглядати, приділяючи увагу завершальній стадії – утилізації, оскільки ресурси, що вивільнюються в її результаті, можуть виступати як додаткове джерело отримання доходу.

Оскільки в процесі свого життєвого циклу через стадію утилізації зрештою повинні пройти усі види СТ, вже в процесі створення нової техніки при ухваленні рішення про початок її розробки, виборі конструкції та необхідних матеріалів мають бути враховані подальші вимоги та очікувані втрати на утилізацію [1].

Найчастіше утилізація орієнтована на отримання максимально можливого об'єму вторинної сировини певного характеру (наприклад, металобрухту) без урахування подальшого використання інших складових (пластмаси, гума, та ін.). Така часткова утилізація не відповідає повною мірою поняттям безвідходності технологій та комплексної утилізації.

Комплексна утилізація означає, що процеси утилізації повинні передбачати переробку усіх елементів виробів; бути безпечними для персоналу

і довкілля; повинні здійснюватися з мінімальними економічними втратами, а при глибоких вторинних переділах отримуваної сировини вони мають бути економічно вигідні, за винятком переробки окремих класів і видів об'єктів [1].

Саме відсутність системного підходу і цілісного подання ЖЦСТ є однією з причин того, що проекти утилізації СТ виявляються неприбутковими та потребують державних дотацій, адже необхідність реалізації проектів утилізації є обгрунтованою з погляду безпеки.

**Постановка задачі дослідження.** Існують різні підходи до представлення ЖЦСТ. Під ЖЦ розуміють сукупність процесів, що виконуються від моменту виявлення потреб суспільства в певній продукції, до моменту задоволення цих потреб і утилізації продукції. Тобто, ЖЦ включає множину стадій, починаючи від маркетингового аналізу на підприємстві, що виготовляє продукцію, і закінчуючи утилізацією продукції (рис. 1).

При цьому між цими стадіями часто виникає складний взаємозв'язок в часі: стадії ЖЦСТ можуть мати строго послідовний (дискретний, або безперервний) і паралельний характер (з перекриттям в часі).

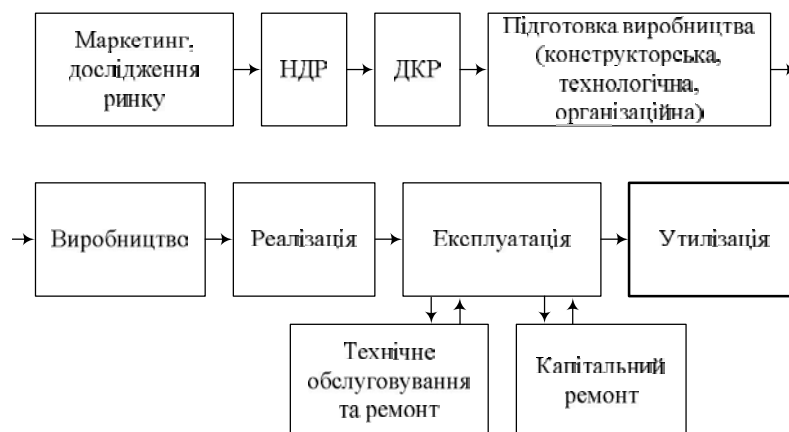


Рис. 1. Життєвий цикл складної техніки

На кожній з цих стадій задіяні різні структури – виробники, підприємства торгівлі, ремонтні підприємства, споживачі та підприємства, що відповідають за утилізацію продукції.

У ГОСТ 30773-2001 [2] ЖЦ виробу розглядається з точки зору утворення основних видів об'єктів і відходів на різних стадіях.

Положення по життєвому циклу технічних систем, що містить міжнародний стандарт ISO/IEC 15288:2002 (E), встановлюють типовий зміст процесу утилізації [3].

Відповідно до міжнародного стандарту ISO 9004-1 [4] взаємодію елементів повного циклу виробу представляють у вигляді так званої петлі якості. Під нею розуміють замкнутий у вигляді кільця ЖЦ продукції, що містить наступні типові етапи: маркетинг і вивчення ринку; проектування і розробка продукції; планування і розробка процесів; закупівлі; виробництво або надання послуг; перевірки; пакування і зберігання; реалізація і розподіл; монтаж і введення в експлуатацію; технічна допомога і обслуговування; післяпродажна діяльність; утилізація або переробка продукції після закінчення терміну використання.

Подання ЖЦСТ в замкнутому вигляді є обґрунтованим з точки зору забезпечення безвідходності технологій. Безвідходна технологія – принцип організації виробництва взагалі, що означає використання сировини та енергії в замкнутому циклі. Замкнутий цикл означає ланцюжок "первинна сировина – виробництво – споживання – вторинна сировина". Принципи безвідходної технології базуються на системному підході, комплексному використанні ресурсів, циклічності матеріальних потоків, обмеженні впливу на довкілля і раціональній організації виробничого процесу.

Замкнутість ЖЦ може бути зображена у вигляді зворотних зв'язків, що відтворюють матеріально-інформаційні потоки між стадіями.

Таким чином, аналіз існуючих підходів до представлення ЖЦСТ свідчить про необхідність розробки такого подання ЖЦ, який би надав можливість врахувати аспекти утилізації і безвідходності технологій і відобразити системні вимоги зворотних зв'язків між стадіями ЖЦ у вигляді матеріально-інформаційних потоків.

### Основна частина

У загальному випадку утилізація СТ містить: декомпозицію об'єкту СТ на комплектуючі (розбирання); переробку складових, що містять корисні компоненти; поховання і знищення складових, що не підлягають переробці.

Таким чином, на стадії утилізації утворюються три основні види ресурсів, використання яких доцільне на інших стадіях ЖЦСТ: комплектуючі, вторинна сировина і інформація про об'єкт.

Після декомпозиції об'єкту утилізації на складові і наступної їх дефектації утворюються комплектуючі, що мають запас ресурсу і підлягають повторному використанню. Комплектуючі, ресурс яких вичерпано, спрямовуються на переробку, внаслідок чого утворюється вторинна сировина – чорні, кольорові і дорогоцінні метали, тощо. Складові об'єкту утилізації, що не відносяться до двох попередніх категорій, залежно від матеріалу і фізичних властивостей підлягають похованню або знищенню.

На стадії утилізації в ході узагальнення досвіду експлуатації СТ утворюється інформація, використання якої доцільне в проектах створення нової техніки інших видів, а також на стадіях НДДКР і виробництва.

Сукупність ресурсів  $R_{out}$ , отриманих на стадії утилізації, запишемо у вигляді:

$$R_{out} = \{K, SRM, I\},$$

де  $K$  – комплектуючі СТ, отримані в результаті утилізації;  $SRM$  – вторинна сировина;  $I$  – інформація.

Вторинні матеріальні ресурси виникають вже на стадіях, що передують утилізації: в ході технічного обслуговування і ремонту списуються компоненти з ресурсом або терміном зберігання, що вичерпано. Крім того, об'єкт СТ надходить на утилізацію разом з інформацією про його конструкцію та ін., чим обґрунтовується необхідність інформаційного взаємозв'язку між стадіями утилізації і НДДКР.

Виділимо ресурси  $R_{in}$ , що надходять на стадію утилізації:

$$R_{in} = \{K_{rec}, I\},$$

де  $K_{rec}$  – комплектуючі СТ, що поступають на утилізацію.

Таким чином, зі стадією утилізації СТ пов'язані ресурси:

$$R = \{R_{in}, R_{out}\}.$$

На підставі розглянутих форм подання ЖЦ і зазначених особливостей утилізації СТ, сформуємо ЖЦСТ з урахуванням специфіки стадії утилізації (рис. 2). На схемі приведено три види ресурсів, що утворюються на стадії утилізації, і відповідні їм матеріально-інформаційні потоки, які відображено у вигляді зворотних зв'язків між стадіями ЖЦСТ, а також ресурси, що поступають на стадію утилізації. На схемі враховано взаємозв'язок між ЖЦСТ різних видів: ресурси, що вивільняються на стадіях ЖЦ к-го виду, можуть бути використані упродовж ЖЦСТ і-го виду як у вигляді комплектуючих в якості запасних частин на стадії експлуатації при технічному обслуговуванні і ремонті, так і у вигляді вторинної сировини на стадії виробництва.

Представимо ЖЦСТ як сукупність стадій:

$$S = \left\{ \begin{array}{l} S_{НДР}, S_{ДКР}, S_{ПВ}, S_B, \\ S_{ЕКСПЛ}, S_{ТО}, S_{РЕМ}, S_{ЗБ}, S_{УТ} \end{array} \right\},$$

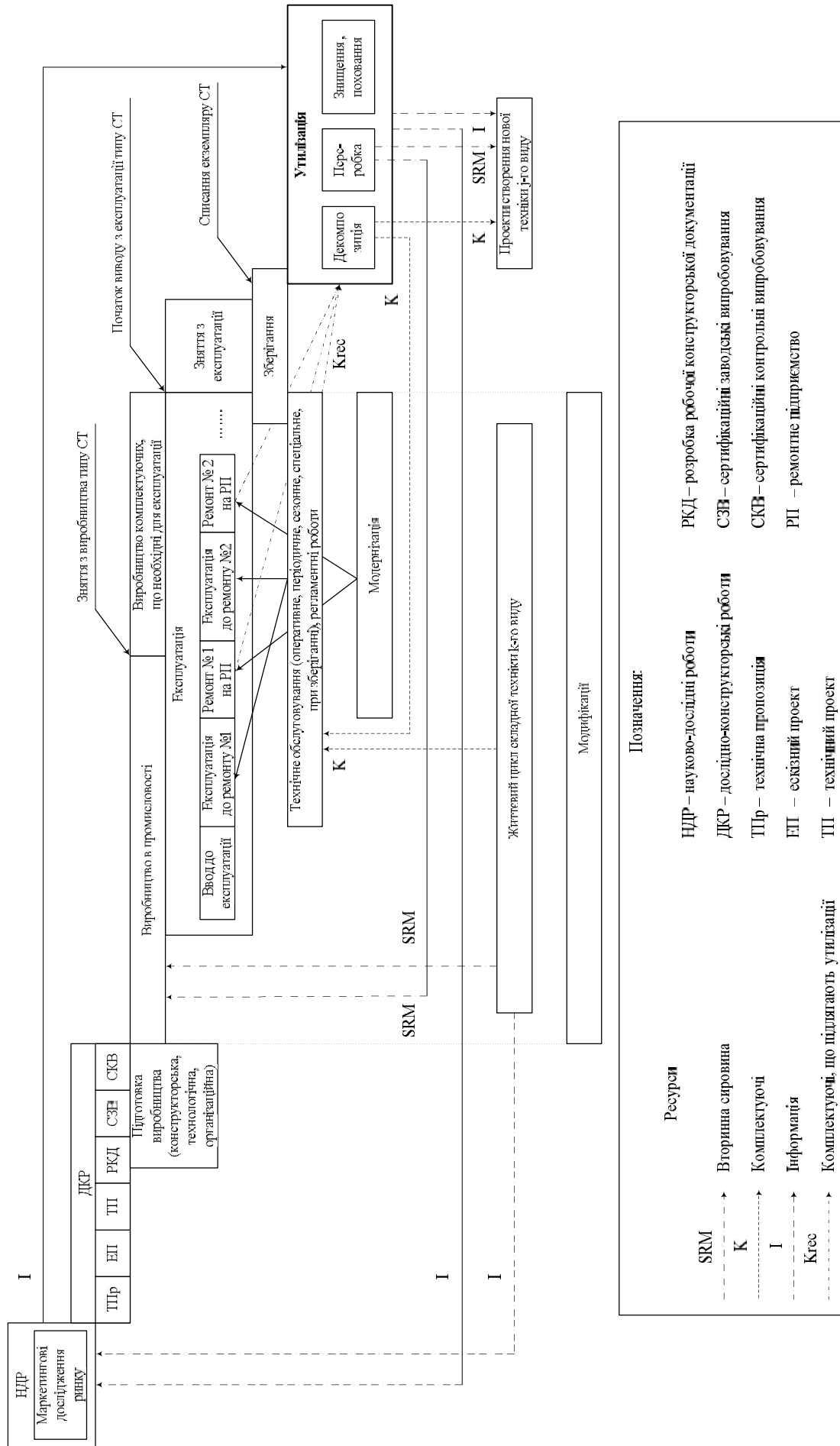


Рис. 2. Життєвий цикл складної техніки з урахуванням стадії утилізації

де  $S_{\text{НДР}}$  – науково-дослідні роботи (НДР);  
 $S_{\text{ДКР}}$  – дослідно-конструкторські роботи (ДКР);  
 $S_{\text{ПВ}}$  – підготовка виробництва;  
 $S_{\text{В}}$  – виробництво;  
 $S_{\text{ЕКСПЛ}}$  – експлуатація;  
 $S_{\text{ТО}}$  – технічне обслуговування;  
 $S_{\text{РЕМ}}$  – ремонт;  
 $S_{\text{ЗБ}}$  – зберігання;  
 $S_{\text{УТ}}$  – утилізація.

Стадії ЖЦ в запропонованій схемі зображено послідовно-паралельно, враховуючи перекриття їх у часі.

Стадія  $S_{\text{НДР}}$  полягає у визначенні потреби у виробі СТ, формуванні початкових вимог (з точки зору задоволення потреб і роботи виробу в зовнішній системі) і розробці тактико-технічного завдання на виріб. Ця стадія передує стадії  $S_{\text{ДКР}}$ , хоча в деяких випадках ДКР можуть початися до завершення стадії НДР.

Стадія  $S_{\text{ДКР}}$  містить етапи розробки технічної пропозиції, ескізного і технічного проектів, розробки робочої конструкторської документації дослідного зразка виробу [5].

Стадія підготовки виробництва  $S_{\text{ПВ}}$  може початися до завершення  $S_{\text{ДКР}}$ , якщо в достатньому об'ємі отримано результати ДКР. Стадія підготовки виробництва містить комплекс заходів, що необхідні для початку стадії виробництва, тому вважаємо, що  $S_{\text{В}}$  може початися після завершення  $S_{\text{ПВ}}$ .

Стадії виробництва і експлуатації в більшості випадків є найтривалішими. Їх можна розглядати з двох позицій: з точки зору типу СТ і окремого об'єкта (екземпляра) СТ. Після завершення виробництва екземпляра СТ настає його експлуатація, при цьому виробництво СТ як типу ще триває. Цим пояснюється перекриття цих стадій в часі. У певний момент настає зняття типу СТ з виробництва, при цьому ще залишається потреба в комплектуючих, необхідних для об'єктів СТ, що знаходяться в експлуатації.

Стадія експлуатації СТ супроводжується комплексом операцій з технічного обслуговування  $S_{\text{ТО}}$  з метою підтримки працездатності об'єкта і забезпечення його справності. Крім того, усю стадію експлуатації СТ можна розподілити на періоди експлуатації до ремонту і періоди ремонтних форм  $S_{\text{РЕМ}}$ . В загальному випадку під ремонтом розуміють комплекс операцій з відновлення працездатності виробів функціональних систем СТ або складових частин виробів.

Після закінчення гранично-нормативних термінів експлуатації, гарантійного ресурсу або ви-

блення технічного ресурсу (терміну служби), при передчасному виході техніки з ладу, після проведення капітально-відновного ремонту здійснюється категорювання – визначення і документальне оформлення категорії виробів і (чи) переведення їх з однієї категорії в іншу.

Об'єкти СТ нижчої категорії підлягають списанню в установленому порядку і з оформленням відповідних документів про передачу СТ на утилізацію  $S_{\text{УТ}}$ .

Таким чином, ЖЦСТ розглядається як сукупність параметрів:

$$\text{ЖЦСТ} = \{S, R, X\},$$

де  $X = \{x_i\}$  – множина умов переходу між стадіями ЖЦ.

Всю послідовність стадій ЖЦСТ з урахуванням послідовно-паралельного їх подання і умов переходу між ними  $X_i$  формалізовано представимо у вигляді моделі за допомогою регулярних схем сіток процесів (РССП) [6]:

$$\text{ЖЦСТ} = S_{\text{НДР}} [S_{\text{ДКР}} \wedge S_{\text{ПВ}}] S_{\text{В}} \times \\ \times_{X_E} \left( X_P ([S_{\text{ЕКСПЛ}} \wedge S_{\text{ТО}}] \vee S_{\text{РЕМ}})^{X_P} \vee S_{\text{ЗБ}} \right)^{X_E} S_{\text{УТ}},$$

де  $X_E$  – умова перевірки необхідності в експлуатації об'єкта СТ;

$X_P$  – умова перевірки справності об'єкта СТ.

У цій РССП-моделі у вигляді множення відображено послідовне виконання стадій ЖЦ.

Для опису паралельних стадій застосовується кон'юнктивний процес (стадії розділено символом кон'юнкції « $\wedge$ »). Такий запис означає, що виконання стадій, що йдуть за відкриваючою квадратною дужкою і за символом кон'юнкції, може відбуватися одночасно.

При цьому процес кон'юнкції не обов'язково означає одночасний перебіг стадій: початок однієї з стадій може бути відкладено до отримання достатнього об'єму результатів на виході попередньої стадії (стадії  $S_{\text{ДКР}}$  і  $S_{\text{ПВ}}$ ).

Диз'юнктивний процес і позначення « $\vee$ » застосовується для опису розгалуження стадій і вибір однієї з них залежно від умови  $X_i$ . Такий запис означає, що після досягнення відкриваючої дужки, під якою записано умову  $X_i$ , виконується її перевірка.

Якщо  $X_i = 1$ , виконується стадія, що записана безпосередньо за відкриваючою дужкою.

Якщо  $X_i = 0$ , виконується стадія, що записана після знаку диз'юнкції.

Умови  $x_i$  можуть приймати значення 0 або 1:

$$x_E = \begin{cases} 1 - \text{є необхідність в експлуатації об'єкту,} \\ 0 - \text{немає необхідності.} \end{cases}$$

$$x_P = \begin{cases} 1 - \text{об'єкт справний,} \\ 0 - \text{об'єкт потребує ремонту.} \end{cases}$$

На наступному рівні декомпозиції алгоритмічна мова РССП застосовується для формалізованого подання безпосередньо стадій життєвого циклу складної техніки.

Наприклад, у загальному вигляді стадію утилізації можна представити як сукупність етапів:

$$S_{УТ} = S_{Д} \wedge S_{П} \wedge S_{У} ,$$

де  $S_{Д}$  – декомпозиція об'єкта СТ;

$S_{П}$  – переробка корисних складових;

$S_{У}$  – поховання і/або знищення складових, що не підлягають переробці.

### Висновки

На підставі аналізу існуючих способів подання життєвого циклу складної техніки запропоновано підхід, який дозволяє: врахувати перекриття стадій ЖЦ в часі, а також аспекти утилізації і безвідходності технологій; відобразити матеріально-інформаційні потоки між стадіями життєвого циклу; представити ЖЦ складної техніки у формалізованому вигляді за допомогою апарату регулярних схем сіток процесів.

### Список літератури

1. Демидов Б.А. Системно-концептуальные основы деятельности в военно-технической области. Книга 2. Организационно-методические основы деятельности в военно-технической области / Б.А. Демидов, А.Ф. Величко, И.В. Волощук. – К.: Технологический парк. – 2006. – 1152 с.
2. ГОСТ 30773-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла. Основные положения. – Введ. 01.07.2002. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 11 с.
3. ISO/IEC 15288:2002 (E) System engineering – System life cycle processes (Інженерна практика систем – процеси життєвого циклу системи).
4. ДСТУ ISO 9004-1-95 Управління якістю та елементами системи якості. Частина 1. Настанови. – Введ. 11.09.1995. – К.: Держстандарт України, 1995. – 38 с.
5. ДСТУ 3974-2000. Система розробки та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання дослідно-конструкторських робіт. Загальні положення. – Введ. 27.11.2000. – К.: Держстандарт України, 2001. – 25 с.
6. Дружинін Є.А. Методологічні основи ризикорієнтованого підходу до управління ресурсами проектів і програм розвитку техніки: автореф. дис. ... доктора техн. наук: 05.13.22 / Дружинін Євген Анатолійович; Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут». – Х., 2006 – 35 с.

Надійшла до редколегії 11.06.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.О. Демидов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### СИСТЕМНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СЛОЖНОЙ ТЕХНИКИ С УЧЕТОМ СТАДИИ УТИЛИЗАЦИИ

Ю.А. Белоконь

*Проанализированы существующие подходы к описанию жизненного цикла сложной техники. Предложено представление жизненного цикла сложной техники с точки зрения утилизации. Выделены ресурсы, образующиеся на стадии утилизации, и отображены обратные связи между стадиями жизненного цикла в виде материально-информационных потоков (потоки информации, вторичного сырья, комплектующих). Предложено формализованное описание жизненного цикла сложной техники с помощью регулярных схем сетей процессов, учитывающее перекрытие отдельных стадий во времени и условия переходов между ними.*

**Ключевые слова:** утилизация сложной техники, жизненный цикл сложной техники, стадия жизненного цикла, регулярные схемы сетей процессов.

### SYSTEM REPRESENTATION OF LIFE CIRCLE OF SOPHISTICATED MACHINERY TAKING INTO ACCOUNT RECYCLING STAGE

J.A. Bilokin

*Existing approaches to description of sophisticated machinery life cycle (SMLC) are analysed. Representation of SMLC in terms of recycling is proposed. The resources formed at a stage of recycling are allocated, and feedbacks between SMLC stages in the form of material-information flows (flows of the information, secondary raw materials, and components) are displayed. The formalized description of SMLC by means of regular schemes of processes networks is proposed. It takes into account the overlap of the individual stages in terms of time and transitions between stages.*

**Keywords:** recycling of sophisticated machinery, life circle of sophisticated machinery, life circle stages, regular schemes of processes networks.