8. Shut, V,N, Rasshirenie vozmozhnostei optimalnogo upravleniia transportnymi potokami v ulichno-dorozhnoi seti goroda,/ V,N,Shut// «Elektronika ta informatciini tekhnologii», Zbirnik naukovikh pratc , Vipusk 3, – Lvov, 2013 – S, 193–201,

9. Shut, V,N, Upravlenie dvizheniem avtotransportnykh sredstv s ispolzovaniem mobilnogo pomoshchnika voditelia / V,N, Shut // «Problemy informatcionnykh tekhnologii, №01(013) »: Kherson, Khersonskii natcionalnyi tekhnicheskii universitet: 2013, – S, 159–164,

10. Shut, V,N, Multiagentnoe upravlenie perekrestkom / V,N, Shut // «Vestnik Khersonskogo natcionalnogo tekhnicheskogo universiteta №3(50) »: Kherson: 2014, – S, 179–184,

11. Shut V,N Multiagentnoe upravlenie dvizheniem transportnykh sredstv v ulichno-dorozhnoi seti goroda // Iskusstvennyi intellekt№4, Donetck: IPII «Nauka i osvita, 2014, – S, 123–128,

12. Klimovich, A,N, Sovremennye podkhody i algoritmy upravleniia transportnymi potokami / A,N,Klimovich, A,S,Ryshchuk, V,N,Shut // «Vestnik Khersonskogo natcionalnogo tekhnicheskogo universiteta №3(54)»: Kherson: 2015, – S, 252–256,

УДК: 517, 519.8, 621+37

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СВЯЗИ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН В STEM ОБРАЗОВАНИИ

С. Назаров, *к. т. н., ректор Государственного энергетического института Туркменистана, Мары, Туркменистан, e-mail: energetikatdei@gmail.com*
М. Рахимов, *д. ф.-м. н., профессор, заведующий кафедрой высшей математики, Государственный энергетический институт Туркменистана, Мары, Туркменистан, e-mail: rahymowmuhammet72@gmail.com*
Ш. Аннабердиев, *преподователь кафедры высшей математики Государственный энергетический институт Туркменистана, Мары, Туркменистан, e-mail: rahymowmuhammet72@gmail.com*
Я. Алламырадов, *преподователь кафедры высшей математики, Государственный энергетический институт Туркменистана, Мары, Туркменистан, e-mail: rahymowmuhammet72@gmail.com*

Реферат

В данной работе рассматриваются научно методические вопросы STEM образования. Приводятся важные примеры технико-экономического и инженерно-технологического характера, выявляются принципиальные вопросы внедрения STEM-образования в учебный процесс. В учебном процессе рекомендуется использовать STEM:IT образование. В связи с внедрением STEM:IT образование приведены необходимые результатов по исследованию уранения Навье-Стокса, решения задачи оптимального моделирования, линеаризации уравнения Навье – Стокса и оптимального режима (оптимальные функциональные зависимости) насоса и греющего устройства в зависимости от скорости течения жидкости.

Ключевые слова: STEM образование, межотресловая балансовая модель, модель Кобба-Дугласа, оптимальная модель, режим насоса, уравнения Навье-Стокса, телеграфное уравнение.

Введение

Согласно постановлению Президента Туркменистана № 179 от 08.07.2022 «Программа социально-экономического развития страны в 2022–2028 гг.» [1, 2], приказом Минстерства образования Туркменистана № 34 от 03.02.2023 утверждена дорожная карта поэтапного внедрения STEM-образования в инженерных высших учебных заведениях. В связи с этим в Туркменистане возросло число публикаций, посвященных проблеме внедрения методики STEM-образования, и решение этой проблемы в настоящее время находится под пристальным вниманием специалистов и ученых-педагогов Туркменистана [3, 4]. В мировой практике использование метода обучения STEM-образования привело к некоторому успеху в освоении учебных дисциплин будущими специалистами. В XXI веке необходимость получния STEM-образования инженеров и технологов можно связать с необходимостью внедрения новых научных результатов в производство и подготовку специалистов и ученых в данной области науки. Отметим, что STEM-образование – есть нечто иное, новые методы обучения, основанные на установлении тесной логической связи учебных дисциплин. STEM-образование предусматривает методику обучения, исходя из результатов научных иследований, выполненных в научных лабораториях или на экспериментально проведеных иннавационных и инженерных испытаниях. При этом предусматривается установление естественно-научных закономерностей исследований технолого-физико-техническо процесса и количественных закономерностей этих исследований, написанных в математической строгости, т. е. в математических формулах и моделях. Отметим, что описание закономерностей технико-экономических процессов в математических моделях – довольно трудная задача, тем не менее, в STEM-образовании целесообразно привлечь внимание обучающихся к некоторым важным параметрам исследуемого процесса, входящим математическим моделям. В таком аспекте внедрение STEM-образования в учебный процесс позволяет проявить у молодых спуциалистов новые взгляды, обратить внимание на естественные закономерности и применение полученных ими теоретических знаний на практике, тем самим приблизить теорию к практике. В STEM-образовании требуется тесная связь учебных дисциплин; научно-методических сочетаний, предусматривается выявление естественных закономерностей процессов, изучаемых в лабораторных и научно-практических экспериментальных условиях, и применение этих закономерностей при решении инженерно-технических и технологических задач. Требуется особо обратить внимание на установление количественных закономерностей – математических моделей научно исследуемых объектов.

При внедрении STEM-образования в учебный процесс необходимо определить научно-методические темы исследований, выбрать учебные дисциплины в соответствии с квалификацией выпускников данной специальности, привлечь к этой важной педагогической научно-методической работе специалистов – ученых соответствующих направлений науки, создать соответствующий лабораторный научно-методический учебный комплекс STEM-образования.

В настоящей работе предлагается несколько рекомендаций по использованию математических моделей и определения физических параметров, входящих и особо влияющих на математические модели. При этом рассматриваются математические модели технолого-экономического и инженерно-технологического характера, используемые учебном процессе.

Применение линейной межотраслевой балансовой математической модели. Пусть в межотраслевом балансе имеются n отрасли. Пусть y_i обозначает конечное потребление продукции i-й отрасли; x_i –объемы продукции i-й отрасли; x_{ij} –затраты продукции i на производство продукции j. Будем считать, что все величины y_i, x_i, x_{ij} в стоимостном выражении. Тогда для любой производящей отрасли имеем балансовое уравнение

$$x_i = \sum_{i=1}^{n} x_{ij} + y_i \tag{1}$$

Система уравнений (1) содержит, кроме x_i, еще n^2 неизвестных x_{ik}. Межотраслевые технологические связи устанавливается с помощью коэфициентов величин прямых затрат. Обычно x_{ij} величины, выражающие стоимость продукции i –й отрасли, потребленные j –отраслями, определяют разделением валовой продукции потребителей, т. е. коэфициенты $a_{ij}(i,j = 1,2,\dots,n)$ – прямых материальных затрат – определяются как отношение объема продукции i –й отрасли , использованной в j –й отрасли, к общему объему продукции j –й потребляющей отрасли – $a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j}$ $(i,j = 1,2,\dots,n)$. Следовательно, a_{ij} определяют технологические параметры исследуемого технико-экономического процесса. В STEM-образовании, исходя из научно-производственного анализа, необходимо определить эти коэффициенты. С другой стороны, необходимо обратить внимание на то, что коэффициенты a_{ij} постоянны или они изменяются во времени. Обычно эти коэффициенты не меняются при квартальном планировании производства тенологической продукции, т. е.

$$\frac{x'_{ij}}{x'_j} = \frac{x_{ij}}{x_j} = a_{ij} = \text{const}, \qquad x_{ij} = a_{ij} x_j\,, \tag{2}$$

где x'_{ij}, x'_j – параметры предыдущго квартала; x_{ij}, x_j – параметры текущего периода –квартала. После определения коэффициентов a_{ij} из формулы (2), подставив значения x_{ij} в уравнении (1), получим следующую систему (модели) межотраслевого баланса:

$$\left.\begin{array}{l} x_1 - (x_{11} + x_{12} + \cdots + x_{1n}) = y_1 \\ x_2 - (x_{21} + x_{22} + \cdots + x_{2n}) = y_2 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ x_n - (x_{n1} + x_{n2} + \cdots + x_{nn}) = y_n \end{array}\right\}. \tag{3}$$

Систему уравнений (3) можно записать матричной форме

$$x = Ax + y\,, \tag{4}$$

где $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ – столбцы вектора, A – технологическая квадратная матрица материальных затрат $a_{ij}(i,j = 1,2,\dots,n)$. Методы решения матричного уравнения (4) (или системы (3)) известны. В данной задаче, с целью внедрения STEM-образования в учебный процесс, необходимо решить следующие технолого-экономические задачи.

1. При известных коэффициентах материальных затрат a_{ij} $(i, j = 1,2, \dots, n)$ и объемах y вектора конечного продукта всех отраслей найти объемы производства продукции каждой отрасли x.

2. При известных объемах вектора валовой продукции x всех отраслей и известных коэффициентах прямых затрат a_{ij} найти объемы вектора конечной продукции y всех отраслей.

3. Найти решение уранения (4) при известных различных параметрах нескольких отраслей, т. е. у одних отраслей известны коэффициенты прямых затрат и план валовой продукции, у других известны компоненты вектора конечного продукта отраслей.

В STEM-образовании главное то, что эти уравнения нужно решить, исходя из постановки научно-исследователской работы по вводу новейших инновационных технологий в поизводстве.

STEM-образование необходимо и для будущих инженеров-экономистов. В связи с этим приведем второй важный пример технолого-экономического характера, который необходимо изучать в учебном процессе. В экономическом анализе часто используются производные функции. По своему строению производственные функции включают в себя всевозможные зависимости – параметры в сфере производства на различных уровнях: предприятие, отрасль, народное хозяйство в целом. Рассмотрим наиболее распрастраненную производственную функцию, называемую функцией Кобба – Дугласа. Если в зависимости от двух факторов (совокупных затрат живого труда и суммарного объема производственных фондов) изучается величина общественного продукта, то математическую модель этого процесса можно описать с производственной функцией следующего вида:

$$y = a x_1^{a_1} x_2^{a_2},\ a>0,\ a_1>0,\ a_2>0.$$

Заметим, что модель Лобба – Дугласа представлена как произведение двух степенных функций. При этом постоянные a, a_1, a_2 определяются на основе статистических данных применением корреляционных методов, при этом коэффициенты регрессии a_1, a_2 удовлетворяют неравенствам $0 < a_i < 1, i = 1,2$.

В STEM-образовании определение величины коэффициентов регрессии a_1, a_2 и постоянного коэффициента a_0 является первоочередной задачей научно-методического характера. После их определения необходимо и целесообразно исследовать систему на следующие факторы:

1. $\frac{y}{x_1} = a_0 x_1^{a_1-1} x_2^{a_2}$ – средная производительность труда.

2. $\frac{\partial y}{\partial x_1} = a_0 a_1 x_1^{a_1-1} x_2^{a_2}$ –предельная производительность труда.

3. $\frac{\partial y}{\partial x_1} = a_1 \frac{y}{x_1},\ 0 < a_1 < 1$ (предельная производительность труда всегда ниже средней производительности).

4. $\frac{\partial y}{\partial x_1} \frac{x_1}{y} = a_1$ –эластичность выпуска продукции по затратам труда.

5. $\frac{y}{x_2} = a_0 x_1^{a_1} x_2^{a_2-1}$ – средняя фондоотдача всегда увеличивается с увеличением ресурсов труда (при неизменных фондах) и уменьшается с увеличением самих фондов (при неизменных трудовых ресурсах).

6. $\frac{\partial y}{\partial x_2} \frac{x_2}{y} = a_2$ – эластичность выпуска продукции по объему производственных фондов и др.

STEM-образование с использованием уравнений газодинамики

Рассмотрим некоторые задачи инженерно-технического характера и их математические модели, выявим важные параметры. Вначале отметим некоторы проблемы, связанные с уравнением газодинамики, т.е. с уравнением Навье – Стокса, не решенные до конца до настоящего времени. Исследование этих задач можно предложить при внедрении STEM-образования в учебный процесс и выполнении научных исследований магистрантов и аспирантов.

Приведем некоторые проблемы, связанные с использованием основных уравнений теплотехники. Разработка технологических решений для использования тепловых труб и тепловых насосов в системах теплоснабжения является одним из важнейших научных и практических задач современности. Как видно из литературы [5, 6] возрастает интерес к разработке технологических решений для использования трубопроводов в системах теплоснабжения, моделированию соответствующих технологических процессов и определению основных физических параметров. Поэтому в настоящее время изучение их как с теоретической, так и с практической сторон, является одной из актуальных задач. В инженерно-физических объектах-процессах (например, тепловых, газовых и электрических) на основе законов физики используются дифференциальные уравнения Навье – Стокса или Максвелла. Путем упрощения этих уравнений устанавливают связь между параметрами и приходят к заключению о физических процессах. Конечно, результаты, полученные на основе этих упрощений, очень практичны и ценны. Однако методические указания, которые даются без учета наиболее важных физических параметров, носят локальный характер, приводят к большим расхождениям между теоретическими результатами и фактическими процессами. Скорее, результаты относятся к функциональной связи процесса, которая не полностью описывает его фактическое устойчивое состояние. Со второй половины прошлого века в приводимых научных исследованиях и экспериментах склонялись к варианту добавления дополнительных членов для уравнений Навье – Стокса в соответствии с состоянием реальных технологических процессов. Например, в научной монографии [6] показывается, что уравнения Навье – Стокса могут иметь решения, которые не соответствуют числу Рейнольдса в бесконечно удаленных областях (трубах), и изучаются дифференциальные уравнения с добавлением дополнительного линейного члена, хотя, как было отмечено, это добавление не является экспериментально обоснованным. В связи с этим вопрос добавления дополнительного параметра или члена к уравнению Навье – Стокса не снимается и в настоящее время.

Оптимизация инженерно-физических процессов с помощью нелинейных уравнений Навье – Стокса является одной из малоизученных проблем. Изучение неоднородных или несамосопряженных граничных условий, или влияния насосов в сетях теплопередачи, или добавления дополнительного члена к уравнениям Навье – Стокса, более подходящих для технологических процессов теплопроводности, является одной из актуальных проблем. В современных установках в процессе теплопередачи широко используются насосы, которые влияют на скорость теплового потока, что приводит к конвективному теплообмену в турбулентном тепловом потоке. В результате, автоматизация и нахождение оптимального режима работы насоса в зависимости от скорости, температуры и времени теплового потока в процессе теплопередачи являются одной из самых современных технологических проблем.

В данной работе для полного изучения инженерных и технологических процессов, т. е. для реальных процессов оптимального синтеза управления, нами предложен системный подход – оптимальная модель добавления функциональной зависимости управляющих функций от скорости потока жидкости в качестве дополнительного члена к уравнениям Навье – Стокса.

В связи с изложенными выше проблемами, была бы интересна в STEM-образовании следующая задача оптимизации уравнения Навье – Стокса и проведения соответветстующих экспериментальных исследований.

Постановка задачи оптимизации дифференциальных уравнений Навье – Стокса.

Для нестационарного и нелинейного векторного дифференциального уравнения Навье – Стокса рассмотрим начально-граничные условия (плотность полагают $\rho = 1$) [5, 6]:

$$\mathcal{L}w \equiv w_t - \nu\Delta w + \alpha v_k w_{x_k} = -grad p + f + f_1, \quad div w = 0 \tag{5}$$

$$w|_{t=0} = a(x), \quad div a = 0, \quad w|_{S_T} = g(t), \tag{6}$$

где $\alpha-$ положительное число; $t \in [0,T]$; Ω – область (или тело) трехмерного Декартового пространства с достаточно гладкой поверхностью S, $Q_T = \Omega X(0,T)$, $S_T = SX[0,T]$; Δ - оператор Лапласа; ν – постоянный коэффициент вязкости. Обозначим через $L_2(Q_T)$ (ии $L_2(\Omega)$) множество (пространство) трехмерных векторных функций, состоящих из компонент-функций, интегрируемых с квадратами в области Q_T (или Ω). Введем в этом пространстве обычное скалярное произведение и норму элементов. Считаются, что в уравнении (5) $p = p(x,t)$ - давление, внешние силы $f = f(x,t)$ $f_1 = f_1(x,t)$ и в условиях (6) функции $g = g(t)$, $a(x)$ обладают необходимыми дифференциальными свойствами; $w(x,t) = (v_1(x,t), v_2(x,t), v_3(x,t))$ $(x = (x_1, x_2, x_3))$ – вектор-скорость жидкости; $w_t(x,t)$ – характеризует изменяющуюся во времени (локальную) скорость в точках x; в уравнении (1) нелинейный вектор – член $v_k w_{x_k}$ – характеризует изменение скорости от точки к точке. Если $\alpha = 0$, то получим линейные нестационарные уравнения Навье – Стокса [6, 7]. В уравнении (5) f_1 - постоянно действующая сила. В нижеследующих рассуждениях оптимального моделирования граничные условия других типов (например, несамосопряженные граничные условия типа Бицадзе – Самарского [6]) рассматриваются аналогично, но с той разницей, что для применения метода спектрального разложения решения краевой задачи необходимо привлечь аппарат теории несамосопряженных операторов [6]. Существование и единственность решения задачи (5), (2) доказаны в [5, 6].

В граничных условиях (6) вектор-функция $g(t)$ описывает действие насоса в граничном режиме, а векторная функция f характеризует разницу между температурой поверхности греющего устройства и температурой жидкости (подъемную силу).

В условиях (5), (6) задача оптимального моделирования процесса теплопередачи формулируется следующим образом. Найти управляющие функции $g(t)$, $f(x,t)$, как функции скорости жидкости, т. е. найти синтезирующие $f = f(w,t)$, $g = g(w,t)$ управляющие функции, зависящие от вектора скорости w и добиться того, чтобы скорость управляемого потока жидкости приблизилась в точках x и времени t к заданной нормальной скорости $\varphi(x,t)$ жидкости, а в конце управляемого процесса приблизилась также к заданной нормальной скорости $\psi(x)$ и таким образом, чтобы энергии сил (насоса, греющего устройства), действующие на конвективный теплообмен, были минимальны.

Тогда критерий задачи оптимального моделирования запишется следующим образом:

$$I[t_0, g, f] = \alpha_1 \int_{t_0}^{T} \|w-\varphi\|^2 \, dt +$$

$$+\alpha_2 \|w_T - \psi\|^2 + \int_{t_0}^{T} (\alpha_3 \|f\|^2 dt + \alpha_4 |g(t)|^2) dt, \quad (7)$$

где $t_0 = 0$; $w_T = w(x, T)$; $\alpha_i (i = 1,2,3,4)$ – заданные положительные числа. Конец T управляемого процесса зафиксирован. Таким образом, задача оптимального управления заключается в том, чтобы найти синтезирующие функции $f = f(w,t)$, $g = g(w,t)$ управления, которые зависят от скорости потока и вместе с соответствующим им решением w начально-краевой задачи (5), (6) доставляющие функционалу (7) минимальное значение.

В литературе [5, 6] по исследованию математических моделей процесса теплопередачи, в основном, отмечаются две проблемы:

1) физические вопросы адекватности математических моделей процесса теплопередачи;

2) математические вопросы исследования нелинейных уравнений Навье – Стокса. Существует обширный список литературы, посвященный решениям этих проблем. Краткий обзор работ, посвященных этим проблемам, приведен в [5, 6].

В работе [5, 6] по оптимальному моделированию процесса теплопередачи вязкой несжимаемой жидкости был предложен метод линеаризации уравнения Навье – Стокса. Сущность предложенного там метода заключалась в замене в нелинейных членах компонентов искомого вектора – функции скорости течения жидкости с выбранными усредненными или другими постоянными значениями этих же компонентов из предшествующего времени или процессов. Тем самым нелинейные члены, учитывающие кинетическую энергию движения жидкости по координатным осям, заменяются на линейные члены, учитывающие скорости изменения вектора скорости. Такие линейные члены будут соответствовать процессу экспоненциального роста скорости частицы жидкости по координатным осям в турбулентном течении. В вышеупомянутой работе был предложен метод оптимального моделирования процесса теплопередачи, заключающийся в следующем.

1. Линеаризовать уравнение Навье-Стокса указанным выше способом.

2. Выбрать экспериментально или из аналогичных процессов известные функции скорости и приблизить скорости жидкости за заданное короткое время к выбранным функциям с помощью синтезирующих управляющих функций, т. е. решить линейно-квадратичную задачу оптимального синтеза. Для полного описания процесса теплопередачи добавить к уравнению Навье – Стокса линейный интегральный оператор с ядром, полученным из решения нелинейного операторного уравнения Риккати и функцию, полученную из решения линейной системы уравнений с известными данными задачи.

Такой метод линеаризации уравнений оправдан тем, что, во-первых, выбранные постоянные значения компонентов скорости движения можно принять как параметры и их можно оптимизировать по смыслу задачи, во-вторых, эти параметры можно выбрать как функции временного параметра. Кроме того, если процесс рассматривается в длительном периоде времени, то этот период времени можно разбить на несколько промежутков и построить многошаговый процесс, решая задачу для каждого шага с новыми параметрами, полученными из решения предыдущих периодов времени.

Приведем следующую схему линеаризации уравнений Навье – Стокса.

Постановка задачи

Для нестационарного и нелинейного двухмерного (трехмерный случай рассматривается аналогично) векторного дифференциального уравнения Навье – Стокса рассмотрим начально-граничные условия (плотность полагают $\rho = 1$) [5, 6]:

$$\begin{cases} \frac{\partial v_1}{\partial t} + \alpha\left(v_1 \frac{\partial v_1}{\partial x} + v_2 \frac{\partial v_1}{\partial y}\right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \nu\Delta v_1 + f_1 + q_1 \\ \frac{\partial v_2}{\partial t} + \alpha\left(v_1 \frac{\partial v_2}{\partial x} + v_2 \frac{\partial v_2}{\partial y}\right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \nu\Delta v_2 + f_2 + q_2 \\ \frac{\partial v_1}{\partial x} + \frac{\partial v_2}{\partial y} = 0 \end{cases} \tag{8}$$

$$\begin{cases} v_1(x,y,0) = a(x,y), v_2(x,y,0) = b(x,y); \quad \frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial b}{\partial y} = 0; \\ v_i(0,y,t) = g_{i1}(t), v_i(h,y,t) = g_{i2}(t), 0 \le y \le l; \\ v_i(x,0,t) = 0, v_i(x,l,t) = 0, \ 0 \le x \le h; \ i = 1,2, \end{cases} \tag{9}$$

где α – неотрицательное число; $t \in [0,T]$; $(x,y) \in \Omega = \{0 \le x \le h, 0 \le y \le l\}$ -прямоугольная область с границей $-S = \{x = 0, x = h; 0 \le y \le l; 0 \le x \le h; y = 0, y = l\}$, $Q_T = \Omega X(0,T)$, $S_T = SX[0,T]$; Δ- оператор Лапласа ν постоянный коэффициент вязкости; $w(x,y,t) = (v_1, v_2), v_i \equiv v_i(x,y,t)$ – вектор-функция скорости жидкости, $p = p(x,y,t)$; $f = (f_1, f_2)$, $f_i = f_i(x,y,t)$; $q = (q_1, q_2)$, $q_i = q_i(x,y,t)$, $i = 1,2$.

Считается, что в уравнении (1) $p = p(x,y,t)$, $\left(\frac{\partial p}{\partial x} = p_1, \frac{\partial p}{\partial y} = p_2\right)$ – давление, внешние силы $f = f(x,y,t)$, $q = q(x,y,t)$ и в условиях (9) функции $g_{ij}(t)$, $a(x,y)$, $b(x,y)$ обладают необходимыми дифференциальными свойствами. В уравнении (8) q – постоянно действующая сила. В граничных условиях (9) вектор функции $g_{i2}(t)$ описывают действия насоса в граничном режиме, а векторная функция f характеризует разницу между температурой поверхности греющего устройства и температурой жидкости (подъемную силу).

Сформулируем задачу оптимального моделирования процесса теплопередачи следующим образом.

Пусть $\alpha = 0$, тогда получим линейные нестационарные уравнения Навье – Стокса [6, 7] для компонентов вектор-функции $w(x,y,t) = (v_1(x,y,t), v_2(x,y,t)$ $(j_i = -p_i + q_i, \ i = 1,2)$:

$$\begin{cases} \frac{\partial v_1}{\partial t} - \nu\Delta v_1 = f_1 + j_1 \\ \frac{\partial v_2}{\partial t} - \nu\Delta v_2 = f_2 + j_2 \\ \frac{\partial v_1}{\partial x} + \frac{\partial v_2}{\partial y} = 0 \end{cases} \tag{8'}$$

В условиях ($8'$), (9) задача оптимального моделирования процессов теплопередачи формулируется следующим образом. Найти управляющие функции $g_{ij}(t),\ f_i(x,y,t),\ i,j=1,2,$ как функции скорости жидкости, т. е. найти синтезирующие $f_i=f_i(v_i,t)$, $g_{ij}=g_{ij}(v_i,t)$ управляющие функции, зависящие от компонентов вектора скорости w и добиться того, что скорость управляемого потока жидкости приблизился в точках x и времени t к заданной $\varphi(x,y,t)=\left(\varphi_1(x,y,t),\varphi_2(x,y,t)\right)$ нормальной скорости жидкости, а в конце управляемого процесса приблизился также к заданной нормальной скорости $\psi(x,y)=\left(\psi_1(x,y),\psi_2(x,y)\right)$ и таким образом, чтобы энергии сил (насоса, греющего устройства), действующие на конвективный теплообмен были минимальны.

Для каждого компонента вектора скорости критерий оптимального моделирования запишется следующим образом [6] $(i=1,2)$:

$$I_i[t_0,g_{ij},f_i]=\alpha_1\int_{t_0}^{T}\int_0^{h}\int_0^{l}(v_i-\varphi_i)^2\,dt\,dx\,dy+\alpha_2\int_0^{h}\int_0^{l}\left(v_i(x,y,T)-\psi_i(x,y)\right)^2dx\,dy+ \\ \alpha_3\int_{t_0}^{T}\int_0^{h}\int_0^{l}f_i^{\,2}(x,y,t)\,dt\,dx\,dy+\int_{t_0}^{T}[\alpha_4 g_{i1}^2(t)+\alpha_5 g_{i2}^2(t)]\,dt, \tag{10}$$

$t_0=0;\ \alpha_i(i=1,2,3,4,5)$ – заданные положительные числа. Конец T управляемого процесса зафиксирован. Таким образом, задача оптимального управления формулируется следующим образом. Найти синтезирующие функции $f_i=f_i(v_i,t)$, $g_{ij}=g_{ij}(v_i,t)$ управления, которые зависят от компонента v_i скорости $w=(v_1,v_2)$ потока и вместе с соответствующим им решением начально-краевой задачи ($8'$), (9), доставляющие функционалу (10) минимальное значение.

Сформулированная задача решается методом динамического программирования, при этом оптимальные параметры, т. е. управления выражаются через функциональной производной v_i функционала Беллмана:

$$\begin{cases} f_i(x,t)=-\dfrac{1}{2\alpha_3}u_i(t,v_i) \\ g_{i1}(t)=-\dfrac{\nu}{2\alpha_4}\int_0^{l}u_{i_x}(0,y,t)v_i(y,t)\,dy, \\ g_{i2}(t)=\dfrac{\nu}{2\alpha_5}\int_0^{l}u_{i_x}(l,y,t)v_i(y,t)\,dy \end{cases} \tag{11}$$

Функции управления, найденные по формулам (11), являются синтезирующими функциями управления, то есть, как потребовалось в сформулированной выше задаче оптимального моделирования, являются функциями, зависящими от скорости потока жидкости. Подставляя их в (8), (9), получим уравнения с начально-краевыми условиями, описывающие скорость оптимального потока жидкости.

Используя эти результаты в STEM-образовании, кроме математических вопросов, необходимо решить следующие задачи инженерно-технологического характера:

1. Экспериментально определить аналитические и графические виды априори задаваемых функций $\varphi,\ \psi$ из (7).

Определить:

2. Функциональную зависимость граничного режима насосов.
3. Граничные условия для трубопроводов.
4. Вязкость жидкости.

5. Давление и плотность жидкости.

6. Кинетическую энергию движения жидкости по координатным осям.

7. Графические изображения по компьютерной команде 3-D, 4-D и др.

Кроме указанных выше задач, в STEM-образовании можно провести и другие задачи научно-технологических процессов, которые необходимо решить инженерам с использованием инновационной технологии. Например, в учебных дисциплинах по электротехнике и электронике часто сталкиваются с решением краевых задач для телеграфного уравнения. Предположим, что сопротивление, индуктивность и другие физические параметры распределены равномерно по длине электропровода. При этих предположениях сила тока определяется решением телеграфного уравнения

$$\frac{\partial^2 i}{\partial t^2}+\frac{RC+LG}{LC}\frac{\partial i}{\partial t}+\frac{RG}{LC}i-\frac{1}{LC}\frac{\partial^2 i}{\partial x^2}=0. \qquad (12)$$

Заметим, что упмбянутые выше физические параметры в уравнении (12) участвуют как постоянные величины и существенно влияют на поведение количественных потоков электрических зарядов по электропроводу. При этом отметим, что при использовании новых технологий электропроводов величины этих параметров могут изменяться. Определение физических параметров при использовании новой инновационной технологии и в электронике есть первостепенная задача STEM-образования.

В заключении отметим, что для внедрения STEM-образования в учебный процесс необходимо использовать новые компьютерные программы численного решения сложных дифференциальных уранений с частными производными. С другой стороны, необходимо получить графическое изображение в пространстве в 4-х и более измерениях. В связи с этим предлагаем STEM-образование внедрить как STEM:IT-образование.

Заключение

1. Разработать программы внедрения STEM:IT-образования в учебный процесс.

2. Изучить динамические свойства экспериментально полученных физических параметров и решить задачи оптимального моделирования.

3. Методом имитационного моделирования уточнить полученную информацию и математические модели.

4. С целью внедрения STEM:IT-образования коренным образом изменить учебный план соответствующей специальности.

Список цитированных источников

1. Türkmenistanyň Prezidentiniň 2022-nji ýylyň 8-nji iýulynda çykaran 179-njy Karary bilen tassyklanan Türkmenistanyň Prezidentiniň ýurdumyzy 2022–2028-nji ýyllarda durmuş-ykdysady taýdan ösdürmegiň Maksatnamasy.

2. Berkarar döwletiň täze eýýamynyň Galkynyşy: Türkmenistany 2022-2052-nji ýyllarda durmuş-ykdysady taýdan ösdürmegiň Milli maksatnamasy. Türkmenistanyň Milli Geňeşiniň Halk Maslahatynyň 2022-nji ýylyň 11-nji fewralynda geçirilen nobatdan daşary mejlisinde tassyklanyldy.

3. Nazarow, S. STEM-biliminde matematiki mpdelirlemäniň orny / Nazarow S., Rahymow M. // Berkarar döwletiň täze eýýamynyň galkynyşy döwründe ylym, tehnika we innowasion tehnologiýalar : тезисы Междунар. науч. конф., 12–13 июня 2024 г., г. Ашхабад / Türkmenistanyň Ylymlar akademiýasy. – Ашхабад, 2024.

4. Чучалин, А. И. Подготовка в вузе STEM:IT-профессионалов к инновационной деятельности в 3D командах. / А. И. Чучалин // Высшее образование в России. – 2022. – вып. 31. – № 8–9. – С. 79–91.

5. Nazarow, S. M.Rahymow, G. Hekimow, Optimal modeling of the heat transfer of a viscous incompressible liquid, / S. Nazarow, M. Rahymow, G. Hekimow : E3S Web of Conferences. – 2020. – V. 216. – art. 01059. – https ://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601059.

6. Рахимов, М. Оптимальное моделирование процессов теплопередачи и колебаний. Методы динамического программирования и спектрального разложения / М. Рахимов : научная монография, LAP: LAMBERT Academic Publishing. – 356 с.

References

1. Türkmenistanyň Prezidentiniň 2022-nji ýylyň 8-nji iýulynda çykaran 179-njy Karary bilen tassyklanan Türkmenistanyň Prezidentiniň ýurdumyzy 2022–2028-nji ýyllarda durmuş-ykdysady taýdan ösdürmegiň Maksatnamasy.

2. Berkarar döwletiň täze eýýamynyň Galkynyşy: Türkmenistany 2022-2052-nji ýyllarda durmuş-ykdysady taýdan ösdürmegiň Milli maksatnamasy. Türkmenistanyň Milli Geňeşiniň Halk Maslahatynyň 2022-nji ýylyň 11-nji fewralynda geçirilen nobatdan daşary mejlisinde tassyklanyldy.

3. Nazarow, S. STEM-biliminde matematiki mpdelirlemäniň orny / Nazarow S., Rahymow M. // Berkarar döwletiň täze eýýamynyň galkynyşy döwründe ylym, tehnika we innowasion tehnologiýalar : тезисы Междунар. науч. конф., 12–13 июня 2024 г., г. Ашхабад / Türkmenistanyň Ylymlar akademiýasy. – Ашхабад, 2024.

4. Чучалин, А. И. Подготовка в вузе STEM:IT-профессионалов к инновационной деятельности в 3D командах. / А. И. Чучалин // Высшее образование в России. – 2022. – вып. 31. – № 8–9. – С. 79–91.

5. Nazarow, S. M.Rahymow, G. Hekimow, Optimal modeling of the heat transfer of a viscous incompressible liquid, / S. Nazarow, M. Rahymow, G. Hekimow : E3S Web of Conferences. – 2020. – V. 216. – art. 01059. – https ://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601059.

6. Рахимов, М. Оптимальное моделирование процессов теплопередачи и колебаний. Методы динамического программирования и спектрального разложения / М. Рахимов : научная монография, LAP: LAMBERT Academic Publishing. – 356 с.

UDC

ARDUINO-BASED DEVICE MODELING: INDOOR AIR QUALITY OF SICT THE RESULTS OF EVALUATION STUDIES

T. Nomin-Erdene, *Network technology” 3th year student, Mongolian University of Science and Technology, School of Information and Communications Technology, Information network and security industry, E-Mail: Laura33heh@gmail.com*
L. Odonchimeg, *ШУТИС, Мэдээллийн сүлжээ, аюулгүй байдлын салбарын дэд профессор, доктор* (*Ph.D Mongolian University of Science and Technology, School of Information and Communications Technology, Information network and security industry E-Mail: odno@must.edu.mn*

Abstract

As the level of air pollution increases, it starts to damage our environment. But whenever the topic of air pollution comes up, we talk about the environment. Outdoor air pollution also affects indoor air. In our research, we measured indoor air pollution in University using Arduino boards, gas, humidity, and temperature sensors. In this work, we proposed a cheap air quality monitoring system based on Arduino uno microcontroller. The Arduino is connected to 2 sensors and the measured data is displayed on the LCD screen. The sensors used are DHT11 for humidity and