

# МЕТОДИКА КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ ГІДРАВЛІЧНИХ МАШИН

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

Запропоновано методику комп'ютерного моделювання динамічних процесів та систем гідравлічних технологічних машин на основі інтегровано-розрахункового програмного середовища із використанням окремих програмних комплексів із застосуванням технології «клієнт-сервіс», які реалізують відповідний чисельно-розрахунковий метод розв'язку математичних моделей із використанням методів імітаційного моделювання.

**Ключові слова:** програмний комплекс, диференціальні рівняння, алгоритм, моделювання, клієнт-сервер.

## **Abstract**

A technique for computer modeling of dynamic processes and systems of hydraulic technological machines is proposed. An integrated settlement software environment was used using separate software systems using the client-service technology. It implements the corresponding numerical calculation method for solving mathematical models using simulation methods.

**Keywords:** software package, differential equations, algorithm, modeling, client-server.

## **Вступ**

При моделюванні динамічних процесів та систем гідравлічних технологічних систем приходиться мати справу із достатньо складними математичними задачами [1]. Для реалізації математичних моделей даних гідравлічних технологічних машин необхідно розробляти достатньо прості і надійні методи і підходи, які дозволяють в умовах проектних робіт проводити серійні розрахунки [2].

Метою роботи є розробка методики комп'ютерного моделювання динамічних процесів та систем гідравлічних технологічних машин, з можливістю доцільного вибору алгоритмів стосовно властивостей конкретного завдання.

## **Результати дослідження**

На початку, у CAD-системах [3] формуються бази даних за допомогою масиву значень координат множини точок поверхонь конструктивних елементів приводів гідравлічних В та ВУ машин у форматі STL, M3D, WRL файлів.

На наступному етапі відбувається експорт бази даних структури і геометрії конструктивних елементів і фізико-механічних параметрів функціональних складових елементів гідравлічних В та ВУ машин у інтегроване середовище чисельного моделювання FSI [4]. По завершенню роботи в інтегрованому FSI-середовищі результати розрахунку (чисельного моделювання) передаються у сховище даних результатів чисельного моделювання. Результати моделювання можуть представлятися за допомогою мультимедійних форматів (MP4, AVI файли), а також за допомогою графічних зображень (PNG, JPEG, BMP файли) в поєднанні із дискретними даними (TXT, XLS, API файли).

Даний підхід дозволяє ефективно реалізовувати технологію «клієнт-сервер» [2, 4], що дозволяє оптимізувати ітераційний процес розв'язку, а також ефективно синхронізувати отримання і передачу даних між складовими програмних комплексів.

Інтегровано-розрахункове середовище FSI (Fluid Fstructure Interaction) – це спільний програмний комплекс, який виконує розрахунок взаємодії рухомого або деформованого тіла (гідравлічних машин) із технологічним середовищем, взаємодіючи при цьому із внутрішнім або зовнішнім потоком рідини або газу (робоче середовище імпульсних приводів). Центральним розрахунковим ядром FSI є програмний комплекс FEM (Finite Elements Method) [3], який базується на кінцево-елементному алгоритмі чисельного розрахунку [5] напружено-деформованого стану тіла (виконавчого органу гідрав-

лічних машин). Паралельно цьому відбувається передача даних результатів розрахунку між програмним комплексом CFD (Computational Fluid Dynamics), який базується на кінцево-об'ємному алгоритмі чисельного розрахунку гідродинамічних процесів робочого середовища гідравлічних В та ВУ машин, і програмним комплексом Matlab [1], який базується на чисельних методах розв'язку систем інтегральних і диференціальних рівнянь за допомогою яких досліджується рух складових технологічно-оброблювального середовища.

Для двостороннього спряження між системами рівнянь деформації тіла в програмному FEM-комплексі і рухом рідини в програмному CFD-комплексі, а також із рухом компонентів технологічно-оброблювального середовища в програмі Matlab використовується явний метод розщеплення [4]. Обмін даними між програмними комплексами FEM, CFD і Matlab відбувається через проміжки часу, який задається користувачем  $\Theta_{n+1}$  (крок по часу спряження),  $\Theta_{n+1}=T_{n+1}-T_n$ , де  $T_{n+1}$  і  $T_n$  – моменти часу синхронізації між обома розв'язками. У середині кожного кроку по часу спряження усі три програмні комплекси можуть виконувати один або декілька кроків по часу. Алгоритм явного методу розщеплення наступний:

- 1) На початку рівняння напружено-деформованого стану системи рівнянь [2] розраховуються в програмному FEM-комплексі, щоб отримати переміщення вузлів  $\bar{u}_{n+1}$ , які відповідають часу  $T_{n+1}$ . Тиск рідини  $P_n$  і сили взаємодії  $\bar{N}_n$  беруться із попереднього моменту часу  $T_n$  і припускаються постійними на протязі часу  $\Theta_{n+1}$ ;
- 2) Переміщення вузлів  $\bar{u}_{n+1}$  передаються у програмні комплекси CFD і Matlab; швидкості деформації розраховуються;
- 3) Рівняння гідродинаміки систем рівнянь [5] розраховуються в програмному CFD-комплексі, щоб отримати тиск на поверхні тіла;
- 4) Рівняння руху тіл і компонентів складових технологічно-оброблювального середовища систем рівнянь [2, 3] розраховуються в програмному комплексі Matlab, щоб отримати значення сил поверхневої взаємодії із тілом;
- 5) Тиск  $P_{n+1}$  і сили взаємодії  $\bar{N}_n$  передаються в програмний FEM-комплекс в момент часу  $T_{n+1}$  із програмних комплексів CFD і Matlab.

Цикл розрахунків і обміну даними між FEM, CFD і Matlab повторюється протягом усього процесу моделювання. Перевагою даного підходу є повністю консервативний перенос фізичних величин з однієї розрахункової сітки на іншу [1] і мінімум помилок апроксимації.

Для керування обміну даними між програмними комплексами FEM, CFD і Matlab протягом їх спряженого розрахунку служить програма-менеджер MPManger [5], яка передає дані із одного програмного комплексу в інший – переміщення вузлів із FEM в CFD, Matlab і навантажень назад (рис. 1).

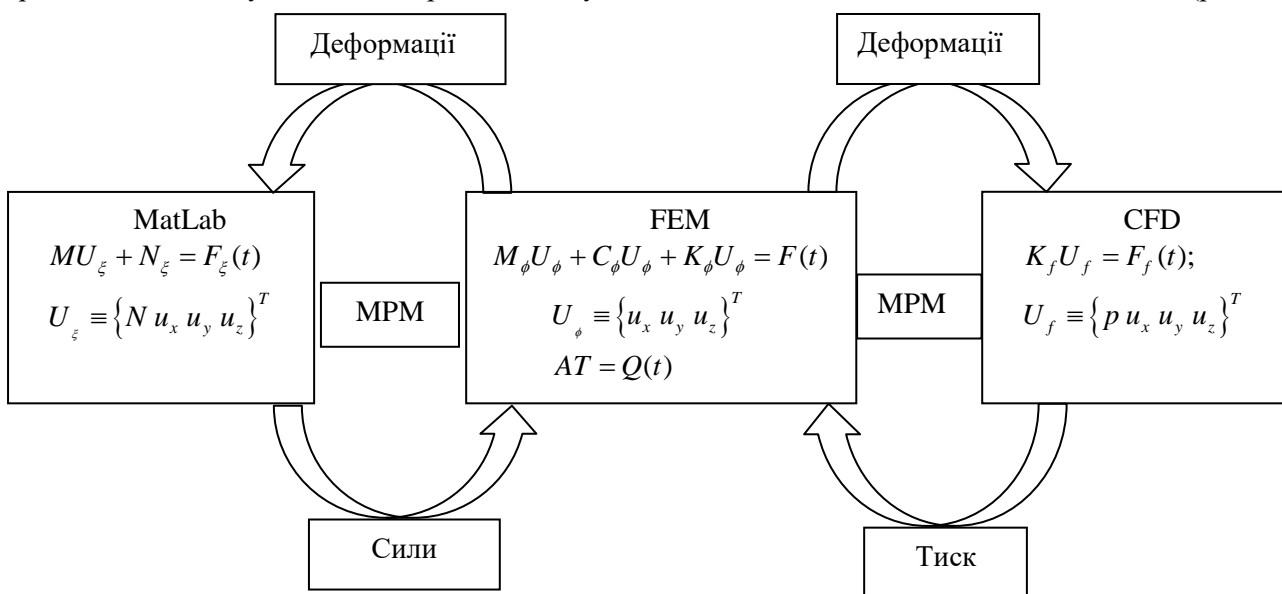


Рис. 1. Принципова схема роботи програми-менеджера MPManger

Налагодження спряженого розрахунку користувачем заключається в наступному. Користувач

створює проекти в програмних комплексах FEM, CFD і Matlab. У програмному FEM-комплексі автоматично налагоджується зв'язок між кінцево-об'ємною сіткою, кінцево-елементною сіткою і змінними систем диференціальних рівнянь [2]. У MPManager користувач задає шляхи до проектів FEM, CFD і MatLab і визначає крок по часу спряження. Протягом усього процесу спряженого розрахунку користувач може бачити розвиток рішення за допомогою розробленого візуалізатора у формі контекстного меню [2].

Програмні комплекси FEM і CFD реалізовані за допомогою технології «клієнт-сервер» [3]. Клієнтська частина містить такі основні програмні модулі, як пре- і постпроцесор [5], термінал і модуль перегляду результатів. Серверна частина в свою чергу містить обчислювальний-агент, ретранслятор, MP-Агент (MPManager) і обчислювальне ядро, яке окремо містить три обчислювальних ядра FEM, CFD і MatLab.

У клієнтській частині формується певна задача, об'єкт моделювання, який потім направляється у серверну частину, де містяться відповідні реалізовані алгоритми чисельного моделювання. Сама постановка задачі у клієнтській частині, а саме у розділі препроцесора, заключається у формуванні розрахункової області за допомогою імпортованих із CAD-систем геометричних моделей деталей, вузлів і форм робочих порожнин відповідних конструкцій гідравлічних машин. Також вводяться дані математичних моделей: граничні і початкові умови, фізико-механічні параметри складових моделюючої системи. Також у програмних комплексах FEM і CFD проводиться генерація розрахункової сітки для розрахункових областей. У свою чергу у розділі препроцесора додатково вводяться дані параметрів розрахунку: точність обчислення, крок по часу, параметри апроксимації тощо [1].

Розділ постпроцесору клієнтської частини отримує і формує дані результатів розрахунку від обчислювального агента. Модуль перегляду результатів дає можливість в режимі реального часу спостерігати за обчислювальним процесом. Термінал дозволяє за допомогою вводу команд керувати безпосередньо самим обчислювальним процесом.

Обчислювальний агент забезпечує управління обчислювальним ядром. Саме до нього звертаються усі клієнтські модулі, щоб отримати список ядер-обчислювачів [5], щоб запустити безпосередньо сам обчислювальний процес. Після отримання від обчислювального агента всієї необхідної інформації про обчислювальний процес, клієнтські модулі взаємодіють із обчислювальним ядром безпосередньо.

Кожне ядро-обчислювач є як серверним модулем (до нього підключаються клієнтські модулі), так і клієнтським (він підключається до обчислювального агента, щоб повідомити про своє існування). Ядра-обчислювачі, паралельно розв'язуючи одну задачу, також взаємодіють між собою за допомогою MP-Агента (MPManager) [5].

Особливу роль в мережевій взаємодії відіграє модуль ретранслятор. Модуль ретранслятор фактично є програмним проксі-сервером [4] і дозволяє перенаправляти трафік від обчислювального ядра до клієнтських модулів, якщо ці модулі знаходяться в мережі, яка недоступна з обчислювальних вузлів [5].

Як правило, на головному вузлі кластера [5] є доступ в Інтернет. На такому вузлі повинен бути встановлений модуль ретранслятор. У налаштуваннях ретранслятора в кожному новому рядку вказується спосіб налагодження трафіку між модулями. Для налагодження перенаправлення трафіку між обчислювальним ядром і клієнтськими модулями також необхідно налаштувати Солвер-Агент [5].

### **Висновки**

Розроблена методика комп'ютерного моделювання динамічних процесів та систем гідравлічних технологічних машин, на основі інтегровано-розрахункового програмного середовища із використанням окремих програмних комплексів із застосуванням технології «клієнт-сервіс», із можливістю доцільного вибору алгоритмів стосовно властивостей конкретного завдання, і можливістю виконання швидких стійких рекурентних і високоточних ітераційних процедур.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Iskovych–Lototsky R. D., Zelinska O. V., Ivanchuk Y. V., Veselovska N. R. Development of the evaluation model of technological parameters of shaping workpieces from powder materials // Eastern–European Journal of Enterprise Technologies. Engineering technological systems. – 2017. – Vol. 1, № 1(85). – P. 9–17. doi: 10.15587/1729-4061.2017.59418.
2. Іскович–Лотоцький Р. Д. Моделювання робочих процесів в піролізній установці для утилізації відходів / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський // Східно–європейський журнал

передових технологій. – Харків, 2016. – Том 1, № 8(79). – С. 11–20. doi: 10.15587/1729-4061.2016.59419.

3. Іскович–Лотоцький Р. Д. Підвищення ефективності розвантаження матеріалів під дією періодичних ударних імпульсів / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук // Вібрації в техніці і технологіях. – 2008. – №2(51). – С. 8 – 11.

4. Іскович–Лотоцький Р. Д. Моделювання робочих процесів гідроімпульсного привода з однокаскадним клапаном пульсатором / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця, 2017. – № 3(86). – С.10–19.

5. Іскович–Лотоцький Р. Д. Технологія моделювання оцінки параметрів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом : монографія / Р. Д. Іскович–Лотоцький, О. В. Зелінська, Я. В. Іванчук. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 152 с.

**Іванчук Ярослав Володимирович** — канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, email : ivanchuck@ukr.net

**Ivanchuk Yaroslav V.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : Ivanov@sens.ua.