

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор _____

” ____ ” _____ 2009 р.

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В НАУКОВИХ
ДОСЛІДЖЕННЯХ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

для студентів спеціальностей

8.090221 “Обладнання переробних і харчових виробництв ”

8.090223 «Машини і технологія пакування»,

8.090264 «Машини і технологія переробки використаної упаковки»,

8.090226 «Обладнання фармацевтичної і мікробіологічної
промисловості»

денної та заочної форм навчання,

Реєстраційний номер
електронних документів
у НМУ _____

Схвалено
на засіданні кафедри
МАХВ
Протокол № 15
від 01.07.09р.

Київ НУХТ 2009

І.М. Литовченко. Комп'ютерні технології в наукових дослідженнях. Конспект лекцій для студентів спец. 8.090221 “Обладнання переробних і харчових виробництв”, 8.090223 «Машини і технологія пакування», 8.090264 «Машини і технологія переробки використаної упаковки», 8.090226 «Обладнання фармацевтичної і мікробіологічної промисловості» денної та заоч. форм. навч. – К.: НУХТ, 2009. – 76 с.

Рецензент О.О. Чепелюк, доц., к. т. н.

І.М. ЛИТОВЧЕНКО

Вступ

Що таке обчислювальна гідродинаміка

Обчислювальна гідродинаміка (ОГД) – це розділ науки, що вирішує проблему моделювання тепломасопереносу в різних технічних і природних об'єктах. Основним завданням ОГД є чисельне рішення **рівнянь Нав'є-Стокса**, що описують динаміку рідини. Додатково враховуються різні фізико-хімічні ефекти: **горіння, турбулентність** або **потоки крізь пористе середовище**. Ці рівняння становлять математичну модель тепломасопереносу. ОГД як прикладна наука сформувалася в середині 20 століття. Основним споживачем її результатів була аерокосмічна промисловість. З розвитком високопродуктивних комп'ютерів, які стали доступні за ціною великій кількості користувачів, в 70-х роках почався бурхливий розвиток комерційних програм обчислювальної гідродинаміки. В 80-х і початку 90-х років ці програми встановлюються на комп'ютери класу "робочі станції". Наприкінці 90-х років дешеві персональні комп'ютери наздогнали по потужності робочі станції, а основна операційна система, що встановлюється на них – **MS Windows** – стала перевершувати за рівнем користувальницького інтерфейсу графічні оболонки операційних систем робочих станцій. У цей час з'явилися програми в області ОГД, призначені для персональних комп'ютерів. Обчислювальна гідродинаміка спочатку розвивалася для рішення завдань аерокосмічної промисловості - розрахунок камер згоряння ракетних двигунів, розрахунок фізико-хімічних процесів при обтіканні головних частин боєголовок і обтікання надзвукових літаків. У наш час область застосування ОГД значно розширена цивільними додатками.

Програмний комплекс **FlowVision** призначений для моделювання тривимірних течій рідини й газу в технічних і природних об'єктах, а також візуалізації цих течій методами комп'ютерної графіки. Моделюємі течії містять у собі стаціонарні й нестаціонарні, стискаємі, слабостискаємі й нестискаємі потоки рідини й газу. Використання різних моделей турбулентності й адаптивної розрахункової сітки дозволяє моделювати складні рухи рідини, включаючи течії із сильним закрученням, горінням, течії з вільною поверхнею.

FlowVision заснований на кінцево-об'ємному методі рішення рівнянь гідродинаміки й використовує прямокутну адаптивну сітку з локальним подрібненням. Ця технологія дозволяє імпортувати геометрію із систем САПР і обмінюватися інформацією із системами кінцево-елементного аналізу. Використання цієї технології дозволило вирішити проблему автоматичної генерації сітки – щоб згенерувати сітку, досить задати всього лише кілька параметрів, після чого сітка автоматично генерується для розрахункової області, що має геометрію будь-якого ступеня складності.

Щоб почати працювати із програмним комплексом **FlowVision**, необхідно мати на своєму персональному комп'ютері операційну систему **Windows ME/2000/XP** і систему автоматизованого проектування (САПР), у якій Ви будете задавати геометрію розрахункової області. Системи, що рекомендуються: SolidWorks, T-Flex, Unigraphics, **Autocad Mechanical Desktop**, ProEngineer, Catia, Компас-3D.

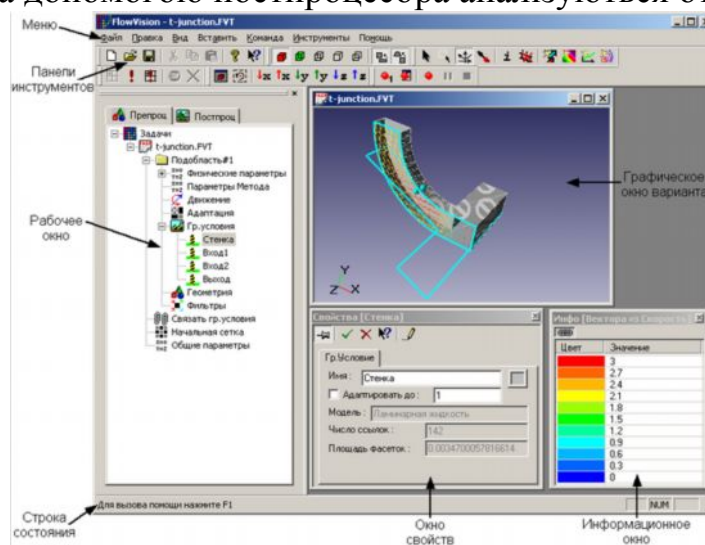
Тема 1. Знайомство з програмним комплексом FlowVision.

- 1.1. Терміни інтерфейсу
- 1.2. Панелі інструментів
- 1.3. Способи видору елементів дерева
- 1.4. Редагування параметрів елементів

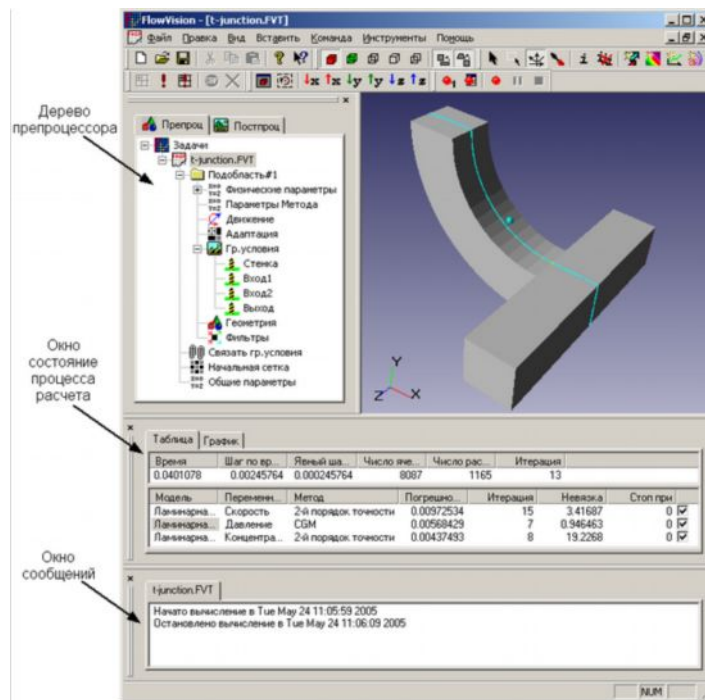
Терміни інтерфейсу FlowVision

У цьому розділі визначимо основні терміни інтерфейсу **FlowVision**.

Документ або файл, з яким працює **FlowVision**, називається варіантом. Варіант містить у собі геометричну інформацію, розрахункову сітку, фізичні моделі, параметри розрахунку, дані розрахунку й інформацію постпроцесора. При створенні нового варіанта спочатку імпортується геометрична інформація, потім задаються розрахункова сітка, фізичні моделі й параметри розрахунку. Після цього проводиться розрахунок, і за допомогою постпроцесора аналізуються отримані дані.



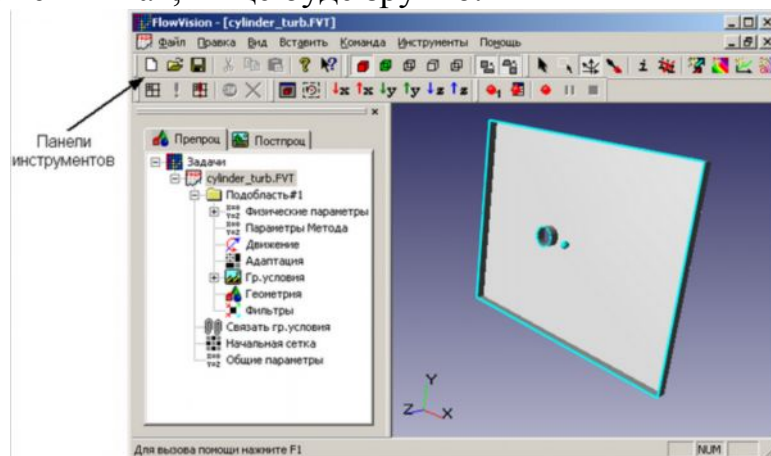
Вікно завдання варіанта.



Вікно розрахунку варіанта.

Панелі інструментів








Кнопки панелі інструментів – це скорочений варіант меню для часто використовуваних команд. На показаному нижче первісному екрані **FlowVision** відображені всі наявні панелі інструментів. Можна розмістити панелі інструментів так, як це буде зручно.



Щоб відобразити або сховати окремі панелі інструментів, виберіть **Вид** **Панелі інструментів**. З'явиться список всіх панелей інструментів. Панелі інструментів, відзначені галочкою, видні на екрані; а ті, які не відзначені, сховані. Натисніть на ім'я панелі інструментів, щоб поставити (або навпаки забрати) галочку.





Панель інструментів Геометрія







Панель інструментів **Геометрія** надає інструменти для зміни способу відображення варіанта в графічному вікні.

 Непрозорі фасетки	Тверді тіла відображаються у вигляді набору непрозорих розфарбованих фасеток. Кожна сторона фасетки має свій колір.
 Односторонньо-прозорі фасетки	Тверді тіла відображаються у вигляді набору непрозорих розфарбованих фасеток. У цьому випадку в кожній фасетці відображається тільки одна сторона. Тверді тіла відображаються із прозорими передніми поверхнями.
 Каркасне подання	Відображає всі ребра фасеток, з яких складаються тверді тіла.
 Каркасне невидимими лініями	3 Відображає тільки ті ребра фасеток, які видимі в режимі відображення твердих тіл непрозорими фасетками. Невидимі ребра видаляються.
 Границі груп	Відображаються тільки границі груп фасеток.
 У пропорціях чи ні	Пропорції зображення на екрані такі ж, як у геометричних тіл у просторі об'єктів. При відключенні цього режиму пропорції залежать від відношення довжини до ширини графічного вікна. У випадку квадратного вікна натискання цієї кнопки не робить ніякого ефекту. Цей режим використовується для відображення сильно витягнутого об'єкта.
 У перспективі чи ні	Кнопка має два положення – натиснуте й віджате. У натиснутому положенні зображення 3D сцени в графічному вікні має перспективну проекцію. Параметри перспективної проекції фіксовані й не можуть бути змінені користувачем. У віджатому стані зображення 3D сцени в графічному вікні має паралельну проекцію. За замовчуванням кнопка натиснута.

Панель інструментів Режими




Панель інструментів **Режими** надає інструменти для маніпулювання видом варіанта в графічному вікні й створення основних шарів візуалізації отриманих результатів.

 Вибрати	<p>Режим вибору елементів геометрії з екрана. Щоб вибрати елемент поверхні з екрана: наведіть на нього курсор і натисніть ліву кнопку миші. Для вибору іншої сторони даного об'єкта: після вибору об'єкта натисніть праву кнопку миші й виберіть команду Вибрати іншу сторону в контекстному меню. Для вибору схованого елемента: наведіть курсор на те місце зображення, під яким перебуває потрібний вам об'єкт. Натисніть ліву кнопку миші — при цьому буде обраний найближчий об'єкт. Натисніть праву кнопку миші й виберіть команду Вибрати наступну в контекстному меню — буде обраний наступний один по одному об'єкт. І так доти, поки не буде обраний потрібний об'єкт.</p>
 Збільшити елемент зображення / Зменшити частину сцени, видиму у вікні	<p>Збільшує частину зображення, обрану в рамку. Помістіть курсор у те місце, де повинен розташовуватися один з кутів рамки й натисніть ліву кнопку миші. З натиснутою лівою кнопкою потягніть курсор по діагоналі в протилежний кут обмежуючої рамки. Відпустіть курсор. Область, захоплена рамкою, буде розтягнута на все вікно.</p> <p>Зменшує частину сцени варіанта, видиму в його графічному вікні. Клацніть правою кнопкою миші в крапку графічного вікна. При цьому частина сцени, видима у вікні, зменшиться й стануть видні деталі сцени, сховані за рамкою вікна. Крапка клацання стане центром нового виду.</p>
 Зміна виду	<p>Дозволяє динамічно настроїти кут зору й розташування сцени. Для зміни кута зору натисніть ліву кнопку миші. Щоб повернути зображення щодо вертикальної осі, пересувайте мишу ліворуч праворуч. Щоб повернути зображення щодо горизонтальної осі, пересувайте мишу зверху вниз. Щоб повернути зображення щодо діагоналі, пересувайте мишу по діагоналі. Для переміщення зображення натисніть праву кнопку миші й, утримуючи її, пересувайте курсор по екрані. Для збільшення або зменшення зображення натисніть праву й ліву кнопки миші одночасно. <i>Щоб збільшити зображення</i>, пересувайте курсор нагору по екрані, утримуючи обидві кнопки. <i>Щоб зменшити зображення</i>, пересувайте курсор долілиць по екрані, утримуючи обидві кнопки.</p>
 Настроювання	<p>Динамічне настроювання параметрів графічного шару. Дії цього інструмента залежать від типу обраного</p>

параметрів шару	графічного шару.
 Відкриття вікна Инфо для обраного елемента	Відкриває вікно Инфо для обраного елемента дерева.
 Закрити всі відкриті вікна Инфо	Закриває всі відкриті вікна Инфо .
 Створення нового шару Вектора	Дозволяє швидко створити шар Вектора для візуалізації векторного поля. За замовчуванням у якості базової змінної обрана швидкість, а як базовий об'єкт пропонується вибрати площина. При створенні нового шару за допомогою цієї кнопки можна змінювати базові змінні.
 Створення нового шару Заливання	Дозволяє швидко створити шар Заливання для візуалізації розподілу скалярної змінної на поверхні за допомогою колірних переходів. За замовчуванням у якості базової змінної обрана щільність, а як базовий об'єкт пропонується вибрати площина, на якій буде створене заливання. При створенні нового шару за допомогою цієї кнопки можна змінювати базові змінні.
 Створення нового шару Двовимірний Графік	Дозволяє швидко створити шар Двовимірний Графік, що виводить на екран графік скалярної змінної уздовж обраного в тривимірному просторі променя. За замовчуванням у якості базової змінної обрана щільність, а як базовий об'єкт пропонується вибрати площину, у якій буде лежати графік. При створенні нового шару за допомогою цієї кнопки можна змінювати базові змінні.
 Створення нового шару Ізолінії	Дозволяє швидко створити шар Ізолінії для візуалізації розподілу скалярної змінної на поверхні за допомогою ізоліній. За замовчуванням у якості базової змінної обрана щільність, а як базовий об'єкт пропонується вибрати площина, на якій буде створений шар візуалізації. При створенні нового шару за допомогою цієї кнопки можна змінювати базові змінні.






Панель інструментів Види

Панель інструментів **Види** містить кнопки для керування видом.

 Змінити в розмір екрана	Змінює масштаб зображення так, щоб варіант був видний повністю.
 Установити центр обертання	Переміщає центр обертання зображення в його положення за замовчуванням (центр регіону).
 Показати варіант в одному зі стандартних видів	Дозволяє побудувати 3D сцену в стандартних видах назустріч/уздовж осі X, Y або Z.

Панель інструментів Розрахунок

Панель інструментів **Розрахунок** містить кнопки для керування процесом розрахунку.


 Побудова сітки	Побудувати сітку, провести адаптацію по геометрії й обновити геометричну інформацію в ячейках.
 Запуск на розрахунок	Запустити розрахунок варіанта на вже побудованій сітці.
 Побудова сітки й запуск на розрахунок	Побудувати сітку, провести адаптацію по геометрії, обновити геометричну інформацію в ячейках і запустити розрахунок варіанта.
 Зупинка розрахунку	Зупинити розрахунок після закінчення поточної ітерації за часом.
 Аварійне завершення розрахунку	Аварійна зупинка розрахунку, не чекаючи закінчення поточної ітерації. Використовується у випадку, якщо рішення розходиться або стає неправдоподібним. Після аварійної зупинки дані цього варіанта використовувати не рекомендується.

Способи вибору

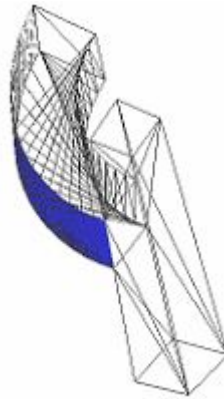
При роботі з варіантом у пре- і постпроцесорі завжди потрібно спочатку вибрати елемент, який необхідно змінити. Вибір елемента можна робити декількома способами:

- вибор в графическом окне,
- вибор скрытых или совпадающих элементов,
- вибор в дереве варианта.

Вибір у графічному вікні

Натисніть кнопку  (інструмент вибору), потім у графічному вікні натисніть на елемент, який необхідно вибрати. Обраний елемент геометрії

виділяється як на екрані, так і в дереві варіанта. Зверніть увагу, що кожний елемент геометрії має дві сторони, але при виборі виділяється тільки одна сторона цього елемента. Активна сторона виділена своїм кольором, а невиділена сторона показана сірим кольором з накладеною текстурою.



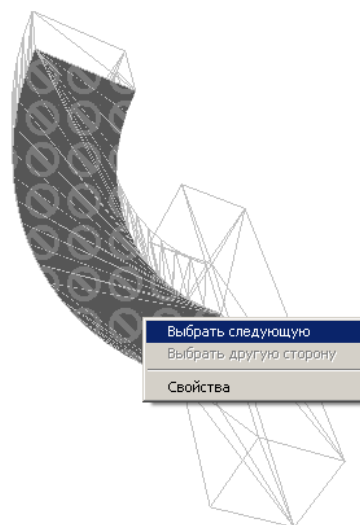
Якщо необхідно вибрати іншу сторону цього елемента геометрії, то треба натиснути праву кнопку миші й з контекстного меню вибрати команду **Вибрати іншу сторону**.

Вибір схованих або співпадаючих елементів

Іноді елемент, якому необхідно вибрати, перебуває позаду або збігається з іншим елементом.

Для вибору схованого елемента:

1. Натисніть ліву кнопку миші там, де необхідно зробити вибір. Вибереться найближчий елемент.
2. Натисніть праву кнопку миші. З'явиться контекстне меню.
3. Натисніть **Вибрати наступну** в спливаючому меню. Буде виділений наступний один по одному елемент геометрії.



4. Якщо потрібний не цей, а один з наступних елементів, повторюйте пункти 2 і 3 доти, поки не буде виділений потрібний елемент геометрії.

Існує інший спосіб вибору схованого елемента. Схований елемент можна зробити видимим за допомогою площини, що відрізає, і потім виділяти його як видимий.

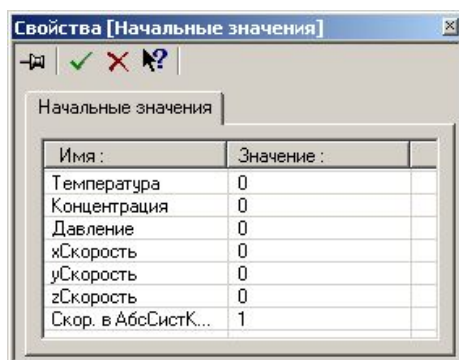
Вибір у дереві варіанта


Можна вибирати елементи безпосередньо в дереві, просто натискаючи на їхні імена в дереві. Обраний елемент буде виділений у графічному вікні кольором.





Редагування параметрів елементів дерева



Для перегляду або зміни параметрів будь-якого елемента варіанта, представленого в дереві:



- Виберіть потрібний елемент у дереві варіанта, натисніть праву кнопку миші й виберіть пункт **Властивості** з контекстного меню.
- З'явиться вікно **Властивості**, у якому будуть присутні сторінки з параметрами даного елемента. Властивості всіх елементів дерева мають стандартний вигляд: панель інструментів зверху й кілька сторінок властивостей нижче. Кількість сторінок і їхній зміст залежить від того, до якого параметра смороду ставляться.



- Панель інструментів виглядає в такий спосіб: . Для деяких елементів у панелі можуть з'являтися додаткові кнопки.

	Залишити вікно властивостей на екрані під час роботи з іншими вікнами програми
	Негайно застосувати всі зміни
	Скасувати всі зроблені зміни
	Одержати контекстну допомогу

- Внесіть необхідні зміни.
- Натисніть кнопку  для підтвердження змін або  для їхнього скасування.
- Закрийте вікно **Властивості**.

Відзначимо, що більш зручно використовувати вікно властивостей у такий спосіб. Приколiть вікно властивостей за допомогою кнопки . Потім виділяйте ті елементи дерева, параметри яких треба подивитися або змінити. При виділенні кожного наступного елемента у вікні властивостей будуть з'являтися сторінки, що відносяться до цього елемента. Не забувайте натискати кнопку  до виділення наступного елемента дерева. Інакше внесені зміни будуть загублені.

Зміна геометрії

Дуже часто при оптимізації якого-небудь пристрою необхідно проводити розрахунок серії варіантів, не дуже що сильно відрізняються друг від друга за формою розрахункової області. У цьому випадку при створенні нового варіанта зручно скористатися попереднім варіантом і просто замінити в ньому геометрію пристрою, що розраховується. При цьому не прийдеться заново задавати початкову сітку, граничні умови, параметри моделей і методи розрахунку, а залишити їх такими, якими вони були задані в старому варіанті. Варто звернути увагу на те, що ця операція припустима **тільки** в тих випадках, коли варіанти геометрії відрізняються друг від друга несуттєвим чином, тобто кількість підобластей, граничних умов, параметри моделі й т.д. залишаються незмінними. У протилежному випадку, якщо відмінності між варіантами є істотними, користуватися вставкою геометрії не треба, тому що це приведе до виникнення важко переборних помилок.

Для того, щоб імпортувати нову геометрію в старий варіант:

- Виберіть пункт головного меню **Вставити** **Геометрія**.
- У вікні **Відкрити** виберіть тип імпортованого файлу і сам файл і натисніть кнопку **Відкрити**.

Після цього нова геометрія буде імпортована у варіант, проаналізована, розбита на поверхні й замкнуті підобласті. Структура нового варіанта з'явиться в робочому вікні, а зображення геометрії в графічному вікні. Розрахункова сітка буде автоматично розтягнута або стисла так, щоб збігатися із границями нової геометрії.

Зверніть увагу, що в показчику **Загальні параметри** варіанта на сторінці властивостей **Старт** автоматично знялася галочка для елемента **Маску ячеек**.

Після імпортування нової геометрії існує кілька можливостей продовження процесу розрахунку:

- оновити геометричну інформацію в ячейках сітки й продовжувати розрахунок, використовуючи старі сітку й значення змінних;
- оновити геометричну інформацію в ячейках сітки й продовжувати розрахунок, використовуючи стару сітку, але не використовувати значення змінних з попереднього розрахунку;
- почати розрахунок спочатку, тобто не використовувати ні сітку, ні значення змінних з попереднього розрахунку.

За замовчуванням після зміни геометрії встановлюється перший режим розрахунку.

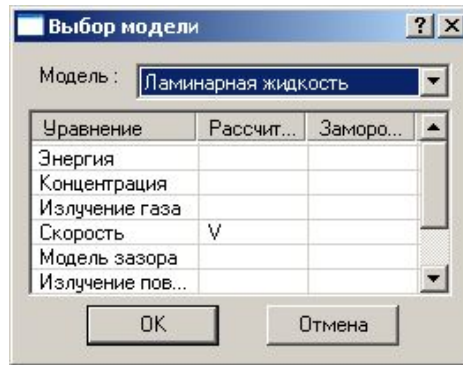
Тема 2. Порядок складання задачі моделювання

- 2.1. Вибір математичної моделі
- 2.2. Вказання початкових значень
- 2.3. Вказання фізичних властивостей величин
- 2.4. Вказання руху підобласті
- 2.5. Вказання критеріїв адаптації сітки

Вибір математичної моделі підобласті

Математична модель може бути змінена для всіх підобластей крім зовнішньої. Для зовнішньої підобласті моделі завжди повинно бути значення **Немає обчислення**. Для того, щоб задати або змінити математичну модель для даної підобласті:

- Натисніть праву кнопку миші над потрібної **Підобластю** у дереві варіанта. Границя обраної підобласті буде показана в графічному вікні варіанта кольором. Всі інші підобласті стануть невидимими.
- З контекстного меню, що з'явився, виберіть пункт **Змінити модель**.
- У вікні **Вибір моделі** зі списку **Модель** виберіть потрібну математичну модель.

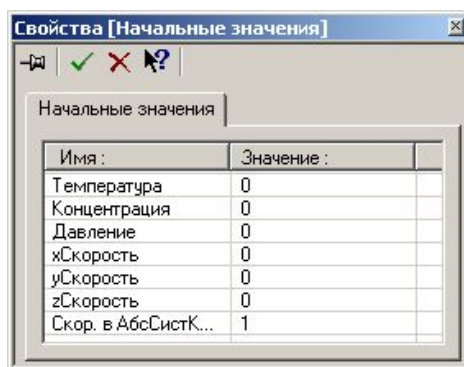


- У таблиці нижче будуть зазначені рівняння, для яких можливий розрахунок. У колонку **Розраховувати** проставте галочки біля тих рівнянь, які треба розраховувати.
- Натисніть клавішу **ОК**.

У будь-який момент у процесі розрахунку можна додати або забрати рівняння, що розраховуються. Крім цього існує можливість «заморозки» одного або декількох рівнянь. «Заморозка» означає наступне – рівняння, для якої встановлена заморозка, не буде розраховуватися, тобто ця змінна буде зафіксована. «Заморозка» можлива тільки для тих рівнянь, для яких зазначено що вони розраховуються. Якщо розрахунок проводився по одній моделі, а потім виникла необхідність поміняти модель. У цьому випадку після зміни моделі автоматично будуть зроблені наступні операції:

- Значення всіх параметрів збережуться, якщо вони існували в старій моделі, і будуть задані за замовчуванням, якщо не існували.
- У всіх осередках даної подобласти модель буде замінена на нову. Причому, якщо змінна існувала в старій моделі, ті її значення буде дорівнює значенню в цьому осередку до зміни моделі. Якщо змінна в старій моделі не існувала, те її значення буде дорівнює значенню за замовчуванням.
- Всі граничні умови в цієї подобласти будуть замінені на нові. Причому, якщо для змінної гранична умова існувала в старій моделі, ті ця гранична умова збережеться. Якщо не існувало, те гранична умова буде задано за замовчуванням.

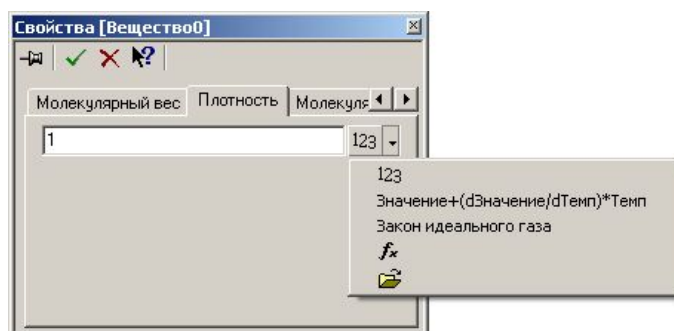
Початкові значення



У вікні **Початкові значення** задаються початкові значення параметрів для всієї розрахункової області, таких як температура, концентрація, тиски й швидкість. Причому всі значення задаються у відносних величинах.

Якщо в розв'язуваному завданні бере участь суміш газів, то концентрація задається в такий спосіб: концентрація, рівна 1, означає, що розрахункова область заповнена речовиною з номером 1, а концентрація, рівна 0, означає, що область заповнена речовиною з номером 0, якщо концентрація дорівнює, наприклад, 0.2, це означає, що область заповнена сумішшю, що містить 2 частини речовини з номером 1 і 8 частин речовини з номером 0.


Фізичні властивості речовин



У вікні **Речовина0** і **Речовина1** задаються фізичні властивості речовин, що розраховуються.

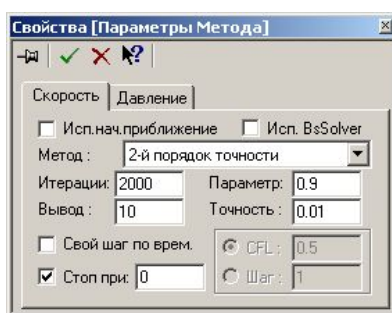
Існує кілька способів завдання значення кожної величини:

123	Константа.
$\text{Value} + (\text{dValue}/\text{dTemp}) * \text{Temp}$	Лінійна залежність від температури. Доступно для всіх параметрів, крім Молекулярна важіль .
Ideal gas law	Закон ідеального газу.
f_x	Рівняння. Дозволяє ввести залежність даної величини від



	інших розрахункових величин.
	Зовнішня функція. Дозволяє використовувати закони зміни параметра, що перебувають у зовнішніх dll-бібліотеках.

- Також існує можливість завантажити властивості з бази даних речовин.

Параметри методу



Для того, щоб задати параметри методів розрахунку:

- Висвітїть властивості для елемента дерева **Параметри методу**.
- У вікні властивостей будуть сторінки параметрів розрахунку для кожної змінної. Всі сторінки виглядають однаково. Їхній опис наведень нижче. Внесіть необхідні зміни.
- Натисніть кнопку  для підтвердження змін або  для їхнього скасування.

Сторінка властивостей параметрів методу має наступні вікна:

Исп. нач. приближения	Використовувати початкове чи наближення ні. Якщо у віконці Використовувати початкове наближення є галочка, то при запуску на розрахунок для даної змінної значення буде задано виходячи з початкового наближення.
Исп. BsSolver	Використовувати ітераційні методи IC2-CG і ILU2-Lanczos . Для всіх рівнянь, крім Скорость , по досягненні зазначеної кількості ітерацій відбувається автоматичне перемикання ітераційних методів на IC2-CG і ILU2-Lanczos . Ітераційний процес триває новими методами до збіжності або зазначеної кількості ітерації. При цьому рішення, отримане за допомогою методів, заданих за замовчуванням, використовується як початкове наближення.

Метод	Визначає ітераційний метод для тиску (IC-CG) або схему апроксимації при конвективному переносі для всіх інших змінних (1-й порядок точності, 2-й порядок точності, Східчаста функція й Східчаста функція 0..1).
Ітерації	Задає максимальна кількість ітерацій N_{\max} при розрахунку даного рівняння за один крок за часом.
Параметр	Задає параметр релаксації для ітераційного методу розрахунку.
Вивод	Задає кількість ітерацій, через яке буде обновлятися інформація у вікні стану процесу розрахунку.
Точність	Визначає точність збіжності ϵ , по досягненні якої ітераційний процес буде зупинений.
Використовувати власний крок за часом	Визначає, буде ця змінна розраховуватися із загальним кроком за часом або з її власним кроком.
Стоп при	Якщо відзначено пункт Стоп при , то активується критерій зупинки по відносному нев'язанню, заданої праворуч від напису Стоп при .
CFL	Якщо відзначено пункт CFL , то власний крок за часом визначається по числу Куранта, заданому праворуч від напису CFL .
Крок	Якщо відзначено пункт Крок , то власний крок за часом дорівнює числу, заданому праворуч від напису Крок .

Використання методів IC2-CG і ILU2-Lanczos для рівнянь **Скорость** може бути пов'язане з більшими витратами пам'яті, тому автоматичне перемикання на них у випадку, якщо за зазначену кількість ітерацій збіжність не досягнута, не робиться.

Завдання руху підобласті

Для кожної підобласті можна задати рух цієї підобласті щодо абсолютної системи координат.

Параметри руху представлені в дереві елементом: **Рух**.

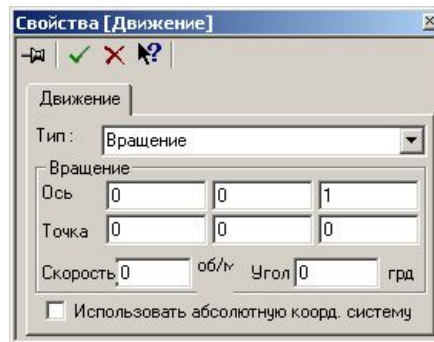
Задавати параметри руху підобласті необхідно в тому випадку якщо ми хочемо розрахувати плин навколо або усередині тіла, що рухається.

Для підобласті можна задати або прямолінійний поступальний рух з постійною швидкістю або обертання з постійною кутовою швидкістю.

Щоб задати рух підобласті:

- Виберіть елемент **Рух** у дереві варіанта, натисніть праву кнопку миші й виберіть пункт **Властивості** з контекстного меню.
- З'явиться вікно **Властивості**. Виберіть тип руху: **Обертання**. Задайте необхідні параметри.

- Натисніть кнопку  для підтвердження змін або  для їхнього скасування.



Вікно властивостей параметрів руху.

Сторінка властивостей параметрів руху має наступні вікна:

Тип	Визначає тип руху. Можливі два типи: Немає руху й Обертання – обертання з постійною кутовою швидкістю.
Вісь	Задає напрямок осі навколо якої відбувається обертання або уздовж якої відбувається рух.
Точка	Визначає точку, через яку проходить вісь обертання.
Швидкість	Визначає кутову швидкість обертання в обертах у хвилину або лінійну швидкість руху в метрах за секунду.
Кут	Задає початковий кут повороту (для ковзної сітки).
Використовувати абсолютну коорд. систему	Використовується тільки в завданнях обертання. Визначає систему координат, у якій задані швидкості й відповідні їм граничні умови. Якщо ця опція активна, то швидкості й граничні умови задані в нерухомій системі координат. У протилежному випадку швидкості й граничних умов задані в системі, що рухається, координат. При використанні цієї опції на стінках необхідно задавати граничні умови Обертана стінка або Обертана стінка, логарифмічний закон (залежно від використовуваної

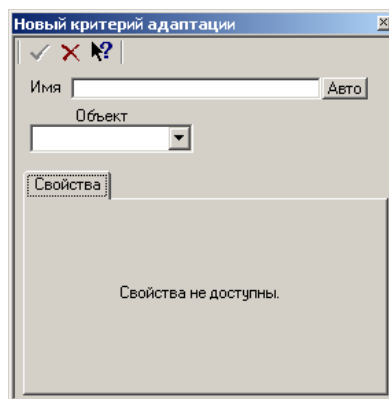
моделі), інші граничні умови задаються звичайним образом.

Завдання критеріїв адаптації сітки

Критерії адаптації сітки задаються для кожної подобласти окремо. У дереві вони представлені елементом **Адаптація**.

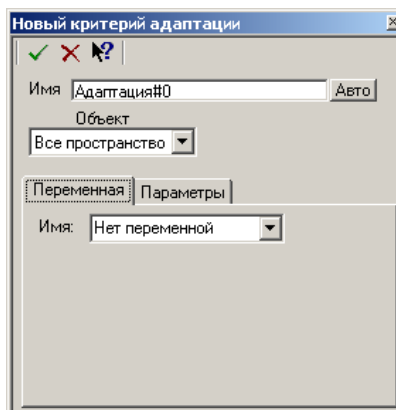
Щоб задати критерії адаптації:

- Виберіть елемент **Адаптація** в дереві варіанта, натисніть праву кнопку миші й виберіть пункт **Створити** з контекстного меню.
- З'явиться діалогове вікно **Новий критерій адаптації**, у якому пропонується вибрати об'єкт для проведення адаптації. Область, у якій буде проведена адаптація, задається за допомогою наступних об'єктів: **Площина**, **Весь простір**, **Паралелепіпед**, **Конус**.



Вікно створення критерію адаптації.

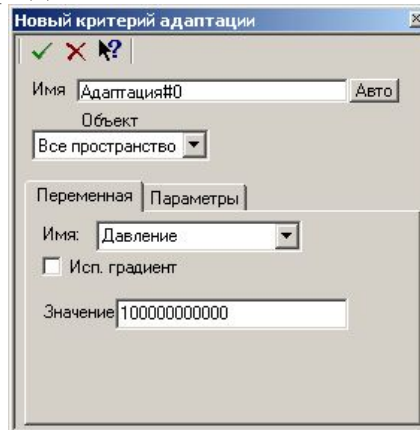
- Після вибору об'єкта адаптації будуть доступні дві сторінки властивостей. На першій можна вибрати змінну, по якій буде проводитися адаптація, на другій сторінці задаються обмеження на адаптацію. Змінну, по якій буде проводитися адаптація, вибрати необов'язково, якщо вона не зазначена, то адаптація буде проведена до заданого рівня, а всі інші обмеження діяти не будуть.



Вікно створення критерію адаптації (змінна не обрана).

- При виборі змінної, по якій буде проводитися адаптація, активізуються вікна властивостей, що дозволяють вказати значення

змінної, до якого буде проведене згущення розрахункової сітки, або значення градієнта цієї змінної, якщо буде активізований параметр **Исп. градієнт**.




Вікно створення критерію адаптації (змінна обрана).

- На сторінці **Параметри** є наступні обмеження на адаптацію:

МаксУровень	Визначає максимальний рівень ячеек для критерію адаптації. Якщо не буде обрана змінна, то адаптація буде проведена тільки із цим одним обмеженням, інші обмеження діяти не будуть.
ЧислоЯчеек	Визначає кількість ячеек, що буде додано цим критерієм адаптації. Ця умова буде виконано з точністю до 10%.
Швидкість	Визначає кількість ячеек, що додаються критерієм адаптації на кожній ітерації. Ця кількість задається в частках від величини ЧислоЯчеек . Значення Швидкість = 1 відповідає автоматичному вибору швидкості росту сітки відповідно до правила сусідні ячейки не можуть відрізнятися рівнем більше, ніж на 1.
Мелк/Крупн	Дозволяє динамічно перебудовувати сітку, залишаючись у рамках заданих обмежень: у міру розвитку течії великі ячейки, де треба, дробляться, дрібні – зливаються.

Також у цьому вікні є можливість включити або відключити використання критерію адаптації (**Активация**) і задати періодичність його роботи (із заданим кроком за часом або через задане число ітерацій).

- Після установки всіх необхідних параметрів натисніть кнопку  для підтвердження змін або  для їхнього скасування.

Тема 3. Робота з граничними умовами

- 3.1. Завдання граничних умов.
- 3.2. Використання фільтрів
- 3.3. Використання супергруп
- 3.4. Масштабування геометрії
- 3.5. Створення сітки
- 3.6. Глобальні параметри та параметри розрахунку



Завдання граничних умов

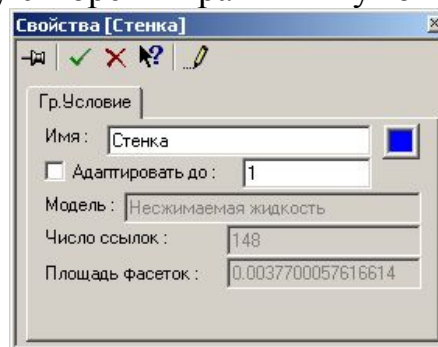
Кожна підобласть має свій набір граничних умов, які показані в дереві в папці **Гр.умови**. Після створення варіанта в кожній підобласті існує як мінімум одна гранична умова, що проставлена на всіх фасетках даної підобласті.

Для того, щоб створити нова гранична умова:


- Виділити папку **Гр.умови**, натиснути праву кнопку миші й вибрати пункт **Створити** в контекстному меню.



- З'явиться вікно властивостей зі сторінкою, що показує параметри нової граничної умови. Поміняйте необхідні параметри.
- Натисніть кнопку  для підтвердження змін або  для їхнього скасування.
- Закрийте вікно **Властивості**. У дереві з'явиться новий елемент, що відповідає знову створеній граничній умові.





Сторінка параметрів граничної умови має наступні вікна:

Name	Ім'я граничної умови.
	Колір граничної умови.
Адаптувати до	Якщо у віконці є галочка, то по даній граничній умові буде проводитися адаптація сітки. Праворуч від напису зазначений рівень, до якого проводиться адаптація.
Модель	Математична модель граничної умови (збігається з моделлю підобласті).
Число ссылок	Кількість фасеток, на яких проставлене ця гранична умова.
Площа фасеток	Сумарна площа фасеток, на яких є гранична умова.

Існує інший спосіб створення граничної умови: граничну умову можна скопіювати.


Копіювання граничної умови:

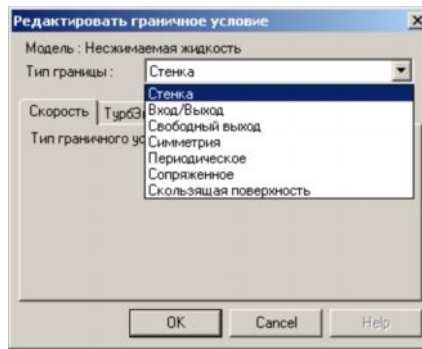
- Виділіть граничну умову, з якої треба зробити копію, натисніть праву кнопку миші й виберіть **Копіювати** в контекстному меню.
- З'явиться вікно властивостей зі сторінкою, що показує параметри нової граничної умови. Поміняйте необхідні параметри.
- Натисніть кнопку  для підтвердження змін або  для їхнього скасування.
- Закрийте вікно **Властивості**. У дереві з'явиться новий елемент відповідний знову створеній граничній умові.

Параметри граничної умови, які є загальними для всіх математичних моделей, редагуються у властивостях граничної умови.

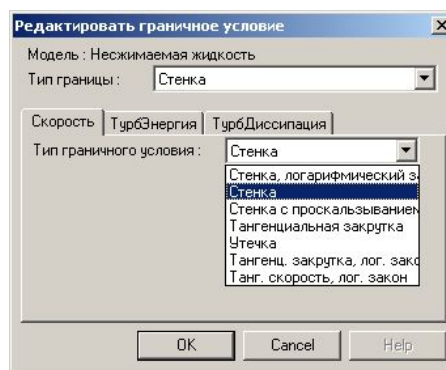
Редагування параметрів граничної умови, що визначають граничні умови для кожної змінної:

- Виділіть граничну умову, натисніть праву кнопку миші й виберіть **Редагувати** в контекстному меню.

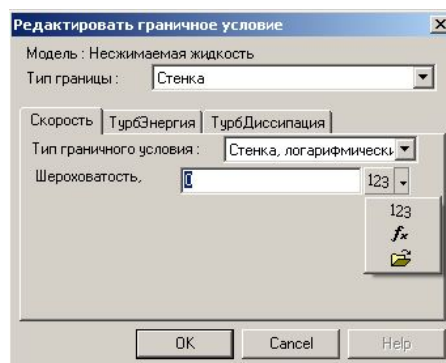
- Або
- Виділіть граничну умову, натисніть праву кнопку миші й виберіть **Властивості** в контекстному меню. З'явиться вікно властивостей. У панелі інструментів натисніть кнопку .
 - З'явиться вікно **Редагувати граничну умову**. У цьому вікні зазначені **Модель**, **Тип границі** й сторінки властивостей границі для кожної розрахункової змінної.



- На кожній сторінці зазначений конкретний **Тип граничної умови** й параметри, що його характеризують. При зміні типу границі міняються типи граничних умов для кожної змінної.



- Поміняйте, якщо необхідно, типи граничних умов для змінних.
- Задайте параметри граничної умови. Параметри граничної умови наведені на кожній сторінці властивостей у вигляді поля розташованого нижче віконця **Тип граничної умови**. Параметри граничних розумів можуть задаватися у вигляді констант, рівняння й за допомогою користувальницької зовнішньої функції.



- Натисніть кнопку **OK** для підтвердження змін або **Cancel** для їхнього скасування.

Для завдання періодики на двох поверхнях варто створити дві **Періодичних** граничних умови й розставити їх: першу на одній періодичній поверхні, а другу на її образі (другій поверхні). Потім варто

зв'язати ці дві періодичних умови. Крім періодичних граничних умов також необхідно зв'язувати граничні умови наступних типів:

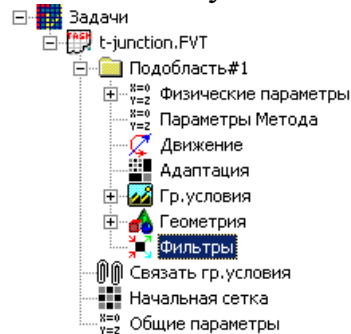
- **Сполучене** використовується для завдання взаємодії між двома підобластями. Наприклад, для розрахунку сполученого теплообміну між областю з рідиною й областю із твердим тілом.
- **Ковзна поверхня** використовується для завдання границі взаємодії між двома рухливими підобластями.

Фільтри

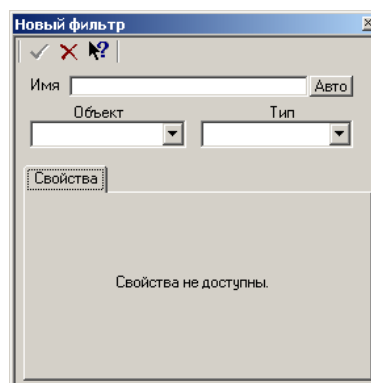
У кожній підобласті можна задати додаткові об'єкти, які будуть якимось впливати або на дані, або на сітку в даній підобласті. Такі об'єкти називаються фільтрами-модифікаторами. Кожний фільтр складається із двох частин: об'єкта усередині якого він діє й способу впливу.

Для того, щоб створити новий фільтр:

- Виділити папку **Фільтри**, нажати праву кнопку миші й вибрати пункт **Створити** в контекстному меню.

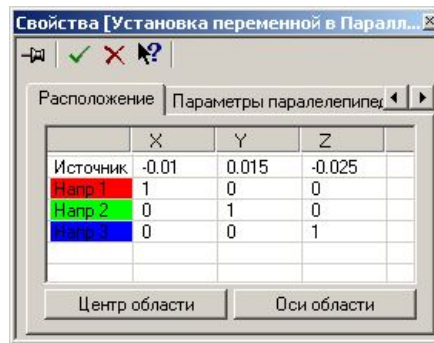


- З'явиться вікно створення фільтра. У віконці **Об'єкт** варто вибрати тип об'єкта, у якому буде працювати фільтр. У віконці **Тип** – тип фільтра (спосіб впливу).



- У вікні створення фільтра з'являться сторінки властивостей для обраного типу об'єкта й типу фільтра. Поміняйте необхідні параметри.
- Натисніть кнопку для підтвердження змін або для їхнього скасування.
- Закрийте вікно **Новий фільтр**. У дереві з'явиться новий елемент, що відповідає знову створеному фільтру.

- Після створення фільтра об'єкт, у якому він працює, і його тип змінити не можна. Змінити можна тільки їхні параметри.
- Для редагування параметрів фільтра:
- Виділити потрібний фільтр, натиснути праву кнопку миші й вибрати пункт **Властивості** в контекстному меню.
- З'явиться вікно властивостей фільтра. Поміняйте необхідні параметри.

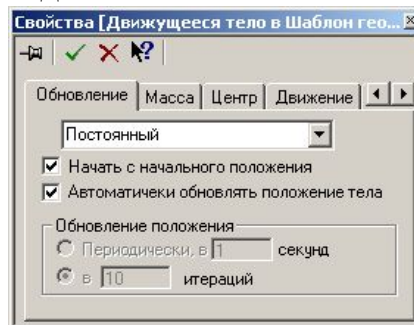


- Натисніть кнопку  для підтвердження змін або  для їхнього скасування.

Фільтр рухливого тіла

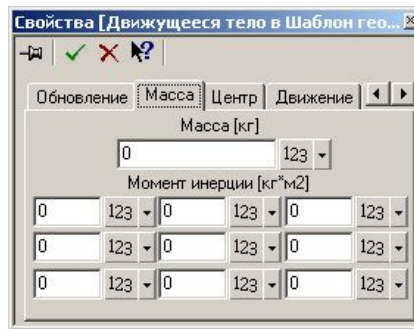
Цей фільтр (**Движущееся тело**) утвориться при імпортуванні геометричного файлу. Нижче описані всі сторінки властивостей даного фільтра.

На першій сторінці властивостей **Відновлення** наведені параметри відповідальні за частоту відновлення поточного положення тіла:



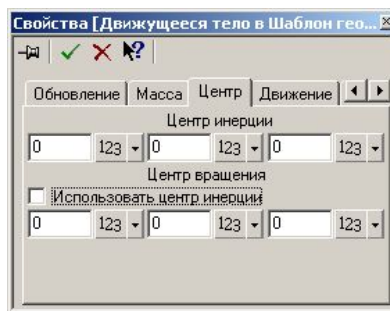
- **Почати з початкового положення** – переміщає тіло у вихідне положення.
- **Автоматично обновляти положення тіла** – поточне положення тіла буде обновлятися на кожному кроці за часом.
- **Періодично в... секунд** – положення тіла буде обновлятися через зазначену кількість секунд.
- **В... ітерацій** – положення тіла буде обновлятися через зазначену кількість ітерацій.

На другій сторінці властивостей **Масса** наведені параметри інерційні властивості, що характеризують, що рухається тіла:



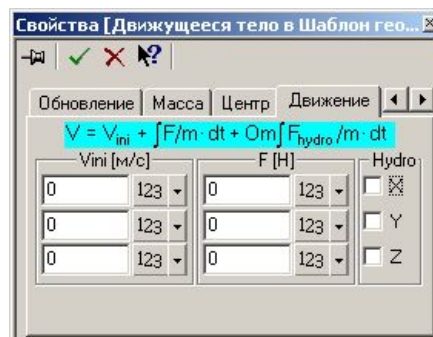
- **Маса [кг]** – маса твердого тіла в кілограмах.
- **Момент інерції [кг*м2]** – тензор моментів інерції щодо осей у системи координат пов'язаної з тілом.
Всі параметри на цій і наступній сторінках, поруч із якими стоїть значок , можуть задаватися трьома способами: константою () , рівнянням () і зовнішньою функцією () .

На третій сторінці властивостей **Центр** наведені координати центра інерції й обертання:



- **Центр інерції** – координати центра інерції в системі координат пов'язаної з тілом.
- **Центр обертання** – координати центра обертання в системі координат пов'язаної з тілом.
- **Використовувати центр інерції** – якщо відзначити це віконце, те координати центра обертання будуть збігатися з координатами центра інерції.

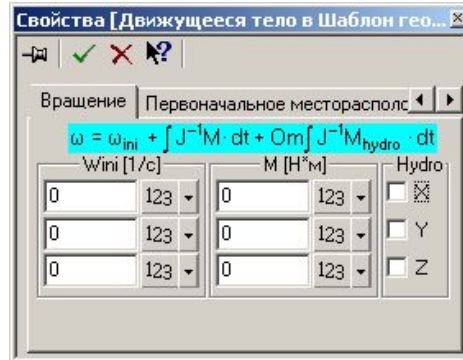
На четвертій сторінці **Рух** властивостей наведені параметри руху тіла:



- **Vini [m/c]** – значення компонентів лінійної швидкості в абсолютній системі координат.
- **F [H]** – значення компонентів довільної зовнішньої сили.
- **Hydro** – якщо вікно відзначене, те значення відповідного компонента лінійної швидкості визначається автоматично,

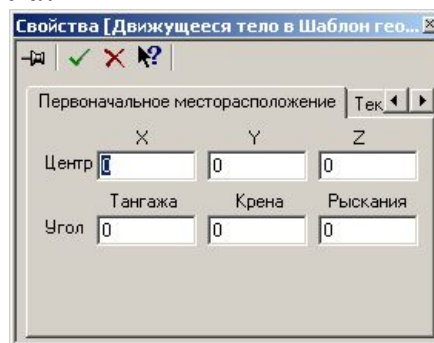
виходячи з гідродинамічних сил, що діють на тіло, і сили тяжіння. При цьому на нижній панелі з'являється додаткове вікно **Om**. Уведіть значення $Om < 1$, якщо хочете зменшити ефект цих сил (див. формулу на малюнку).

На п'ятій сторінці **Обертання** властивостей наведені параметри обертання тіла:



- **Wini [1/з]** – значення компонентів кутової швидкості в абсолютній системі координат.
- **M [H*м]** – значення компонентів моменту довільної зовнішньої сили.
- **Hydro** – якщо вікно відзначене, те значення відповідного компонента кутової швидкості визначається автоматично, виходячи з гідродинамічних сил, що діють на тіло, і сили тяжіння. При цьому на нижній панелі з'являється додаткове вікно **Om**. Уведіть значення $Om < 1$, якщо хочете зменшити ефект цих сил (див. формулу на малюнку).

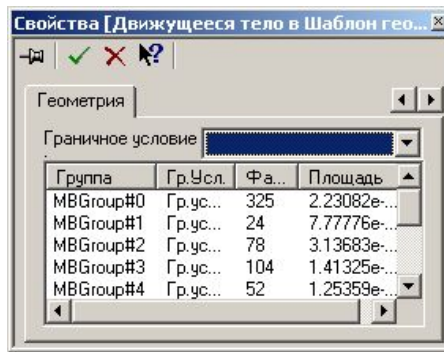
На шостій сторінці властивостей **Первісне місце розташування** задається початкове положення тіла:



- **Центр** – початкове положення центра обертання тіла в абсолютній системі координат.
- **Кут** – початкові куляй повороту тіла в літаковій нормальній системі координат: **Тангажа**, **Крену**, **Рискання**.

На наступній сьомій сторінці **Поточне місце розташування** наведене поточне положення тіла в тій же системі позначень.

На останній восьмій сторінці **Геометрія** наведені властивості геометрії даного тіла:

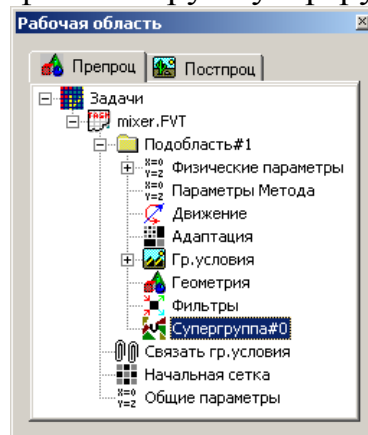


- **Гранична умова** – список граничних умов даної підобласті. Виберіть у списку потрібну умову. Ця умова буде встановлено на всіх фасетках даного тіла.

Супергрупи

Для більше детальної роботи з підобластю існує набір засобів, об'єднаних в елементі дерева, названому **супергрупа**.

Супергрупа – це підмножина безлічі груп підобласті, що супергрупа належить. Супергрупа розташовується в папці підобласті. Підобласть може мати скільки завгодно супергруп. У процесі роботи користувач має можливість створювати нові супергрупи, змінювати вже існуючі (тобто міняти список груп, з яких складається супергрупа), а також встановлювати граничні умови на супергрупах. Крім того, супергрупа може бути експортована в постпроцесор як складний фасеточний об'єкт і на цьому об'єкті можуть бути побудовані шари візуалізації (наприклад, **Заливання**, **Ізолінії** або **Характеристики**). Для того, щоб побачити супергрупу в графічному вікні, потрібно виділити її елемент у дереві препроцесора. При цьому фасетки груп супергрупи будуть виділені.



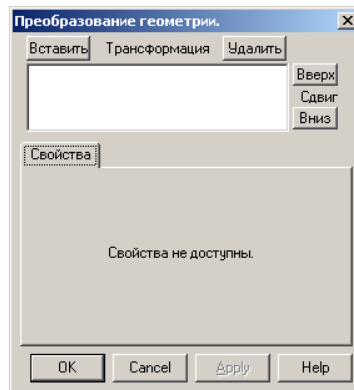
Перетворення геометрії

Меню **Інструменти** містить інструмент **Змінити геометрію** для перетворення геометрії, що дозволяє масштабувати, зрушувати й обертати завантажену геометрію.

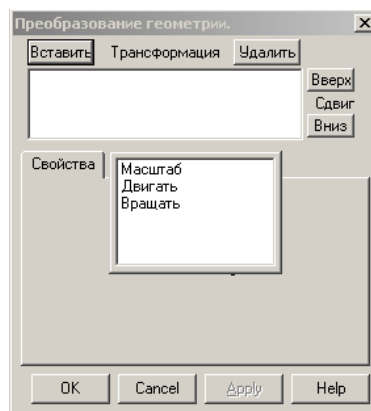
Для того, щоб здійснити перетворення геометрії:

- Виберете в меню **Інструменти** пункт **Змінити геометрію**.

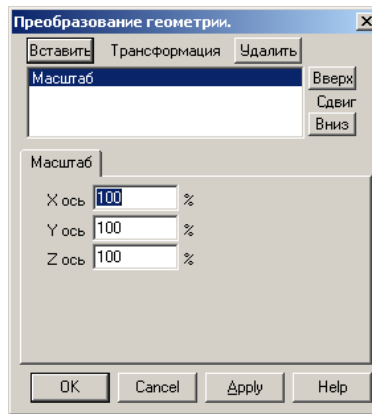
- З'явиться вікно перетворення геометрії.



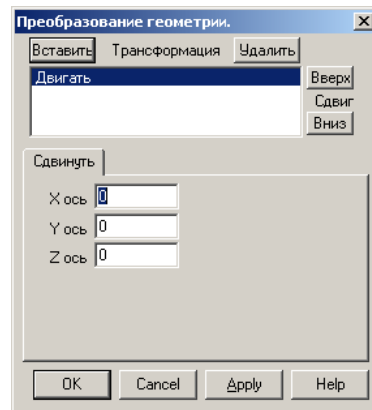
- При натисканні на кнопку **Вставити** з'явиться можливість вибору виду перетворення: **Масштаб**, **Рухати**, **Обертати**.



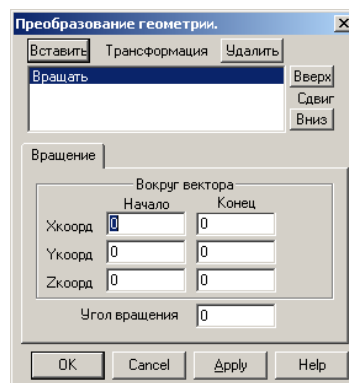
- При виборі виду перетворення активізується вікно властивостей. Вид вікна властивостей залежить від типу перетворення.
- У вікні властивостей для перетворення **Масштаб** пропонується вибрати коефіцієнт масштабування завантаженої геометрії по кожній з осей. Може застосовуватися у випадку, коли завантажена геометрія, побудована не в міжнародній системі одиниць. Іншими словами, якщо, наприклад, розрахункова область була побудована в якій-небудь САПР у міліметрах, в **FlowVision** ці ж значення розмірів будуть відповідати метрам, і для того щоб узгодити співвідношення між цими одиницями, необхідно використовувати цей інструмент перетворення геометрії.



- У вікні властивостей для перетворення **Рухати** пропонується вибрати переміщення завантаженої геометрії по кожній з осей. У такий спосіб змінюється положення центра системи координат.



- У вікні властивостей для перетворення **Обертати** пропонується вибрати координати вектора, навколо якого здійснюється поворот завантаженої геометрії, і кут повороту.



- Можна вибрати кілька різних перетворень. Тоді після вибору набору перетворень у вікні з'явиться їхній список. Послідовність застосування дій над вихідною геометрією встановлюється кнопками **Вгору** й **Вниз**.
- Після додавання кожне перетворення може бути вилучене зі списку

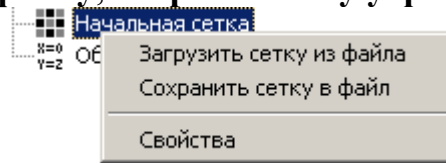
- кнопкою **Видалити**.
- Для того щоб застосувати обрані перетворення, натисніть кнопку **Apply** і закрийте вікно.

Завдання початкової сітки

Для проведення розрахунку необхідно задати сітку нульового рівня (початкову сітку).

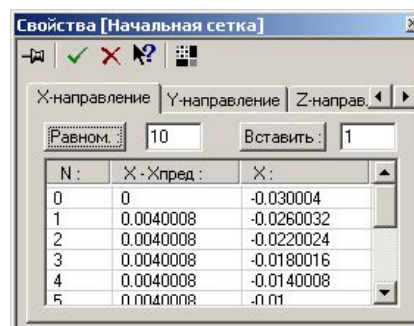
Завдання сітки нульового рівня:



Виділіть елемент дерева **Початкова сітка**, натисніть праву кнопку миші, з'явиться контекстне меню, що складається із трьох пунктів: **Завантажити сітку з файлу**, **Зберегти сітку у файл** і **Властивості**.



Завдання сітки нульового рівня у вікні властивостей початкової сітки:

- Виберіть пункт **Властивості** в контекстному меню елемента дерева **Початкова сітка**.
- З'явиться вікно властивостей початкової сітки. У цьому вікні три сторінки, які визначають початкову сітку по X-, Y- і Z-напрямах відповідно. Відредагуйте початкову сітку.




- Натисніть кнопку  для підтвердження змін або  для їхнього скасування.

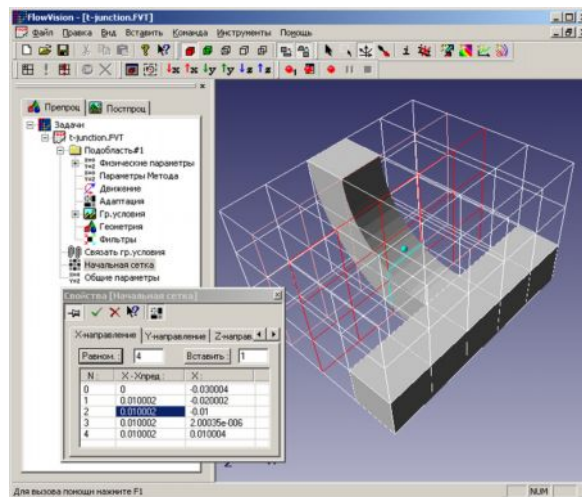
На сторінці властивостей сітки присутні наступні елементи:

- таблиця сіткових ліній – показує інформацію про всі лінії початкової сітки. У таблиці зазначені: номер, відстань до попередньої лінії й координата лінії;
- кнопка **Рівномірно** – дозволяє розбити весь діапазон координат з постійним кроком. У вікні праворуч від цієї кнопки наведена кількість кроків сітки;
- кнопка **Вставити** – дозволяє вставити перед виділеною лінією стільки ліній, скільки зазначено у вікні праворуч від кнопки.

Якщо під час виклику властивостей початкової сітки в графічному

вікні був присутній шар **Розрахункова сітка**, то при редагуванні сітки активна лінія буде відображатися в графічному вікні червоним кольором. Якщо такого шару не було, то його можна створити прямо з вікна властивостей, нажавши на кнопку  в панелі інструментів. Існують наступні операції редагування початкової сітки по даному напрямку системи координат:

- задати рівномірну сітку по всій області;
- змінити координати лінії сітки;
- видалити лінію сітки;
- вставити одну або кілька сіткових ліній.



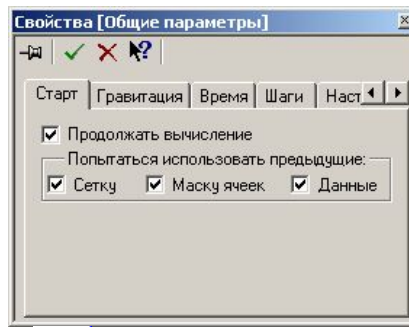
Рівномірна сітка нульового рівня.



Завдання глобальних параметрів

До глобальних параметрів (елемент дерева **Загальні параметри**) відносяться параметри, які впливають на все завдання в цілому.

Редагування й перегляд глобальних параметрів:

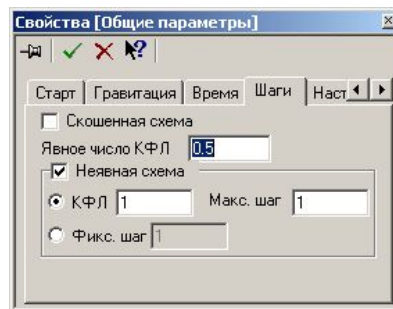
- Виділіть елемент дерева **Загальні параметри**, натисніть праву кнопку миші й виберіть **Властивості** в контекстному меню.
- З'явиться вікно властивостей. У цьому вікні чотири сторінки, які визначають параметри початку розрахунку, силу гравітації, тривалість розрахунку й збереження варіанта, деякі параметри методу розрахунку. Нижче наведений докладний опис кожної сторінки.



- Натисніть кнопку  для підтвердження змін або  для їхнього скасування.

Параметри методу розрахунку й вибору кроку за часом (Кроки)

На сторінці властивостей **Кроки** задаються параметри, що визначають метод розрахунку й спосіб вибору кроку за часом. На цій сторінці присутні наступні елементи:



- **Скошена схема** – якщо відзначено цей пункт, то при розрахунку конвективного переносу буде використовуватися скошена схема апроксимації.
- **Явне число КФЛ** – число Куранта для явного методу розрахунку.
- **Неявна схема** – якщо відзначено цей пункт, те розрахунок буде проводитися неявним методом.
- **КФЛ** – якщо відзначено цей елемент, те крок інтегрування за годиною при неявному методі розрахунку буде визначатися виходячи із числа Куранта для неявного методу розрахунку, зазначеного у віконці праворуч від цього елемента, і не винний перевищувати значення, зазначеного в **Макс. крок**.
- **Макс. крок** – максимальний крок інтегрування за годиною для неявного методу розрахунку.
- **Фікс. крок** – якщо відзначено цей елемент, те крок інтегрування за годиною при неявному методі розрахунку буде дорівнює значенню, зазначеному у віконці праворуч від цього елемента.

При виборі кроку за часом варто виходити в першу чергу з того, які математичні моделі використовуються в даному завданні. Для більшості використовуваних моделей можна дати наступні загальні рекомендації:

- Для моделі **Твердий матеріал** крок за часом може бути оцінений, виходячи з оцінки часу прогріву нерівномірно прогрітого тіла:

Так, наприклад, для сталі товщиною 0.1 м характерний час прогріву складе приблизно 800 з (13 хв).

- Для моделей **Ламінарна рідина**, **Нестислива рідина**, **Слабостислива рідина** й **Модель горіння** крок за годиною можна задати рівним одній десятій пролітного часу. Пролітним часом називається той час, який буде потрібно частці, випущеної із входу в розрахункову область, щоб досягти виходу розрахункової області.
- Для моделей **Вільна поверхня** й **Багатофазна модель** крок за годиною варто задавати виходячи з Куранта рівного 1.
- Для моделі **Повністю стислива рідина** крок час залежить від збіжності рівнянь по тиску. Первісний крок за часом варто задавати аналогічно моделям **Ламінарна рідина**, **Нестислива рідина** й т.д.


Якщо в завданні присутні підобластей з різними моделями, і характерні часи процесів по кожній з моделей істотно відрізняються друг від друга, то рекомендується скористатися такою можливістю **FlowVision**, як розрахунок із власним кроком по часом.

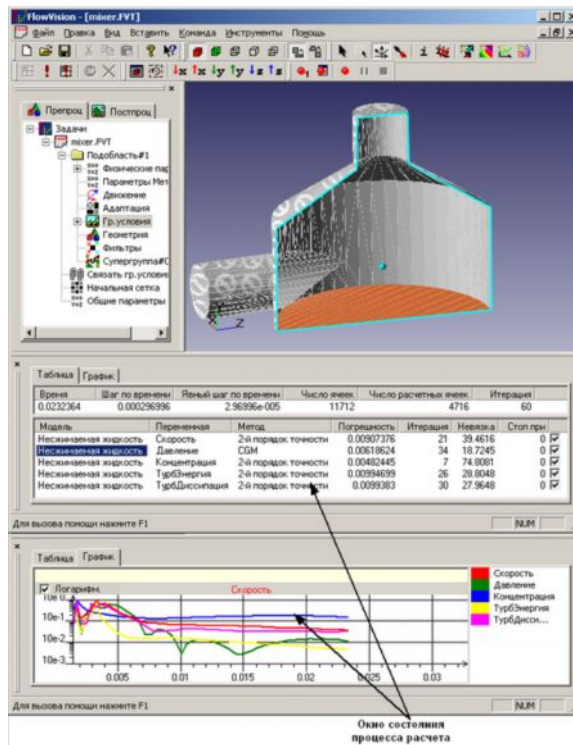
Тема 4. Розрахунки та їх представлення

- 4.1. Запуск розрахунку
- 4.2. Інтерфейс постпроцера
- 4.3. Шари візуалізації

Запуск розрахунку

Для запуску варіанта на розрахунок:

- Виберіть пункт меню **Команда** □ **Сітка & Обчислення** або натисніть кнопку  в панелі інструментів.
- Варіант запуститися на розрахунок.
- Залежно від параметрів, встановлених у розділі **Загальні параметри** на сторінці **Старт** будуть виконані операції, описані в розділі **Задание глобальных параметров**.
- У вікні програми з'явиться вікно стану процесу розрахунку.



- У цьому вікні присутні дві закладки: **Таблиця** й **Графік**.
- На першій закладці **Таблиця** присутні дві таблиці. У першій таблиці наведені:
 - поточний час завдання **Время**;
 - поточне значення кроку інтегрування за часом **Крок по времени**;
 - поточне значення явного кроку інтегрування за часом **Явний шаг по времени**;
 - загальна кількість ячеек **Число ячеек**;
 - кількість розрахункових ячеек **Число розрахункових ячеек**;
 - номер поточної ітерації за часом **Ітерація**.

У другій таблиці кожній змінній відповідає свій рядок. Для кожної змінної наведені наступні дані:

- модель, до якої ставитися змінна **Модель**;
- назва змінної **Змінна**;
- метод розрахунку цієї змінної **Метод**;
- поточне нев'язання **Погрешність**;
- кількість ітерацій **Ітерація**;
- відносна похибка, точніше відносна швидкість зміни змінної **Нев'язка**;
- колонка **Стоп при** з полем уведення критерію останову по відносному нев'язанню та флагова кнопка активації/деактивації критерію (також ці елементи додані і на сторінку властивостей).
- На другій закладці **Графік** у вікні графіка відображаються

графіки нев'язань тих змінних, для яких критерій останова позначений як активний. Праворуч від вікна графіків відображається список цих змінних, із вказівкою кольорів відповідних графіків. Один із графіків завжди вважається "поточним", назва відповідної змінної відображається в заголовку вікна графіків, і значення відповідного критерію останова відображається пунктирною лінією, якщо цей критерій ненульової. Вибір "поточного" графіка здійснюється подвійним клацанням миші на відповідній змінній у списку праворуч.

- У процесі розрахунку іноді виникають повідомлення про попередження й помилки. Ці повідомлення записуються в текстовий файл, якому можна переглянути в будь-якому текстовому редакторі. Цей файл має ім'я, що збігається з ім'ям варіанта й розширення – **log**. Крім цього файлу всі повідомлення можна переглянути у вікні повідомлень. Якщо в процесі розрахунку виникло повідомлення про помилку, те вікно повідомлень автоматично з'явиться на екрані. Вікно повідомлень можна висвітити за допомогою пункту меню **Вид □ Вікно ЛогФайла**.

Постпроцесор

Постпроцесор **FlowVision** призначений для візуального аналізу складних тривимірних течій рідини. Постпроцесор має загальний із препроцесором і блоком розрахунку інтерфейс. Постпроцесор працює з файлами у власному форматі **Flow Vision**. Крім того, з його допомогою можна переглядати **VRML-Файли**. Блок 3D графіки реалізований за допомогою бібліотеки **OpenGL**.

Постпроцесор **FlowVision** надає наступні можливості відображення вихідної геометрії:

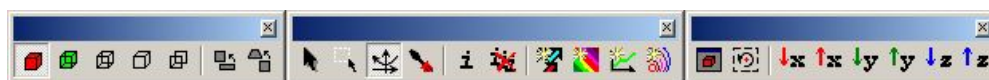
- Тривимірне зображення моделі в паралельній і перспективній проекціях.
- Високошвидкісна отрисовка сцени за допомогою функцій **OpenGL**.
- Можливість прискорення отрисовки за допомогою апаратних OpenGL-Прискорювачів.
- Різні моделі висвітлення 3D сцени.
- Інтерактивне настроювання проекції 3D сцени (положення й параметрів камери).
- Площини відсікання. Інтерактивне настроювання їхнього положення в просторі.
- Візуалізація частин, що рухаються, геометрії.

Постпроцесор **FlowVision** надає наступні можливості візуального аналізу течії рідини:

- Повний набір стандартних методів візуалізації течій (ізолінії, тонове заливання, різні графіки одної змінної, вектора, ізоповерхня).
- Візуалізація розрахункової сітки з локальним здрібнюванням.
- Можливість одержання характеристик течії в крапці, інтегральних характеристик течії на площині й поверхні.
- Анімаційні методи візуалізації векторного поля.
- Можливість інтерактивного настроювання параметрів методів візуалізації.
- Відображення легенди методу отрисовки в окремому вікні.

Панелі інструментів постпроцесора







Панелі інструментів постпроцесора мають вигляд




і викликаються з меню **Вид** **Панелі інструментів**.



Перша панель інструментів **Геометрія** відповідає за графічне подання твердих тіл і за проєкцію 3D сцени на 2D вікно. Її кнопки мають наступне функціональне навантаження:

- Група з перших п'яти кнопок визначає графічне подання твердих тел. Їхніх цих кнопок завжди натиснута тільки одна.
 -  тверді тіла відображаються непрозорими фасетками (кнопка є натиснутою за замовчуванням)
 -  відображаються тільки ті фасетки, нормалі яких спрямовані убік, протилежну екрану
 -  тверді тіла відображаються ребрами фасеток
 -  тверді тіла відображаються ребрами фасеток з видаленням невидимих ліній
 -  Тверді тіла відображаються границями груп фасеток
-  Кнопка має два положення – натиснуте й віджате. У натиснутому положенні пропорції зображення на екрані такі ж, як у геометричних тіл у просторі об'єктів. У віджатому смороду залежати від відношення довжини до ширини графічного вікна. У випадку квадратного вікна натискання цієї кнопки не робить ніякого ефекту. За замовчуванням кнопка натиснута. Кнопка

поведена для того, щоб ефективніше утилізувати площа графічного вікна у випадку сильно витягнутого вікна.









-  Кнопка має два положення – натиснуте й віджате. У натиснутому положенні зображення 3D сцени в графічному вікні має перспективну проекцію. Параметри перспективної проекції фіксовані й не можуть бути змінені користувачем. У віджатому стані зображення 3D сцени в графічному вікні має паралельну проекцію. За замовчуванням кнопка натиснута.



Друга панель інструментів **Режими** дозволяє вибрати режим роботи графічного вікна:



Третя панель інструментів **Види** дозволяє побудувати 3D сцену в стандартних видах, а також зробити видимим всі тверді тіла й установити центр обертання в центр розрахункової області:

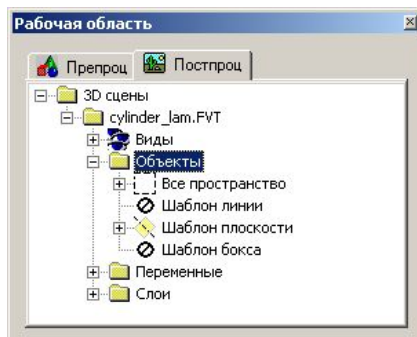
-  Проти осі X.
-  Уздовж осі X.
-  Проти осі Y.
-  Уздовж осі Y.
-  Проти осі Z.
-  Уздовж осі Z.
-  При натисканні цієї кнопки тверді тіла позиціонуються в центр графічного вікна. Збільшення вибирається таким чином, щоб всі тверді тіла помістилися в графічне вікно. Поворот твердих тіл щодо екранної системи координат зберігається.
-  Поміщає центр обертання в центр розрахункової області.

Геометричні об'єкти

Геометричні об'єкти – це геометричні фігури, які є основою для створення видимих об'єктів у графічному вікні. Геометричні об'єкти можуть бути двох типів: примітиви й складні об'єкти. Примітиви – це найпростіші геометричні об'єкти – площина, прямокутний паралелепіпед, пряма й ін. Новий примітив створюється із цього списку. Складні об'єкти задані набором фасеток. Складний об'єкт експортуються із препроцесора (наприклад, експорт супергрупи). Редагування геометричних об'єктів (під редагуванням об'єкта тут і надалі розуміється редагування його властивостей або параметрів) може бути здійснене в будь-який час у такий же спосіб, як редагування інших елементів дерева робочого вікна

програми..

Відкритий варіант завжди має усередині себе кілька базових геометричних об'єктів, по одному на кожний тип примітива (наприклад, **Шаблон лінії**) і, крім того, об'єкт **Все пространство**. На підставі геометричних об'єктів створюються всі шари візуалізації.

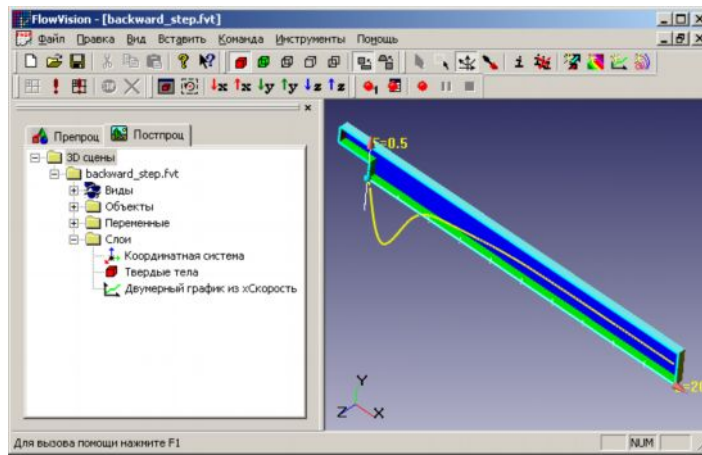


Шари візуалізації

Шар візуалізації - об'єкт постпроцесора, у загальному випадку складається із трьох компонентів: базовий геометричний об'єкт, базова розрахункова змінна й метод отрисовки, винесений у назву шару візуалізації.

3D сцена складається тільки з геометричних об'єктів і шарів візуалізації й не містить у собі ніяких інших об'єктів. Всі модифікації сцени робляться за допомогою модифікації списків шарів і об'єктів, тобто створення нових, редагування й видалення існуючих. Шарами візуалізації є такі різномірні об'єкти, як система координат, геометричні тіла, изоповерхність і розрахункова сітка. Шари незалежні друг від друга й відображаються завжди цілком. 3D сцена варіанта, складена із трьох шарів візуалізації: твердих тіл, системи координат і графіка скалярної змінної уздовж напрямку.

На малюнку представлено завдання раптового розширення каналу. 3D сцена варіанта складена із трьох шарів візуалізації. Елементи дерева відповідних шарів перебувають у папці **Шари** дерева постпроцесора. Шар **Система координат** отрисован у правому нижньому куті графічного вікна як трійка осей з назвами осей. Він заснований на об'єкті **Весь простір** і не має базової розрахункової змінної. Шар **Тверді тіла** відрисован як набір непрозорих фасеток у центрі екрана. Він заснований на об'єкті **Весь Простір** і не має базової розрахункової змінної. Шар **Двовимірний графік** побудований на основі об'єкта **Площина** й скалярної змінної **хСкорость**. В об'єкта **Площина** встановлена властивість **Відсікання**, у результаті чого площина графіка розріже розрахункову геометрію.





Шари згруповані по базовому геометричному об'єкті в папці геометричного об'єкта. Модифікація геометричного об'єкта спричиняє модифікацію всіх шарів, створених на його основі.


Створення шару


Викликати діалог створення нового шару можна декількома способами:

- З пункту меню **Вид** **Створити шар**.
- З пункту **Створити шар** контекстного меню одного з наступних елементів дерева: геометричного об'єкта, розрахункової змінної, шару візуалізації. При виклику діалогу створення шару з контекстного меню об'єкта цей об'єкт буде автоматично обраний базовим для нового шару. При виклику діалогу створення шару з контекстного меню змінної ця змінна буде автоматично обрана базовою для нового шару.

Процедура створення нового шару наступна:

1. Вибрати геометричний об'єкт, розрахункову змінну й метод отрисовки зі списків, що **випадають**, Об'єкт, Змінна і Метод відповідно. Послідовність виборів може бути довільною. Після цього виникнуть сторінки, які містять параметри методу отрисовки.
2. Задати параметри методу отрисовки в сторінках властивостей.
3. Задати ім'я нового шару або залишити ім'я за замовчуванням. Якщо користувач увів нове ім'я й після цього захотів повернутися до ім'я за замовчуванням, йому досить натиснути кнопку **Авто**.
4. Створити новий шар, натиснувши кнопку  панелі інструментів. Після натискання цієї кнопки шар створений і видалити його можна тільки з дерева постпроцесора.
5. Щоб почати створення шару заново, досить натиснути кнопку .

При створенні нового шару потрібно вибрати три зв'язаних параметри: об'єкт, змінну й метод. Вибір одного параметра відразу звужує поле вибору інших двох. Може виникнути ситуація, коли в результаті помилкового вибору одного з параметрів зі списку іншого пропаде необхідний пункт. У цьому випадку заново наповнити всі списки можна, натиснувши  кнопку

Швидко створити найбільше часто використовувані шари можна за допомогою кнопок .

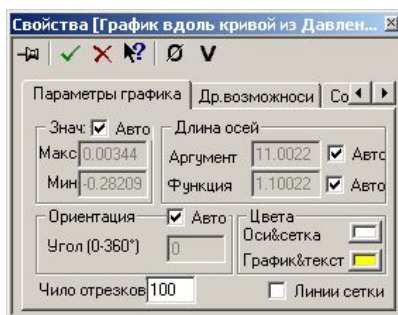
Графік уздовж кривої

Шар **Графік уздовж кривій** виводить на екран графік скалярної змінної уздовж заданої кривої. Крива задається як ділянка замкнутого контуру, що утвориться при перетинанні твердого тіла з об'єктом-площиною. Таким чином, базовим об'єктом для цього шару є площина. Плоска крива, на якій будується графік, може бути довільної складності, отже, функція, представлена на графіку, може бути неоднозначною. Графік відображається як неосвітлена ламана лінія. На початку графіка розташований маленька освітлена кулька, а на позитивних кінцях осей – маленькі освітлені конуси. У площині графіка відмальовуються наступні коментарі:

- Довжина осі абсцис біля позитивного кінця осі абсцис.
- Максимальне значення змінної біля позитивного кінця осі ординат.

- Мінімальне значення змінної біля негативного кінця осі ординат.

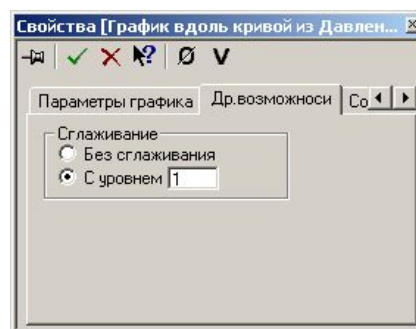
Властивості шару



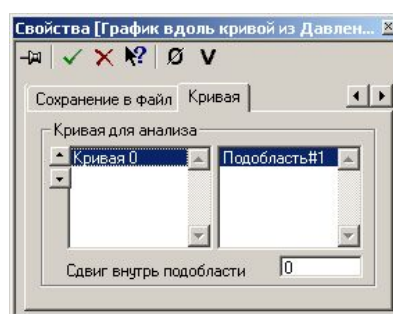
- Знач.** – градуєє вісь ординат. Поле **Макс** задає значення змінної на позитивному кінці осі ординат, а поле **Мін** – на негативному. Якщо встановлено прапорець **Авто**, то поля **Мін** і **Макс** ініціалізуються мінімальним і максимальним значенням змінної по всій розрахунковій області.
- Довжина осей** – редагуються поля **Аргумент** і **Функція**, вони фіксують довжини осей абсцис і ординат відповідно. Кожне з полів дозволено для уведення тільки в тому випадку, якщо поруч із ним не стоїть прапорець **Авто**. Якщо прапорець **Авто** встановлений, довжина осі вибирається автоматично так, щоб позитивний кінець

осі лежав на границі розрахункової області.

- **Орієнтація** – значення кута в полі **Кут (0-360°)** визначає орієнтацію променя на площині. Якщо встановлено галочку в поле **Авто**, орієнтація вибирається так, щоб графік виглядав на екрані щонайкраще.
- **Кольору**: колірне поле **Осі&сітка** задає колір осей графіка й координатні лінії, колірне поле **Графік&текст** задає колір графіка й написів на графіку.
- **Число відрізків** – число відрізків, з якого складається лінія графіка.
- Якщо встановлено прапор **Лінії сітки**, у площині графіка відрисуються по 10 рівновіддалених координатних ліній по кожній з координат.



- **Згладжування**: якщо обрано кнопку з **рівнем XXX**, те значення кожної крапки графіка обчислюється як зважене середнє з $2 \cdot XXX + 1$ значень сусідніх з нею крапок. У протилежному випадку в кожній крапці графіка відображається реальне значення величини. Цей режим включений за замовчуванням.

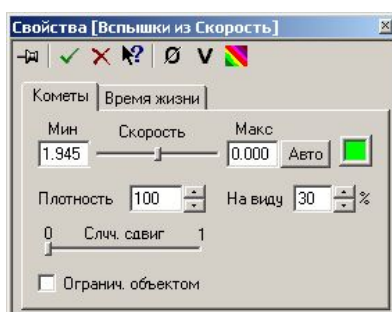


- **Крива для аналізу** служить для завдання кривої, уздовж якої будується графік. Для вибору кривої необхідно виділити рядок, що відповідає їй у лівому списку. При цьому крива буде висвітлена червоним кольором у графічному вікні. Виділяти рядок у списку можна як натисканням миші на неї, так і за допомогою елемента керування **spin**, розташованого ліворуч від списку. У правий список виводяться розрахункові підобласті, що граничать із кривою. Графік може бути побудований тільки для однієї підобласті, тієї, що підсвічено в правому списку.

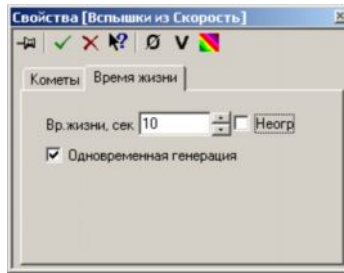
Спалахи

Шар **Спалахи** заснований на одному з методів багаточасткової анімації. Він генерує початкові точки часток рівномірно по всьому розрахунковому об'єму. В об'ємі генерується рівномірна прямокутна сітка з кубічними ячейками. Частки випускаються з підмножини безлічі початкових точок. Час життя часток задається в параметрах шару. По закінченні часу життя частки для неї випадковим образом вибирається нова початкова крапка з безлічі початкових точок. Життєвий об'єм кожної частки збігається з розрахунковою областю. Шар дозволяє спостерігати загальну картину руху рідини/газу в об'ємі.

Властивості шару



- Бігунок **Швидкість** задає швидкість руху часток шару. Граничні значення бігунка задаються у вікнах **Мін** і **Макс**. Значення рівне 1 відповідає реальному часу. Проміжні положення бігунка задають значення швидкості між **Мін** і **Макс**.
- Кнопка **Авто** встановлює значення у вікнах **Мін** і **Макс**, а також позиціонує бігунок таким чином, щоб рух часток на екрані відбувалося з оптимальною швидкістю.
- Кольорове вікно задає колір часток.
- Бігунок **Щільність** задає частоту кубічних ґрат, на підставі якої генеруються початкові крапки часток.
- Бігунок **Случ. зрушення** задає довжину випадкового вектора, на який початкові крапки відстоять від вузлів кубічних ґрат. Напрямок вектора своє для кожного вузла ґрат. Якщо бігунок перебуває в крайнім лівому положенні, початкові крапки збігаються з вузлами ґрат.
- Вікно **На очах** задає кількість часток, видимих на екрані у відсотках від всіх початкових крапок.
- Прапор **Огранич. об'єктом** – якщо включено це прапор, то частки не можуть вилітати за межі того об'єкта, на якому створені.



- Вікно **Вр. життя, сек** задає час життя часток у секундах.
- Прапор **Неогр** – якщо включений цей прапор, то час життя часток задається необмеженим.
- Прапор **Одночасна генерація** – якщо включений цей прапор, ті всі частки генеруються одночасно, якщо ж він виключений, те частки створюються з деякою затримкою.

Тема 5. Етапи моделювання

- 5.1. Кроки користувача
- 5.2. Вибір математичної моделі
- 5.3. Завдання граничних умов
- 5.4. Налаштування параметрів сітки
- 5.5. Перегляд результатів моделювання
- 5.6. Оцінка точності моделювання.

Кроки користувача при роботі з FlowVision

Процес розрахунку течії рідини містить у собі наступні кроки:

- Створення області розрахунку ("геометрії" пристрою) у САПР і імпортування її через формати **VRML, STL, DEFORM, ABAQUS, ANSYS** або **NASTRAN** в **FlowVision**.
- Завдання математичної моделі.
- Завдання граничних умов.
- Завдання вихідної розрахункової сітки й критеріїв її адаптації за рішенням і по граничних умовах.
- Завдання параметрів методів розрахунку.
- Проведення розрахунку (без участі користувача).
- Перегляд результатів розрахунку в графічній формі ("візуалізація" результатів розрахунків) і збереження даних у

- файли.
- Оцінка точності розрахунків методом збіжності по сітці.

Крок 1. Завдання області розрахунку

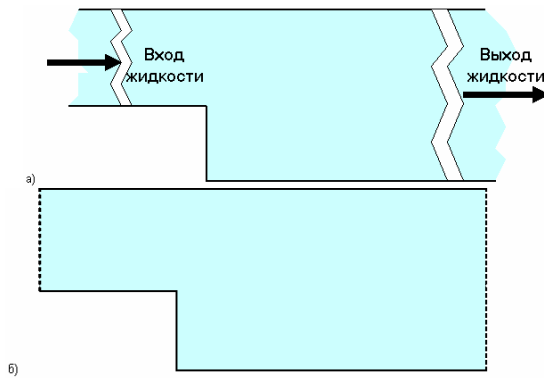
На першому кроці створюється й завантажується розрахункова область.

Що таке область розрахунку

Під областю розрахунку розуміється об'єм, у якому визначені рівняння математичної моделі, і границя, на якій визначені граничні умови. Варто відрізнити область розрахунку від фізичного об'єму, де визначена (поставлена) задача обтікання. Наприклад, якщо ви досліджуєте експериментально обтікання циліндра потоком повітря, то фізичним об'ємом буде вся лабораторія з експериментальною установкою. Розрахункову область логічно обмежити щодо невеликою областю навколо циліндра в порівнянні з лабораторією, однак досить великий, щоб границі не впливали на результати розрахунків. Завдання моделювання руху рідини підрозділяються на завдання зовнішнього обтікання й внутрішніх течій. Моделювання обтікання літаків, автомобілів і кораблів відноситься до завдань зовнішнього обтікання, що, стосовно до повітряного обтікання, називається аеродинамікою. У цьому випадку завдання обтікання звичайно поставлене для безмежного середовища. Внутрішні течії – це течії, обмежені твердими границями. Моделювання течій усередині газоходів, водозапірних пристроїв, казанів, камер згоряння ідносяться до завдань розрахунків внутрішніх течій. У цьому випадку фізичний об'єм обмежений і збігається із границями моделюемого пристрою.

По суті чисельних методів, область розрахунку не може бути безмежною, тому для завдань зовнішнього обтікання фізичний об'єм ніколи не збігається з розрахунковою областю. Щоб забезпечити моделювання необмеженого об'єму, на границях розрахункової області, вилучених від розглянутого об'єкта, ставлять відповідні граничні умови.

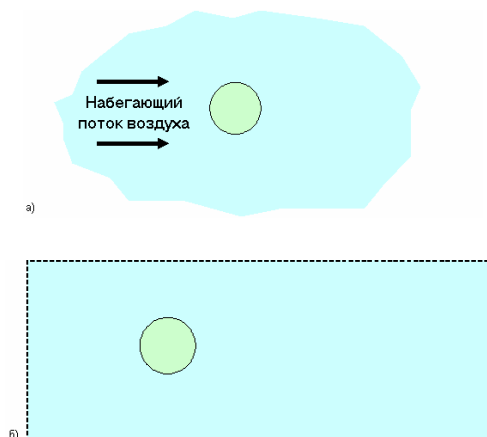
Приведемо найпростіші приклади завдань внутрішнього й зовнішнього обтікання. На малюнку наведене завдання течії рідини в каналі з раптовим розширенням (так зване завдання обтікання зворотного уступу). Рідина подається в і відбирається з каналу нескінченної довжини. Розрахункова область показана на тім же малюнку. Пунктирна лінія відповідає вхідній і вихідній границі області розрахунку.



Приклад внутрішнього течії – плин у каналі з раптовим розширенням:

а) фізична постановка завдання, б) область розрахунку.

На наступному малюнку наведено завдання зовнішнього обтікання - плин повітря навколо циліндра. Циліндр перебуває в безмежному середовищі. Розрахункова область показана на тім же малюнку. Пунктирна лінія відповідає зовнішній границі області розрахунку. Вибір відстані від зовнішньої границі розрахункової області до циліндра й граничних умов на ній обумовлений необхідністю виключення впливу цієї границі на плин біля циліндра.

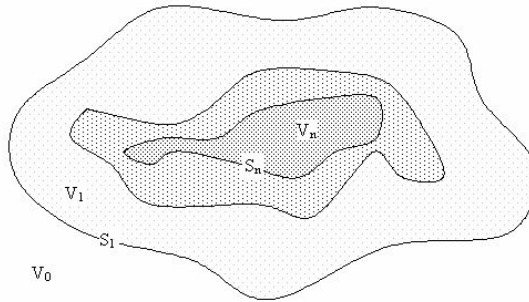


Приклад зовнішнього обтікання – плин повітря навколо циліндра:

а) фізична постановка завдання, б) область розрахунку.

Створення області розрахунку в FlowVision

Область розрахунку створюється поза програмним комплексом **FlowVision** у системах САПР. Поверхні розрахункової області які імпортуються в **FlowVision** повинні являти собою сукупність плоских багатокутників – фасеток. Багатокутники об'єднані в замкнуті поверхні, які вкладені друг у друга й не перетинаються.



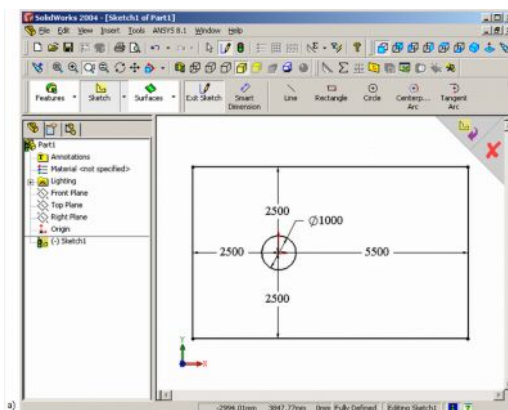
N поверхонь ділять простір на $N+1$ об'єм.

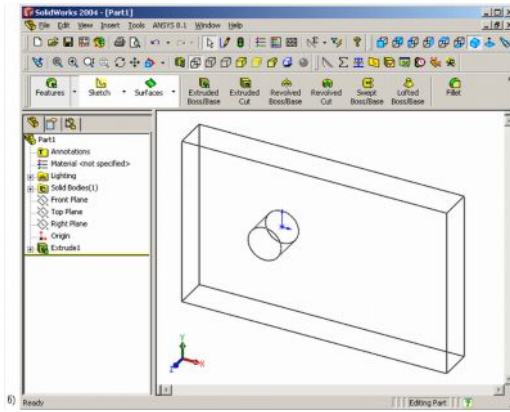
Нехай N – число вкладених друг у друга поверхонь S_1, S_2, \dots, S_n . Вони ділять тривимірний простір на N об'ємів V_1, V_2, \dots, V_n , з границею, що збігається зі сторонами поверхонь. Ще один об'єм V_0 є зовнішнім, йому належить сторона тільки однієї поверхні S_1 . Кожен із внутрішніх об'ємів V_i може бути визначений як розрахункова область. Зовнішньому об'єму V_0 не може бути поставлена у відповідність математична модель і він автоматично виключається з розгляду.

При імпорті геометрії в **FlowVision**, система автоматично створює ці об'єми, які за замовчуванням називаються **Подобласть#1**, **Подобласть#2** і т.д. Відзначимо, що номери в імені об'ємів не відповідають їхній вкладеності в один одного. Щоб розрізнити об'єми й знайти серед них потрібний, натисніть праву кнопку миші над потрібно. **Підобластю** в дереві варіанта. Границя обраної підобласті буде показана в графічному вікні варіанта кольором. Всі інші підобласті стануть невидимими..

Розглянемо завдання розрахункової області на прикладі завдання обтікання циліндра. На наступних малюнках буде показана розрахункова область для завдання обтікання циліндра, задана в САПР **SolidWorks**.

Оскільки **FlowVision** призначений для розрахунку тільки тривимірних течій, то для цього двовимірною завдання необхідно задати тривимірну область. На малюнку показане креслення розрахункової області й тривимірна розрахункова область, отримана із двовимірною креслення витягуванням перпендикулярно площини креслення.

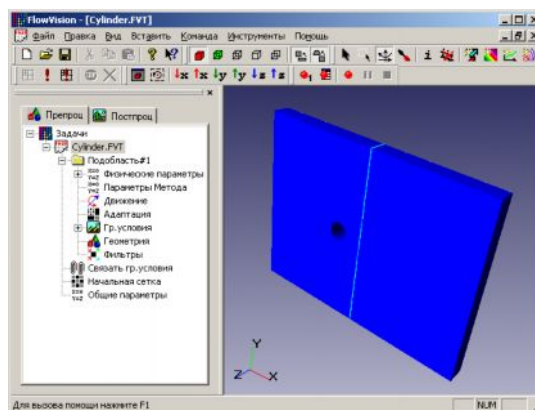




Геометрія розрахункової області для завдання обтікання циліндра, створена в САПР **SolidWorks**:

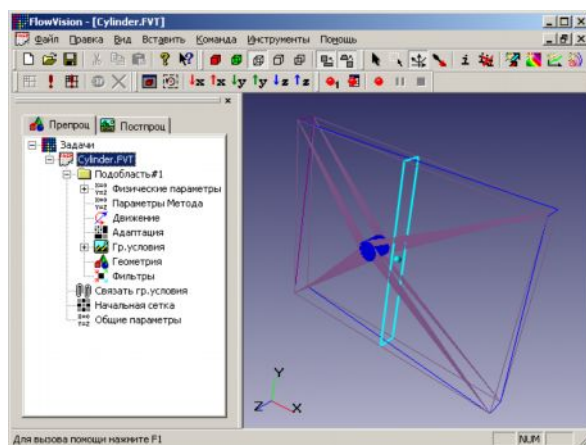
а) креслення розрахункової області, б) тривимірна модель.

Після завдання геометрії розрахункової області в САПР, геометрія зберігається у форматах **VRML** або **STL**. Завантаження геометрії в **FlowVision** здійснюється через меню **Файл** **Створити**, де у вікні діалогу вибирається файл із геометрією. На малюнку показана розрахункова область для завдання обтікання циліндра, імпортована в **FlowVision**.



Розрахункова область для завдання обтікання циліндра, імпортована в **FlowVision**.

Фасетки поверхні області розрахунку показані на наступному малюнку.



Фасеточне подання геометрії розрахункової області.

Імпортована геометрія в цьому випадку має одну поверхню (відзначимо, що будь-яка двовимірна геометрія повинна описуватися одною замкнутою тривимірною поверхнею). Ця поверхня утворить один внутрішній об'єм **Подобласть#1**, який показаний у вікні робочого простору.

Крок 2. Вибір математичної моделі руху

На другому кроці вибирається модель течії та розв'язувані рівняння для кожної розрахункової підобласті.

Що таке математична модель руху рідини й газу

Метою моделювання руху рідини й газу в розрахунковій області є одержання розподілів швидкості, тиску й інших фізичних параметрів рідини (газу). Щоб розрахувати ці параметри, необхідно задати фізичні закони їхньої зміни, сукупність яких для даного завдання називається математичною моделлю.

Математична модель руху рідини або газу – це система рівнянь у часних похідних, що визначає закони збереження (енергії, маси, імпульсу) і рівнянь стану рідини (газу). Математична модель може бути модифікована через інтерфейс **FlowVision** – шляхом відключення частини рівнянь моделі (а разом з ними й змінних) і через зміну констант моделі.

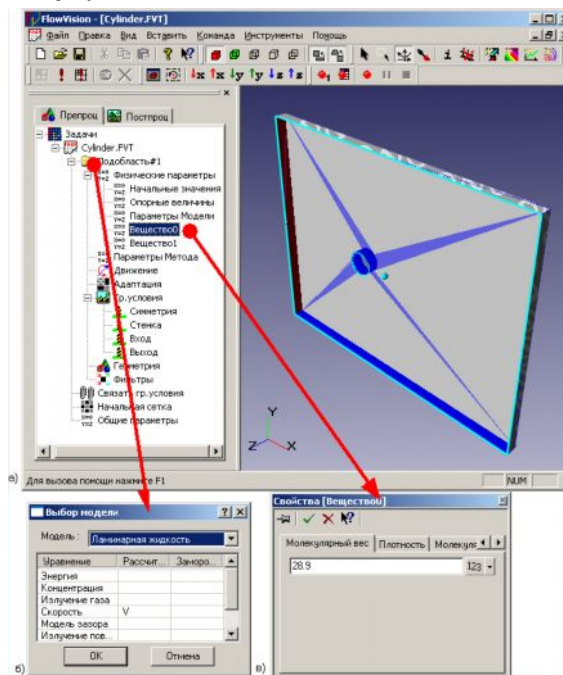
Завдання математичної моделі

Математична модель задається після імпортування геометрії розрахункової області в **FlowVision**. Мишею в дереві препроцесора вибирається необхідний об'єм **Подобласть#i**. Потім за допомогою натискання правої клавіші миші відкривається вікно **Змінити модель...**, у якому вибирається модель із запропонованого списку. У цьому ж вікні вибираються параметри, які будуть визначатися в процесі розрахунку.

На малюнку показаний приклад завдання математичної моделі обтікання циліндра ламінарним потоком. Математична модель вибирається зі списку **Модель** у діалоговому вікні. Після вибору моделі в

таблиці в цьому вікні показується список рівнянь (або систем рівнянь), які становлять цю модель. У колонці **Рівняння** показані імена цих рівнянь. У колонці **Розраховувати** відзначаються рівняння, по яких буде проводитися даний варіант розрахунку (якщо галочки немає, те рівняння й змінна виключаються з розрахунків).

У прикладі, показаному на малюнку, відзначене рівняння **Швидкість**. Це ім'я позначає сукупність рівнянь Нав'є-Стокса й рівняння нерозривності. Таким чином, у даному прикладі будуть розраховані швидкості рідини й тиск.



Завдання моделі ламінарної течії з розрахунком тільки швидкостей і тиску для обтікання циліндра:

- а) вибір потрібного об'єму; б) вікно вибору математичної моделі
- в) одне з вікон параметрів математичної моделі

Щоб змінити властивості параметрів математичної моделі, таких, як в'язкість, щільність рідини, коефіцієнти залежності щільності від концентрації й температури, необхідно розкрити папку **Подобласть #1**, потім розкрити папку **Фізичні параметри** й викликати властивості потрібного пункту, наприклад, **Параметри Моделі** – вікно, показане на малюнку вище.

Деякі змінні представлені відносними значеннями, абсолютні значення яких обчислюються по формулі $f_a = f + f_{ref}$, де f_a – абсолютне значення змінної, f – відносне значення змінної, що розраховується, f_{ref} – опорна величина. Опорні величини задаються в пункті **Опорні величини** папки фізичних параметрів. Варто мати на увазі, що граничні умови також задаються у відносних змінних f .

Цілі введення опорних величин прості. По-перше, щоб задавати

граничні умови й одержувати значення змінних в області у звичних величинах. Наприклад, для температури можна використовувати звичну шкалу Цельсія а не Кельвіна, а для тиску повітря використовувати значення надлишкового тиску. По-друге, введення відносних значень дозволяє вирішити проблему втрати точності при обчисленні змінних, що слабо міняються на тлі великого середнього рівня.

Основні моделі руху рідини й газу, наявні в FlowVision

Тепломасоперенос в твердій фазі
 Ламинарна нестискаєма течія
 Турбулентна нестискаєма течія
 Турбулентна слабостискаєма течія
 Турбулентна стискаєма течія
 Двухфазна течія з вільною поверхнею
 Течія с горінням

Тепломасоперенос у твердій фазі

Модель тепломасопереноса у твердому тілі містить у собі наступні рівняння:

Загальноприйнята назва	Ім'я в FlowVision
Закон збереження енергії	Енергія
Рівняння дифузійного переносу скалярної величини (закон збереження маси)	Концентрація

Приклади застосування:

- моделювання теплопереноса в мікроелектронних схемах,
- моделювання теплопереноса в стінах будинків і споруджень.

Ламінарна нестискаєма течія

Модель ламінарного тепломасопереносу в рідині включає:

Загальноприйнята назва	Ім'я в FlowVision
Рівняння Навьє-Стокса (закон збереження імпульсу)	Швидкість
Рівняння нерозривності (закон збереження маси рідини)	
Закон збереження енергії	Енергія
Рівняння дифузійного переносу скалярної	

величини (закон збереження маси)	Концентрація
----------------------------------	--------------

Це модель повільного течії при малих змінах щільності (наближення Буссинеска), малих числах Рейнольдса (Re) і малих числах Маху (M).

Турбулентна нестискаєма течія

Модель турбулентного тепломасопереносу в рідині включає:

Загальноприйнята назва	Ім'я в FlowVision
Рівняння Нав'є-Стокса (закон збереження імпульсу) Рівняння нерозривності (закон збереження маси рідини)	Швидкість
Закон збереження енергії	Енергія
Рівняння дифузійного переносу скалярної величини (закон збереження маси)	Концентрація
k-ε модель турбулентності	Турбулентність

Обмеження цієї моделі відповідають обмеженням попередньої моделі по щільності й числам Маху, але дозволяють розраховувати плин при більших (турбулентних) числах Рейнольдса.

Приклади застосування:

- моделювання обтікання автомобіля;
- моделювання руху води у водозапорних пристроях, клапанах і жиклерах;
- моделювання руху повітря при вентиляції приміщень.

Турбулентна слабостискаєма течія

Модель слабостискаємої течії рідини включає:

Загальноприйнята назва	Ім'я в FlowVision
Рівняння Нав'є-Стокса (закон збереження імпульсу) Рівняння нерозривності (закон збереження маси рідини)	Швидкість
Закон збереження енергії	Енергія
Рівняння дифузійного переносу скалярної величини (закон збереження маси)	Концентрація
k-ε модель турбулентності	Турбулентність

На відміну від моделі турбулентної нестискаємої течії, ця модель допускає течію з будь-якими змінами щільності рідини (однак числа Маху

однаково малі – тобто зміни щільності обумовлені тільки температурними ефектами або впливом домішок у рідині/газі).

Приклади застосування:

- моделювання змішання двох газів з різною щільністю (наприклад, метану й повітря в пальниках казанів ТЭЦ);
- моделювання руху газу в теплообмінниках з великим перепадом температури.

Турбулентна стискаєма рідина

Модель повністю стискаємого газу включає:

Загальноприйнята назва	Ім'я в FlowVision
Рівняння Навьє-Стокса (закон збереження імпульсу) Рівняння нерозривності (закон збереження маси рідини)	Швидкість
Закон збереження енергії, записаний через повну ентальпію	Енергія
Рівняння дифузійного переносу скалярної величини (закон збереження маси)	Концентрація
k-ε модель турбулентності	Турбулентність

Ця модель допускає течію з будь-якими змінами щільності рідини й при будь-яких числах Маху. Відзначимо, що ця модель може повністю замінює модель слабостискаємої рідини, однак слід враховувати, що у своєму діапазоні фізичних параметрів, розрахунок слабостискаємої рідини буде відбуватися в 1.5-2 рази швидше, ніж модель стискаємої течії.

Приклади застосування:

- моделювання обтікання літаків і ракет при до-, транс- і надзвукових швидкостях польоту;
- моделювання руху газу в соплах ракетних двигунів.

Двофазна течія з вільними поверхнями

Модель руху двофазної рідини включає:

Загальноприйнята назва	Ім'я в FlowVision
Рівняння Навьє-Стокса (закон збереження імпульсу) Рівняння нерозривності (закон збереження маси рідини)	Швидкість
Закон збереження енергії	Енергія
Рівняння дифузійного переносу скалярної величини (закон збереження маси)	Концентрація

k-е модель турбулентності	Турбулентність
Рівняння переносу "концентрації рідини в газі" (функція VOF) для апроксимації вільної поверхні	Отн.об'єм рідини в осередку

В цій моделі включена можливість розрахунку середовища з вільною поверхнею, наприклад, вода-повітря. При цьому розраховується тільки перше середовище (у даному випадку вода).

Приклади застосування:

- моделювання обтікання корабля водою;
- моделювання руху газоконденсатної суміші в порах породи.

Течія з горінням

Модель течії з горінням є найбільш складною моделлю руху газу, реалізованої в системі **FlowVision**. Модель включає:

Загальноприйнята назва	Ім'я в FlowVision
Рівняння Нав'є-Стокса (закон збереження імпульсу)	Швидкість
Рівняння нерозривності (закон збереження маси рідини)	
Закон збереження енергії, записаний через повну ентальпію	Енергія&Пальне
Рівняння переносу реагентів у наближенні бруто-реакції (перенос палива, окислювача й продуктів згорання)	Енергія&Пальне
k-е модель турбулентності	Турбулентність

Ця модель являє собою розвиток моделі течії слабостискаємої рідини з усіма її обмеженнями, але при цьому враховується горіння газової суміші. Передбачається, що газова суміш може бути попередньо перемішана та не перемішана.

Приклади застосування :

- моделювання горіння метану в котлах ТЭЦ;
- моделювання пожеж у приміщеннях.

Крок 3. Завдання граничних умов

Наступний крок створення розрахункового варіанта – це завдання граничних умов (ГУ) на границі розрахункової області. У цьому розділі будуть порушені загальні питання завдання граничних умов і показаний приклад вибору граничних умов для завдання обтікання циліндра.

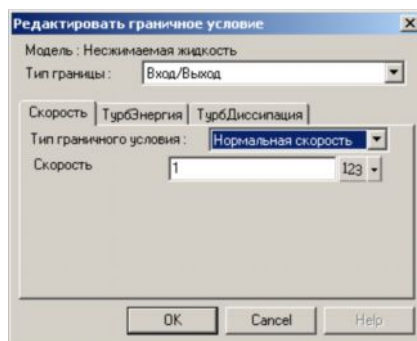
Граничні умови задаються для кожної з розрахункових змінних. Щоб полегшити вибір і виключити постановку несумісних граничних

умов, вони об'єднані в **Тип границі** – ТГ. Кожний ТГ відповідає деякому фізичному процесу, що відбувається на границі.

У **FlowVision** існує дві групи типів границь:

1. типи «стінка з і без вдува»;
2. типи спеціальних границь, у які входять періодичні, сполучені граничні умови та ковзна поверхня.

Вікно завдання граничних умов показано на малюнку нижче.



Його виклик здійснюється шляхом натискання на праву клавішу миші при виборі ГУ, що підлягає редагуванню, у папці **Подобласть#iГр.умови** робочого дерева. У меню, що з'являється, вибирається пункт Редагувати.

Розглянемо далі, що із себе представляє кожний тип границі.

Типи границь «стінка з і без вдува»

Сукупність типів границь «стінка з і без вдува» включає наступні типи границь:

- Стінка,**
- Вхід/Вихід,**
- Вільний вихід,**
- Симетрія.**

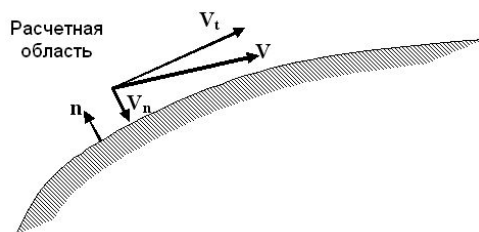
Ці типи є у всіх моделях, за виключенням **Твердий матеріал**, у якій є тільки типи **Стінка** й **Симетрія**.

Відповідність типу граничної умови моделюємої границі:

Ім'я типу границі	Моделюєма границя
<i>Стінка</i>	Тверда стінка, немає протікання
<i>Вхід/Вихід</i>	Стінка із вдувом або відсмоктуванням
<i>Вільний вихід</i>	Вихідна границя потоку
<i>Симетрія</i>	Умова симетрії

Кожний тип границі містить у собі набори граничних умов для кожної незалежної змінної даної математичної моделі. Розглянемо ці набори для швидкостей рідини, тиску й скалярної змінної.

В **FlowVision** прийнята угода, що нормаль до границі розрахункової області спрямована усередину області, як показано на малюнку. Щоб поставити граничну умову для швидкостей рідини, швидкість V розкладається на нормальну V_n і тангенціальну тридцятилітній V_t , як це показано на малюнку.



Напрямок нормалі до границі та розкладання вектора швидкості поблизу границі на тангенціальну й нормальну.

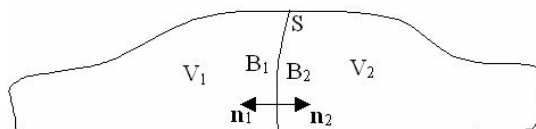
Спеціальні типи границь

До спеціальних типів границь відносяться періодичні, сполучені граничні умови та ковзна поверхня. Ці типи граничних умов служать для завдання періодики або для зв'язку підобластей між собою. Граничні умови цих типів задаються попарно й повинен бути заданий зв'язок цих граничних умов усередині даної пари.

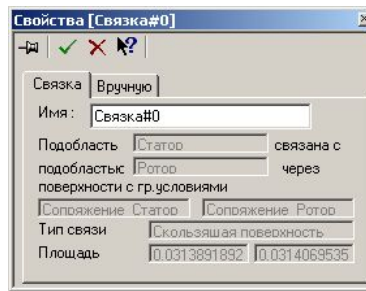
Сполучені границі

Тип «сполучена границя» **Сполучене** призначена для рішення сполучених завдань. Термін сполучене завдання в основному використовується для позначення класу завдань теплообміну між твердим тілом і рідиною, коли важливий одночасний розрахунок розподілу температури й у твердому тілі й у рідині. Рішення у двох різних областях, що мають різні математичні моделі, сполучається (зшивається) на загальній границі цих двох областей.

У **FlowVision** два різних об'єми V_1 і V_2 , якщо вони навіть мають загальну геометричну поверхню S , все-таки мають різні границі, оскільки об'єм V_1 має границею звернену до нього сторону цієї поверхні B_1 , а інший об'єм V_2 – сторону B_2 .

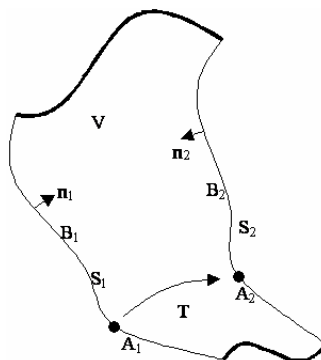


Для сполучення таких границь використовується тип **Сполучене**. Щоб ввести граничну умову **Сполучене**, його потрібно поставити як на границі B_1 , так і на границі B_2 . Потім граничні умови зв'язуються між собою в папці **Зв'язати гр.умови**.



При генерації сітки програма, зустрівши цю граничну умову на одній з поверхонь, шукає її образ на інших поверхнях. Якщо образа нема, видається повідомлення про помилку. У випадку, якщо автоматичне зв'язування привело до помилки, можна скористатися ручним режимом.

Тип **Сполучене** може бути використаний також для довільного зв'язування двох границь. Границі можуть належати як одному, так і різним об'ємам і можуть належати двом різним поверхням. Достатньою умовою такого зв'язування є умова існування однозначного відображення однієї поверхні в іншу шляхом перетворень переносу й повороту.



Сполучення двох границь усередині однієї розрахункової області.

Періодичні границі

Тип границі **Періодичне** містить у собі граничні умови:

1. для скалярних змінних – **Періодичне** й **Періодичне з перепадом**;
2. для швидкостей – **Періодичне** та **Періодичне з перепадом тиску**.

Спосіб і умови завдання типу границі **Періодичне** збігаються з типом **Сполучене**. Відмінність полягає в тому, що тип границі **Періодичне** може бути встановлений для двох відображуваних друг у друга границь, що належать тому самому розрахунковому об'єму.

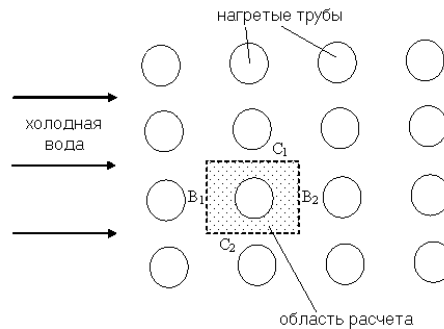
Гранична умова **Періодичне з перепадом** дозволяє задати стрибок $\square f$ скалярної змінної на границях B_1 і B_2 :

$$f_{A_2} - f_{A_1} = \Delta f$$

Гранична умова **Періодичне з перепадом тиску** дозволяє задати стрибок тиску на відповідних границях.

Прикладом використання граничних умов зі стрибками змінних

може служити моделювання теплообмінника з нагрітих труб, поперечно обтічних охолоджуваною рідиною. Розрахункова область, що є періодом цього завдання, показана пунктиром на представленому нижче малюнку.

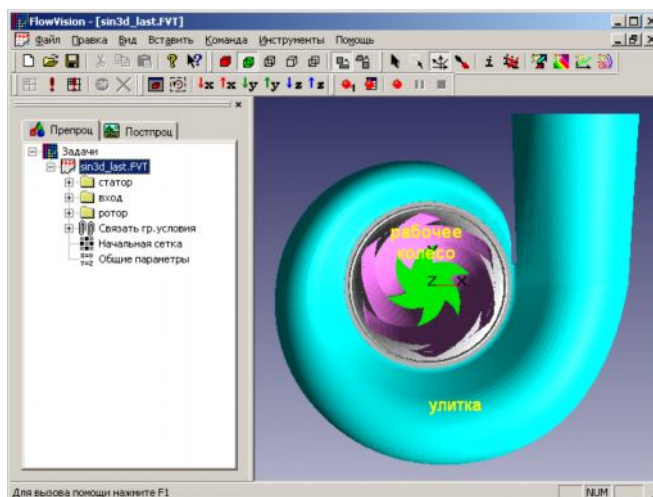


На границях C_1 і C_2 ставляться періодичні граничні умови **Періодичне** для всіх змінні завдання. Відзначимо, що якщо ці границі проведені точно між циліндрами й потік холодної води паралельний цим границям, то на них можна поставити гранична умова симетрії **Симетрія**. На границях B_1 і B_2 ставляться ГУ **Періодичне з перепадом тиску** для швидкостей і **Періодичне з перепадом** для температури. Величина стрибка тиску визначає кількість води, що проходить через розрахункову область. Стрибок температури, що дорівнює різниці середньої температури води на вході в розрахункову область і на виході з неї, може бути отриманий з інтегральних співвідношень енергетичного балансу.

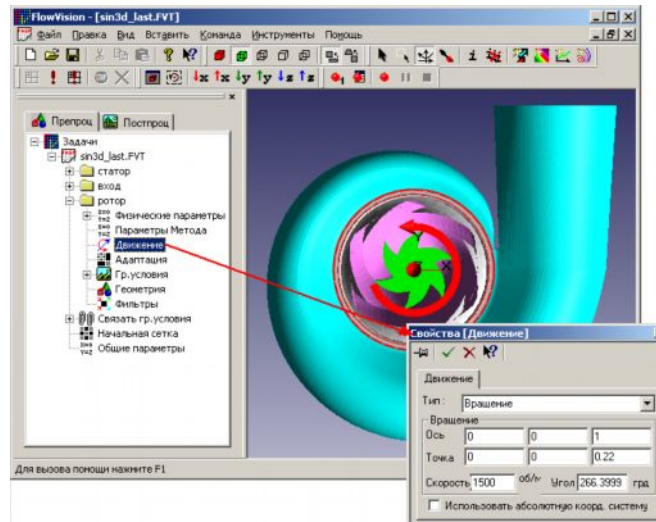
Ковзна поверхня

Гранична умова **Ковзна поверхня** призначена для розрахунку течії рідини й газу в пристроях, у яких є обертові та нерухомі частини (ротор-статор).

Для того, щоб скористатися цією граничною умовою, потрібно виділити розрахункові області, пов'язані з ротором і зі статором. На малюнку зображена розрахункова область відцентрового насоса з равликом. Равлик заданий своєю областю розрахунку, робоче колесо насоса - своєї.

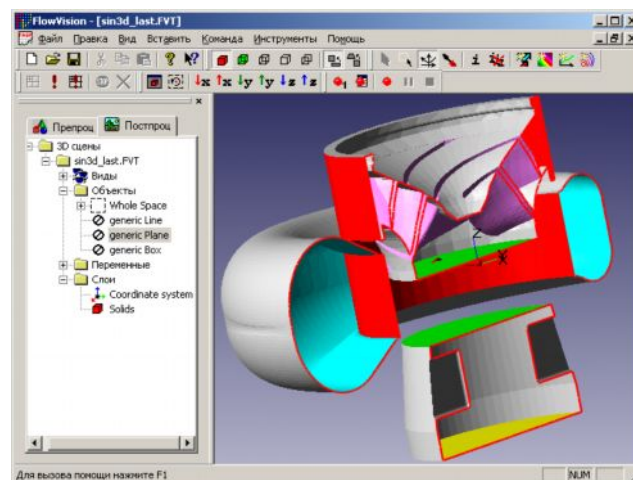


Для кожної області розрахунку задається своя швидкість обертання.



В областях розрахунку ротора й статора повинні бути виділені циліндричні поверхні сполучення рівної висоти й радіуса. На цих поверхнях встановлюється гранична умова **Ковзна поверхня**, що потім зв'язується в папці **Зв'язати гр.умови**.

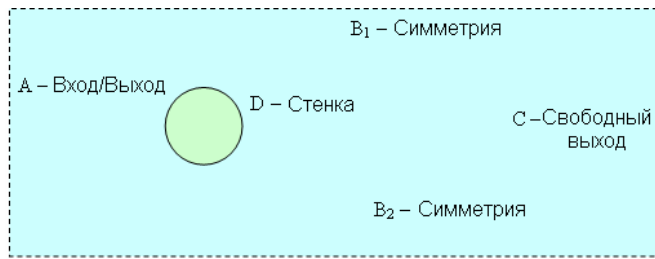
Увага: Для кожної пари областей ротора й статора може бути задана тільки одна ковзна поверхня!



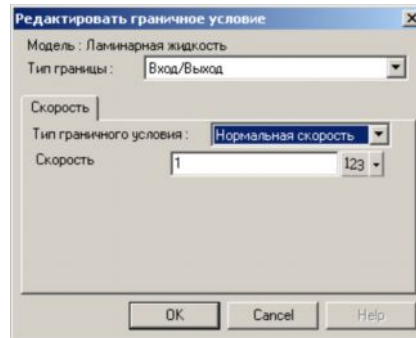
Розріз насоса. Ковзні поверхні показані червоним кольором.

Приклад завдання граничних умов

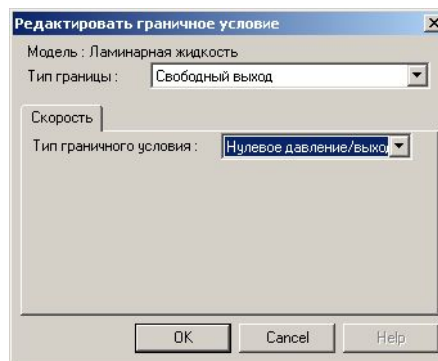
На малюнку показаний приклад завдання граничних умов для обтікання циліндра.



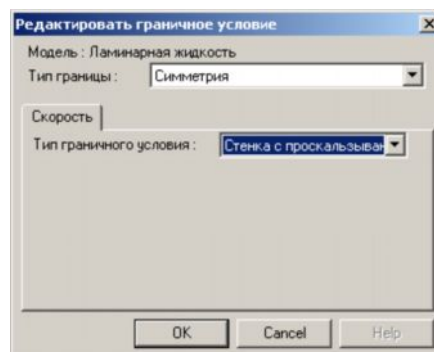
Вхідна границя А – тип границі **Вхід/Вихід**, гранична умова для швидкості – **Нормальний вхід/вихід**, нормальна величина швидкості покладена рівній 1 м/с.



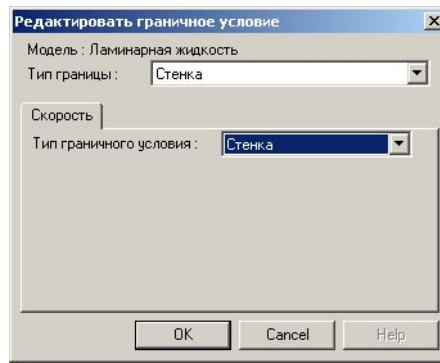
Вихідна границя С – тип границі **Вільний вихід**, гранична умова для швидкості – **Нульовий тиск/вихід**.



Верхня й нижня границі В₁ і В₂ – тип границь **Симетрія**, гранична умова для швидкості – **Стінка із проковзуванням**.



Поверхня циліндра D – тип границі **Стінка**, гранична умова для швидкості – **Стінка**.

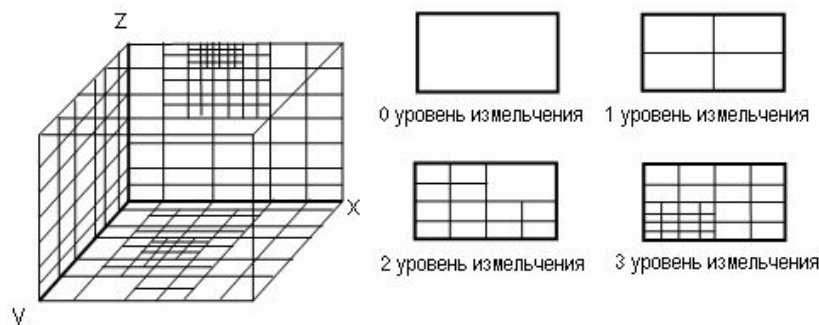


Крок 4. Генерація розрахункової сітки

У цьому розділі описані особливості використовуваної в **FlowVision** розрахункової сітки і її завдання.

Що таке адаптивна сітка з локальним подрібненням

FlowVision використовує прямокутну адаптивну локально здрібнену сітку (АЛЗС) для рішення рівнянь математичної моделі. Можливість адаптації цієї сітки дозволяє бачити малі деталі геометрії розрахункової області та високі градієнти величин, що розраховуються.

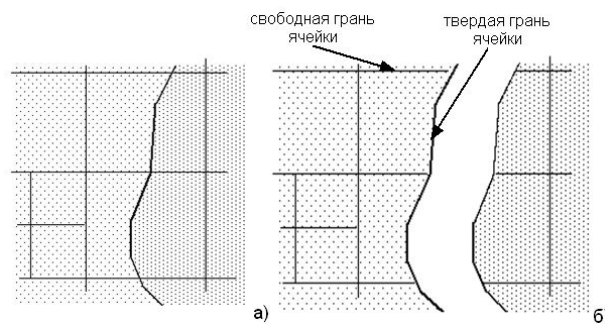


Адаптивна сітка з локальним подрібненням.

Сутність технології АЛЗС полягає в наступному. У всій розрахунковій області вводиться прямокутна сітка. Виділяються підобласті з особливостями геометрії або течії, у яких необхідно провести розрахунок на більш дрібній, чим вихідна, сітці. При цьому розрахунковий об'єм, у яку потрапила виділювана особливість, ділиться на 8 рівних ячеек. Далі, якщо необхідно, ячейки діляться ще раз і так до досягнення необхідної точності. Ячейки початкової сітки називаються ячейками рівня 0, ячейки, одержувані здрібнюванням рівня 0, називаються ячейками рівня 1 і т.д. При генерації АЛЗС накладається умова, що гранями й ребрами можуть граничити один з одним тільки ячейки з номерами рівнів, що відрізняються не більш, ніж на одиницю.

Що таке підсітковий дозвіл геометрії

Метод підіткового дозволу геометрії, що використовується в **FlowVision**, призначений для апроксимації криволінійних границь на прямокутній сітці. Суть цього методу в наступному. Ячейки, через які проходить границя, розщеплюються на 2, 3 і т.д. ячеек. При цьому вони втрачають свою первісну форму паралелепіпеда й перетворюються в багатогранники довільної форми. Рівняння математичної моделі апроксимуються для цих багатогранників без яких-небудь спрощень. Такий підхід дозволяє з достатнім ступенем точності розраховувати течії навіть на грубій розрахунковій сітці.

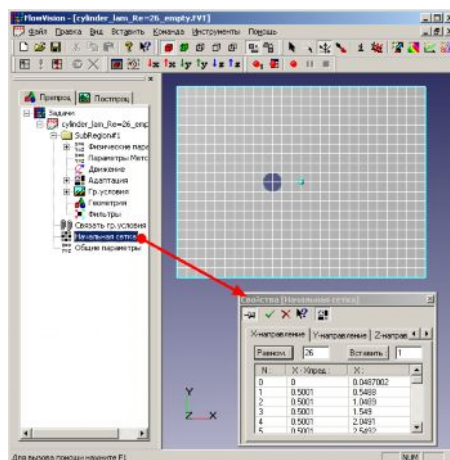


Метод підіткового дозволу:

а) поверхня проходить через ячейки, б) розщеплення ячеек границею.

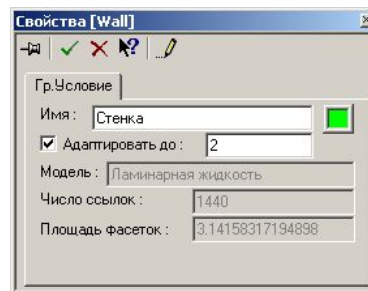
Завдання розрахункової сітки

Сітка рівня 0 задається через діалогове вікно **Властивості**, що викликається за допомогою натискання на праву клавішу миші на пункті **Початкова сітка** в дереві варіанта. У цьому вікні є три закладки, у яких сітка задається уздовж напрямків осей x , y , z . На цьому ж малюнку видний приклад завдання розрахункової сітки рівня 0 для завдання обтікання циліндра.

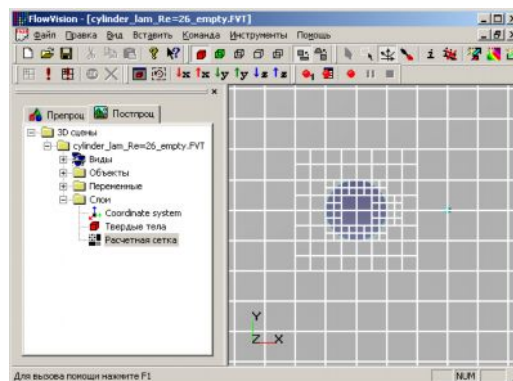


Із представленого вище малюнка видно, що сітка рівня 0 занадто груба поблизу циліндра. Одним зі способів підвищити точність, є подрібнення сітки поблизу поверхні. Для цього у вікні властивостей граничної умови задається рівень адаптації. У цьому випадку, всі ячейки

поблизу поверхні, що містить ця гранична умова, будуть подрібнені до відповідного рівня. У діалоговому вікні **Властивості** граничної умови задається рівень, до якого всі ячейки, що включають у себе поверхня з даним ГУ, будуть подрібнені.



На наступному малюнку показаний результат адаптації сітки по граничній умові.



Крок 5. Завдання параметрів методу чисельного моделювання

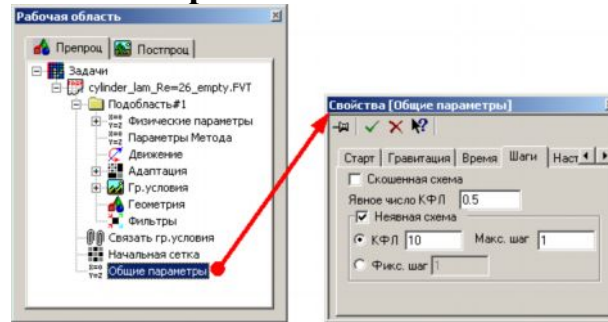
У цьому розділі описані методи рішення використовуваних в **FlowVision** рівнянь.

Апроксимація конвективного переносу "скошеною" схемою

Точність чисельного рішення рівняння конвективного переносу сильно залежить від орієнтації потоку рідини щодо розрахункової сітки. Найбільше сильно схемні перекручування рішення проявляються при діагональному, "скошеному" потоці рідини щодо осередків сітки. Щоб підвищити точність розрахунку при діагональному потоці рідини, в **FlowVision** застосовується "скошена" розрахункова схема. Застосування цієї схеми збільшує час розрахунку рівняння конвективного переносу приблизно на 50%. Рекомендується її використання для моделювання закручених течій.

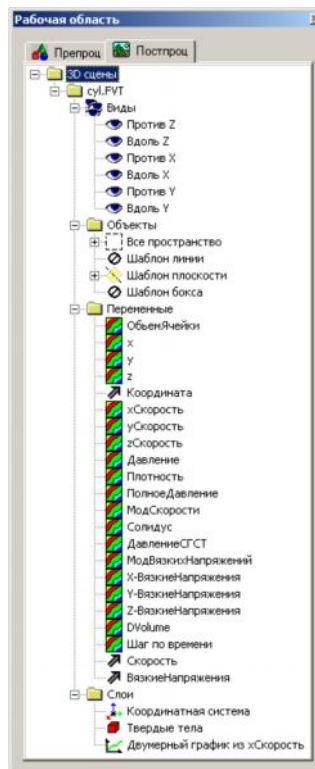
На малюнку показано, як задати апроксимацію "скошеною" схемою конвективного члена в рівнянні конвективно-дифузійного переносу. Відзначимо, що при такому завданні, розрахунок "скошеною" схемою буде проводитися у всіх розрахункових областях, наявних у даному

варіанті. Щоб установити апроксимацію рівняння конвективного переносу "скошеною" схемою, виберіть пункт **Скошена схема** у вікні **Загальні параметри** **Властивості** **Кроки**.



Крок 6. Перегляд результатів моделювання

Щоб подивитися результати моделювання, необхідно відкрити розділ постпроцесора у вікні робочого простору. Розділ постпроцесора складається з декількох папок:



Папка **Види** – це види геометричних об'єктів у графічному вікні. При виділенні об'єктів із цієї папки, встановлюється визначений напрямок осі спостерігача до осей системи координат об'єкта. Наприклад, при виділенні об'єкта **Проти Z** спостерігач буде дивитися на об'єкт, що буде повернений йому таким чином, що вісь Z буде дивитися прямо на спостерігача.

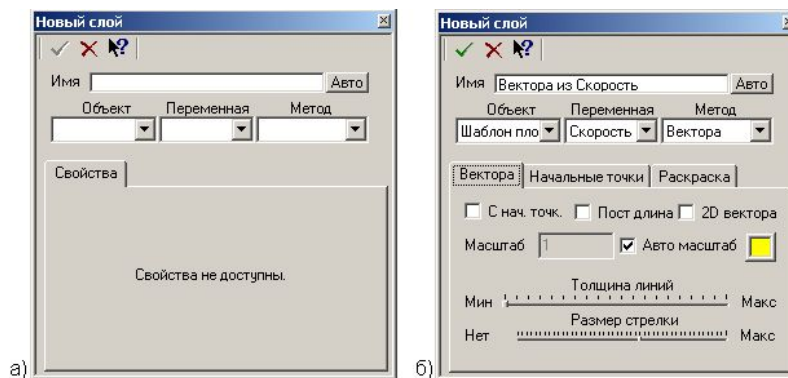
Папка **Об'єкти** – тут перебувають всі геометричні об'єкти, на яких (або в яких) будуть відображатися розрахункові параметри.

Папка **Змінні** – у ній зібрані всі розрахункові (залежні й незалежні) змінні, наявні у всіх розрахункових областях даного завдання.

Папка **Шари** – це список графічних об'єктів, названих шарами, відображених у графічному вікні. Шари **Координатна система** й **Тверді тіла** в цій папці з'являються автоматично із завданням варіанта, вони відповідають системі координат і поверхні розрахункової області.

Щоб візуалізувати змінну, необхідно задати відповідний шар. Шар задається із трьох складових – геометричний об'єкт (папка **Об'єкти**), ім'я змінної й метод її відображення. Пояснимо на прикладі візуалізації розподілу швидкостей у площині за допомогою векторів.


Через меню **Вид** □ **Створити шар...** викликається вікно завдання шару. У ньому встановлюється геометричний об'єкт – площина **Об'єкти** □ **шаблон Площини**, змінна – швидкість **Змінна** □ **Швидкість** і встановлюється метод відображення векторами **Метод** □ **Вектора**. Після заповнення цих віконець, у вікні з'являються закладки, що відповідають властивостям об'єкта й методу відображення. У наведеному прикладі в першій закладці **Параметри площини** знаходяться властивості площини, відповідальні за її орієнтацію, у другій – густина сітки на цій площині, у вузлах якої зображуються вектори швидкості й інші параметри.

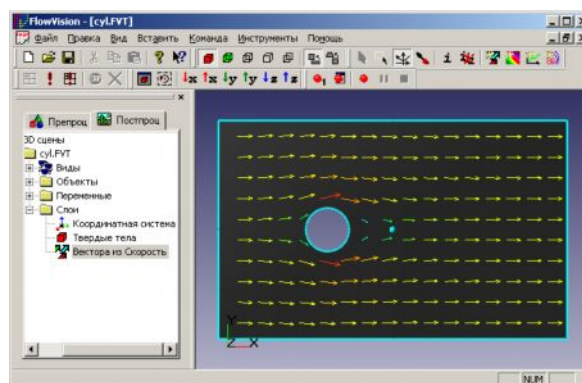


Вікно завдання шару візуалізації:

а) перед заповненням віконець **Об'єкти**, **Змінна**, **Метод**;

б) після заповнення

Після натискання кнопки  у вікні завдання шару, шар відобразиться в графічному вікні, як це показано на наступному малюнку.



Розподіл швидкостей газу, візуалізованих векторами на площині.

Відзначимо, що шари можна задавати в процесі проведення моделювання, але шар буде відображений у графічному вікні тільки по закінченні ітерації за часом – користувач попереджується про це повідомленням. Відновлення графічної інформації у вікні відбувається на кожному кроці за часом, тому користувач має можливість спостерігати розвиток рішення постійно.

При проведенні довгострокових розрахунків рекомендуються завжди візуалізувати дані в процесі розрахунку, оскільки в цьому випадку користувач одержує можливість постійного контролю над процесом збіжності рішення й, якщо потрібно, втрутитися в процес розрахунку при виникненні чисельних нестійкостей або незбіжності рішення. Іноді користувач помиляється при завданні варіанта й більшість таких помилок виявляються на перших ітераціях обчислювального алгоритму шляхом споглядання одержуваного рішення.

Крок останній. Оцінка точності розрахунків

Час роботи комп'ютера при виконанні чисельного моделювання звичайно коливається від декількох хвилин (найпростіші двовимірні завдання із сотнями й декількома тисячами осередків) до декількох діб (наприклад, завдання з горінням із числом ячеек у сотні тисяч). Тому користувачеві потрібен досвід для створення розрахункової сітки з мінімальною кількістю ячеек, але яка дозволяє побачити основні особливості течії, заради яких проводиться моделювання.

Оцінити точність отриманого рішення, якщо немає результатів експериментів (або вони ненадійні) надзвичайно складно. Тут можна дати наступні рекомендації:

- По-перше, перевірте збіжність по сітці. Це загальний принцип оцінки точності одержуваного рішення, що полягає в проведенні серії розрахунків одного й того ж завдання на сітці, що послідовно згущається у всій області розрахунку. При зменшенні розрахункових ячеек точність рішення вихідних рівнянь збільшується пропорційно h^n , де h – розмір розрахункової ячейки, n – порядок апроксимації розрахункової схеми (в **FlowVision** $n = 2$). Моделюємі параметри завдання (наприклад, перепад тиску на пристрої) при цьому сходяться до деякого значення, що відповідає нескінченно дрібній сітці. Виберіть як базову сітку саму грубу сітку, на якій значення моделюєміх параметрів близько до розрахованих параметрів на дрібній сітці з потрібною точністю. Відзначимо, що цей спосіб оцінки точності рішення придатний тільки в тому випадку, якщо використовується "непогрішна" математична модель. Наприклад, досліджується рух ньютонівської рідини (наприклад, води) при малих числах Рейнольдса (ламінарна течія). При

дослідженні турбулентного руху рідини за допомогою емпіричних моделей цим методом ви зможете оцінити тільки точність рішення вихідних рівнянь, але не завдання!

- По-другу, вирішіть завдання, близьке до моделюемого, для якого відомі експериментальні результати або дані інших авторів. Наприклад, якщо ви вирішуєте завдання аеродинаміки крила, то промодельуйте обтікання профілю NACA0012, для якого в літературі можна знайти результати розрахунків і експериментів для широкого діапазону швидкостей. На таких завданнях можна підібрати оптимальне співвідношення „точність розрахунку/грубість сітки”, що потім можна буде використовувати для рішення своїх завдань.
- По-третє, завжди контролюйте характеристики течії, які можуть бути вам відомі хоча б приблизно (перепади тисків, максимальна температура, щільність). Дуже часто буває, що такий контроль дозволяє оцінити точність одержуваного рішення без використання трудомістких способів, описаних вище.

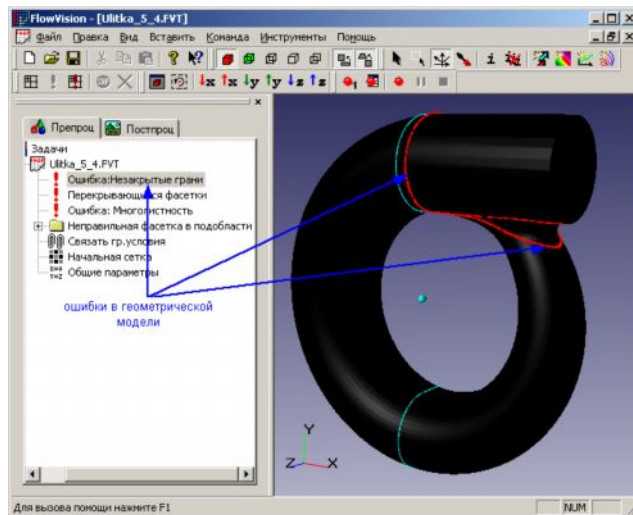
Тема 6. Основні питання та проблеми, які виникають під час моделювання

- 6.1. Повідомлення про помилки
- 6.2. Продовження розрахунку
- 6.3. Модель ротор-статор
- 6.4. Вибір кроку часу
- 6.5. Вказання рівня турбуленції
- 6.6. Коефіцієнт опору тіла
- 6.7. Організація анімації

Наостанок розглянемо типові ситуації по курсу.

Що робити, якщо при завантаженні геометрії видається повідомлення про помилки?

При завантаженні геометрії з обраного файлу виконується аналіз, розбивка на поверхні й замкнуті підобласті. Якщо в процесі імпортування були виявлені помилки в геометричній моделі, то ці помилки будуть відображаються в дереві та графічному вікні варіанта червоним кольором.



Є наступні способи виправлення помилок при вставці геометрії:

- В **FlowVision** якість зображення, що вставляється, регулюється у закладці **Предустановки** **Допуск**. Якщо виникають помилки **Незакриті грані**, то **Допуск** краще зменшувати (за абсолютним значенням), якщо виникають помилки **Многолистність**, то – збільшувати.
- Можна виправити проблеми у вихідній геометрії, завантаживши її в **Flow3DVision**. Зробити там зшивку (і при необхідності ручне виправлення) поверхневої сітки. Потім через формат **mesh** завантажити виправлену геометрію в **FlowVision**.
- Також існують можливості корегування геометрії в різних системах САПР. Наприклад, в **SolidWorks** є наступні можливості:
 - Якщо при вставці геометрії в **FlowVision** використовується формат **WRML**, те бажано зберігати **wrl** файл із найкращою якістю зображення. Воно встановлюється в **Інструменти** **Параметри** **Якість Зображення** кнопка **"Якість зображення"** **Якість напівтонового зафарбування**, перемикач – у крайньому правому положенні (точність максимальна). Якщо виникають проблеми з геометрією, те цей параметр можна змінювати в більше грубу сторону, алі, як правило, найкращої є максимальне точність.
 - Збереження вихідної геометрії в інших форматах: **IGES**, **STL** і т.д.
 - Згладжування гострих кромки та інші зміни геометрії.

Як продовжити старий розрахунок з новою геометрією?

Варто звернути увагу на те, що дана операція припустима тільки в тих випадках, коли варіанти геометрії відрізняються друг від друга несуттєвим чином, тобто кількість підобластей, граничних умов, параметри моделі й т.д. залишаються незмінними. У протилежному випадку, якщо відмінності між варіантами є істотними, користуватися вставкою

геометрії не треба, тому що це приведе до виникнення важко переборних помилок.

Для того, щоб імпортувати нову геометрію в старий варіант:

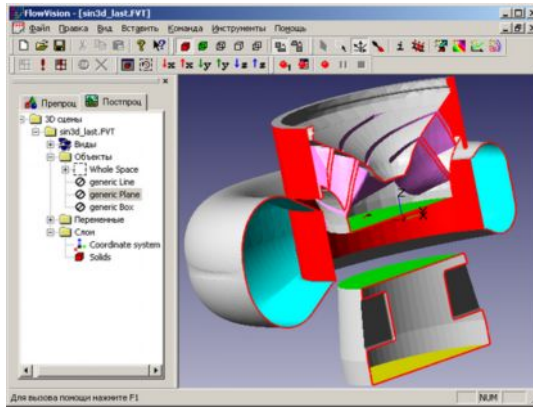
- Виберіть пункт головного меню **Вставити** **Геометрія**.
- У вікні **Відкрити** виберіть тип імпортованого файлу та сам файл і натисніть кнопку **Відкрити**.
- Після цього нова геометрія буде імпортована у варіант, проаналізована, розбита на поверхні й замкнуті підобласті. Структура нового варіанта з'явиться в робочому вікні, а зображення геометрії в графічному вікні. Розрахункова сітка буде автоматично розтягнута або стиснена так, щоб збігатися із границями нової геометрії.
- Після імпортування нової геометрії існує кілька можливостей продовження процесу розрахунку:
 - оновити геометричну інформацію в ячейках сітки й продовжувати розрахунок, використовуючи старі сітку й значення змінних;
 - оновити геометричну інформацію в ячейках сітки й продовжувати розрахунок, використовуючи старі сітку, але не використовувати значення змінних з попереднього розрахунку;
 - почати розрахунок спочатку, тобто не використовувати ні сітку, ні значення змінних з попереднього розрахунку.

Як вирішувати завдання взаємодії ротор-статор?

Щоб вирішувати завдання взаємодії ротор-статор, необхідно скористатися граничною умовою **Ковзна поверхня**. Гранична умова **Ковзна поверхня** призначена для розрахунку течії рідини й газу в пристроях, у яких є обертові й нерухомі частини (ротор-статор).

Для того щоб скористатися цією граничною умовою, потрібно виділити розрахункові області, пов'язані з ротором і зі статором. Статор задається своєю областю розрахунку, ротор – своєю. Для кожної області розрахунку задається своя швидкість обертання.

В областях розрахунку ротора й статора повинні бути виділені циліндричні поверхні сполучення рівної висоти й радіуса. На цих поверхнях встановлюється гранична умова **Ковзна поверхня**, що потім зв'язується в папці **Зв'язати гр.умови**.



Розріз насоса. Ковзні поверхні показані червоним кольором.

Як вирішувати завдання з рухомих тілом?

Завдання з рухомими тілами можна вирішувати в такий спосіб:

Задати геометрію розрахункової області й тіл, що рухаються, у САПР.

Створити розрахунковий варіант, завантаживши в **FlowVision** файл геометрії, що містить розрахункову область.

Потім вставити файл із обертовим тілом, використовуючи **Фільтр рухомого тіла**.

Вказати параметри руху тіла, початкове положення й зв'язати із граничними умовами.

Як правильно вибрати крок за часом?

При виборі кроку за часом варто виходити в першу чергу з того, які математичні моделі використовуються в даному завданні.

Для більшості використовуваних моделей можна дати наступні загальні рекомендації:

- Для моделі **Твердий матеріал** крок за часом може бути оцінений, виходячи з оцінки часу прогріву нерівномірно прогрітого тіла:

$$\tau = \frac{l^2}{\chi}$$

де l – характерний розмір тіла, χ – коефіцієнт теплопровідності.

- Для моделей **Ламінарна рідина, Нестискаєма рідина, Слабостискаєма рідина та Модель горіння** крок за часом можна задати рівним одній десятій пролітного часу. Пролітним часом називається такий час, який буде потрібний частці, випущеної із входу в розрахункову область, щоб досягти виходу розрахункової області.
- Для моделі **Вільна поверхня** крок за часом варто задавати,

виходячи з Куранта рівного 1.

- Для моделі **Повністю стискаєма рідина** крок за часом залежить від збіжності рівнянь по тиску. Первісний крок за часом варто задавати аналогічно моделям **Ламінарна рідина**, **Несткаєма рідина** і т.д. Якщо при такому кроці збіжності по тиску нема, ті крок потрібно зменшувати.

Якщо в завданні присутні декілька підобластей з різними моделями, і характерні часи процесів по кожній з моделей істотно відрізняються друг від друга, то рекомендується скористатися такою можливістю **FlowVision**, як розрахунок із власним кроком по часом.

Як задати турбулізацію потоку, що набігає?

При використанні моделей турбулентності необхідно задавати як початкову турбулізацію потоку у всій області, так і турбулізацію потоку на вхідній граничній умові. Для завдання турбулізації потоку, що набігає, використовуються наступні характеристики:

- b – турбулізація потоку (відношення турбулентної кінетичної енергії до кінетичної енергії осередненого течії)
 $b < 0.03$ – низька турбулізація потоку
 $0.03 < b < 0.05$ – середня турбулізація потоку
 $0.05 < b < 0.1$ – висока турбулізація потоку
- l – масштаб турбулентності (характерний розмір вихру)
Для внутрішніх течій звичайно вибирається як $1/10$ характерного розміру вхідного перетину, для зовнішнього обтікання приймається як $1/10$ характерного розміру обтічного тіла.

Як визначити коефіцієнт опору тіла при його обтіканні рідиною?

Прямо в **FlowVision** не можна визначити коефіцієнт опору. Для цього потрібно розрахувати силу опору.

Це робиться в такий спосіб: у препроцесорі створюється супергрупа на тілі, що цікавить (це можна зробити із граничної умови), потім створена супергрупа експортується в постпроцесор, у постпроцесорі створюється шар **візуалізації Характеристики з Тиск**. У цьому шарі присутні x , y , z компоненти сили, що діє на об'єкт, і x , y , z компоненти сили, що діє на об'єкт із урахуванням сили тертя. Відповідно, вибирається потрібний компонент сили опору. Щоб одержати значення коефіцієнта опору, значення сили тертя потрібно розділити на динамічний напір і потрібну площу.

Яким образом можна встановити, що розрахований варіант зійшовся?

Закінчення розрахунку може проводитись:

- автоматично:
 - за заданим значенням нев'язання обраного параметра (**Параметри методу** **Стоп при**);
 - по заданому кінцевому часі процесу;
- вручну користувачем:
 - користувач може сам візуалізувати у вікні постпроцесора величину, що його цікавить, і стежити за її зміною або створити шар Характеристики змінної, що його цікавить та зберігати значення цієї змінної у файл, а потім у зовнішньому редакторі побудувати графік залежності даної величини від часу.

Останній спосіб є кращим, тому що він є найбільш наочним і надійним.

Як завантажити GLO-Файл в Excel?

При відкритті GLO-Файлу за допомогою **Microsoft Excel** варто врахувати:

- якщо GLO-Файл буде відкритий звичайним чином у той час, як у нього записуються дані **FlowVision**, то ці дані дописані в цей файл не будуть. Таким чином, відкривати GLO-Файл звичайним чином у процесі розрахунку не можна. У цьому випадку його потрібно відкривати як зовнішні дані (**Дані** **Імпорт зовнішніх даних**).
- FlowVision** використовує як роздільник цілої й дробової частини крапку, а **Excel** – той символ, що зазначений у регіональних настройках **Windows**. За замовчуванням це коми. Якщо при імпортуванні в **Microsoft Excel** дані з GLO-Файлу не розпізнаються як чисельні, те варто замінити роздільник у регіональних налаштуваннях на крапку.




Як зробити анімацію нестационарного процесу?

В **FlowVision** є можливість зберігати серії зображень як у процесі розрахунку, так і після завершення розрахунку:


- Якщо зображення зберігаються в процесі розрахунку, то в такий спосіб можна зберегти тільки одну послідовність зображень робочого вікна (при цьому будь-які зміни в робочому вікні відіб'ються в зображеннях, що зберігаються).
- Якщо зображення зберігаються після проведення розрахунку, те можна зберегти будь-яку кількість послідовностей зображень, причому вибір які саме послідовності будуть зберігатись, можна проводити вже після завершення розрахунку. Але для того, щоб

одержати таку можливість, у процесі розрахунку необхідно зберігати копії файлу варіанта.

FlowVision дозволяє зберігати послідовності зображень у наступних графічних форматах: **Windows bitmap** (*.bmp), **Targa** (*.tga), **Portable network graphics** (*.png). На основі збережених зображень можна створювати анімації нестационарних процесів. Створення анімацій може бути зроблене в будь-якому зовнішньому пакеті, наприклад, **GIF Movie Gear** (програми для створення анімацій у комплект **FlowVision** не входять).

Для збереження серії зображень у процесі розрахунку скористайтеся наступними інструментами панелі **Захват**:  Почати збереження послідовності картинок у файли,  Призупинити/ продовжити збереження картинок у файл,  Зупинити збереження картинок у файл. Послідовність зображень буде зберігатися в папці **RENDER** (автоматично створюваної в місці знаходження файлу варіанта).

Для збереження серії зображень для послідовності попередньо записаних варіантів необхідно виконати наступні дії:

1. Записати послідовність варіантів **FlowVision**. Для цього потрібно активізувати опцію **Загальні параметри** **Час** **Створювати копії файлу**, указати період збереження варіантів і запустити завдання на розрахунок.
2. Після того як буде проведений розрахунок і збережені проміжні результати, необхідно в одному із записаних варіантів створити шари візуалізації й зберегти їх у сцени, кожна з яких буде відповідати своїй серії зображень.
3. Потім на основі збережених сцен за допомогою кнопки  панелі **Захват** створюється й зберігається файл сценарію.
4. На завершення в якому-небудь текстовому редакторі потрібно створити batch-файл і зберегти його з розширенням **fvb**. Цей файл повинний мати такий вигляд:

```
scenario.xml  
var1_0000.fvt  
var1_0001.fvt  
var1_0002.fvt
```

У першому рядку цього файлу зазначений файл сценарію, у наступних рядках – файли варіантів, які необхідно обробити.

5. Після виконання всіх перерахованих дій за допомогою інструмента **Інструменти** **Пакетна обробка** в діалозі вибору batch-файлу вказується створений fvb-файл.

Після виконання **batch-файлу** послідовність зображень буде збережена в папці **RENDER** (автоматично створюваної в місці знаходження файлів варіанта).

Запитання для самоперевірки

- Що таке обчислювальна гідродинаміка?
- Назвіть основні терміни інтерфейсу FlowVision
- Які способи вибору елементів існують?
- Як змінити геометрію?
- Які фізичні властивості речовин можна задавати?
- Які параметри методу існують?
- Які види граничних умов існують?
- Яке призначення фільтрів?
- На що впливає створення супергруп?
- Як змінити масштаб зображення?
- Як запустити процес розрахунку?
- Що таке постпроцесор?
- Назвіть основні панелі інструментів постпроцесора
- Що таке шари візуалізації?
- Які змінні можна візуалізувати?
- Що таке область розрахунку?
- Які моделі руху рідин існують?
- Які є типи границь?
- Що таке адаптивна сітка з локальним подрібненням?
- Як оцінити точність розрахунку?
- Що робити, якщо при завантаженні геометрії видається повідомлення про помилки?
- Як продовжити старий розрахунок з новою геометрією?
- Як вирішувати завдання взаємодії ротор-статор?
- Як правильно вибрати крок за часом?
- Як вирішувати завдання з рухомим тілом?
- Як задати турбулізацію потоку, що набігає?
- Як визначити коефіцієнт опору тіла при його обтіканні рідиною?
- Яким образом можна встановити, що розрахований варіант зійшовся?
- Як завантажити GLO-Файл в Excel?
- Як зробити анімацію нестационарного процесу?

=====
**Конспект лекцій складений на основі керівництва користувача
програмного комплексу FlowVision.**
=====

Література:

1. Бэтчелор Д. К. Введение в динамику жидкости. - М.: РХД, 2004. - 768 с.
2. Ван-Дайк М. Альбом течений жидкости и газа. — М.: Мир, 1986. — 181 с.
3. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А. Механика сплошных сред. Часть 1. Основы и классические модели жидкостей. — М.: Наука, Физматлит, 2000. —256 с.
4. Кондранин Т.В., Ткаченко Б.К., Березникова М.В. и др. Применение пакетов прикладных программ при изучении курсов механики жидкости и газа: Учебное пособие — М.: МФТИ, 2005. — 104 с.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. т. VI. Гидродинамика, - М.: Физматлит, 2006, 736 с.
6. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: Учеб. для вузов. — М.: Наука, 1987. — 840 с.
7. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. — Москва–Ижевск: R&C Dynamics, 2000. — 576 с.
8. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. I. 4-е изд. — М.: Наука, 1983. — 528 с.
9. Система моделирования движения жидкости и газа FlowVision. Руководство пользователя. – М.: ТЕСИС, 2006. - 332 с.

Зміст

Вступ	3
Тема 1. Знайомство з програмним комплексом FlowVision.	4
1.1. Терміни інтерфейсу	
1.2. Панелі інструментів	
1.3. Способи видору елементів дерева	
1.4. Редагування параметрів елементів	
Тема 2. Порядок складання задачі моделювання	13
2.1. Вибір математичної моделі	
2.2. Вказання початкових значень	
2.3. Вказання фізичних властивостей величин	
2.4. Вказання руху підобласті	
2.5. Вказання критеріїв адаптації сітки	
Тема 3. Робота з граничними умовами	21
3.1. Завдання граничних умов.	
3.2. Використання фільтрів	
3.3. Використання супергруп	
3.4. Маштабування геометрії	
3.5. Створення сітки	
3.6. Глобальні параметри та параметри розрахунку	
Тема 4. Розрахунки та їх представлення	34
4.1. Запуск розрахунку	
4.2. Інтерфейс постпроцесора	
4.3. Шари візуалізації	
Тема 5. Етапи моделювання	44
5.1. Кроки користувача	
5.2. Вибір математичної моделі	
5.3. Завдання граничних умов	
5.4. Налаштування параметрів сітки	
5.5. Перегляд результатів моделювання	
5.6. Оцінка точності моделювання.	
Тема 6. Основні питання та проблеми, які виникають під час Моделювання	67
6.1. Повідомлення про помилки	
6.2. Продовження розрахунку	
6.3. Модель ротор-статор	
6.4. Вибір кроку часу	
6.5. Вказання рівня турбуленції	
6.6. Коефіцієнт опору тіла	
6.7. Організація анімації	
Запитання для самоперевірки	74
Список літератури	75