

# Механика

---

---

*Г. УАЛИЕВ, А.А. ДЖОМАРТОВ, З.Г. УАЛИЕВ*

(Институт механики и машиноведения МОН РК, Алматы)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН НА ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMULATIONX

### Аннотация

В работе приводится краткое описание программного комплекса SimulationX. Программный комплекс SimulationX очень хорошо подходит для решения сложных динамических задач машиностроения. Приведен пример моделирования в рамках программы SimulationX.

**Ключевые слова:** моделирование, динамика, механизмы.

**Кілт сөздер:** үлгілеу, динамика, механизм.

**Keywords:** modeling, dynamic, mechanisms.

SimulationX – это междисциплинарный программный комплекс для моделирования физико-технических объектов и систем, который разработан и продается на коммерческой основе фирмой ITI GmbH из Дрездена с 2000 года. SimulationX является преемником программы ITI-SIM, первая версия которой появилась в 1993 году. Ученые и инженеры, работающие в промышленности и сфере образования, используют этот инструмент для разработки, моделирования, симулирования, анализа и виртуального тестирования сложных мехатронных систем. На единой платформе программа моделирует поведение и взаимодействие различных физических объектов механики (1D и 3D), приводной техники, электрических, гидравлических, пневматических и термодинамических систем, а также магнетизма и аналоговых, и цифровых систем управления.

Программный комплекс SimulationX поддерживает функциональность Windows и содержит предварительно подготовленные типы элементов, которые собраны в библиотеки для различных разделов физики. Эти библиотеки классифицируют модельные объекты в соответствии с их физическими свойствами и областью применения. Для

создания одной модели можно использовать готовые элементы из всех библиотек, а также элементы, созданные пользователем. Например, гидравлические, пневматические и электрические привода, а также системы управления могут быть интегрированы в одной модели вместе с элементами многотельной механики. В ходе расчета можно наблюдать и анализировать поведение системы, при этом параметры могут быть скорректированы. Практическим примером этого являются строительные машины, в которых используются гидравлические системы управления. Программный комплекс SimulationX объединяет отдельные компоненты в единую систему, пригодную для моделирования триботехнических проблем и для анализа энергоэффективности оборудования и систем управления. В разделе „Флюидтехника“ имеется библиотека, которая предоставляет специализированные компоненты для подводной техники (подводная гидравлика, электрика и другие). С их помощью рассчитывается и анализируется динамическое поведение компонентов и систем для добычи и распределения нефти и природного газа. Другим применением являются виртуальные испытания оборудования для глубоководного бурения и сейсмографии, а также подводных конструкций и технологий.

SimulationX поддерживает язык моделирования Modelica, который используется, в частности, для создания пользователем собственных моделей. Модели из стандартных библиотек языка Modelica и других библиотек, основанных на языке Modelica, могут быть также использованы в SimulationX.

SimulationX объединяет подготовку модели, ее решение и постобработку в единую среду. Результаты могут быть проанализированы в режиме онлайн, параметры могут даже меняться прямо во время процесса расчета.

#### **Основные достоинства программы SimulationX:**

- Быстрое построение моделей из интуитивно-понятных объектов механики (масса, сила, момент, пружина, демпфер, трение, рычаг и т.д.), пневматики и гидравлики (пневмоцилиндр, клапан, дроссель и др.), машиностроения и электромеханики (моторы, муфты, сцепления, зубчатая и другие передачи, карданный вал, дифференциал и т.д.) и управления (датчики-измерители, управляющие сигналы и пр.).

- Три простых способа создания собственных модельных объектов (с помощью записи уравнений, модификации стандартного объекта или объединения набора объектов).

- Взаимодействие в одной модели механических, пневматических, гидравлических, электрических и электро-магнитных объектов, а также управляющих сигналов.

- Графическое представление и анализ результатов - нажатием кнопки на «мышке» .

- Автоматический анализ собственных частот и форм колебаний.

- Анимация построенных моделей.

- Интерфейс с MATLAB/Simulink, Modelica (Dymola), SimPack, ADAMS, C++

**SimulationX позволяет решать следующие задачи:**

- Моделирование системы во временной и частотной областях. Моделирование переходных процессов в линейных и нелинейных системах или стационарное моделирование для расчета модели в периодическом состоянии (нелинейном или линейном).

- Моделирование с помощью библиотеки моделей, которые разделены по моделируемым физическим приложениям с готовыми типами стандартных элементов.

- Проведение интегрированного анализа систем, вариационные вычисления с помощью дополнительных инструментов и интерфейсов SimulationX .

## **Библиотеки SimulationX**

### **Механические передачи**

Задачи моделирования трансмиссий обеспечиваются в SimulationX с помощью обширной коллекции библиотек. Эти библиотеки поддерживают моделирование и анализ механической трансмиссии, а также основанное на моделировании проектирование управляющих систем. Все модели легко параметризуются значениями из доступными от поставщиков компонент и параметров проекта. С использованием библиотеки Animation Bodies можно легко и быстро выполнять анимацию для элементов трансмиссии в 3D представлении.

#### ***Библиотеку Power Transmission:***

***Motors / Engines.*** Библиотека Motors / Engines включает различные основные модели двигателей и моторов с различными характеристиками. Эти модели могут широко использоваться в автомобильной индустрии или машиностроении. Все типы моделей поддерживают внутреннюю инерцию и позволяют присоединять структуры подшипников. Все модели вычисляют неоднородное возбуждение трансмиссии.

***Actuating Elements.*** Библиотека Actuating Elements включает в себя элементы для моделирования переключения передач в механических или автоматизированных коробках передач. Это обеспечивается элементами Gear Selection (выбор передачи) и Detent Mechanism (фиксаторы).

***Drive Accessory.*** Библиотека Drive Accessory содержит элементы, которые упрощают моделирование трансмиссий. Для моделирования и анализа крутящего момента, который действует во вращательных массовых системах (двигатели, коробки передач или дифференциалы), может использоваться элемент Mount. Элемент Shaft Segment используется для моделирования валов.

***Couplings / Clutches.*** Библиотека Couplings / Clutches содержит множество типов моделей для представления муфт и сцеплений. Данные элементы можно легко использовать, применяя параметры элементов по умолчанию. Большие возможности параметризации элементов с учетом нелинейностей позволяют точно и очень быстро выбрать свойства модели (таких, как жесткость, демпфирование, гистерезис).

***Transmission Elements.*** Модели библиотеки Transmission Elements работают с больше, чем одной степенью свободы вращения, как это делается в традиционном анализе

вибраций при вращении. Свойства валов и подшипников (жесткость, демпфирование, преднатяг, ...) моделируются присоединением дополнительных элементов к соответствующим степеням свободы.

***Planetary Gears.*** Библиотека Planetary Gears содержит типы моделей для создания планетарных механизмов. Комбинация этих структур с компонентами масс и инерций коробки переключения передач дает возможность смоделировать все типы планетарных коробок передач.

***Synchronizers.*** Библиотека Synchronizers содержит типы моделей, которые позволяют пользователю моделировать синхронизаторы, используемые в механических или автоматизированных КПП.

***Combustion Engines I.*** Библиотека Combustion Engines I содержит много типов моделей для моделирования двигателя внутреннего сгорания. Эти структуры двигателя внутреннего сгорания могут использоваться как компоненты в механических передачах или для отдельного анализа ДВС. Библиотека включает в себя типы моделей для моделирования мощности двигателя (коэффициенты Фурье, давление в цилиндре или моменты вращения), рядные цилиндры или V-образные пары цилиндров с учетом или без учета упругости и несколько полных моделей ДВС (дизель или бензиновый двигатель, с 2-мя или 4-мя цилиндрами).

***Combustion Engines II.*** Библиотека Combustion Engines II содержит типы моделей для динамического расчета сгорания в цилиндрах. Кроме того, библиотека включает элемент, который может использоваться для управления двигателем. Покупка библиотеки Combustion Engines II включает все типы моделей библиотеки Combustion Engines I. Элементы обеих библиотек могут произвольно использоваться в пользовательских моделях.

## **Механика**

Используя библиотеки Mechanics, пользователь решает задачи моделирования и анализа механических систем. Элементы позволяют быстро создавать схемы с требуемой размерностью (одномерные, плоские и трехмерные). Механические системы в SimulationX собираются с помощью массовых, инерционных элементов, элементов пружина-демпфер и элементов сил. Все элементы параметризуются с физическими параметрами. Библиотеки Mechanics являются базовыми для моделирования систем Power Transmission и Fluid Power с механическими компонентами.

### ***Библиотеки Mechanics:***

***Linear Mechanics, Rotary Mechanics.*** Библиотеки Linear Mechanics и Rotary Mechanics обеспечивают основные функциональные возможности для одномерной и плоской механической структуры. Возможности использовать характеристики и выражения для параметризации и концентрировать элементы в подсхемах позволяют создавать сложные механические системы, например, автомобильную трансмиссию или станки. Все элементы могут быть связаны с элементами библиотек Power Transmission или Controls.

**MBS Mechanics.** Библиотека MBS Mechanics позволяет моделировать трехмерные многотельные системы с открытыми и замкнутыми кинематическими связями. С помощью импорта CAD данных в модель могут интегрироваться тела со сложной формой. Различные элементы интерфейса гарантируют, что многотельные структуры могут быть связаны с подсистемами других физических областей (Linear Mechanics, Rotary Mechanics, Hydraulics или Controls). Трехмерная визуализация позволяет наблюдать модель синхронно во время создания, параметризации или моделирования. Модели могут применяться, например, при анализе ветряных электростанций, автомобильной трансмиссии, моделирования шасси или станков.

### **Системы управления**

Библиотеки Controls позволяют моделировать системы управления с и без обратной связи. Используется подход обычный для теории управления. Управляющее и исполнительное устройство могут быть смоделированы в одной модели, для каждого может использоваться свой, наиболее удобный метод. Библиотеки Controls содержат модели сигналов, а также инструмент для создания UML диаграмм состояний (Statechart Designer).

Кроме того, управляющие схемы и алгоритмы управления могут быть напрямую описаны с помощью языка Modelica®. Функциональные возможности библиотек расширены с помощью специальных моделей контролеров, которые применимы, например, для библиотек Power Transmission.

#### ***Библиотеку Controls:***

***Linear Signal Blocks.*** Библиотека Linear Signal Blocks используется для описания линейных систем на основе блок-схем диаграмм. Линейные сигнальные блоки могут применяться, например, для реализации непрерывных линейных систем, такие как аналоговые средства управления.

***Nonlinear Signal Blocks.*** Библиотека Nonlinear Signal Blocks содержит элементы для нелинейной обработки сигнала. Кроме описания преобразования сигналов и подсистем, библиотека может использоваться для моделирования различных нелинейностей.

***Signal Sources.*** Библиотека Signal Sources позволяет описывать произвольные сигналы с зависимостью от времени (импульсы, периодические сигналы, произвольные законы), а также с многомерными характеристиками. Сигналы могут быть как функцией от времени, так функциями от какого-либо одного или более значения. Кривые могут определяться вручную (с помощью таблиц или редактируемых графиков) или данным из файлов. Таким образом, библиотека также служит мощным интерфейсом для импорта данных в SimulationX.

***Special Signal Blocks.*** Библиотека Special Signal Blocks расширяет возможности SimulationX для того, чтобы моделировать нелинейные эффекты, выполнить анализ сигнала, для наблюдения и обработки событий. Таким образом моделируются, например, последовательные управляющие системы и системы, которые структурно изменяются во время моделирования. Библиотека дополняет библиотеки Signal Sources, Linear Signal Blocks и Nonlinear Signal Blocks.

***Time-Discrete Signal Blocks.*** Библиотека Time-Discrete Signal Blocks создана для решения задач цифровой обработки сигналов. В частности, модели библиотеки подходят для моделирования цифровых контроллеров и фильтров. Элементы библиотеки эффективно интегрируются с непрерывными моделями. Библиотека обеспечивает необходимые интерфейсы и контроль за размером шага в алгоритме моделирования гарантируя, что решатель обработает все выборки во время моделирования.

***Switches.*** Библиотека Switches используется для моделирования переключателей в схеме. Это позволяет моделировать управление, логические условия и структурные изменения системы на сигнальном уровне.

***Statechart Designer.*** Statechart Designer может облегчить моделирование сложных дискретных систем, и схем состояний. Также поддерживается моделирование физических эффектов или технических подсистем с дискретными состояниями (например, трение, гистерезис, клапана и переключатели). Основываясь на UML Statechart, графический редактор позволяет моделировать легко и интуитивно.

## **Электротехника**

В области электротехники SimulationX позволяет моделировать электрические и магнитные явления используя сетевые модели. Кроме того, подробные модели электродвигателей и шаговых двигателей служат для связи электрических моделей с механическими передачами.

Таким образом, сложное поведение, которое присутствует в управляемых электромеханических устройствах, легко моделируется.

## **Пример.**

На рисунке 1 показана модель одномассового осциллятора, который моделируется элементами линейной механики. Масса представлена элементом *mass1*. Введено начальное смещение 1 мм. Во время моделирования можно наблюдать его перемещение  $x$  (текущее положение от времени). Кроме того, перемещение можно инициализировать и наблюдать на узле *connection1*. Внутренняя сила  $F_i$  в элементе *springDamper1* является расчетной силой для системы пружина-демпфер.

Diagram View

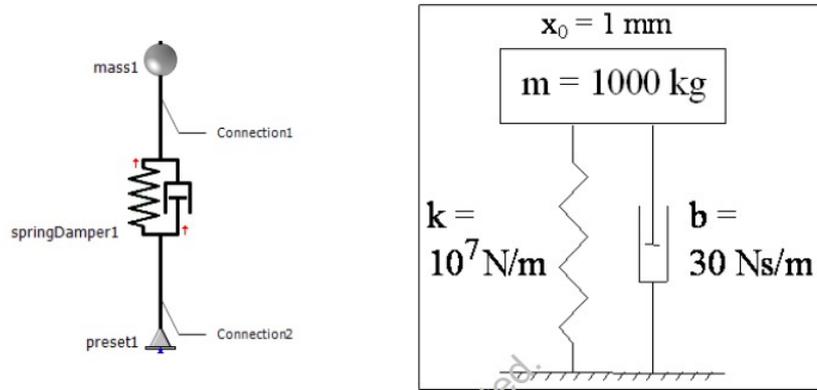


Рисунок 1 – Модель одномассового осциллятора

**Основные результаты моделирования**

x - mass1

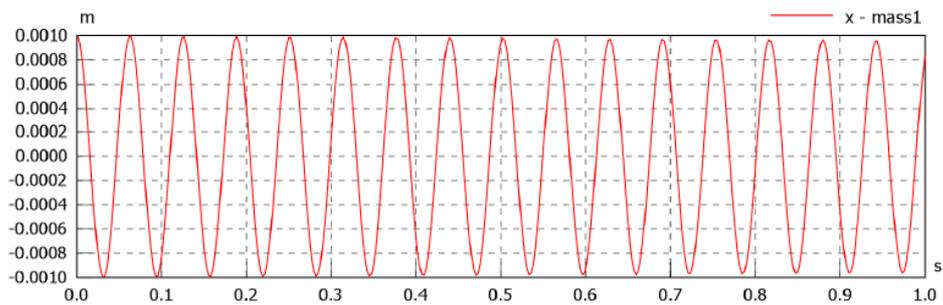


Рисунок 2 – Колебания массы1

Natural Frequencies and Modes\Natural Frequencies  
Eigenvalues

No.	Value	f [Hz] (undamped)	f [Hz] (damped)	D [-]	Time Constant [s]
f1	-0.015± 100 i	15.915	15.915	0.00015	66.667

Рисунок 3 – Собственные частоты системы

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Сайт фирмы ITI GmbH (разработчик SimulationX) - <http://www.simulationx.com/>

## REFERENCES

- 1 Сайт фирмы ITI GmbH (разработчик SimulationX) - <http://www.simulationx.com/>  
**на англ языке**

## Резюме

*Г. УӘЛИЕВ, А.А. ЖОМАРТОВ, З.Г. УӘЛИЕВ*

(ҚР БҒМ Механика және машинатану институты, Алматы)

SIMULATIONX БАҒДАРЛАМА КЕШЕНІНДЕ ТЕТІКТЕР МЕН  
МАШИНАНЫҢ ҚОЗҒАЛЫСЫН ҮЛГІЛЕУ

Мақалада SimulationX бағдарламасының қысқаша сипаттамасы келтірілген. SimulationX бағдарламасы машинатанудың күрделі динамикалық міндеттерін шешу үшін өте ыңғайлы. SimulationX бағдарламасының көмегі арқылы үлгілеу мысалдары келтірілген.

**Кілт сөздер:** пішіндеуі, динамика, механизм.

## Summary

*G. UALIYEV, A.A. JOMARTOV, Z.G. UALIYEV*

(Mechanics and Engineering Institute , Almaty)

MODELING OF MOTION MECHANISMS AND MACHINES ON SOFTWARE  
SIMULATIONX

In paper the brief description of a program complex SimulationX is resulted. The program complex SimulationX very well approaches for the decision of complex dynamic tasks of mechanical engineering . The example of modeling is resulted through the program SimulationX.

**Keywords:** modeling, dynamic, mechanisms.

*Поступила 01.04.2013 г.*