

УДК 629.7.01

DOI: <https://doi.org/10.20535/0203-3771402020248764>

Д. І. Конотоп¹ *к.т.н., асистент*

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА СТВОРЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНОЇ МОДЕЛІ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

En

Creation of complex technical objects (CTO, such as science-intensive engineering objects, which are characterized by the number of elements and connections equal to 10^6 and more) – a process containing long subprocesses, complex objects, models, and based on available standards and information technology (IT). It is known from practice that CTO models are created with the help of infor-

¹ КІІ ім. Ігоря Сікорського

mation systems - components of CALS and PLM-solutions. This process have the following shortcomings: models at different stages of creation of CTO are not completely interconnected; CTO modeling takes place using different components of IT CALS and PLM-solutions, which creates constant difficulties in data conversion and leads to partial or complete loss of model data; there is no automated communication with other CTO models.

A generalized model of complex technical objects is proposed, which based on using the theoretical-multiple approach allows to establish an information connection between the models of the process of creating complex technical objects. The information system of creation of the generalized model of difficult technical objects that allowed automating process of processing and construction of models is developed; to supplement the technology of parallel PLM design and components of information technologies CALS and PLM-solutions for the task of creating models of complex technical objects.

Ru

Создание сложных технических объектов (СТО) с помощью информационных систем – составляющих *CALS* и *PLM*-решений модели СТО имеет следующие недостатки: модели на различных этапах создания СТО не полностью связаны между собой; моделирование СТО происходит, используя различные составляющие ИТ *CALS* и *PLM*-решений. Разработана информационная система создания обобщенной модели сложных технических объектов, что позволило: автоматизировать процесс обработки и построения моделей; дополнить технологию параллельного проектирования *PLM* и составляющие информационных технологий *CALS* и *PLM*-решений для задачи создания моделей сложных технических объектов.

Вступ

Створення складних технічних об'єктів (СТО), як-от об'єкти наукоємного машинобудування, які характеризуються кількістю елементів та зв'язків, що дорівнює 10^6 і більше) – процес, що містить тривалі під процеси, складні об'єкти та моделі і спирається на наявні стандарти та інформаційні технології (ІТ). Із практики відомо, що створені за допомогою інформаційних систем (ІС) – складових *CALS* та *PLM*-рішень моделі СТО мають наступні недоліки: моделі на різних етапах створення СТО не повністю пов'язані між собою; моделювання СТО відбувається, використовуючи різні складові ІТ *CALS* та *PLM*-рішень що створює постійні складнощі конвертації даних та веде до часткової або повної втрати даних моделі; відсутній автоматизований зв'язок з іншими моделями СТО.

Постановка задачі

Розглянемо побудову узагальненої моделі складних технічних об'єктів, яка на основі використання теоретико-множинного підходу дозволяє налагодити інформаційний зв'язок між компонентами процесу створення таких об'єктів.

Математичне забезпечення процесу створення узагальненої моделі складних технічних об'єктів

Особливістю завдання розробки інформаційної технології створення узагальненої моделі (УМ) складних технічних моделей (СТО), яка використовується при оптимізації процесу створення моделей СТО як частинних компонентів СТО, так і СТО в цілому, є те, що число критеріїв оптимальності $n \gg 1$, і завдання можна вирішити, використовуючи методи аналізу, декомпозиції і синтезу. [1, 2] Тобто, процес реалізується як послідовне вирішення незалежних підзадач, для кожної з яких визначені окремі критерії якості і рівні декомпозиції.

Для цього запропоновано розглядати процес створення СТО як сукупність субоб'єктів відповідно до їх призначень, що дозволить виділити і згрупувати окремі критерії і, в підсумку, розробити інформаційну систему (ІС) створення УМ як частинних субоб'єктів СТО, так і СТО в цілому.

Проблема оптимізації процесу створення моделей СТО формулюється як задача процесу прийняття рішення, який включає три етапи: «зовнішня» розробка (визначаються цілі та завдання, і формуються вимоги до її характеристик, що забезпечують досягнення цих цілей), «формування обрисів» і «внутрішня» розробка (реалізація основних параметрів моделей).

Розбиття процесу створення моделей СТО на етапи обумовлено тим, що безпосереднє визначення шуканого результату процесу на всій мислимій безлічі її варіантів практично неможливе. Це пов'язано з тим, що складові ІТ *CALS* та *PLM*-рішень, які застосовуються при створенні СТО, вимагають значних ресурсів на один варіант [3]. Отже, на етапі «формування обрисів» необхідно зменшити число альтернативних варіантів проекту з урахуванням вимог «зовнішньої» розробки, використовуючи метод неформальної декомпозиції [4].

Позначимо $m_U = (m_1, m_2 \dots m_N)$ – множина моделей компонента СТО, що розробляється, кожна модель включає визначені обмеження (геометричні, центрувальні, вагові, функціональні тощо) у залежності від типу параметра, $m_U \in M_U$. [5].

Для єдиного критерію ефективності $F_i(m_U)$ моделі $m_U \in M_U$ задача оптимального процесу створення узагальненої моделі СТО з урахуванням обмежень, накладених на етапі побудови базової контрольної структури (БКС), полягає у визначенні вектора параметрів процесу створення СТО:

$$m_U^0 \in \text{Arg max}_{m_U \in M_U} F(m_U), \quad (1)$$

де: $\text{Arg max}_{m_U \in M_U} F(m_U) = \{m_U \in M_U \mid F(m_U) = \max_{m_U' \in M_U} F(m_U')\}$.

Кожен компонент моделі описується власним набором параметрів, і може бути представлений у вигляді сукупності: $m_i = f(P_i)$, де P_i – параметр-

ри моделей: $P_i = \bigcup_{i=1}^n p_i$. Узагальнену модель компонента СТО можна представити наступним чином: $m_U = f^i(p_i, i = 1..n)$.

Розробка УМ компонента СТО пов'язана з великою розмірністю N множини m_U , що потребує великих ресурсів для визначення значень $F(m_U)$. Тому для вирішення (1) необхідно використовувати метод декомпозиції.

Якщо $u_i(m_U) (i = 1, 2, \dots, e)$ є частинними критеріями якості процесу створення узагальненої моделі СТО, $F(m_U)$ монотонний (для $\forall m_U, m'_U \in M_U$ з $u_i(m'_U) \geq u_i(m''_U), i = 1, 2, \dots, e \Rightarrow F(m'_U) \geq F(m''_U)$). Позначимо $\Pi(U)$ – множина оптимальних за Парето векторів із U , $\Pi(M_U)$ – множина векторів $m_{UM} \in M_{UM}$ для яких $u(m_U) \in \Pi(U)$, тоді задача визначення вектору параметрів УМ компонента СТО набуває вигляду:

$$m_U^0 \in \text{Arg max}_{m_U \in \Pi(M_U)} F(M_U). \quad (2)$$

Отже, розв'язок (1) можна представити як декомпозицію: знаходження векторів $m_U \in \Pi(M_U)$ та розв'язання (2). Тому етап «формування обрису» не залежить від критерію F , що дозволяє істотно скоротити число варіантів узагальненої моделі СТО на етапі «зовнішньої» розробки. У результаті на цьому етапі формується узгоджене із можливостями «внутрішньої» розробки технічних вимог (ТВ). Розв'язок задачі (2) – оптимальний процес створення ІС, де процедура «формування обрису» складається із побудови паретовської множини $\Pi(u, M)$. Таке ж завдання має вирішуватися і на етапі «внутрішньої» розробки. Незважаючи на відносну «простоту» частинних критеріїв, завдання побудови множини $\Pi(u, M_U)$ є непростим через велику розмірність вектора $m_U = (m_1, m_2 \dots m_N)$ та складної структури множини M_U . Виходом із цієї ситуації є подальша декомпозиція і створення ієрархії задач «внутрішньої» розробки.

Для правильного вибору вектора досліджуються паретовські множини розробки ІТ, які відповідають різним векторам частинних критеріїв (різні концепції). У [6] запропонований формальний підхід для перевірки виконання умов монотонності $F(m_U)$. Насправді ефективність процесу створення СТО визначається не тільки вектором параметрів її розробки m_U , але і зовнішніми по відношенню до СТО умовами. З точки зору розробника УМ, ці умови можна описати як невизначені фактори, значення яких заздалегідь невідомі. Рішенням «зовнішньої» розробки власне процес створення СТО не закінчується, тому що з'являється проблема деталізації СТО, розробки підсистем і зв'язків між ними. Це етап «внутрішньої» розробки [7].

Розглядаючи процес формування дерева проекту встановлюється узгодженість відношень переваг і синтезу, це означає, що розробники k -го та $k+1$ -го рівнів мають однакові уявлення про успішний процес створення

ня узагальненої моделі СТО. Точніше, розробник k -го рівня, деталізуючи проект, отриманий від розробника $(k + 1)$ -го рівня, може зберегти результат порівняння двох проектів на більш високих рівнях «внутрішньої» розробки.

Повне узгодження означає, що будь-які дві узагальнені моделі СТО, одна із яких «ефективніше» на k -му рівні, залишаться такими ж і для розробника $(k + 1)$ -го рівня. Іншими словами, у разі переходу від одного рівня синтезу до іншого (вищого) не з'являються додаткові критерії оцінки узагальненої моделі СТО, що змінюють результат порівняння двох проектів в ієрархічних системах створення СТО.

Припущення про повну узгодженість відносин переваг розробників і синтезу є природним, оскільки результат порівняння двох ІТ за докладного і грубого (синтезованого) описів повинен залишатися незмінним. Очевидно, що під час створення ІТ слід прагнути до повної узгодженості, тому що вибір E_k , f_k не обмежений традиціями створення СТО і звичками розробників (створюються вперше). У зв'язку із цим важливим є завдання отримання достатніх умов і ефективних алгоритмів перевірки узгодженості відносин і синтезу у разі заданих E_k , f_k .

На основі теореми [7]: якщо відношення V та синтез f узгоджені, тоді рішення Π_0 містить рішення задачі створення узагальненої моделі СТО, тобто:

$$(E_0, M_0) \subseteq \Pi_0$$

Запропонований підхід дозволяє визначити шляхи формалізації двох основних ситуацій, які мають місце при побудові моделей СТО: послідовного ускладнення і уточнення (розробка «зверху донизу»); послідовного спрощення (розробка «знизу догори»).

Неформальний аналіз першої ситуації, в інтерпретації побудови моделей СТО у термінах блок-схем або схем-моделей, показує, що ці поняття лише розкривають його структуру, але не вирішують питання про зв'язки між субоб'єктами, тобто не дозволяють розкрити структуру всієї множини субоб'єктів моделей СТО.

Зв'язки субоб'єктів моделей СТО між собою є дуже важливою обставиною, оскільки зв'язки СТО із субоб'єктами (з яких будується СТО) по суті лежать у основі методу розробки.

Більш точно це можна висловити так: процес розробки СТО по суті є побудовою його базових субоб'єктів за допомогою композицій. Тобто, проблема уточнення структури СТО по суті зводиться до проблеми знаходження базису і композицій. Очевидно, що основна проблема тут: знаходження композицій (розробка СТО – це створення із заданих базових елементів більш складних елементів) [8, 9].

Реалізація узагальненої моделі складних технічних об'єктів

Технологія паралельного проектування PLM [10, 11] забезпечує одночасний доступ усіх учасників до проекту, реалізованого у ІС PLM. Наявна схема дерева проекту СТО, доповнена у межах розробленого методу введенням складової «Керування параметрами» та внесення іншого наповнення Технологічної моделі, яка пов'язана з іншими моделями СТО, представлена на рис. 1.

На рисунку позначено: КС – кінематична схема, СК – схема конструкції, ССО – схема систем і обладнання, СУ – силова установка.



Складові дерева проекту: [---] – існуючі; [] – запропоновані; [] – з новим наповненням

Рис. 1. Схема дерева проекту складного технічного об'єкта в ІС PLM

Ймовірність того, що даний компонент структури знаходиться на i -му рівні, дорівнює P_i .

Позначимо t_i – загальний час доступу до даних, розташованих на i -му рівні. Тоді середній час доступу $t_{сеп.}$ до компонентів незбалансованої ієрархічної структури проекту СТО, яка складається із N рівнів, дорівнює:

$$t_{сеп.} = \sum_{i=1}^N P_i t_i$$

Математична модель для визначення загального часу ведення проекту створення узагальненої моделі СТО у ІС PLM:

$$t_{СТО} = \sum_{j=1}^k \left(\sum_{i=1}^n t_{ji} \right),$$

де: t_{ij} – час створення узагальненої моделі СТО на i -му етапі;

n – кількість етапів створення узагальненої моделі СТО;

k – кількість циклів створення узагальненої моделі СТО.

На основі виконаного аналізу і теоретичних підходів запропоновано структурну схему ІС створення узагальненої моделі СТО, що зменшує час створення моделей за рахунок відділення параметрів від моделей та дозво-

ляє керувати однією узагальненою моделлю СТО протягом її життєвого циклу за різних складових ІТ *CALS* та *PLM*-рішень. Впровадження запропонованого математичного опису призводить до оптимізації процесу створення моделей СТО через введення у процес створення узагальненої моделі можливості керування моделями СТО із різних ІС, які містяться у проекті СТО у ІС *PLM* (рис. 2).

На рис. 3 представлено обмін даними між різноманітними моделями із різних ІС на різних стадіях створення СТО у ІС *PLM TeamCenter*.

Висновки

Розв'язана задача розробки інформаційної системи створення узагальненої моделі складних технічних об'єктів, яка дозволяє: забезпечити зниження термінів створення складних технічних об'єктів та зменшити їх вартість у разі забезпечення відповідної якості за рахунок: налагодження зв'язку між компонентами складних технічних об'єктів; взаємозв'язку між етапами створення складних технічних об'єктів та поєднання складових інформаційних технологій *CALS* та *PLM*-рішень.

Список використаної літератури

1. *Скурихин В. И.* Теория и технология автоматизированного проектирования / В. И. Скурихин, В. В. Дубровский, В. Б. Шифрин, Н. Г. Бизюк – К. : Наук. думка, 1988. – 284 с.
2. *Зинченко В. П.* Методы и алгоритмы автоматизированного проектирования сложных технических объектов / В. П. Зинченко, В. В. Борисов // Управляющие системы и машины. – 2011. – № 1. – С. 46–56.
3. *Борисов В. В.* Исследование вопросов повышения качества разработки программного обеспечения *PDM*-систем за счет повышения независимости программных модулей / В. В. Борисов, Н. Ф. Горин, Н. П. Зинченко [и др.] // Интеллектуальные информационно-аналитические системы и комплексы. Собр. науч. тр. – К. : ИК им. В. М. Глушкова НАН Украины. – 2000. – С. 136–141.
4. *Зинченко В. П.* Проблемы оптимизации проектных исследований сложных технических систем / В. П. Зинченко // XXXV Междунар. симпозиум “Вопросы оптимизации вычислений”. – К. : ИК им. В. М. Глушкова НАН Украины. – 2009. Том. 1. – С. 253–259.

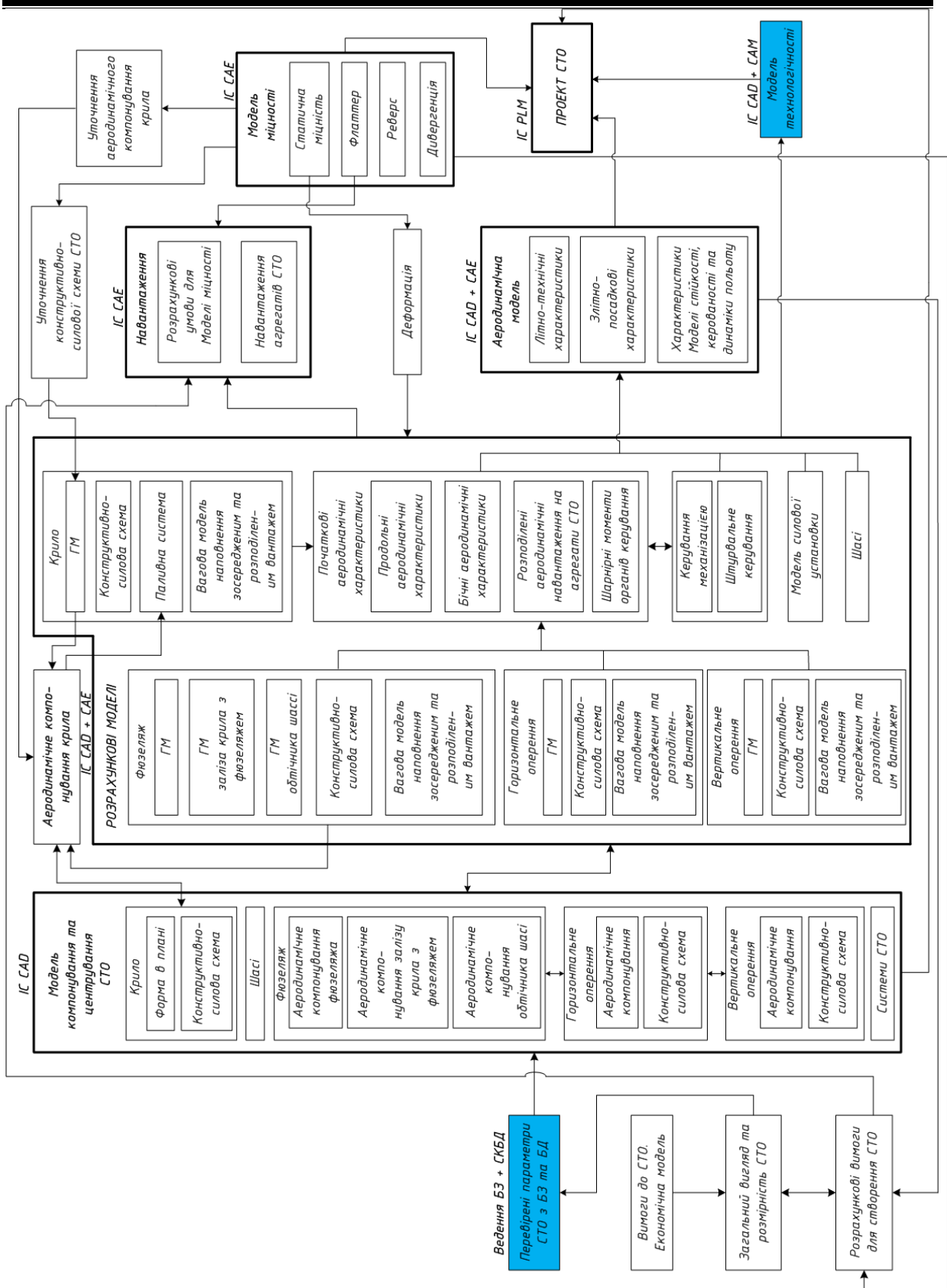


Рис. 2. Інформаційна система створення узагальненої моделі STO на прикладі підприємства авіаційної галузі

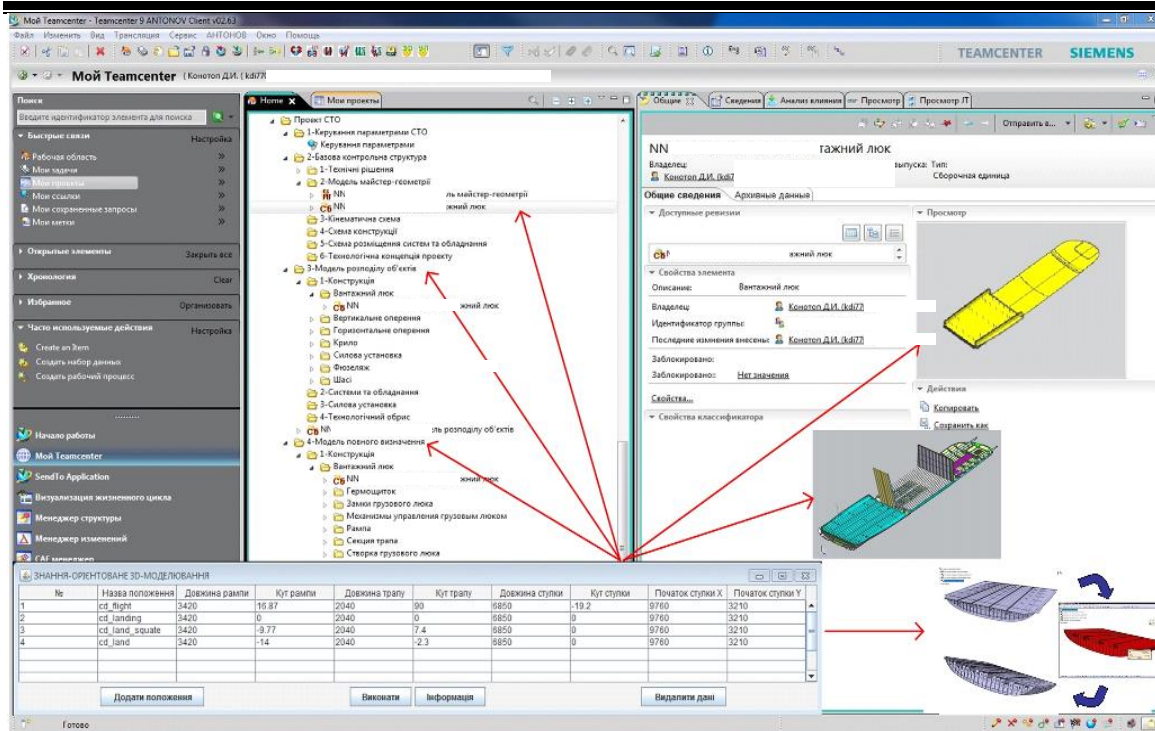


Рис. 3. Обмін даними між моделями у *PLM TeamCenter*

5. *Конотоп Д. И.* Оптимальное проектирование сложных технических объектов с использованием онтологического подхода / Д. И. Конотоп, В. П. Зинченко // Научный журнал "Онтология проектирования". – Самара : "Новая техника". – 2011. – № 1 (2). – С. 44–53.
6. *Борисов В. В.* Исследование вопросов повышения качества разработки программного обеспечения *PDM*-систем за счет повышения независимости программных модулей / В. В. Борисов, Н. Ф. Горин, Н. П. Зинченко [и др.] // Интеллектуальные информационно-аналитические системы и комплексы. Собр. науч. тр. – К. : ИК им. В. М. Глушкова НАН Украины. – 2000. – С. 136–141.
7. *Зинченко В. П.* Проблемы оптимизации проектных исследований сложных технических систем / В. П. Зинченко // XXXV Междунар. симпозиум "Вопросы оптимизации вычислений". – К. : ИК им. В. М. Глушкова НАН Украины. – 2009. Том. 1. – С. 253–259.
8. *Конотоп Д. И.* Оптимальное проектирование сложных технических объектов с использованием онтологического подхода / Д. И. Конотоп, В. П. Зинченко // Научный журнал "Онтология проектирования". – Самара : "Новая техника". – 2011. – № 1 (2). – С. 44–53.
9. *Белов Ю. А.* Математическое обеспечение сложного эксперимента. Т. I. Обработка измерений при исследовании сложных систем /

- Ю. А. Белов, В. П. Диденко, Н. Н. Козлов [и др.] – К. : Наук. думка, 1982. – 304 с.
10. Краснощеков П. С. Последовательное агрегитирование в задачах внутреннего проектирования технических систем / П. С. Краснощеков, В. В. Морозов, В. В. Федоров // Изв. АН СССР. Сер. технич. кибернет. – 1979. – №5. – С. 5–12.
 11. Зінченко В. П. Апаратно-програмні комплекси для дослідження характеристик літаків / В. П. Зінченко, А. М. Гуржий // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2004. – № 3. – С. 43–55.
 12. Борисов В. В. Проблемы обеспечения надежности функционирования PDM-систем / В. В. Борисов // Технології створення перспективних комп'ютерних засобів та систем з використанням новітньої елементної бази. Зб. наук. пр. – К. : ІК ім. В. М. Глушкова НАН України, 2000. – С. 67–72.
 13. Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса / Под общ. ред. А. Г. Братухина. – К.: Техніка, 2001. – 728 с.
 14. Абрамов Ю. В. Структура дерева сложного технического объекта как компонент технологии параллельного проектирования в среде CAD/CAM/CAE/PDM.// Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ» – 2003. – № 17 – С. 17–30.