

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

УДК 004.942

В.К. Манжосов, Д.А. Новиков

ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПРИ УДАРАХ О ПРЕПЯТСТВИЕ¹

Манжосов Владимир Кузьмич, доктор технических наук, профессор, окончил машиностроительный факультет Фрунзенского политехнического института, заведующий кафедрой «Теоретическая и прикладная механика» Ульяновского государственного технического университета. Имеет статьи, монографии, изобретения в области динамики машин, моделирования процессов удара. [e-mail: v.manjosov@ulstu.ru].

Новиков Дмитрий Александрович, окончил факультет информационных систем и технологий УлГТУ, ассистент кафедры «Теоретическая и прикладная механика» УлГТУ. Имеет статьи в области моделирования процессов движения ударных механизмов. [e-mail: nia@ulstu.ru].

Аннотация

Рассмотрена модель движения ударной системы при действии периодической силы релейного типа и ударах о преграду. Предложен алгоритм управления процессом моделирования и элементы его реализации в проблемно-ориентированном программном комплексе при вычислительном эксперименте.

Ключевые слова: программный комплекс, моделирование движения, удар о препятствие, вычислительный эксперимент.

Vladimir Kuzmich Manzhosov, Doctor of Engineering, Professor; graduated from the Faculty of Machine-Building of Frunze Polytechnical Institute; head of the Chair 'Theoretical and Applied Mechanics' at Ulyanovsk State Technical University; author of articles, monographs, inventions in the field of dynamics of machines, modeling of shock processes. e-mail: v.manjosov@ulstu.ru.

Dmitry Alexanderovich Novikov, graduated from the Faculty of Information Systems and Technology of Ulyanovsk State Technical University; assistant lecturer at the Chair 'Theoretical and Applied Mechanics' of Ulyanovsk State Technical University; author of articles in the field of modeling of shock-mechanism motion processes. e-mail: nia@ulstu.ru.

Abstract

The paper deals with a model for shock-system motion under periodic force of relay type and in case of a collision with an obstacle, and suggests an algorithm of modeling control and elements of its implementation in problem-oriented software system for a computational experiment.

Key words: software system, motion modeling, collision with obstacle, computational experiment.

¹ Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (2009–2011 гг.), ГК № П 1122.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективный метод анализа динамических процессов, возникающих при движении твердого тела и периодических ударах о препятствие, связан с возможностью моделирования этих процессов [1].

В работе [2] рассмотрена модель объекта, представленного в виде движущегося вдоль оси x тела m , на которое действует некоторое переменное во времени возмущение $P(t)$. При движении объекта происходит его столкновение с жесткой преградой, положение которой определяется координатой x_c . Движение объекта описывается уравнениями:

$$m \cdot \ddot{x} = P(t), \quad x(t_0) = x_0, \quad \dot{x}(t_0) = \dot{x}_0,$$

$$P(t) = \begin{cases} P_1, & (n-1)T \leq t < (n-1)T + t_1, \\ P_2, & (n-1)T + t_1 \leq t < n \cdot T, \end{cases} \quad n = 1, 2, 3, \dots,$$

при $x = x_c$, если $\dot{x}^- > 0$, то $\dot{x}^+ = -R \cdot \dot{x}^-$,

где P_1, P_2 – силы, действующие на массу m соответственно в направлении преграды и в обратном направлении;

T – период силового воздействия;

t_1 – длительность действия силы P_1 ;

n – номер цикла силового воздействия;

x_0 – координата массы в начальный момент времени при $t = t_0$;

\dot{x}_0 – скорость ударной массы в начальный момент времени;

\dot{x}^- – скорость ударной массы перед столкновением с преградой;

\dot{x}^+ – скорость ударной массы после столкновения с преградой;

R – коэффициент восстановления скорости при ударе.

Разработан программный продукт [3], обеспечивающий численное решение дифференциальных уравнений движения с учетом соударений, разрывных функций силового воздействия на объект, явления дребезга, графическим и числовым воспроизведением параметров движения в процессе моделирования.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

Программный комплекс, блок-схема которого представлена на рисунке 1, обеспечивает возможность моделирования разнообразных режимов движения ударной системы при изменении исходных параметров или

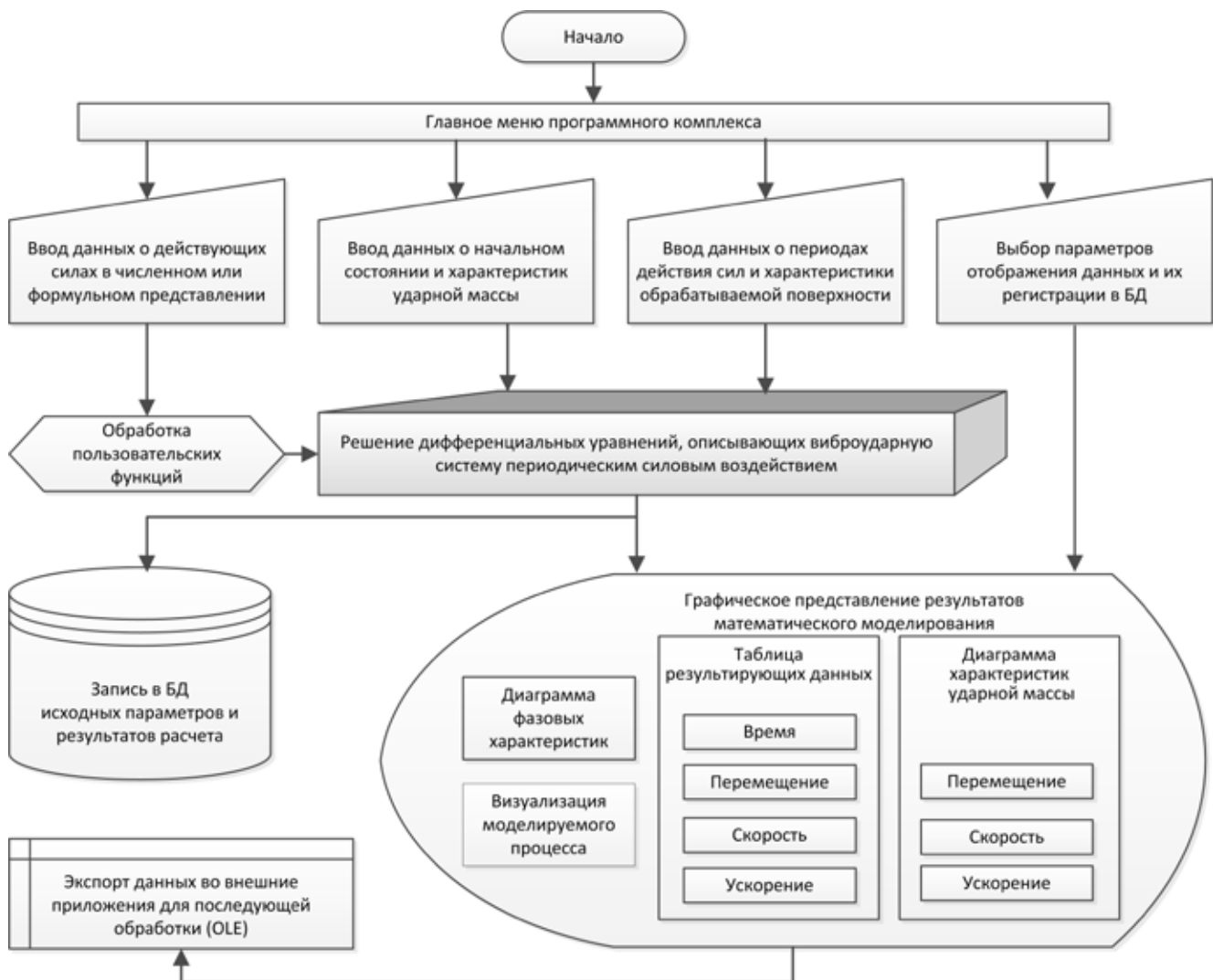


Рис. 1. Блок-схема программного комплекса

использования результатов вычислительных экспериментов, сохраненных в базе данных системы.

К исходным параметрам вычислительного эксперимента относятся: начальное положение объекта, его начальная скорость, коэффициент восстановления послеподарной скорости, масса объекта, период действия сил, момент переключения действующих сил, величины или аналитическое описание действующих сил, а также название эксперимента и его исполнитель. Номер эксперимента является уникальным ключом, идентифицирующим эксперимент.

Переход от одного к другому эксперименту, а также создание, сохранение, обновление и удаление результатов эксперимента производится с помощью панели навигации.

Выбор базы данных

В работу программного комплекса заложена возможность использования программного продукта с несколькими типами баз данных: автономными и клиент-серверными базами данных. Обеспечиваются оба типа соединения посредством доступа к базам данных через Microsoft ActiveX Data Objects (ADO), связь с данными в котором обеспечивается посредством технологии OLE DB.

Подключение к той или иной базе происходит при помощи выбора типа соединения и, как следствие, изменения строки соединения вышеуказанных компонент.

Данная возможность реализована для построения рабочих моделей эксперимента вне зависимости от используемой аппаратной платформы как на локальных ПЭВМ, так и объединенных в локальную сеть с выделенным сервером баз данных.

Стоит отметить, что в случае использования клиент-серверной технологии регистрации экспериментов можно отойти от проблемы синхронизации наработанных баз данных. Однако, используя автономную базу данных, представленную в виде базы данных Microsoft Access 2003, можно применять программный продукт без предварительной подготовки ПЭВМ (за исключением случаев отсутствия на ЭВМ программного комплекса Microsoft

Office, что встречается сравнительно редко).

Программный продукт автоматически создает соединение ODBC, настроенное на необходимую базу данных, что значительно сокращает время наладки программного комплекса.

Формализация силовых воздействий

Формализация действующих на объект сил позволяет исследовать и проводить эксперименты с моделями, максимально приближенными к реальным системам. Подсказка с основным описанием существующих компилируемых блоков формул представлена на рисунке 2.

Автор эксперимента может задать формулу для расчета любой из действующих сил, используя набор вышеуказанных команд для компилятора формул. Компиляция производится посредством встроенного блока анализа строковой величины.

Формализация сил по экспериментальным данным

В программном продукте предусмотрен блок формализации сил по экспериментальным данным. Для хранения данных о значении сил на интервале времени, равному длительности силового воздействия, разработана отдельная подпрограмма, воспроизводящая связанную таблицу. По таблице осуществляется навигация, а набор и редактирование данных реализуются непосредственно в табличной части.

В результате такой формализации можно получить данные о значении сил и времени их переключения. В вычислительном блоке осуществляется линейная аппроксимация силовой функции по точкам.

Блок графического представления результатов математического моделирования

Запуск процедуры моделирования эксперимента, его остановка, продолжение, пошаговое выполнение и очистка производятся с помощью панели управления моделированием.

После нажатия на кнопку «Старт» происходит запуск таймера процедуры численного расчета дифференциальных уравнений движения.

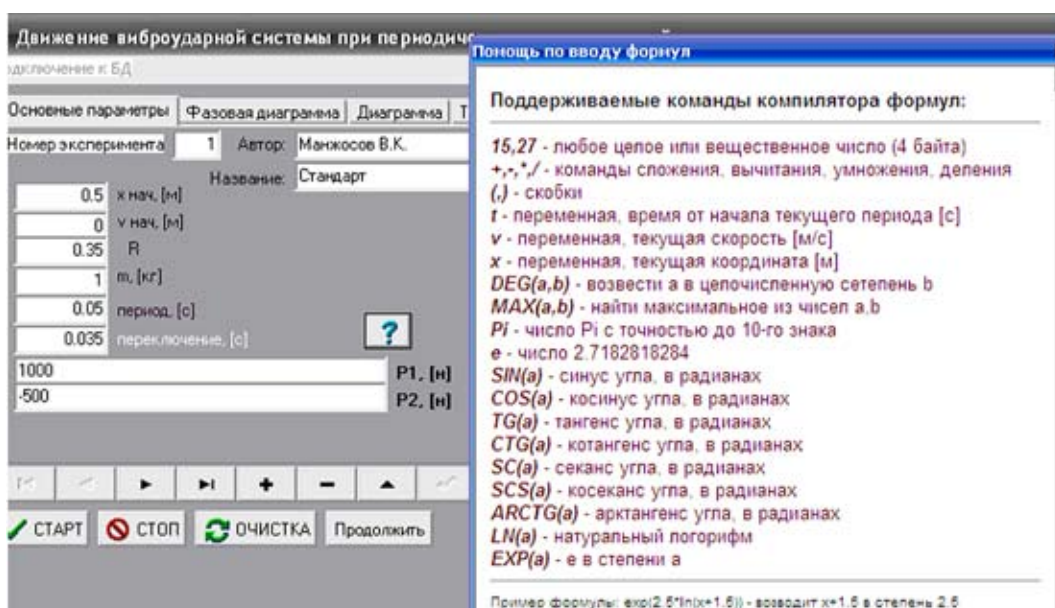


Рис. 2. Компилируемые блоки формул

Задержка анимации позволяет регулировать скорость отображения процесса моделирования.

Обеспечивается возможность изменения величины временного шага при вычислениях.

Фазовая диаграмма

Отображение окна фазовой диаграммы происходит при выборе пункта «Отображать». Фазовая диаграмма графически изображает изменение скорости объекта в зависимости от координаты. Масштабы осей абсцисс и ординат настраиваются через вкладку «Фазовая диаграмма». Здесь можно также настроить размеры отображаемого окна.

Отдельное внимание уделено флагу очищения фазовой диаграммы после удара. Данный функционал позволяет очистить координатную плоскость от фазовых диаграмм предыдущих циклов и обеспечить возможность построения фазовой диаграммы предельного цикла.

Блок определения удара с максимальной скоростью

Важным моментом анализа функционирования системы является определение максимальной скорости удара при столкновении объекта с препятствием.

Для анализа необходимо фиксировать первый удар на протяжении каждого периода действия сил. Данная опция реализуется в программном продукте. При этом осуществляется запись в соответствующую связанную таблицу базы данных, где фиксируется номер эксперимента, номер периода, предупредительная скорость, время нанесения удара. Эти данные используются другими блоками про-

граммного продукта для таких функций, как очистка фазовой диаграммы, определение момента выхода на установившийся режим.

Диаграммы координаты, скорости и ускорения

Блок отображения диаграмм координаты, скорости и ускорения объекта предусматривает возможность графического отображения параметров движения при вычислительном эксперименте.

Существует возможность выбора необходимых к отображению параметров и сетки их значений, а также цвета отображаемых диаграмм. Все данные параметры можно выбрать на вкладке «Диаграмма» основного окна панели управления (рис. 3). На этой вкладке можно изменить масштабы отображения графиков.

При остановке процесса моделирования обеспечивается возможность активировать горизонтальную линию на отображаемых графиках скорости с целью визуальной оценки выхода ударной системы на установившийся режим движения.

Воспроизведение диаграмм перемещения, скорости и ускорения при фоновом моделировании

Для проведения сравнительного анализа результатов моделирования различных экспериментов в программном продукте существует вкладка «Фоновая модель», отвечающая за проведение параллельного расчета эксперимента и вывод данных результатов моделирования для воспроизведения в виде диаграмм координаты, скорости и ускорения.

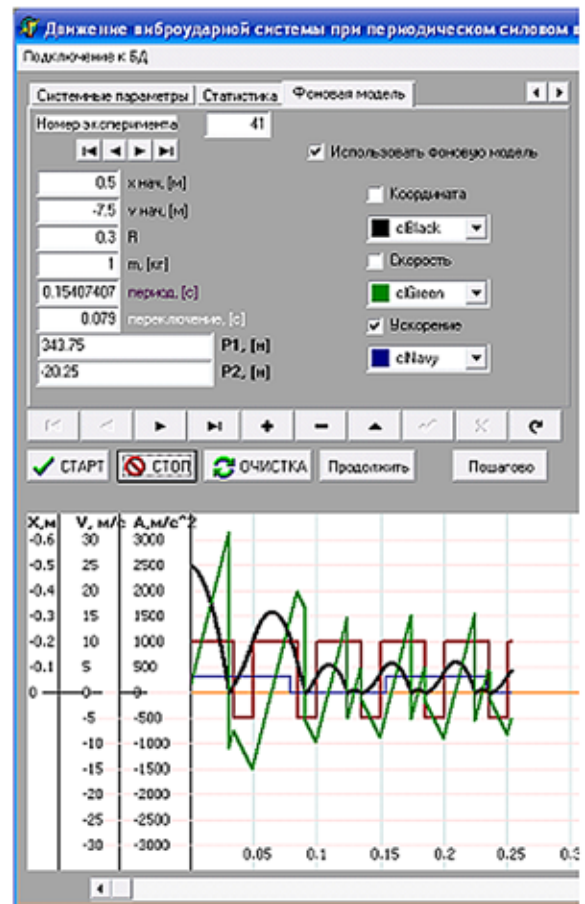
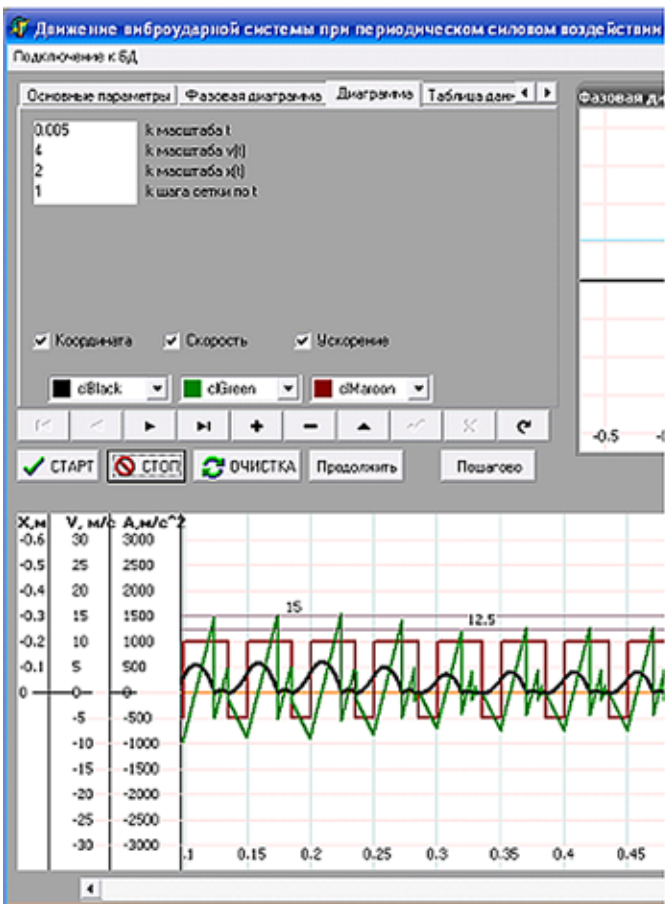


Рис. 3. Воспроизведение диаграмм координаты, скорости и ускорения объекта

Навигация по экспериментам также производится на данной вкладке. При этом редактирование, удаление и добавление экспериментов с этой вкладки недоступны. Цвет для показателей фоновой модели изменяется отдельно, с разницей лишь в толщине линий отображаемых диаграмм.

Табличное отображение результатов моделирования

Немаловажным при проведении эксперимента является запись численных значений параметров движения системы в процессе моделирования. С этой целью в программном комплексе реализован блок табличного отображения числовых значений параметров при моделировании. Настройки на вкладке «Таблица» основного экрана программы позволяют выбирать необходимые к записи параметры, а также отображать или нет форму «Таблица параметров».

На самой форме «Таблица параметров» присутствуют дополнительные настройки записи значений параметров в табличную часть формы. Настраиваемое поле «Пропуск записей» позволяет регулировать частоту снятия записей в режимах разгона и торможения объекта, а поле «Критическая координата» указывает, при достижении какого значения координаты объекта начнется запись параметров на каждом расчетном шаге. Форма поддерживает копирование данных в OLE Container и вставку данных в любом из приложений, поддерживающих данный стандарт. В частности использовался Microsoft Excel для сравнения данных результатов нескольких экспериментов и построения графиков.

Блок генерации случайных отклонений

Для оценки устойчивости движения при выполнении вычислительного эксперимента используется «Блок случайных изменений», находящийся на вкладке «Таблица» основной формы программного продукта. Данный блок позволяет вводить случайное малое отклонение входных параметров системы, таких, как коэффициент восстановления послеударной скорости, период цикла, время переключения действующих сил.

Величина возможного случайного отклонения также задается напротив выбора параметра для случайного отклонения по модулю в процентах. При наступлении события случайного отклонения система сообщает об измененном значении выбранного параметра.

Общий вид интерфейса программного комплекса для моделирования процесса движения механической системы при периодическом силовом воздействии и ударах о преграду представлен на рисунке 4 (процесс моделирования зафиксирован в момент нанесения удара массы по ограничителю).

В левом верхнем углу окна расположена панель управления исходными данными и параметрами отображения, содержащая вкладки, отвечающие за конкретные параметры и настройки процесса моделирования.

Непосредственно под набором вкладок, регулирующих настройки процесса моделирования, находится панель управления базой данных экспериментов, позволяющая добавлять, удалять, сохранять изменения и производить

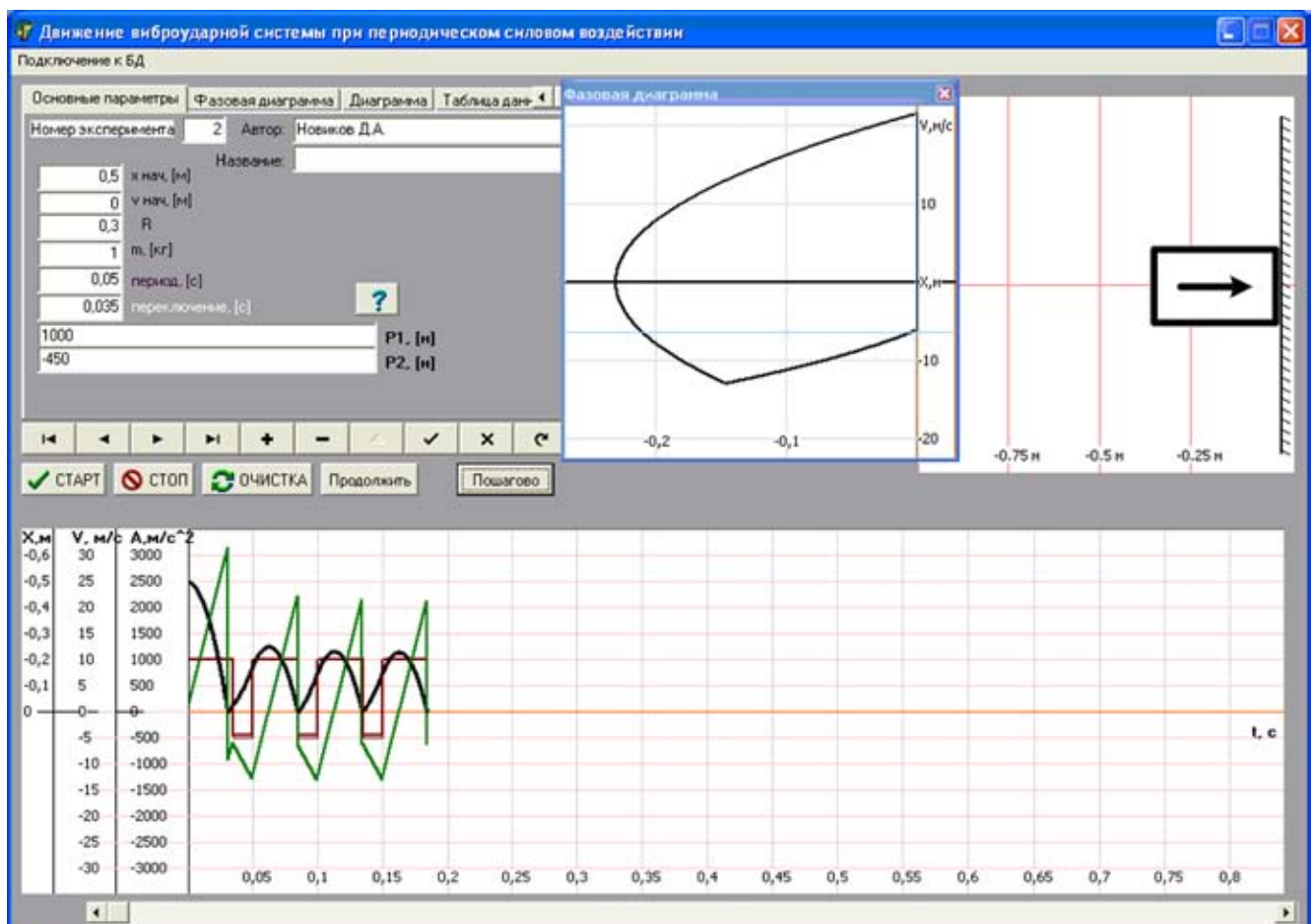


Рис. 4. Общий вид интерфейса (процесс зафиксирован в момент нанесения удара)

навигацию по хранящимся в базе проведенным экспериментам.

Внизу панели управления расположены кнопки «старт», «стоп», «очистка». Вывод курсора на эти кнопки позволяет начинать процесс моделирования (кнопка «старт»), останавливать процесс моделирования (кнопка «стоп»).

Обозначив курсором кнопку «старт», пользователь осуществляет запуск процесса моделирования. На экране монитора реализуется анимационный процесс движения ударной массы, воспроизводятся диаграммы положения x , скорости v и ускорения A (по желанию пользователя) ударной массы, а также фазовая диаграмма $v = v(x)$ движения ударной массы.

Если возникает необходимость фиксации параметров движения, пользователь курсором на панели управления активирует кнопку «стоп». Движение системы прекращается, фиксируются диаграммы положения x , скорости v и ускорения ударной массы A , время t , фазовая диаграмма движения $v = v(x)$.

Проанализировав результаты, пользователь может продолжить процедуру моделирования, воспользовавшись вновь кнопкой «старт».

Возможна пошаговая реализация процесса моделирования при помощи кнопки «Пошагово».

В программном продукте существует табличная вкладка, отображаемая также по желанию пользователя. В данной таблице можно просмотреть числовой массив интересующих данных, копировать в буфер обмена и использовать в сторонний буфер приложения для дальнейшей обработки результатов моделирования.

Отдельное внимание следует уделить вкладке «Статистика» – она используется для построения модели силового воздействия на ударник на основе экспериментальных данных, что позволяет оценивать достоверность полученной модели по реальным данным эксперимента.

Выводы

Создан проблемно-ориентированный программный комплекс для моделирования движения объекта с ударами о препятствие.

Процесс моделирования основывается на численном решении дифференциальных уравнений движения с учетом соударений, разрывных функций силового воздействия на объект, явления дребезга, с воспроизведением параметров движения в виде соответствующих диаграмм и таблиц.

В работу программного комплекса заложена возможность использования программного продукта с несколькими типами баз данных: автономными и клиент-серверными базами данных.

Формализация действующих на объект сил, реализуемая в программном комплексе, позволяет исследовать и проводить вычислительные эксперименты с моделями, максимально приближенными к реальным системам.

Воспроизведение диаграмм перемещения, скорости и ускорения, а также фазовых диаграмм на каждом цикле движения объекта позволяет фиксировать длительность переходных процессов и предельные циклы движения.

При выполнении вычислительного эксперимента исследователь может использовать блок случайных изменений параметров, позволяющий вводить случайное малое отклонение входных параметров системы (таких, как коэффициент восстановления скорости при ударе, период цикла, время переключения действующих сил). Тем самым созданы предпосылки для оценки устойчивости движения объекта при периодическом силовом воздействии и ударах о преграду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов О.Д., Басов С.А. Гидравлические виброударные системы. – М. : Наука, 1990. – 352 с.
2. Манжосов В.К., Новиков Д.А. Моделирование режимов движения виброударной системы при периодическом силовом воздействии // Известия Саратовского университета. Новая серия. Т. 10, Сер. Математика. Механика. Информатика. – 2010. – Вып. 4. – С. 65–71.
3. Моделирование виброударной системы при периодическом силовом воздействии с учетом явления дребезга : св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ / Манжосов В.К., Новиков Д.А., Корняков Д.Е., Муромцев И.И. – № 2010614035 ; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 22.06.10.