

*О. А. Хохлова, А. В. Хохлов, Е. В. Пономарёва*

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРОННЫХ ПРОБЛЕМНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ

Рассматривается комплекс электронных проблемно ориентированных обучающих систем (ЭПООС) по теоретической механике, разработанный на кафедре механики и инженерной графики Астраханского государственного технического университета. Компоненты комплекса: электронный учебник (разделы «Теоретический материал», «Тесты и задачи», «Практикум»); банк многовариантных заданий для самостоятельной работы студентов и контроля их знаний; генератор учебных заданий заданной сложности с автоматической проверкой результатов; комплекс tws-программ (Maple) для компьютерного моделирования и автоматизации расчёта механических систем с визуализацией результатов; обучающий web-сайт, на котором размещены перечисленные выше компоненты. Разрабатывается программный продукт с возможностью пошагового решения типовых задач по теоретической механике. Представлена методика решения задач статики на примере выполнения типового задания по теме «Определение реакций опор твёрдого тела» с помощью обучающего web-сайта. Комплекс используется при очном, заочном и дистанционном обучении студентов в автономном и сетевом режимах. Описаны преимущества комплекса. Особая актуальность комплекса в настоящее время обусловлена резким сокращением в вузах количества аудиторных часов и увеличением количества часов на самостоятельную работу студентов. Эффективность методики обучения с использованием комплекса ЭПООС подтверждена актами о внедрении, утвержденными тремя российскими университетами.

**Ключевые слова:** теоретическая механика, статика, обучающий web-сайт, программный продукт.

### **Введение**

В настоящее время российская экономика нуждается в кардинальной модернизации. В значительной мере это связано с критической зависимостью отдельных отраслей национального хозяйства от зарубежных поставщиков и технологий. В связи с этим в экономическом развитии страны особенно актуальным становится решение проблемы импортозамещения, т. е. замены на российском рынке товаров иностранного производства отечественными. Для решения таких приоритетных задач, как импортозамещение, повышение энергоэффективности, ресурсосбережение, развитие ядерных, космических, медицинских и информационных технологий необходимы высококвалифицированные инженерные кадры, способные обеспечить конкурентоспособность российской продукции и технологий на внутреннем и международном рынках.

Современные реалии ставят перед системой высшего профессионального образования проблему обеспечения регионов квалифицированными инженерными кадрами, умеющими самостоятельно учиться и овладевать профессиональными видами деятельности. Подготовка будущих инженеров осуществляется в процессе изучения естественнонаучных дисциплин и дисциплин общепрофессионального цикла, в том числе теоретической механики, которая является базой для изучения родственных технических дисциплин (технической механики, прикладной механики, сопротивления материалов, теории механизмов и машин, деталей машин). Знание законов и принципов теоретической механики необходимо для решения многих профессиональных задач (расчёт, сооружение и эксплуатация высотных зданий, мостов, тоннелей, плотин, гидромелиоративных сооружений, трубопроводного транспорта нефти и газа и др.).

В условиях резкого сокращения числа аудиторных часов ведущие лекторы вынуждены искать пути оптимизации процесса обучения теоретической механике, поскольку даже при очном обучении студент существенную часть времени занят самостоятельной работой. Такое положение вещей обуславливает потребность в поиске и создании эффективных средств дистанционного обучения, направленных на организацию самостоятельной работы студентов, усвоение знаний по изучаемым дисциплинам и формирование способностей применить эти знания в будущей профессиональной деятельности. Именно поэтому применение технологий и средств дистанционного обучения в образовательном процессе высших технических учебных заведений находит своё отражение не только в работах исследователей, но и в практической деятельности вузов.

### Постановка и решение задачи

Основная задача исследования – обоснование, разработка и практическая реализация модели дистанционного обучения теоретической механике студентов технических вузов, применение которой позволило бы подготовить студента, усвоившего знания по теоретической механике и овладевшего обобщенными методами решения задач.

С этой целью на кафедре механики и инженерной графики Астраханского государственного технического университета был создан комплекс электронных проблемно ориентированных обучающих систем (ЭПООС), активизирующий процесс обучения теоретической механике и используемый для работы со студентами очной, заочной и дистанционной форм обучения в автономном и сетевом режимах. Студенты традиционной формы обучения приобретают навыки самостоятельной работы с программами, получают более наглядное представление о процессах, рассматриваемых в механике. Студенты заочной и дистанционной форм обучения обеспечиваются гибкой системой образования, выражающейся в её организации с учётом индивидуального графика занятий обучаемого.

Особую актуальность предлагаемый комплекс приобретает в настоящее время в условиях резкого сокращения числа аудиторных часов на изучение дисциплины и, соответственно, увеличения числа часов на самостоятельную работу студентов.

Комплекс ЭПООС представлен следующими компонентами:

- 1) электронный учебник [1], содержащий разделы «Теоретический материал» [2, 3], «Тесты и задачи», «Практикум»;
- 2) банк многовариантных заданий для самостоятельной работы студентов и контроля их знаний;
- 3) генератор учебных заданий по всем основным разделам теоретической механики;
- 4) программный продукт с возможностью пошагового решения типовых задач по теоретической механике (находится в разработке);
- 5) комплекс mws-программ (Maple), предназначенных для компьютерного моделирования и автоматизации расчёта механических систем с визуализацией результатов и используемых как генераторы заданий заданной сложности с автоматической проверкой результатов [4–8];
- 6) обучающий web-сайт, на котором размещены перечисленные выше компоненты [9].

Предлагаемый комплекс, размещённый на обучающем web-сайте [9], может работать в двух режимах: «Преподаватель» и «Студент».

В первом режиме генерируются учебные задания и автоматически производится проверка их выполнения обучаемыми, формируются тесты для промежуточного и итогового контроля знаний; во втором осуществляется самоподготовка студентов различных форм обучения.

Режим «Ученик» представлен в виде тренировочных модулей, работу которых можно разбить на следующие этапы: подготовительный, тренировочный и основной.

На *подготовительном* этапе осуществляется организация работы по усвоению базовых понятий. Студенту предлагается определение понятия, в котором он должен выделить ключевые признаки, затем – ряд практических примеров с требованием выявить наличие этих признаков и установить соответствие исследуемого объекта данному понятию. Например, при подготовке к выполнению задания «Определение реакций связей, приложенных к твёрдому телу» обучаемому предлагается выполнить ряд тестов по данной теме. Программа обучающего web-сайта [9] проверяет задание и оценивает правильность их выполнения.

На *тренировочном* этапе обучаемый выполняет задания с помощью программного продукта, предоставляющего возможность их пошагового решения. Программа автоматически разбивает выполнение задания на ряд более мелких подзадач, осуществляет проверку правильности их решения и в случае необходимости указывает на ошибки. После выполнения предложенного задания обучаемый анализирует последовательность операций, т. е. выбирает методику решения. В приложениях обучающего web-сайта [9] во время решения заданий отображаются названия операций, и у студента, выполняющего эти операции, формируется правильная последовательность операций согласно выбранной методике.

*Завершающий* этап заключается в самостоятельном выполнении заданий с помощью выработанной ранее методики решения, при этом обучаемому необходимо определить последовательность действий при решении задачи на рассматриваемую тему. В распоряжении обучаемого находятся приложения программного продукта пошагового решения, содержащие списки опе-

раций, которыми он воспользовался при выполнении заданий на подготовительном этапе. После этого студент самостоятельно выполняет задания в соответствии с выбранной методикой решения с применением результатов подготовительного этапа.

**Примеры реализации методологии**

Рассмотрим пример выполнения типового задания по статике на тему «Определение реакций опор твёрдого тела», представленного на web-сайте [9] (исходная схема и условие приведены на рис. 1).

Тяжелая однородная рама расположена в вертикальной плоскости и закреплена в точках А и Н. К раме приложены горизонтальная сила  $P=8\text{кН}$ , наклонная сила  $F=22\text{кН}$  и момент  $M=46\text{кН}\cdot\text{м}$ . Размеры рамы:  $AB=5^*a$ ;  $BC=3^*a$ ;  $CD=8^*a$ ;  $DE=5^*a$ ;  $EH=5^*a$ ;  $DN=2.5^*a$ . Учитывая погонный вес рамы  $\rho=2\text{кН/м}$ , найти реакции опор. При окончательных расчетах принять следующие численные значения:  $a=0.8\text{м}$ ;  $\gamma=2^*\pi/3$ ;  $\beta=\pi/4$ ;  $\alpha=\pi/4$ .

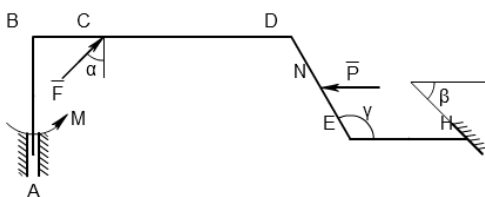


Рис. 1. Пример задания

В ходе выполнения задания в рассматриваемом приложении используются 2 схемы: заданная и расчётная. Обучаемый может переключаться по мере необходимости с одной схемы на другую на любом шаге решения. Заданная схема интерактивна и неизменна, она используется для построения расчётной схемы. Расчётная схема в ходе решения всё время трансформируется.

*Первый шаг исследования – выбор объекта исследования.* Изначально расчётная схема пуста, затем на ней появляется объект исследования, выделенный на заданной схеме (рис. 2).

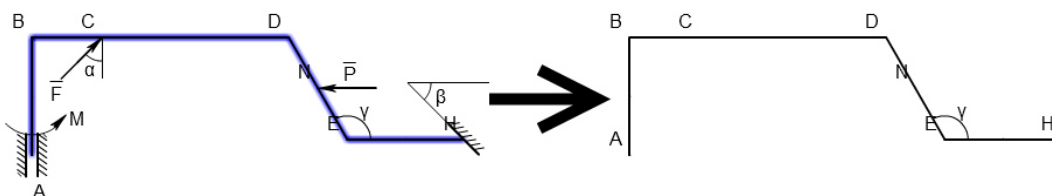


Рис. 2. Выбор объекта исследования

*Второй шаг – приложение к объекту исследования активных нагрузок (сил и пар сил).* Помимо изображенных на заданной схеме активных нагрузок, добавляются силы тяжести его отдельных частей. Результатом выполнения данных действий будет расчётная схема со всеми активными нагрузками, приложенными к объекту исследования (рис. 3).

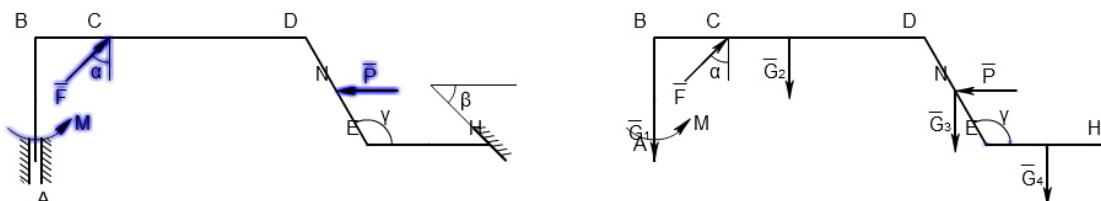


Рис. 3. Приложение активных нагрузок к объекту исследования задачи

*Третий шаг – освобождение объекта исследования от наложенных на него внешних связей.* Обучаемый последовательно выбирает на заданной схеме обозначения связей, определяет их названия, а также ограничиваемые этими связями перемещения объекта исследования. В итоге появляется расчётная схема со всеми приложенными к объекту исследования активными и реактивными силами (рис. 4).

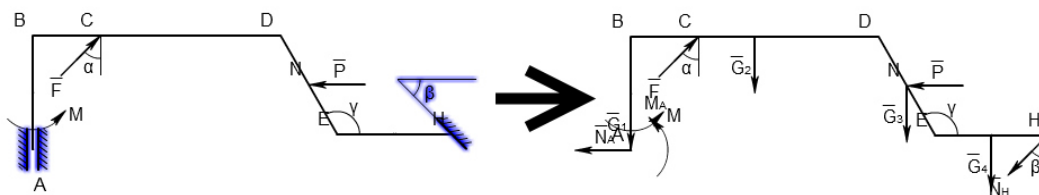


Рис. 4. Замена связей, наложенных на объект исследования, реакциями

*Четвертый шаг – определение вида системы сил, действующих на объект исследования.*

На расчётной схеме появляются линии действия всех сил, приложенных к исследуемому объекту. Для выполнения этого шага обучаемый должен ответить на ряд вопросов:

- совпадают ли линии действия всех сил системы (т. е. является ли система сил линейной);
- лежат ли линии действия всех сил системы в одной плоскости (т. е. является ли она плоской или пространственной системой сил);
- пересекаются ли линии действия всех сил системы в одной точке (т. е. является ли рассматриваемая система сил сходящейся);
- параллельны ли друг другу линии действия всех сил системы (т. е. является ли данная система системой параллельных сил или произвольной системой сил).

Анализируя полученные ответы, обучаемый делает вывод о предложенной в задании системе сил и вводит ответ (рис. 5).

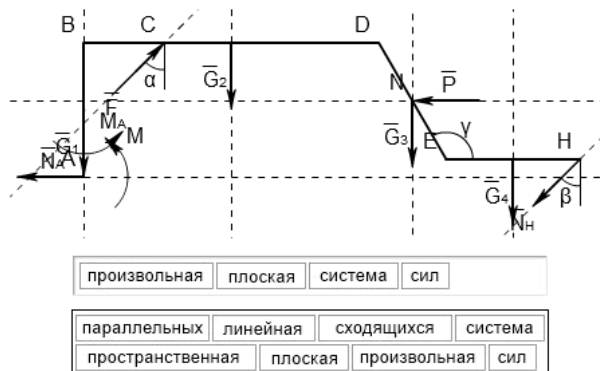
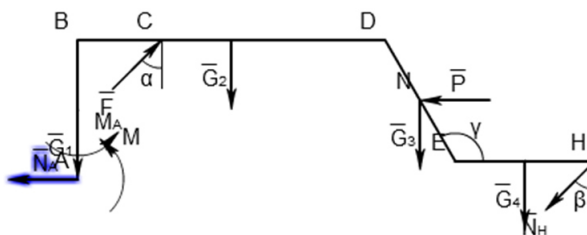


Рис. 5. Определение вида системы сил, действующих на объект исследования

*Пятый шаг – установление статической определенности (неопределенности) рассматриваемой системы сил.* Обучаемый отвечает на вопрос о соответствии количества неизвестных реакций связей (см. третий шаг) числу независимых уравнений равновесия для данной системы в аналитической форме и делает соответствующий вывод.

*Шестой шаг – выбор системы координат.* Обучаемый выбирает систему координат, относительно которой будут составляться уравнения равновесия (рис. 6). Программа пошагового решения задач в случае затруднения может «подсказать» положение точки, служащей началом отсчёта, которую пересекает наибольшее число неизвестных реакций связей, после чего на расчётной схеме появляется выбранная система координат.



Щелкните мышкой по тому изображению вектора силы, направление которого рационально выбрать в качестве направления одной из осей координат (вторая ось будет перпендикулярна первой).

Рис. 6. Выбор системы координат

Седьмой шаг – выбор рациональной формы уравнений равновесия. В зависимости от того, как расположена рассматриваемая система сил на расчётной схеме, выбирается форма уравнений равновесия. В рассматриваемом примере для произвольной плоской системы сил выбирается один из трёх возможных вариантов форм уравнений равновесия (оптимальный (рис. 7)).

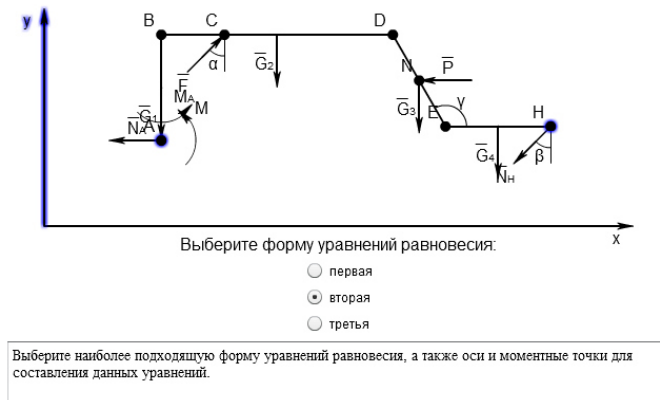


Рис. 7. Выбор оптимальной формы уравнений равновесия

Восьмой шаг – составление уравнений равновесия и проверка правильности решения. Обучаемый последовательно выбирает на расчётной схеме обозначения сил и вводит символьные выражения для вычисления их проекций на оси координат и моментов относительно выбранной моментной точки (рис. 8). После этого на экране отображаются уравнения равновесия. Далее студент самостоятельно решает полученные уравнения и вводит результат в форму для ответа (рис. 9). Если ответ верен (программа считает, что уравнения решены верно, если ответ студента отличается от её данных не более чем на некоторое пороговое значение), то выполняется проверка решения: сначала на расчётной схеме выбирается новая моментная точка для составления уравнения проверки, а затем снова составляется уравнение моментов относительно этой точки.

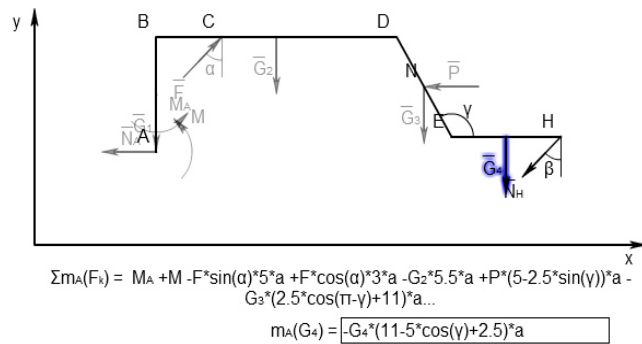


Рис. 8. Составление уравнения моментов

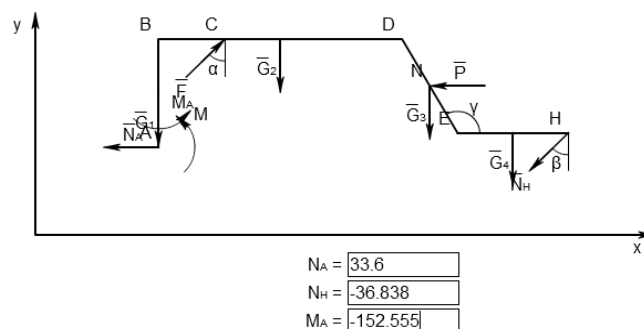


Рис. 9. Ввод решения составленной системы уравнений

Девятый шаг – анализ результатов решения задачи. Обучаемый делает вывод о равновесии системы сил (если в задаче присутствуют неустойчивые связи), а также уточняет действительные направления реакций связей (рис. 10).

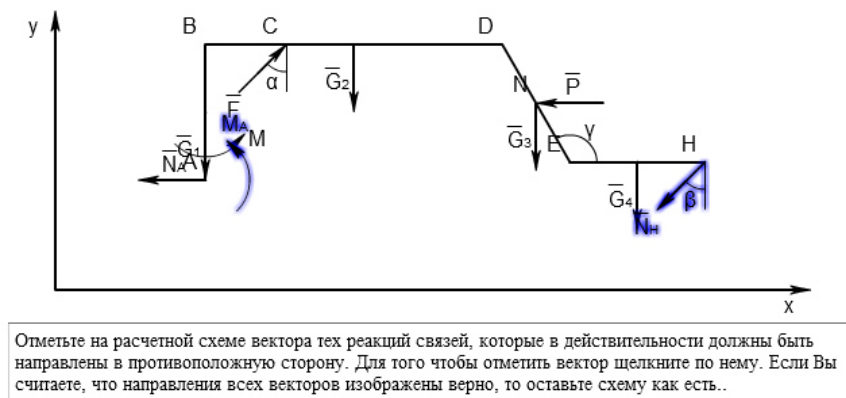


Рис. 10. Определение действительных направлений найденных реакций связей

На основании рассмотренного примера мы можем отметить следующие особенности обучающего web-сайта: высокая детализация выполняемых действий, подробная система подсказок и возможность ввода ответа в различной форме (как символьного выражения, так и сборка ответа из предложенных слов).

### Заключение

Применение комплекса ЭПООС в учебном процессе имеет ряд неоспоримых преимуществ. Использование комплекса:

- повышает интерес обучаемых к дисциплине благодаря лучшей наглядности излагаемого материала;
- позволяет адаптировать теоретический материал, упражнения и задания в соответствии с требуемым уровнем сложности и объемом изучаемого материала;
- позволяет разработать и внедрить принципиально новые расчётные индивидуальные задания, позволяющие сформировать не только базовые знания по теоретической механике, но и ориентированные на приобретение навыков в решении задач, связанных с будущей профессиональной деятельностью;
- существенно сокращает время, необходимое преподавателю при разработке и проверке заданий для индивидуальной работы студентов;
- облегчает контроль промежуточных знаний и проведение итоговой аттестации.

Правовая защищенность комплекса ЭПООС подтверждена 8 свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты работы по данной теме опубликованы более чем в 50 научных статьях, апробированы на научных международных конференциях в форме очных докладов-презентаций, относящихся к области прикладных задач механики и создания дистанционных обучающих систем по механике (Пермь, 2004; Саратов, 2003–2005; Москва, 2004, 2005; Болгария, Варна, 2006; Нижний Новгород, 2006; Франция, Безансон, 2007; Новочеркасск, 2007, 2009, 2010; Астрахань, 2000–2015). Научная работа по теме проводилась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований: гранты 06-07-89195-а «Разработка технологий создания дистанционных информационно-справочно-обучающих (ИСО) комплексов для научных исследований и образовательной деятельности, создание предметных ИСО-сред» и 07-01-08048-з «Участие в 12 Международном конгрессе по теории механизмов и машин ИТОММ-2007». Имеются две золотые медали «Лауреат ВВЦ» (Всероссийский выставочный центр), полученные в 2004 и 2005 гг. Эффективность разработанной методики обучения теоретической механике с использованием комплекса ЭПООС подтверждена актами о внедрении, утвержденными тремя российскими университетами.

В качестве перспектив продолжения исследования могут выступать: разработка методов решения задач других разделов теоретической механики; разработка методики обучения студентов технических вузов по «родственным» теоретической механике дисциплинам, таким как

«Соппротивление материалов», «Прикладная механика», «Техническая механика», «Теория механизмов и машин»; пополнение банка тестовых заданий различного уровня сложности; создание новых mws-программ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Невенчанная Т. О., Павловский В. Е., Пономарева Е. В. Электронный интернет-учебник по теоретической механике. Свидетельство о регистрации № 2004612620; зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 3.12.2004.
2. Хохлова О. А., Пономарева Е. В. Теоретическая механика. Статика: учеб. пособие. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2010. 100 с.
3. Невенчанная Т. О., Хохлова О. А., Пономарева Е. В., Хохлов А. В. Курс теоретической механики. Статика: учеб. пособие. М.: МГУП им. Ивана Федорова, 2013. 188 с.
4. Пономарева Е. В., Хохлова О. А., Хохлов А. В. Программа для статического расчёта плоской составной конструкции (система двух и более тел). Свидетельство об офиц. регистрации № 2010614881; зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 27.07.2010.
5. Хохлова О. А., Хохлов А. В., Синельщиков А. В., Пономарева Е. В. Программа для статического расчета реакций в опорах твердого тела. Свидетельство об офиц. регистрации № 2015612798; зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 26.02.2015.
6. Хохлова О. А., Хохлов А. В., Синельщиков А. В., Пономарева Е. В. Программа для статического расчета пространственных конструкций. Свидетельство об офиц. регистрации № 2015662749; зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 01.12.2015.
7. Синельщиков А. В., Пономарева Е. В., Хохлова О. А., Хохлов А. В. Программа для расчета реакций в опорах пространственной конструкции. Свидетельство об офиц. регистрации № 2015663575; зарегистр. в реестре программ для ЭВМ 24.12.2015.
8. Хохлов А. В. Электронные средства дистанционного обучения теоретической механике: проблемы и пути совершенствования // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8152> (дата обращения: 04.05.2017).
9. URL: <http://www.teormech.ru/>.

Статья поступила в редакцию 22.03.2017

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Хохлова Ольга Александровна** – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры механики и инженерной графики; [hohlova-mps@yandex.ru](mailto:hohlova-mps@yandex.ru).

**Хохлов Александр Васильевич** – Россия, 414014, Астрахань; многофункциональный центр предоставления государственных и муниципальных услуг; программист отдела информационных технологий и массовых коммуникаций; [zaphy@yandex.ru](mailto:zaphy@yandex.ru).

**Пономарёва Елена Владимировна** – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; канд. физ.-мат. наук, доцент; доцент кафедры механики и инженерной графики; [astrax@ Rambler.ru](mailto:astrax@ Rambler.ru).



*O. A. Khokhlova, A. V. Khokhlov, E. V. Ponomareva*

APPLICATION OF A COMPLEX  
OF ELECTRONIC PROBLEM-ORIENTED TRAINING SYSTEMS  
ON THEORETICAL MECHANICS

**Abstract.** The subject of the article is a complex of electronic problem-oriented training systems on theoretical mechanics, developed at the Department of Mechanics and Engineering Graphics of the Astrakhan State Technical University. Components of the complex are: an electronic textbook (including sections "Theoretical material", "Tests and tasks", "Workshop"); bank of mul-

tivariate tasks for independent work of students and control of their knowledge; generator of training tasks of a given complexity with automatic verification of results; complex of mws-programs (Maple) for computer simulation and automation of calculation of mechanical systems with visualization of results; a training website where the listed components are located. The article describes the software that is being developed aiming step-by-step solution of model problems of theoretical mechanics. A technique for solving static problems is presented, as an example is taken a model task on the subject "Determination of the reactions of solid support" using the training website. The complex is used for the full-time-, part-time students and distance learning students in the autonomous and networked modes. The advantages of the complex have been described. Today a special relevance of the complex is stipulated by a significant decrease of the number of classroom tutorials and an increase of the number of hours for students' independent work. The effectiveness of the training methodology using the electronic problem-oriented training systems has been confirmed by the implementation certificates approved by three Russian universities.

**Key words:** theoretical mechanics, statics, training web-site, program product.

#### REFERENCES

1. Nevenchannaia T. O., Pavlovskii V. E., Ponomareva E. V. *Elektronnyi internet-uchebnik po teoreticheskoi mekhanike* [E-textbook on theoretical mechanics]. Svidetel'stvo o registratsii № 2004612620; zaregistrovano v reestre programm dlia EVM 3.12.2004.
2. Khokhlova O. A., Ponomareva E. V. *Teoreticheskaja mekhanika. Statika* [Theoretical mechanics. Statics]. Astrakhan, Izd-vo AGTU, 2010. 100 p.
3. Nevenchannaia T. O., Khokhlova O. A., Ponomareva E. V., Khokhlov A. V. *Kurs teoreticheskoi mekhaniki. Statika* [The course on Theoretical mechanics]. Moscow, MGUP imeni Ivana Fedorova, 2013. 188 p.
4. Ponomareva E. V., Khokhlova O. A., Khokhlov A. V. *Programma dlia staticheskogo rascheta ploskoi sostavnoi konstruksii (sistema dvukh i bolee tel)* [Program for a static analysis of a flat composite structure (a system of two and more bodies)]. Svidetel'stvo ob ofitsial'noi registratsii № 2010614881; zaregistrovano v reestre programm dlia EVM 27.07.2010.
5. Khokhlova O. A., Khokhlov A. V., Sinel'shchikov A. V., Ponomareva E. V. *Programma dlia staticheskogo rascheta reaktsii v oporakh tverdogo tela* [Program for static calculation of reactions of solid support]. Svidetel'stvo ob ofitsial'noi registratsii № 2015612798; zaregistrovano v reestre programm dlia EVM 26.02.2015.
6. Khokhlova O. A., Khokhlov A. V., Sinel'shchikov A. V., Ponomareva E. V. *Programma dlia staticheskogo rascheta prostranstvennykh konstruksii* [Program for static calculation of spatial structures]. Svidetel'stvo ob ofitsial'noi registratsii № 2015662749; zaregistrovano v reestre programm dlia EVM 01.12.2015.
7. Sinel'shchikov A. V., Ponomareva E. V., Khokhlova O. A., Khokhlov A. V. *Programma dlia rascheta reaktsii v oporakh prostranstvennoi konstruksii* [Program for calculating reactions of supports of spatial structures]. Svidetel'stvo ob ofitsial'noi registratsii № 2015663575; zaregistrovano v reestre programm dlia EVM 24.12.2015.
8. Khokhlov A. V. *Elektronnye sredstva distantsionnogo obuchenija teoreticheskoi mekhanike: problemy i puti usovershenstvovaniia* [Electronic means of distance learning of theoretical mechanics: problems and ways of improvement]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*, 2013, no. 1. Available at: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8152> (accessed: 04.05.2017).
9. Available at: <http://www.teormech.ru/>.

The article submitted to the editors 22.03.2017

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Khokhlova Olga Aleksandrovna** – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Mechanics and Engineering Graphics; [hokhlova-mps@yandex.ru](mailto:hokhlova-mps@yandex.ru).

**Khokhlov Aleksandr Vasilevich** – Russia, 414014, Astrakhan; Multifunctional Center of State and Municipal Services; Programmer of the Department of Information Technologies and Communications; [zaphy@yandex.ru](mailto:zaphy@yandex.ru).

**Ponomareva Elena Vladimirovna** – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Mechanics and Engineering Graphics; [acmpax@rambler.ru](mailto:acmpax@rambler.ru).

