

На основі розроблених класів створимо об'єкти: кривошип (**fr0**), шатун (**fr1**), заднє плече балансира (**fr2**), переднє плече балансира (**fr3**), шарнір між кривошипом і шатуном (**con0**), шарнір між шатуном і балансиром (**con1**), нерухоме з'єднання плечей балансира (**con2**), механізм верстата-гойдалки (**s**).

```
fr0=Frame(x1=0.0,y1=0.0, x2=0.81371,y2=0, L=0.81371)
fr1=Frame(x1=0.81371,y1=0, x2=0.65,y2=3, L=3.0)
fr2=Frame(x1=0.65,y1=3, x2=-1.345,y2=3.01195, L=2.0)
fr3=Frame(x1=-1.345,y1=3.01195, x2=-3.6,y2=3, L=2.29)
con0=Connector(fr0,fr1)
con1=Connector(fr1,fr2)
con2=Connector2(fr2,fr3)
s=System([fr0, fr1, fr2, fr3, con0, con1, con2])
```

Для симуляції руху верстата-гойдалки можна поступово змінювати кут повороту кривошипа від початкового значення до кінцевого з невеликим кроком, наприклад у циклі **while**. Тіло цього циклу повинно містити команди обчислення координат точки кривошипа за кутом його повороту, виклик функції розв'язування системи рівнянь об'єкта **s**, запису або візуалізації результатів (**s.plot()**) та збільшення кута на крок. Для розв'язування системи рівнянь можна використати функцію **root()** з пакету **scipy.optimize** [3], яка розв'язує систему чисельним методом Левенберга-Марквардта. Функція **root()** потребує наближених значень коренів, які можна взяти з попередньої ітерації. Результатом симуляції будуть значення невідомих координат точок механізму в різні моменти часу. Після цього можна розрахувати швидкості і прискорення точок шляхом диференціювання результатів функціями **diff()** або **gradient()** з пакету **scipy** [3].

Запропоновані принципи можуть бути розвинені у повноцінну систему моделювання кінематики і динаміки складних механізмів будь-якого типу без необхідності застосування спеціалізованих засобів моделювання. Для цього необхідно розробити компоненти, які описують кінематичні пари різного типу. Розроблена програма може бути використана для експрес-аналізу кінематики механізмів верстатів-гойдалок нового типу.

#### Список використаних джерел

1. Modelica and the Modelica Association [Electronic resource]. – Mode of access: <https://modelica.org/>
2. Fritzson, Peter A. Principles of object oriented modeling and simulation with Modelica 3.3: a cyber-physical approach / Peter Fritzson. - 2nd edition. - Wiley-IEEE Press, 2014. - 1256 p.
3. SciPy v0.18.1 Reference Guide [Electronic resource]. – Mode of access: <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/>

УДК 622.276.054

## ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ СВЕРДЛОВИННОЇ ШТАНГОВОЇ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ СЕРЕДОВИЩА MAPLESOFT MAPLESIM 7

**В. Б. Коней<sup>1</sup>, Б. В. Коней<sup>1</sup>, О. О. Кузьмін<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ІФНТУНГ, 76019, м.Івано-Франківськ, вул.Карпатська, 15, тел. (0342) 72-71-26, e-mail: [vkopey@gmail.com](mailto:vkopey@gmail.com)

<sup>2</sup>НГВУ «Долина нафтогаз», 77503, м.Долина, Івано-Франківської обл., вул. Промислова 7, tel: (03477) 22-552; 22-535, e-mail: [kuzmin\\_a.a@rambler.ru](mailto:kuzmin_a.a@rambler.ru)

Побудова адекватної математичної моделі СШНУ є складним завданням оскільки на її роботу впливає велика кількість різноманітних чинників. Існуючі моделі неточні або складні для використання і модифікації. Метою даної праці є розробка принципів побудови моделей СШНУ з високим рівнем адекватності та можливістю простої їх модифікації і удосконалення. Розроблено математичну модель СШНУ в середовищі компонентно-орієнтованого моделювання складних динамічних систем Maplesoft MapleSim 7. Модель побудована за допомогою таких компонентів MapleSim як кругла труба, інерція рідини, зворотний клапан, гідравлічний циліндр, поступальна постійна сила, маса, поступальна пружина з демпфером, поступальне тертя. Застосування компонентно-орієнтованого підходу дозволяє спростити модифікацію моделі СШНУ під час додання в модель нових можливостей чи зміни її частин. Це спрощує застосування і розвиток моделі широким колом спеціалістів. Виконано оцінку адекватності моделей шляхом порівняння теоретичних та практичних динамограм. Розроблена модель може бути використана для різностороннього аналізу і оптимізації СШНУ.

**Ключові слова:** динамічна модель, колона насосних штанг, верстат-гойдалка, компонентно-орієнтоване моделювання, динамограма, оптимізація

*Building of adequate mathematical model of the sucker rod pumping system is a difficult task because a large number of different factors affect its operation. Existing models are inaccurate or difficult to use and modify. The aim of this work is to develop the principles of building of sucker rod pumping system models with a high level of adequacy and the possibility of easy modifications and improvements. The mathematical model of the sucker rod pumping system has developed in the component-oriented modeling software for complex dynamic systems Maplesoft MapleSim 7. Model is built using such MapleSim components as Circular Pipe, Fluid Inertia, Check Valve, Hydraulic Cylinder, Translational Constant Force, Mass, Translational Spring Damper, Translational Friction. Applications of the component-oriented approach helps to simplify modification of the model if new features appear in the model or its parts are changed. This simplifies application and development of the model for wide range of specialists. Also we have evaluated the adequacy of the model by comparing the theoretical and practical dynamometer cards. The developed model can be used for comprehensive analysis and optimization of sucker rod pumping system.*

**Keywords:** dynamic model, sucker rod string, pumping unit, component-oriented modeling, dynamometer card, optimization

УДК 622.276.054

## ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ СВЕРДЛОВИННОЇ ШТАНГОВОЇ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ НА ОСНОВІ АБСТРАКТНИХ АВТОМАТІВ

**В. Б. Копей**

ІФНТУНГ, 76019, м.Івано-Франківськ, вул.Карпатська, 15, тел. (0342) 72-71-26, e-mail:  
[vkopey@gmail.com](mailto:vkopey@gmail.com)

Існуючі імітаційні динамічні моделі свердловинних штангових насосних установок постійно розвиваються шляхом додання в них нових можливостей. Удосконалення таких моделей доволі трудомістке і вимагає відповідних математичних знань у дослідника. Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є застосування імітаційних моделей на основі абстрактних автоматів та автоматного програмування для їх реалізації. Описано принципи побудови такої моделі, колона насосних штанг якої представлена у вигляді системи автоматів, які з'єднані пружно-демпферними зв'язками. Окремий автомат являє собою уявний вузол колони, у якому зосереджена маса секції колони, її вага та інші сили. Функція переходу автомата визначає його поведінку і намагається повернути автомат у стан з рівновагою сил на ньому. Модель дозволила отримати динамограми установок з сталевими та склопластиковими колонами, форма яких відповідає практичним динамограмам. Розроблена автоматна модель є простою для розуміння і модифікації, дозволяє моделювати явища,