DOI: 10.55090/19964552_2025_4_58_67

ИНТЕГРАЦИЯ ФИЗИКИ, ИНФОРМАТИКИ И ИНЖЕНЕРНОГО ПРАКТИКУМА НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ШЕСТЕРЕНЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ В КОНТЕКСТЕ РОБОТОТЕХНИКИ

Тюрина Ирина Александровна,
учитель физики высшей категории
ГБОУ Школа № 1568, г. Москва,
irinochka55@mail.ru

Головин Александр Дмитриевич,
учитель информатики и ИКТ
ГБОУ Школа № 1568, г. Москва,
gadukas@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В статье обоснована актуальность междисциплинарного подхода в современном естественно-научном и инженерном образовании. Представлена разработанная авторами методика интеграции учебных предметов «Физика», «Информатика» и курса «Инженерный практикум» на основе изучения кинематики шестеренчатых и ременных передач в контексте образовательной робототехники. Целью исследования является разработка и апробация модели урока, формирующей у учащихся инженерных классов целостное понимание физических принципов работы механических передач, навыков их расчета, конструирования и программирования робототехнических систем. Методологической основой выступил системно-деятельностный и STEM-подход, предполагающий синтез теоретического анализа, математического моделирования, экспериментального исследования и программной реализации. В работе подробно описаны этапы занятия: от теоретического знакомства с видами передач через решение расчетных задач по физике к практическому конструированию и оптимизации роботизированной модели стрелы манипулятора с использованием наборов «ТЕХНОЛАБ» и ее программированию в среде vr.vex.com. Особое внимание уделено решению нестандартной инженерной задачи по определению отношения угловых скоростей

в механизме с шарнирно-связанными колесами, требующей применения численных методов и составления алгоритма. Делается вывод о высокой эффективности предложенной методики для формирования метапредметных компетенций, развития инженерного мышления и мотивации учащихся к изучению технических дисциплин.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *метапредметная интеграция, STEM-образование, инженерные классы, шестеренчатые передачи, кинематика, образовательная робототехника, математическое моделирование, программирование роботов.*

INTEGRATION OF PHYSICS, COMPUTER SCIENCE AND ENGINEERING PRACTICUM BASED ON THE STUDY OF GEARS IN THE CONTEXT OF ROBOTICS

Tyurina I. A.,
physics teacher,
School No. 1568 named after Pablo Neruda, Moscow, Russia

Golovin A. D.,
teacher of computer science and ICT,
School No. 1568 named after Pablo Neruda, Moscow, Russia

ABSTRACT

Abstract. The article substantiates the relevance of an interdisciplinary approach in modern science and engineering education. The authors present a developed methodology for integrating the academic subjects "Physics", "Computer Science" and the course "Engineering Workshop" based on the study of the kinematics of gear and belt drives in the context of educational robotics. The aim of the study is to develop and test a lesson model that forms in students of engineering classes a holistic understanding of the physical principles of operation of mechanical transmissions, skills of their calculation, design and programming of robotic systems. The methodological basis was the system-activity and STEM approach, which involves the synthesis of theoretical analysis, mathematical modeling, experimental research and software implementation.

The paper describes in detail the stages of the lesson: from theoretical acquaintance with the types of transmissions through solving calculation problems in physics to practical design and optimization of a robotic manipulator boom model using "TECHNOLAB" kits and its programming in the vr.vex.com environment. Special attention is paid to solving a non-standard engineering problem of determining the ratio of angular velocities in a mechanism with hinge-connected wheels, which requires the use of numerical methods and algorithm compilation. It is concluded that the proposed methodology is highly effective for the formation of meta-subject competencies, development of engineering thinking and motivation of students to study technical disciplines.

KEYWORDS: *meta-subject integration, STEM education, engineering classes, gear transmissions, kinematics, educational robotics, mathematical modeling, robot programming.*

Стремительная цифровизация и роботизация современного производства предъявляют новые требования к подготовке будущих инженерных кадров, обуславливая необходимость формирования у школьников не разрозненных предметных знаний, а целостного комплекса компетенций на стыке дисциплин. В этом контексте особую актуальность приобретает проектирование образовательных моделей, реализующих принципы метапредметности и STEM-подхода (Science, Technology, Engineering, Mathematics). Однако, как показывает анализ существующей практики, несмотря на широкое распространение робототехнических комплексов (напр., «ТЕХНОЛАБ», VEX), их методическое сопровождение зачастую ограничивается инструкциями по сборке, не раскрывая глубинные физические принципы работы механизмов, в частности, шестеренчатых передач. Данное противоречие определяет проблему исследования: отсутствие разработанных методик, обеспечивающих содержательную интеграцию физики, информатики и инженерного практикума на материале робототехники.

В школу 1568 было поставлено оборудование для инженерных классов. При знакомстве с данным оборудованием учителями всех профильных предметов у нас возникла идея, а можно ли провести одновременно два урока. Что бы ученики получили теоретические знания, и сразу же смогли применить их на практике.

Тема шестерных передач — возникла из-за того, что с одной стороны у нас уже были готовы роботы, в которых используются данный вид передач, а с другой, что с точки зрения физики — данная тема изучается без применения практической части. И желание учителей физики наглядно продемонстрировать как работает шестерная передача — была огромна.

При выборе урока, мы остановились на уроке «Технология и производство», т.к. его проведение предполагается в ИТ-полигоне, в котором есть всё необходимое оборудование. Урок проводят сразу два учителя. Это учитель физики и робототехники (информатики). Ученики уже умели программировать двигатели роботов. Так что теперь им предстояло запрограммировать движение стрелы робота, а также правильно использовать при этом шестерные передачи.

Целью данной статьи является представление и научно-методическое обоснование авторской разработки интегрированного занятия, направленного на углубленное изучение кинематики передач через единство теоретического расчета, эксперимента и программирования.

Методика и материалы исследования

В качестве методологической основы выступил интегративный STEM-подход. Исследование проводилось на базе инженерных классов ГБОУ Школа № 1568. Целевая аудитория — учащиеся 10-х классов.

Занятие было спроектировано как последовательность взаимосвязанных этапов, реализующих принцип «от теории — к практике — к созданию цифрового продукта»:

Мотивационно-теоретический этап. Погружение в проблематику через анализ видеофрагментов о промышленных роботах (МЭШ) и самостоятельный поиск информации о видах и функциях передач. (1 ролик о роботах в МЭШ библиотеке (ID 11407608), 2. Введение в передачи https://detalmach.ru/lect3.htm)

Ключевым элементом стало обсуждение физической модели идеальной передачи (отсутствие проскальзывания), приводящей к соотношению: $\omega_1/\omega_2 = R_2/R_1 = D_2/D_1$, где ω — угловая скорость, R и D — радиус и диаметр шестерни.

Теоретико-расчетный этап (физика)

Решение комплекса задач, подобранных по принципу нарастания сложности:

Задача 1. Нахождение отношения угловых скоростей валов ременной передачи (базовый уровень, закрепление формулы).

Два вращающихся вала соединены замкнутым ремнем, который не проскальзывает относительно валов (*рис. 1*) Радиус первого вала равен 15 см, радиус второго вала равен 45 см. Чему равно отношение угловой скорости первого вала к угловой скорости второго вала? (Ответ: 3)

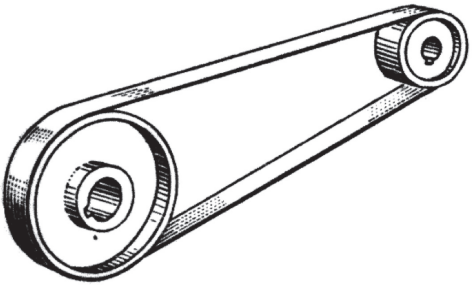

Рис. 1

Задача 2. Расчет линейной скорости и центростремительного ускорения зубцов ведомой шестерни (средний уровень, применение связи кинематических характеристик).

Две шестеренки, находящиеся в зацеплении (*рис. 2*), имеют радиусы R_1 = 20 см и R_2 = 40 см.

Первая шестеренка вращается с угловой скоростью 5 рад/с. Проскальзывания нет. Найдите линейную скорость и ускорение зубцов второй шестеренки. (Ответ: 2,5 м/с и 2,5 м/с^2)

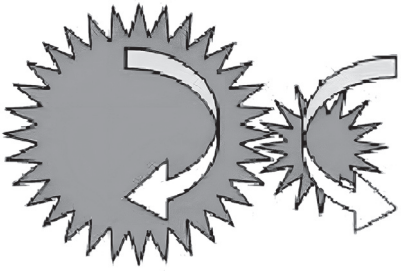

Рис. 2

Задача 3. Определение отношения угловых скоростей ω_1/ω_2 в механизме с двумя колесами радиуса R, соединенными рычагом длины nR (продвинутый уровень)

Два колеса с радиусом R могут вращаться относительно своего центра. Расстояние между центрами nR. Шарниры на ободе колес связаны рычагом той же длины — nR. Считая, что одно из колес является ведущим, определите отношение угловых скоростей колес для двух горизонтальных положений рычага.

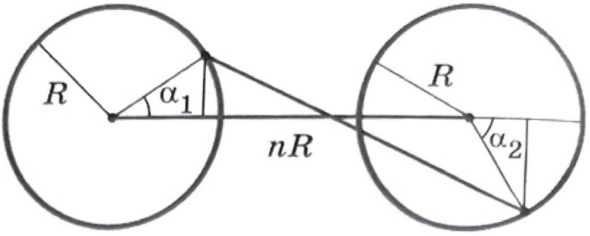

Рис. 3

Данная задача не имеет простого аналитического решения для произвольного угла. Учащимся было предложено рассмотреть частный случай малых углов ($\sin\alpha \approx \alpha$, $\cos\alpha \approx 1 - \alpha^2/2$), что после преобразований дает результат $\omega_1/\omega_2 = (n+1)/(n-1)$. Для общего случая было предложено составить алгоритм и программу численного решения уравнения связи $n\cos\alpha_1 - n\cos\alpha_2 + 1 - \cos(\alpha_1 + \alpha_2) = 0$.

Решение: Обозначив угол поворота ведущего колеса α_1, а ведомого α_2, определим соотношение между этими углами и отношение угловых скоростей вращения колес. По теореме Пифагора квадрат длины рычага (*рис. 3*)

$$n^2R^2 = (nR - R\cos\alpha_1 + R\cos\alpha_2)^2.$$

После преобразования получаем

$$n\cos\alpha_2 - n\cos\alpha_2 + 1 - \cos(\alpha_1 + \alpha_2) = 0.$$

Уравнение связывает угол поворота α_1 ведущего колеса с углом поворота α_2 ведомого. Аналитическое решение данного уравнения достаточно сложно.

Можно составить несложную программу, которая позволит найти зависимость угла поворота ведомого колеса от угла поворота ведущего.

Если углы поворота считать малыми, то легко можно получить аналитическое решение.

Если угловое перемещение мало, можно считать, что $\sin a_1 \approx \alpha_1$, $\sin\alpha_2 \approx \approx \alpha_2$. Тогда уравнение связи принимает вид:

$$n\sqrt{1-\alpha_1^2} - n\sqrt{1-\alpha_2^2} + 1 - \sqrt{1-\alpha_1^2}\sqrt{1-\alpha_2^2} - \alpha_1\alpha_2 = 0.$$

Учитывая, что для малых углов

$$\sqrt{1-\alpha_1} \approx 1 - (\alpha_1^2)/2, \sqrt{(1-\alpha_2)} \approx 1 - (\alpha_2^2)/2,$$

получим $(n-1)\,\alpha_2^2 - 2\alpha_2, -(n+1)\,\alpha_1^2 = 0.$

Решение квадратного уравнения даёт $\alpha_2/\alpha_1 = (n+1)/(n-1)$, что соответствует отношению угловых скоростей.

Для решения в другой крайней точке можно использовать уравнение

$$n\cos a\alpha_1 - n\cos\alpha_2 + 1 - \cos(\alpha_1 + a_2) = 0.$$

Ответ: $\omega_1/\omega_2 = (n+1)/(n-1)$ для случая, когда шарнир ведущего колеса находится рядом с другим колесом: $\omega_1/\omega_2 = (n+1)/(n-1)$ для случая, когда шарнир находится в другом крайнем положении.

Экспериментально-конструкторский этап (инженерный практикум):

Практическая работа с робототехническим набором «ТЕХНОЛАБ» (контроллер VEX). Учащимся была предложена проблемная ситуация: собранная стрела манипулятора (*фото 1*) движется медленно или не движется. Задачей было провести диагностику и оптимизацию механической части через пересборку передачи, для чего ученикам предоставлены дополнительные шестерные передачи (*фото 2*).

Корректное решение — использование редуктора (*фото 3*): установка малой шестерни на вал двигателя (ведущая) и большой — на ось стрелы (ведомая), что позволяет повысить редукцией вращающий момент и, как следствие, обеспечить работу механизма.

Программно-реализационный этап (информатика): Написание и отладка программы управления манипулятором в онлайн-среде виртуального моделирования vr.vex.com. Это этап перевода физического понимания работы механизма в алгоритмические инструкции для контроллера.

Результаты и их обсуждение

Формирование системных знаний. Последовательный переход от абстрактной физической модели к реальному механизму и его программному коду позволил учащимся сформировать глубокое и системное понимание принципов работы передач, выходящее за рамки отдельных предметов.

Развитие инженерного мышления. Задача по оптимизации стрелы манипулятора носила ярко выраженный инженерный характер: анализ неисправности, выдвижение гипотез (увеличить момент силы, уменьшить трение), их экспериментальная проверка и выбор оптимального решения (применение редуктора).

Реализация междисциплинарных связей. Занятие наглядно продемонстрировало связь дисциплин:

- *Физика* дала теоретический базис (кинематика вращения, передаточное отношение).
- *Информатика* предоставила инструмент для решения сложной задачи (численные методы) и среду для управления моделью (программирование).
- *Инженерный* практикум выступил площадкой для верификации теоретических выкладок и развития конструкторских навыков.

Повышение мотивации. Работа с реальным робототехническим оборудованием и решение практической задачи значимо повысили познавательный интерес и Engagement учащихся.

Представленная в статье разработка интегрированного занятия демонстрирует эффективную модель реализации STEM-подхода в практике работы инженерных классов. Предложенная методика, основанная на глубоком погружении в физическую сущность работы шестеренчатых передач и ее практическом применении в конструировании и программировании роботов, позволяет преодолеть формализм и разрозненность в изучении технических дисциплин. Она способствует формированию у учащихся целостного инженерного мышления, умения применять теоретические знания для решения практических задач и готовности к проектной деятельности в высо-

котехнологичной среде. Материалы статьи могут быть рекомендованы к использованию педагогами физики, информатики и технологии при проектировании метапредметных занятий в классах инженерно-технологического профиля.

Представленный урок, на котором показана методика проведения бинарных уроков, является частью цикла уроков по физике, информатике и технологии и производство.

Апробация методики показала ее высокую эффективность. Средний балл учеников на ЕГЭ по физике — 81 баллов. На конкурсе «Интеллектуальный Мегаполис потенциал» — победителями стало 2 ученика, призёрами — 6. А так же один ученик стал призёром ВСоШ по физике. ■

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Парфентьева Н.А., Янишевская М.А.* Физика. Сборник задач для инженерных классов. Часть 1. М.: Просвещение, 2021. 128 с.
2. Теория механизмов и машин: Учебник для вузов / Под ред. К.В. Фролова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 664 с.
3. *Шишаков В.В., Воротников С.А., Романов А.С.* Образовательная робототехника как средство развития инженерного мышления школьников // Информатика и образование. 2020. № 5. С. 45–53.
4. Официальный ресурс Московской электронной школы (МЭШ) [Электронный ресурс]. URL: ID 11407608 (дата обращения: 01.06.2024).
5. Справочный материал «Введение в передачи» [Электронный ресурс]. URL: https://detalmach.ru/lect3.htmдата обращения: 01.06.2024).
6. Документация по платформе VEX Robotics [Электронный ресурс]. URL: https://www.vexrobotics.com/ (дата обращения: 01.06.2024).

LIST OF SOURCES AND REFERENCES

1. *Parfentieva N.A., Yanishevskaya M.A.* Physics. Collection of tasks for engineering classes. Part 1. Moscow: Prosveshchenie, 2021. 128 p.
2. Theory of mechanisms and machines: Textbook for universities / Edited by K.V. Frolov. Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2018. 664 p.

3. *Shishakov V.V., Vorotnikov S.A., Romanov A.S.* Educational robotics as a means of developing engineering thinking of schoolchildren // Informatics and education. 2020. No. 5. pp. 45-53.
4. The official resource of the Moscow Electronic School (MESH) [Electronic resource]. URL: ID 11407608 (accessed: 06/01/2024).
5. Reference material "Introduction to transmission" [Electronic resource]. URL: https://detalmach.ru/lect3.htmдата accessed: 06/01/2024).
6. Documentation on the VEX Robotics platform [Electronic resource]. URL: https://www.vexrobotics.com / (date of access: 06/01/2024).