

ISSN-1682-0533

Научно-Техническое Общество «КАХАК»

ИЗВЕСТИЯ

Научно-Технического Общества «КАХАК»

2019, № 1 (64)

Алматы, 2019

ИЗВЕСТИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА «КАХАК»

Алматы, 2019 г., № 1 (64)

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Пак И.Т. – заслуженный деятель науки и техники РК,
доктор технических наук, профессор

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Бияшев Р.Г. – доктор технических наук, профессор; **Калтаев А. Ж.** – доктор физико-математических наук, профессор; **Мукашев Б.Н.** – доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК; **Мун Г.А.** – доктор химических наук, профессор, *заместитель главного редактора*; **Огай В.Б.** – кандидат биологических наук; **Сон Э.Е.** – доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН (Москва, РФ); **Цой О.Г.** – доктор медицинских наук, профессор; **Kim Chul** – PhD, профессор (Торонто, Канада); **Khatskevich V.Kh.** – доктор технических наук, профессор (Нью-Йорк, США); **Kim Byung-Soo** – PhD, профессор (Сеул, Республика Корея); **Park Kinam** – PhD, профессор (Уэст Лафайетт, США); **Ю В.К.** – доктор химических наук, профессор, *ответственный секретарь*; **Югай О.К.** – кандидат химических наук, ассоциированный профессор, *зам. ответственного секретаря*

EDITOR-IN-CHIEF

Pak I.T. – Honored Worker of Science and Technology of Kazakhstan,
Doctor of Technical Sciences, professor

THE EDITORIAL BOARD:

Biyashev R.G. – Doctor of Technical Sciences, professor; **Kaltayev A.** – Doctor of Physico-mathematical Sciences, professor; **Mukashev B.N.** – Doctor of Physico-mathematical Sciences, professor, NAS RK academician; **Mun G.A.** – Doctor of Chemical Sciences, professor, *Deputy Chief Editor*; **Ogay V.B.** – Candidate of Biological Sciences; **Son E.E.** – Doctor of Physico-mathematical Sciences, professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation); **Tsoy O.G.** – Doctor of Medical Sciences, professor; **Kim Chul** – PhD, professor (Toronto, Canada); **Khatskevich V.Kh.** – Doctor of Technical Sciences, professor (New-York, USA); **Kim Byung-Soo** – PhD (Seoul, Republic of Korea); **Park Kinam** – PhD, professor (West Lafayette, USA); **Yu V.K.** – Doctor of Chemical Sciences, professor, *Managing Editor*; **Yugay O.K.** – Candidate of Chemical Sciences, associate professor, *Deputy Managing Editor*

Учредитель: Научно-техническое общество «КАХАК»

Издается с 1998 г.

Выходит 4 раза в год.

Свидетельство о регистрации издания № 1561-ж от 3 ноября 2000 г.

Выдано Министерством культуры, информатики и общественного согласия Республики Казахстан

Подписной индекс: 74838

Подписку можно оформить в отделениях связи АО «Казпочта».

Подписка продолжается в течение года.

Адрес редколлегии и редакции:

050010, г. Алматы, ул. Курмангазы, 40 (Дом Дружбы), офис 34
телефон 8-(727)-2727902, 2916069

e-mail: izv.ntokahak@mail.ru

Сайт: www.ntokahak.kz

ISSN-1682-0533

МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

МРНТИ 47.09.51

УДК 628.974.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛЫХ СВЕТОВОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В НАРУЖНОЙ РЕКЛАМЕ

Байпакбаева С.Т.^{1,2}

¹Алматинский университет энергетики и связи

²ТОО «QAZTEX Innovations»

Алматы, Республика Казахстан

e-mail:saltanat.baipakbayeva@gmail.com

Показано, что полые световодные элементы способны найти широкое применение в современной световой рекламе, в которой все активнее используется светодиодная техника. Принципиальным отличием таких элементов от классических световодов является то, что в данном случае свет переходит из оптически менее плотной среды в более плотную, а не наоборот. Работоспособность полых световодных элементов обеспечивается за счет того, что при больших углах падения коэффициент отражения оптического излучения приближается к единице даже тогда, когда излучение переходит из оптически менее плотной среды в более плотную. Это позволяет осуществить передачу излучения на сравнительно короткие расстояния, что достаточно для использования предлагаемых элементов в световой рекламе. Предложена методика расчета, которая позволяет определять оптимальную форму используемых световодных элементов. В частности, в данной статье рассматривается клавиатуры с оптической кодировкой, в которой используются деформируемые световодные элементы. Такого рода системы, то есть системы ввода информации нового типа, представляют значительный интерес, в том числе, с точки зрения проблемы экономической эффективности производства фотоэлектрических панелей.

Ключевые слова: световодный элемент, световая реклама, оптическое излучения, отражение, формулы Френеля, клавиатура с оптической кодировкой, оптическая ловушка.

Жарық диодты бағыттаушы элементтер қазіргі заманғы жарық жарнамаларда кеңінен қолдануға қабілетті екенін көрсетті, онда жарықдиодты технология кеңінен қолданылады. Мұндай элементтер мен классикалық талшықтар арасындағы негізгі айырмашылық, жарықтың оптикалық тығыздығы аз ортадан оптикалық тығыздығы көп ортаға өтуі, керісінше емес. Ішкі жарық бағыттаушы элементтердің тиімділігі оптикалық сәулеленудің үлкен бұрышпен түсуі, оптикалық шағылысу коэффициентін 1-ге жақындатады, бұл жағдай жарықтың оптикалық тығыздығы аз ортадан оптикалық тығыздығы көп ортаға өтуіне қарамастан орындалады. Осыған орай ұсынылған әдіспен жарықты қысқа қашықтықта сәулелендіру, мұндай элементтерді жарық жарнамаларында қолдануға жарамды екенін көрсетеді. Қолданылған жарық бағыттаушы элементтерінің оңтайлы формасын анықтауға мүмкіндік беретін есептеу әдісі ұсынылған. Атап айтқанда, бұл мақалада деформацияланатын жарық бағыттағыш элементтерін қолдана отырып оптикалық кодтаулы пернетақта қарастырылған. Мұндай жүйелер, яғни жаңа түрдегі пернетақта фотоэлектрлік панельдер өндірісінің экономикалық тиімділігі мәселесі тұрғысынан алғанда, қызығушылық тудырады.

Тірек сөздер: жарықжол элементі, жарық жарнамалар, оптикалық сәулелену, шағылысу, Френель формулалары, оптикалық кодтаулы пернетақта, оптикалық тұзақ.

It is shown that hollow light guide elements are able to find wide application in modern light advertising, in which LED technology is increasingly being used. The principal difference between such elements and classical fibers is that in this case the light passes from the optically less dense medium to a more dense, and not vice versa. The efficiency of the hollow light-guide elements is ensured by the fact that at large angles of incidence the reflection coefficient of optical radiation approaches unity even when the radiation passes from an optically less dense medium to a more dense one. This allows the transmission of radiation over relatively short distances, which is sufficient for the use of the proposed elements in light advertising. A calculation method is proposed that allows determining the optimal form of the used light guide elements. . In particular, this article discusses the keyboard with optical coding, which uses deformable light guide elements. Such systems, i.e. new input systems are of considerable interest from the point of view to the problem of the economic efficiency in production of photovoltaic panels.

Keywords: light guide element, illuminated advertising, optical radiation, reflection, Fresnel formulas, optical keypad, optical trap.

В настоящее время светодиодная техника становится одним из основных средств наружной рекламы; современный город сложно представить себе без различного рода оптических систем, используемых для оформления витрин, праздничной иллюминации и т.д. [1–4].

Одними из наиболее распространенных изделий, представленных на рынке светодиодных оформительских систем, являются трубки, внутри которых располагаются источники света. При сравнительно малых расстояниях между вмонтированными в трубку светодиодами издали такая трубка воспринимается как светящаяся линия, что позволяет формировать с ее помощью рисунки, надписи и т.д. [2]. Такого рода системы уже в значительной степени вытеснили газосветную рекламу в силу очевидных преимуществ, главным из которых является существенное снижение напряжения питания, а также безопасность в эксплуатации, сравнительно низкое энергопотребление и т.д.

Очевидным недостатком систем рассматриваемого типа является неравномерность освещенности трубки, необходимость использования достаточно большого числа светодиодов для формирования отдельной надписи, а также повышение веса изделия, связанное с необходимостью использования монтажных проводов (в особенности – для случая, когда требуется реализовать независимое управление каждым из светодиодов системы).

В данной работе показано, что указанные недостатки могут быть устранены за счет использования полых световодных элементов, выполняемых из оптически прозрачных полимерных материалов. Ранее [5, 6] такого рода световодные элементы было предложено использовать в клавиатурах с оптической кодировкой. Полая полимерная трубка не является световодом в общепринятом смысле этого термина, так как при распространении лучей в таком элементе не имеет места эффект полного внутреннего отражения. Излучение переходит из оптически менее плотной среды (воздух) в оптически более плотную (полимер), тогда как для того чтобы проявился эффект полного внутреннего отражения ситуация должна быть обратной (переход из оптически более плотной среды в менее плотную).

Однако, как это вытекает, в частности, из формул Френеля [7], даже в том случае, когда свет переходит из оптически менее плотной среды в более плотную, коэффициент отражения может достигать заметной величины. Точнее, коэффициент отражения резко увеличивается при больших углах падения (рисунок 1).

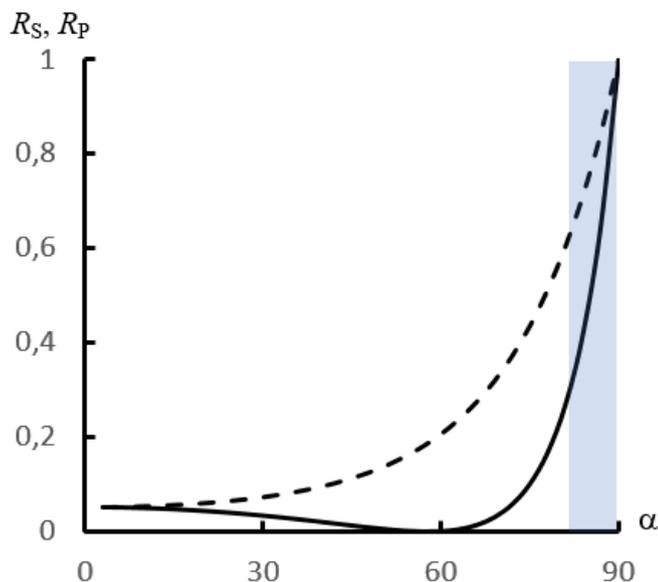


Рисунок 1 – Зависимости коэффициентов отражения s - (пунктирная линия) и p -поляризованной волны (сплошная линия) от границы раздела сред с показателями преломления $n = 1$ и $n = 1,59$; расчет произведён по формулам Френеля [11]

Именно этот эффект целесообразно использовать для реализации световодных элементов рекламного назначения, так как при распространении излучения по такому элементу оно частично переходит в окружающую среду, в результате чего прозрачная полимерная трубка с вставленным внутрь светодиодом визуально воспринимается как освещенный элемент (рисунок 2). Это связано с тем, что углы падения на поверхность трубки (при условии, что оптическая ось источника света совпадает с геометрической осью трубки) становятся достаточно большими (рисунок 3) по мере увеличения координаты точки пересечения луча с поверхностью трубки.



Рисунок 2 – Фотография прозрачной полимерной трубки со вставленным внутрь светодиодом, ось трубки и оптическая ось источника света совпадают

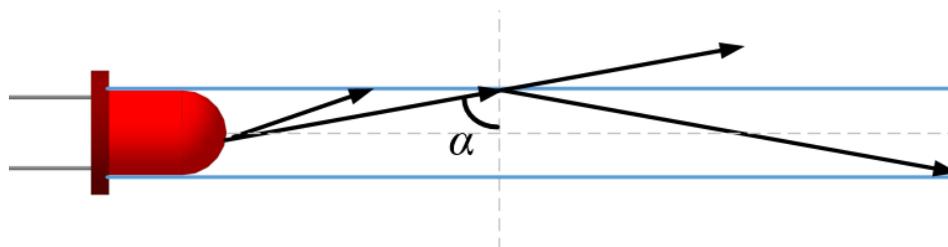


Рисунок 3 – Схема распространения лучей в полном световодном элементе при больших углах падения

Такие системы могут быть использованы в различных сенсорных устройствах, а также в клавиатурах с оптической кодировкой [8–12]. Несколько забегая вперед, отметим, что в данной клавиатуре оптический контакт обеспечивается за счет деформации световодного элемента, по которому распространяется свет. Именно поэтому для работы такого рода узлов, целесообразно использовать дополнительные светоотражающие и светорассеивающие покрытия, так как оптический контакт не является прямым, а определяется нарушениями условий распространения излучения при нажатии. Как известно и сам источник света, и светорассеивающее покрытие могут быть охарактеризованы диаграммами направленности.

Световодные системы в настоящее время широко используются в телекоммуникационной индустрии, известны попытки использовать их в других устройствах записи и обработки информации.

Как правило, в настоящее время используются световодные элементы, принцип действия которых основан на явлении полного внутреннего отражения [12]. В этом случае оптическое излучение поступает из оптически более плотной среды в оптически менее плотную. Соответственно основой любого оптического волокна является прозрачный материал с достаточно высоким коэффициентом преломления. Благодаря этому излучение, которое распространяется под малым углом к оптической оси, оказывается неспособным выйти за пределы оптического волокна; оно оказывается способным распространяться, в том числе и на очень большие расстояния. Однако для целого ряда практических приложений интерес представляют деформируемые световоды.

В частности, в данной статье рассматривается клавиатуры с оптической кодировкой, в которой используются деформируемые световодные элементы. Обратимая деформируемость светового элемента необходима для того, чтобы обеспечить передачу оптического сигнала от световода к приемнику излучения, в качестве которого выступает солнечная фотоэлектрическая панель. Такого рода системы, как показано в [8–12], представляют значительный интерес, и с точки зрения проблемы экономической эффективности производства фотоэлектрических панелей.

Как будет ясно из дальнейшего, даже сравнительно небольшие значения коэффициента отражения, которые имеют место тогда, когда излучение переходит из оптически менее плотной среды в более плотную, тем не менее, позволяют реализовывать достаточно интересные световодные системы. В качестве одной из них как раз и может выступать полая световодная трубка [13–16].

Рассмотрим возможности работы полого световодного элемента подробнее. Подчеркиваем, что полая полимерная трубка не является световодом в строгом смысле этого

термина, так как при распространении лучей в таком элементе не используется эффект полного внутреннего отражения.

Потери излучения при распространении на небольшие расстояния сравнительно невелики при условии, что диаграмма направленности источника света является достаточно узкой, [14]. Это вытекает из того, что при падении лучей на границу раздела сред под большим углом падения α (рисунок 3) коэффициент отражения является достаточно большим даже в том случае, когда среда, заполняющая световодный элемент рассматриваемого типа (воздух), является оптически менее плотной, нежели среда, из которой сформирован собственно данный элемент (полиэтиленовая или полистироловая трубка).

Такая форма световодного элемента, в которой используется явление отражения излучения от границы раздела оптически менее плотной и более плотной среды, не является оптимальной, но наиболее простой в изготовлении. Усовершенствованные конструкции, использующие принцип оптической ловушки, были рассмотрены в нашей работе [14], они также будут рассматриваться ниже.

Далее, значение угла падения может быть увеличено еще больше за счет перехода к системам, не обладающим строгой цилиндрической симметрией (для случая, когда поверхность световодного элемента не представляет собой круговой цилиндр).

Будем рассматривать неплоскую поверхность, описываемую уравнением вида

$$y(x, z) = X(x)Z(z) \quad (1)$$

в важном частном случае $Z(z) = R_0 = const$ (рассматриваемая поверхность обладает цилиндрической симметрией, что связано с ее практическим использованием в качестве световодного элемента). Вектор нормали $\vec{N}(\vec{r}_0)$ к поверхности в точке с радиус-вектором \vec{r}_0 , определяемый с точностью до множителя, может быть записан следующим образом.

$$\vec{N}(\vec{r}_0) = \left(\frac{\partial y}{\partial x}, -1, \frac{\partial y}{\partial z} \right) \quad (2)$$

Или для рассматриваемого случая

$$\vec{N}(\vec{r}_0) = \left(R_0 \frac{\partial X}{\partial x}, -1, 0 \right) \quad (3)$$

Соответственно, нормированный вектор нормали записывается как

$$\vec{n}(\vec{r}_0) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(R_0 \frac{\partial X}{\partial x} \right)^2}} \left(R_0 \frac{\partial X}{\partial x}, -1, 0 \right) = (n_x, n_y, 0) \quad (4)$$

Получим связь между единичными векторами \vec{e}_0 и \vec{e} , описывающими падающий и отраженный лучи для плоскости, касательной к рассматриваемой поверхности в точке \vec{r}_0 . Должны выполняться следующие условия

$$\vec{n} \cdot (\vec{e} + \vec{e}_0) = 0 \quad (5)$$

(проекция векторов \vec{e}_0 и \vec{e} на прямую, задаваемую вектором \vec{n} , должны быть равны по абсолютной величине и противоположны по знаку) и

$$\vec{n} \cdot (\vec{e} \times \vec{e}_0) = 0 \quad (6)$$

(все три рассматриваемых вектора должны лежать в одной плоскости).

В координатном представлении

$$(n_x e_x + n_y e_y) = -(n_x e_{x0} + n_y e_{y0}) \quad (7)$$

$$\begin{vmatrix} n_x & n_y & 0 \\ e_{x0} & e_{y0} & e_{z0} \\ e_x & e_y & e_z \end{vmatrix} = 0 \quad (8)$$

Или, раскрывая определитель (8)

$$e_{z0}(n_x e_y - n_y e_x) - e_z(n_x e_{y0} - n_y e_{x0}) = 0 \quad (9)$$

откуда

$$e_{z0}(n_x e_y - n_y e_x) = e_z(n_x e_{y0} - n_y e_{x0}) \quad (10)$$

Левую часть выражения (7) по смыслу можно рассматривать, в том числе, и как произведение вектора \vec{n} на вектор (e_x, e_y) , который не является единичным. Можно указать вектор $\vec{n}_1 = (n_y, -n_x)$, который является ортогональным к (n_x, n_y) :

$$(n_y, -n_x)(n_x, n_y) = 0 \quad (11)$$

Тогда выражения, фигурирующие в формуле (10), можно рассматривать как проекции векторов (e_x, e_y) и (e_{x0}, e_{y0}) на вектор $(n_y, -n_x)$. Точнее, эту формулу можно переписать как

$$-e_{z0}(n_y, -n_x)(e_x, e_y) = -e_z(n_y, -n_x)(e_{x0}, e_{y0}) \quad (12)$$

Переходя к угловым переменным на основании (7), легко видеть, что

$$(n_y, -n_x)(e_x, e_y) = (n_y, -n_x)(e_{x0}, e_{y0}) \quad (13)$$

Т.е. при отражении излучения проекция вектора (e_x, e_y) на нормаль меняет знак (7), а его проекция на вектор, перпендикулярный нормали, остается той же самой. Отсюда, в частности, вытекает, что

$$e_{z0} = e_z \quad (14)$$

На основании формулы (14) можно утверждать следующее. При отражении от поверхности рассматриваемого типа угол между отраженным лучом и осью Oz остается тем же самым, что и для падающего луча. Иначе говоря, при любом количестве отражений от поверхности рассматриваемого типа данный угол остается неизменным.

Следовательно, для описания поведения луча при многократных отражениях можно ограничиться рассмотрением его траектории в плоскости, перпендикулярной оси Oz (рисунок 4).

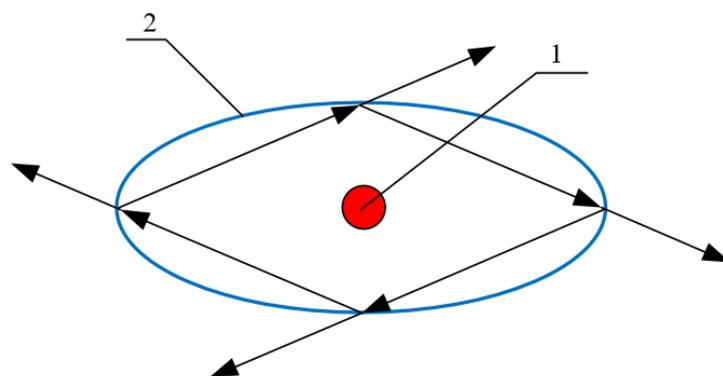


Рисунок 4 – Траектория луча в плоскости, перпендикулярной оси Oz

Рассмотрение траекторий в плоскости, перпендикулярной оси Oz (плоскости Oxy), с точки зрения теории световодных элементов предлагаемого типа представляет значительный интерес, поскольку оно позволяет указать достаточно простой способ, позволяющий создавать заданное распределение освещенности вдоль такого элемента. А именно, коэффициент отражения излучения от границы раздела двух оптически прозрачных сред, как это вытекает из формул Френеля, увеличивается по мере того, как угол падения приближается к 90° . Увеличить этот угол можно, в том числе, варьируя угол между проекцией луча в плоскости Oxy и нормалью к поверхности. На рисунке 5 для сравнения показаны две траектории лучей, относящиеся к случаю кругового цилиндра.

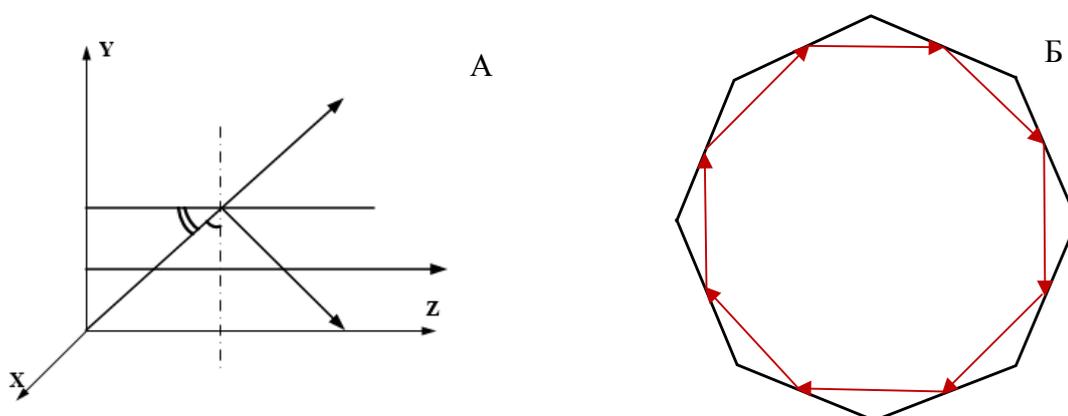


Рисунок 5 – Примеры траекторий лучей в плоскости Oxy ; луч лежит в плоскости, проходящей через ось Oz (А), луч не лежит ни в одной из таких плоскостей (Б)

Рисунок 5А отвечает случаю, когда падающий луч лежит в плоскости, проходящей через ось Oz. В этом случае траектория вырождается в два противоположно направленных вектора, лежащих на одном и том же участке. В случае, показанном на рис. 5Б, траектория луча представляет собой замкнутый многоугольник. В случае 5А проекция вектора на плоскость Oxy перпендикулярна плоскости, касательной к поверхности световодного элемента (в проекции угол падения составляет 0°), в случае рис. 5Б, он принимает ненулевое значение.

Точный расчет можно провести следующим образом. Косинус истинного угла падения есть

$$\cos\varphi = (n_x e_{x0} + n_y e_{y0}) \quad (15)$$

Наряду с ним можно рассмотреть угол в плоскости сечения цилиндрической поверхности, перейдя к вектору (e_{x0}, e_{y0}) , нормированному на единицу. Точнее, определяя единичный вектор в этой плоскости как

$$\vec{a} = \frac{1}{\sqrt{e_{x0}^2 + e_{y0}^2}} (e_{x0}, e_{y0}) \quad (16)$$

можно записать

$$\cos\varphi = \sqrt{e_{x0}^2 + e_{y0}^2} (n_x a_x + n_y a_y). \quad (17)$$

Учитывая, что

$$e_{x0}^2 + e_{y0}^2 + e_{z0}^2 = 1, \quad (18)$$

имеет место

$$e_{z0} = \cos\varphi_0, \quad (19)$$

где φ_0 – угол между осью Oz и направлением луча. Соответственно,

$$\sqrt{e_{x0}^2 + e_{y0}^2} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_0} = \sin\varphi_0, \quad (20)$$

откуда

$$\cos\varphi = \sin\varphi_0 (n_x a_x + n_y a_y) = \sin\varphi_0 \cos\varphi_1. \quad (21)$$

Полученная формула (21) устанавливает связь между углом падения в проекции (то есть тем углом, который фигурирует в построениях, аналогичных рис. 5) и истинным углом падения луча на поверхность световодного элемента. Соответствующие зависимости представлены на рисунке 6. Видно, что истинный угол падения приближается к значению в

90° (что позволяет увеличить коэффициент отражения) тем быстрее, чем больше угол между лучом и осью Oz. Иными словами, даже при сравнительно малых углах падения в проекции, значение истинного угла падения может быть сделано достаточно близким к 90°.

Аналитически это можно показать, рассматривая дополнительные углы, выражаемые формулами

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \varepsilon, \quad \varphi_1 = \frac{\pi}{2} - \varepsilon_1 \quad (22)$$

или

$$\sin \varepsilon = \sin \varphi_0 \sin \varepsilon_1 \quad (23)$$

По мере приближения угла падения к 90°, значения дополнительных углов становятся малыми, поэтому справедливо приближенное равенство

$$\varepsilon \approx \varphi_0 \varepsilon_1 \quad (24)$$

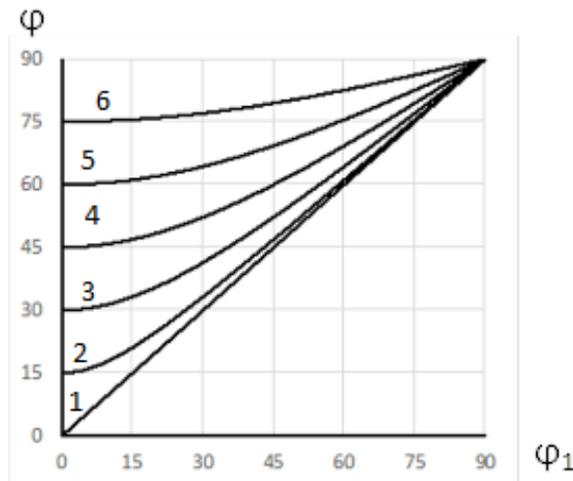


Рисунок 6 – Зависимость истинного угла падения от угла падения в проекции при различных значениях угла между лучом и осью Oz; $\varphi_0 = 15^\circ$ (1), 30° (2), 45° (3), 60° (4), 75° (5), 90° (6)

Выполнение равенства (24) иллюстрирует рисунок 7, на котором показаны те же зависимости, что и на рисунке 6, но для диапазона углов, приближающихся к 90°, в увеличенном масштабе. Видно, что в этом диапазоне рассматриваемые зависимости действительно близки к прямолинейным.

Полученные соотношения позволяют рассматривать световодные элементы предложенного типа, анализируя поведение лучей в плоскости Oxy. В частности, в этом контексте допустимо говорить об оптических ловушках, в которых при каждом следующем отражении от поверхности угол падения больше приближается к 90°. Выполнение этого условия позволяет в той или иной степени компенсировать потери света при предыдущих отражениях, обеспечивая необходимое распределение освещенности вдоль всего элемента.

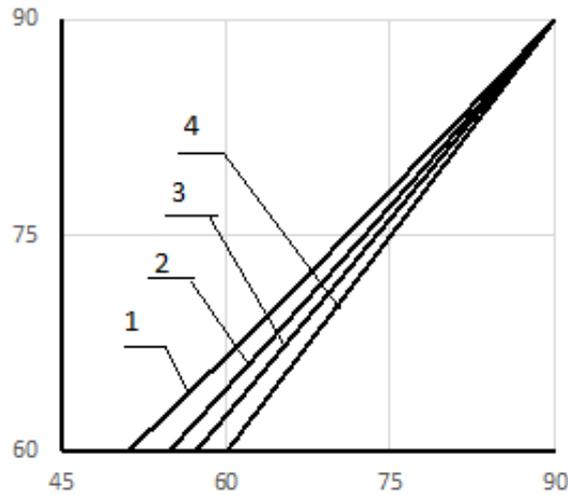


Рисунок 7 – Зависимость истинного угла падения от угла падения в проекции при различных значениях угла между лучом и осью Oz; $\varphi_0 = 45^\circ$ (1), 60° (2), 75° (3), 90° (4)

Один из вариантов поверхности, реализующий оптическую ловушку, можно построить следующим образом. Будем характеризовать касательную к кривой, представляющей собой сечение рассматриваемой поверхности плоскостью Oxy, углом ε_2 между касательной и осью Ox.

$$\operatorname{tg}\varepsilon_2 = \left. \frac{df}{dx} \right|_x \quad (25)$$

Будем также считать, что точечный источник света расположен в начале координат (рассмотрение именно точечного источника моделирует использование светодиода). В этом случае угол ε_1 между проекцией луча на плоскость сечения и осью Ox дается выражением

$$\operatorname{tg}\varepsilon_1 = k = \frac{f(x)}{x} \quad (26)$$

Соответственно, угол, дополнительный к углу падения (22) выражается через соотношение

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \quad (27)$$

Получим дифференциальное уравнение для кривой, описывающей геометрию оптической ловушки, потребовав, чтобы угол ε_0 был одинаков для всех лучей, испускаемых точечным источником света, расположенным в начале координат. Как непосредственно вытекает из (27)

$$\operatorname{tg}\varepsilon_0 = \operatorname{tg}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) = \frac{\operatorname{tg}\varepsilon_1 - \operatorname{tg}\varepsilon_2}{1 + \operatorname{tg}\varepsilon_1 \operatorname{tg}\varepsilon_2} \quad (28)$$

Или

$$\operatorname{tg}\varepsilon_0 = \frac{\frac{f(x)}{x} \frac{df}{dx}}{1 + \frac{f(x)}{x} \frac{df}{dx}} = g \quad (29)$$

Причем в правой части соотношения (29), по предположению, фигурирует константа. Несложными преобразованиями формулу (29) можно преобразовать к виду

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{y}{x} - g}{1 + g \frac{y}{x}} \quad (30)$$

Соотношение (30) можно получить также и непосредственно применяя к формуле, выражающей угол ε_2 через остальные углы, фигурирующие в задаче, формулу для тангенса разности углов. В дифференциалах соотношение (30) записывается как

$$\left(1 + g \frac{y}{x}\right) dy = \left(\frac{y}{x} - g\right) dx \quad (31)$$

Переходя к полярным координатам, имеем

$$(1 + g \operatorname{tg}\varphi) d(\rho \sin\varphi) = (\operatorname{tg}\varphi - g) d(\rho \cos\varphi), \quad (32)$$

откуда

$$(1 + g \operatorname{tg}\varphi)(\sin\varphi d\rho + \rho \cos\varphi d\varphi) = (\operatorname{tg}\varphi - g)(\cos\varphi d\rho - \rho \sin\varphi d\varphi) \quad (33)$$

или

$$\begin{aligned} & ((1 + g \operatorname{tg}\varphi) \sin\varphi - (\operatorname{tg}\varphi - g) \cos\varphi) d\rho = \\ & = -((1 + g \operatorname{tg}\varphi) \cos\varphi + (\operatorname{tg}\varphi - g) \sin\varphi) \rho d\varphi \end{aligned} \quad (34)$$

Группируя члены при одинаковых дифференциалах, имеем

$$\begin{aligned} & ((\cos\varphi + g \sin\varphi) \sin\varphi - (\sin\varphi - g \cos\varphi) \cos\varphi) d\rho = \\ & = -((\cos\varphi + g \sin\varphi) \cos\varphi + (\sin\varphi - g \cos\varphi) \sin\varphi) \rho d\varphi, \end{aligned} \quad (35)$$

откуда

$$g(\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi) d\rho = -((\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi)) \rho d\varphi. \quad (36)$$

Видно, что, как и следовало ожидать, искомое уравнение представляет собой уравнение логарифмической спирали в полярных координатах.

$$gd\rho = -\rho d\varphi \quad (37)$$

Его решение имеет вид

$$\ln\rho = -\frac{\varphi}{g} + c, \quad (38)$$

который также можно представить в форме

$$\rho = Ae^{-\frac{\varphi}{g}}. \quad (39)$$

При выборе такой формы кривой (Архимедова спираль) луч, отразившийся от поверхности, повторно попадает на нее же, но под углом, меньшим ε_0 (рассматриваются углы, дополнительные к углам падения). Это, как вытекает из формул Френеля, дает более высокие значения коэффициента отражения.

Таким образом, действительно существует возможность реализовывать полые световодные элементы, обеспечивающие передачу оптического излучения на сравнительно короткие расстояния, что достаточно для использования элементов такого типа в световой рекламе. Преимуществом полых световодных элементов является их дешевизна; они могут быть изготовлены из максимально доступных и дешевых полимерных материалов, в частности, полиэтилена.

Литература:

1. Щепетков Н.И. Световой дизайн города. – М.: Архитектура-С, 2007. – 320 с.
2. Назаренко Л. А., Литвиненко А. С., Полищук В. Н., Борщев В. Н., Листратенко А. М., Костышин Я. Я. Перспективы использования светодиодных источников света в коммунальном хозяйстве городов // Світлотехніка та Електроенергетика. – 2009. – № 3. – С. 9–15.
3. Никифоров С. Г. Проблемы, теория и реальность светодиодов для современных систем отображения информации высшего качества // Компоненты и технологии. – 2005. – № 5. – С. 48–57.
4. Abramov V. S., Polyakova I. P., Tomilin M. G., Chuvashov A. I. LED modules for large screens // Journal of Optical Technology. – 2003. – № 70 (7). – С. 492–494.
5. Байпақбаева, С. Т., Витулева Е. С. Некоторые вопросы становления энергоэффективного общества // Известия НТО «КАХАК». – 2017. – № 3 (58). – С. 51–59.
6. Baipakbayeva S. T., Suleimenov I. E. Development of a technique for calculating the characteristics of lightguiding elements based on Fourier optics // Вестник АУЭС. – 2018. – № 2 (41). – С. 39–47.
7. Suleimenov I. E., Shalytkova D. B., Baipakbayeva S. T., Mun G. A. Experimental implementation of a keyboard with optical coding based on solar photovoltaic panels // Вестник НИА РК. – Алматы: НИА РК. – 2018. – № 3. – С. 94–100.
8. Борн, М., Вольф, Э. Основы оптики. – М: Наука, 1973. – 720 с.
9. Suleimenov I. E., Gabrieliyan O. A., Shalytkova D. B., Mun G. A., Baipakbayeva S. T., Panchenko S. V., Nurtazin A. A. Energy efficiency of society in post-soviet states as a socio – economic problem // «Future energy: innovation scenarios and methods of their implementation» WSEC -2017, Astana 19–20 June, 2017. – Vol.3. – P. 64–69.
10. Baipakbayeva S. T. Possible-strategy of small green energy concept introduction in the Republic of Kazakhstan // The 3rd Annual International Academic Conference of IASS 2017, Ho Chi Minh City, Vietnam 8-12 November, 2017. – Vol.1. – P. 257–268.

11. Пак И. Т., Сулейменов И. Э., Байпакбаева С. Т. Энергосберегающие система ввода информации как пример реализации концепции малой зеленой энергетики // XVIII международная конференция по науке и технологиям Россия-Корея-СНГ: труды конференции. – Москва: Korean Science and Technology Society “AKSTS”, 2018. – С. 112–116.
12. Гроднев, И. И. Волоконно-оптические линии связи: Учебное пособие. – М: Радио и связь, 1990. – 224 с.
13. Кабдушев Ш. Б., Сулейменов И. Э., Шалтыкова Д. Б., Игликов И. В., Ермухамбетова Б. Б., Байпакбаева С. Т., Мун Г. А., Нуртазин А. А. Система ввода информации на основе солнечных фотоэлектрических панелей // «Энергия будущего: инновационные сценарии и методы их реализации» WSEC -2017, Астана 19–20 июня, 2017. – Т.3 – С. 201–206.
14. Vituleva E. S., Baipakbayeva S. T., Suleimenov I. E. Use of hollow fiber-optic elements in information input systems with optical coding // Proc. of the Sixth Intl. Conf. Advances in Computing, Communication and Information Technology– CCIT 2018, Zurich, Switzerland 28–29 April – P. 56–59.
15. Baipakbayeva S. T., Suleimenov I. E. Development of a technique for calculating the characteristics of lightguiding elements based on fourier optics // Вестник АУЭС– 2018. – № 2 (41). – С. 39–47.
16. Suleimenov I. E., Shaltykova D. B., Baipakbayeva S. T., Mun G. A. Experimental implementation of a keyboard with optical coding based on solar photovoltaic panels // Вестник НИА РК. – Алматы: НИА РК. – 2018. – № 3 – С. 94–100.

Поступила 17 января 2019 г.

МРНТИ 30.19.21; 30.19.23

УДК 622.692.4.-52; 539.3:624.044(035.3)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗМУЩЕНИЯ ЦЕПНОЙ ЧЕТЫРЕХМАССОВОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПЕРЕКАЧКЕ НЕФТИ РАЗНОЙ ВЯЗКОСТИ

Божанов Е.Т., Толганбаев А.Ж., Тулешева Г.А., Ажибекова А.С.

*Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева,
Алматы, Республика Казахстан
e-mail: kafedra-matematika@mail.ru*

В статье изложены вопросы математического моделирования процесса возмущения смеси жидкостей различной вязкости при движении по одному нефтепроводу. Модели рассмотрены при неустановившемся температурном поле. Механико-математическая модель представлена в виде трехслойной цилиндрической оболочки, состоящей из трех циклических деформационных систем в продольном направлении и из трех зон в поперечном сечении в условиях эксплуатации. При несущественной разнице вязкостей последовательно двигающихся жидкостей образуется большое количество примесей, тяжелых отложений и солей, использование которых приносит значительный убыток. Разработка технологии перекачки нефтепродуктов разной вязкости по одному трубопроводу приводит к увеличению коэффициента использования нефтепроводов и дает большой экономический эффект. Сама механическая система из четырех основ должна быть устойчивой, тогда как распределение возмущения во внутренних и поверхностных слоях может быть неустойчивым. Материал трубчатой конструкции с переменными параметрами можно выбрать из новых полимерных материалов.

Ключевые слова: моделирование, возмущение нефтяной смеси, нефтепровод, механико-математическая модель, вязкость, примеси, наполнитель.

Мақалада бір құбыр бойымен қозғалу кезінде түрлі тұтқырлықтағы сұйықтық қоспасын бұзу үдерісін математикалық модельдеу мәселелері қарастырылған. Модельдер тұрақсыз температура өрісі жағдайында қарастырылады. Механикалық және математикалық модель бойлық бағытта үш циклдық деформациялық жүйеден және жұмыс жағдайында көлденең қимада үш аймақтан тұратын үш қабатты цилиндрлік қабық түрінде ұсынылған. Кездейсоқ қозғалатын сұйықтықтардың тұтқырлығы шамалы өзгерген кезде үлкен мөлшерде қоспалар, ауыр шөгінділер мен тұздар пайда болады, оларды пайдалану айтарлықтай шығындарға әкеледі. Біртұтас құбыр арқылы әр түрлі тұтқырлықтағы мұнай өнімдерін айдау технологиясын жасау мұнай құбырларының пайдаланылу жылдамдығының артуына алып келеді және үлкен экономикалық тиімділік береді. Төрт негіздің механикалық жүйесі тұрақты, ал ішкі және үстіңгі қабаттардағы бұзылулардың таралуы тұрақсыз болуы мүмкін. Айнымалы параметрлері бар құбырлы материал жаңа полимерлік материалдардан таңдауға болады.

Тірек сөздер: модельдеу, мұнай қоспасының ауытқуы, мұнай құбыры, механикалық және математикалық модель, тұтқырлығы, толтырғыш.

The article presents mathematical modeling of the perturbation of a mixture of liquids with different viscosity when moving along one pipeline. Models are considered at unsteady temperature conditions. The

mechanical and mathematical model is represented as a three-layer cylindrical shell consisting of three cyclic deformation systems in the longitudinal direction and of three zones in cross section under operating conditions. With an insignificant difference in the viscosities of sequentially moving liquids, a large amount of impurities, heavy sediments and salts are formed, the use of which causes significant losses. The development of technology for pumping oil products of different viscosity along the same pipeline leads to an increase in the utilization rate of oil pipelines and gives a large economic effect. The mechanical system of the four bases must be stable, whereas the perturbation distribution in the inner and surface layers may be unstable. The material of tubular construction with variable parameters can be selected from new polymeric materials.

Keywords: modeling, perturbation of the oil mixture, oil pipeline, mechanical and mathematical model, viscosity, impurities, filler.

Введение. Процесс возмущения нефтяной смеси различной вязкости по одному трубопроводу при неустановившемся температурном поле достигается, тем, что исходя из функции перемещения $W = W(x, t)$ в направлении вертикальной оси поперечного сечения Oz , рассчитываются динамический диапазон нефтяной смеси, максимальная амплитуда нефти, коэффициент динамичности, стрела прогиба при статической и динамической нагрузке, поведение материала заполнителя в процессе деформации, а также круговая частота циклического деформирования в максимально возможном диапазоне частот.

Неустановившееся течение нефтяной смеси в механической системе: каркас трубопровода, прослойка-примеси и газа, наполнитель – тяжелая нефть, представим в виде механико-математической модели как трехслойная цилиндрическая оболочка, состоящая из трех циклических систем в продольном направлении и из трех зон в поперечном сечении в условиях эксплуатации [1–5].

Предположим, что:

- первая циклическая система, перекачка нефтегазопродуктов в области активного перемещения при переходе из овальной формы поперечного сечения тяжелой нефти к конусоидальной форме под действием внешней активной силы прямоугольной эпюры;
- вторая циклическая система, перекачка нефтесмеси в области упрочнения при переходе из конусоидальной формы поперечного сечения тяжелой нефти к форме гиперболической градири под действием внешней активной силы треугольной эпюры;
- третья циклическая система, перекачка тяжелой нефти в области ползучести и температурной релаксации при переходе из трапециевидной формы поперечного сечения тяжелой нефти к гармонической форме под действием внешней активной силы трапециевидной эпюры.

Первая зона поперечного сечения – упругопластическая, действует поверхностная энергия деформации и тепловая энергия при тепловом воздействии.

Вторая зона поперечного сечения – упруго-вязкая, действует поверхностная энергия с формированием новых поверхностей с упругой и вязкой основой при упрочнении.

Третья зона поперечного сечения – упругая зона при нелинейных деформационных процессах, действует скрытая энергия деформации, наличие кинетической энергии не превышает уровень напряжения – σ_B упруго-вязкой области, наличие избыточной энергии, не превышаемой уровень напряжения – σ_C области течения (структурного изменения).

1. Математическая модель

При вышеуказанных предположениях механизм последовательного движения нефтяной смеси разной вязкости и смешения их в первой циклической деформационной системе за время t можно представить как механико-математическую модель:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[\varepsilon(x) \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right] = \frac{q_k}{D} \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2}, \quad (1.1)$$

где $\frac{1}{a^2} = \frac{\rho_{\text{э}}}{G_{\text{э}}}$,

$$v_{\text{э}} = \sqrt{\frac{G_{\text{э}}}{\rho_{\text{э}}}},$$

$\varepsilon(x)$ – вязкость поперечного сечения тяжелой нефти,

D – цилиндрическая жесткость трубы,

$$q_k = q_k^0 \left(\frac{h}{R} \right)^{\frac{5}{2}} \left(\frac{R}{2} \right) - \text{активная критическая внешняя сила,}$$

$v_{\text{э}}$ – скорость эквивалентного слоя,

$\rho_{\text{э}}$ – плотность эквивалентного слоя,

$G_{\text{э}}$ – коэффициент сдвига эквивалентного слоя.

$$q_k^0 = f(\sigma, T, t, \varepsilon_y, \varepsilon_n, \varepsilon_{nn}, \varepsilon_c, q_1, q_2, \dots, q_n),$$

где σ – напряжение,

T – температура,

t – время,

ε_y – упругая деформация,

ε_n – остаточная деформация,

ε_{nn} – пластическая деформация,

ε_c – деформация структурного изменения,

q_1, q_2, \dots, q_n – физико-механические, технологические свойства нефтяной смеси.

Собственное колебание без учета внутреннего трения в динамических расчетах под действием силовых факторов первого класса описывается математической моделью:

$$\begin{aligned} \varepsilon(x) \frac{d^4 W}{dx^4} + 2\varepsilon'(x) \frac{d^3 W}{dx^3} + [\varepsilon^4(x) - N_1(x)] \frac{d^2 W}{dx^2} + \\ + [\eta(x) - 2N_1'(x)] \frac{dW}{dx} + [k(x) - N_1''(x)] W(x) = q_k \sin \omega_k(x), \end{aligned} \quad (1.2)$$

где $\eta(x)$ – вязкость легкой нефти,

$N_1(x)$ – продольная критическая сила,

$k(x)$ – жесткость демпфера,

ω_n – число полувольт в продольном направлении.

В частности, если $\varepsilon(x) = D = const$, $\eta(x) = \eta = const$, и $N_1(x) = N_1 = const$, то

$$D \frac{d^4 w}{dx^4} - N_1 \frac{d^2 w}{dx^2} + \eta \frac{dw}{dx} + kw = q_k \sin w_4 k \quad (1.3)$$

В качестве технической задачи рассмотрим решение дифференциального уравнения в частных производных (1.1) при $\varepsilon(x) = x^2$.

Полагая

$$w(x, t) = w(x)T(t), \quad (1.4)$$

и разделяя переменные, получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\varepsilon(x) \frac{d^4 w}{dx^4} + 2\varepsilon'(x) \frac{d^3 w}{dx^3} + \varepsilon^4(x) \frac{d^2 w}{dx^2} - aw(x) = 0,$$

$$\frac{d^2 T}{dt^2} - x^2 T = 0, \quad a^* = \frac{a_x x^2}{D V_3^2}. \quad (1.5)$$

Общее решение второго дифференциального уравнения системы (1.5) при начальных условиях Коши есть

$$T(t) = A \cos \frac{a^* n \pi}{e} t + B \sin \frac{a^* n \pi}{e_1} t, \quad (1.6)$$

где A, B – произвольные постоянные,

$n = (1, 2, \dots)$, e_1 – длина первой циклической деформационной системы.

Первое уравнение системы (1.5) есть дифференциальное уравнение Эйлера с переменными коэффициентами четвертого порядка, общее решение которого при $\varepsilon(x) = x^2$:

$$w(t) = C_1 J_0(w) + C_2 Y_0(w) + C_3 J_0(iw) + C_4 Y_0(iw), \quad (1.7)$$

где $w = 2^4 \sqrt{\frac{a_k \lambda^2}{D V_3^2}} x^{\frac{1}{2}}$, J_0, Y_0 – функции Бесселя нулевого порядка.

С учетом принятых предположений движение частицы нефтесмеси во второй циклической дифференциальной системе, находящейся ближе к оси трубы с вязкостью – $\eta(x)$ обладает большей скоростью, чем на периферии потока с вязкостью $\varepsilon(x)$, ($\varepsilon(x) > \eta(x)$). Следовательно, математическая модель возмущения тяжелой нефти представляется как

колебание остроконечной (клиновой) стержневой системы во второй циклической системе. Процесс за время t можно представить в виде математической модели (1.1) при $\varepsilon(x) = x^3$, то есть первое дифференциальное уравнение системы (1.5) есть

$$\frac{1}{x} \frac{d^2}{dx^2} \left(x^3 \frac{d^2 w}{dx^2} \right) - \lambda^2 w = 0, \quad (1.9)$$

общее решение которого

$$w(x) = x^{-\frac{1}{2}} \left[C_1 J_1(2\sqrt{\lambda x}) + C_2 Y_1(2\sqrt{\lambda x}) + C_3 J_1(2i\sqrt{\lambda x}) + C_4 Y_1(2i\sqrt{\lambda x}) \right] \quad (1.10)$$

Здесь J_1, Y_1 - функции Бесселя первого порядка.

В случае краевых условий Грина $\Gamma^{I,I}$ собственными значениями являются корни уравнения

$$\frac{d}{d\lambda} \left[J_0(2\sqrt{\lambda}) J_0(2i\sqrt{\lambda}) \right] = 0, \quad (1.11)$$

а собственными функциями:

$$J_0(2i\sqrt{\lambda}) \frac{d}{dx} J_0(2\sqrt{\lambda x}) + J_0(2\sqrt{\lambda}) \frac{d}{dx} J_0(2i\sqrt{\lambda x}). \quad (1.12)$$

Процесс выпучивания нефтяной смеси, с учетом принятых предположений, в третьей деформационной системе разделяется на две фазы. Первая фаза (вытеснение) начинается с момента поступления легкой жидкости в трубопровод и заканчивается в момент, когда «голова» ее клина достигает концевое сечения трубопровода под действием перепада давления в начале и конце трубопровода по интегральной теореме Эйлера. Следовательно, концентрации жидкости разных вязкостей, протекающей через концевое сечение гиперболической градирни за время t можно представить в виде математической модели (1.1) при $\varepsilon(x) = x^4$, то есть первое дифференциальное уравнение системы (1.5) есть

$$x^2 \frac{d^4 w}{dx^4} + 8x \frac{d^3 w}{dx^4} + 12 \frac{d^2 w}{dx^2} - \lambda^2 w = 0, \quad (1.13)$$

с общим решением

$$xw(x) = e_1 J_2(w) + C_2 Y_2(w) + C_3 J_2(iw) + C_4 Y_2(iw), \quad w = 2\sqrt{\lambda x}. \quad (1.14)$$

В случае краевых условий Грина $\Gamma^{I,I}$ собственными значениями являются корни уравнения

$$\frac{d}{dx} \left[\frac{d}{dx} J_0(2\sqrt{\lambda}) \cdot \frac{d}{d\lambda} J_0(2i\sqrt{\lambda}) \right] = 0, \quad (1.15)$$

а собственными функциями

$$\frac{d}{dx} J_0(2i\sqrt{\lambda}) \frac{d^2}{dx^2} J_0(2\sqrt{\lambda}) + \frac{d}{d\lambda} J_0(2\sqrt{\lambda}) \frac{d^2}{dx^2} = J_0(2i\sqrt{\lambda x}). \quad (1.16)$$

2. Выпучивание трубчатой конструкции с переменными параметрами в зоне плавления

В частности, если в зоне плавления примем математическую модель [6, 7]:

$$\frac{d^4 w}{dx^4} - \frac{k_2}{k_1} \frac{d^2 w}{dx^2} + k_1 w = \frac{q_k}{D}, \quad k_2 = 2k_1 \sqrt{k_1}, \quad (2.1)$$

$$w(x) = e^{\alpha x} (C_1 + C_2 x) + e^{-\alpha x} (C_3 + C_4 x) + \frac{q_k}{D k_1}, \quad \alpha = \sqrt[4]{k_1}; \quad \frac{q_k}{D} = \frac{k_1 + k_2}{\eta_1} = const. \quad (2.2)$$

Граничные условия:

1) $w(x) = 2k_1 \sqrt{k_1}$

$$W(x)|_{x=0} = k_1; \quad \frac{dW}{dx}|_{x=0} = \eta_1; \quad \frac{d^2 W}{dx^2}|_{x=1} = k_2; \quad \frac{d^3 W}{dx^3}|_{x=1} = \eta_2, \quad (2.3)$$

2) $w(x) = \frac{1}{\Delta} \frac{1}{\alpha^2} \cdot x$

$$\times \left\{ \alpha^3 \left(\alpha^3 (e^{-2\alpha} - 2\alpha^2 - 2\alpha + 7) e^{-2\alpha} \left(\frac{q_k}{D} \frac{1}{k_1} - k_1 \right) e^{\alpha x} + \alpha^3 (2\alpha^2 - 2\alpha - 7) e^{-2\alpha} \left(\frac{q_k}{D} \frac{1}{k_1} - k_2 \right) e^{-\alpha x} \right) \right\} +$$

$$+ \frac{1}{\Delta} \frac{1}{\alpha^2} \left\{ 4\alpha^2 (\alpha^2 - 6) e^{-2\alpha} \eta_1 + 2\alpha [(3 - \alpha) e^{-2\alpha} - (\alpha + 3)] e^{-\alpha} k_2 + 2[(2 - \alpha) e^{-2\alpha} + (2 + \alpha)] e^{-\alpha} \eta_2 \right\} ch \alpha x +$$

$$+ \frac{1}{\Delta} \frac{1}{\alpha^2} \left\{ 2\alpha^4 \frac{q_k}{D} \frac{1}{k_1} [(\alpha - 2) e^{-2\alpha} x e^{\alpha x} + (2\alpha + 3) e^{-2\alpha} x sh \alpha x - x sh \alpha x] \right\} -$$

$$- \frac{1}{\Delta} \frac{1}{\alpha} \left\{ \alpha [(\alpha - 3) e^{-3\alpha} + \alpha^2 (2\alpha^2 - 2\alpha - 7)] e^{-2\alpha} + (\alpha + 3) e^{-\alpha} + \alpha^2 \right\} x e^{\alpha x} + (e^{2\alpha} - 2\alpha - 5) e^{-\alpha} x e^{-\alpha x} \left\} k_2 -$$

$$- \frac{1}{\Delta} \alpha^3 [(2\alpha + 3) e^{-2\alpha} + 1] x e^{-\alpha x} k_1 + \frac{1}{\Delta} \left\{ 2\alpha (\alpha^2 - 6) e^{-2\alpha} x e^{\alpha x} + [(2\alpha + 5) e^{-2\alpha} - 1] x e^{-\alpha x} \right\} \eta_1 +$$

$$+ \frac{1}{\Delta} \frac{1}{\alpha^2} \left\{ \alpha [(2 - x) e^{-2\alpha} + \alpha + 2] e^{-\alpha} x e^{\alpha x} - (e^{-2\alpha} + 2\alpha + 3) e^{-\alpha} x e^{-\alpha x} \right\} \eta_2. \quad (2.4)$$

Здесь

$$\Delta = 2\alpha(\alpha + 2)[(5 - 2\alpha)e^{-2\alpha} - 1] + (e^{-2\alpha} - \alpha)(e^{-2\alpha} - 2\alpha - 5),$$

$$a) \alpha = \sqrt[4]{k_1}; k_2 = 2k_1\sqrt{k_1}; k_1 = 25; \eta_1 = 0,66; \eta_2 = 0,765$$

$$b) \alpha = \sqrt[4]{k_1}; k_2 = 2k_1\sqrt{k_1}; k_1 = 36; \eta_1 = 0,88; \eta_2 = 0,94.$$

На рисунке 1 показано выпучивание трубчатой конструкции с переменными параметрами в зоне плавления при неоднородных граничных условиях цепной четырехмассовой системы. На рисунке 2 показано распространение волны расширения в толще нефтяной смеси при внешней прослойке легкой вязкости.

Если решим эту же техническую задачу при граничных условиях Грина $\Gamma^{I,III}$:

$$W(x)|_{x=0} = 0; \left. \frac{dw}{dx} \right|_{x=0} = \eta_1; \left. \frac{d^2w}{dx^2} \right|_{x=1} = 0; \left. \frac{d^3w}{dx^3} \right|_{x=1} = 0, \quad (2.5)$$

$$W(x) = \frac{1}{\Delta} \alpha \frac{1}{k_1} \left\{ (e^{-2\alpha} - 2\alpha^2 - 2\alpha + 7)e^{\alpha x} + (2\alpha^2 - 2\alpha + 7)e^{-2\alpha} e^{-\alpha x} + \right. \\ \left. + 2\alpha [(\alpha - 2)e^{-2\alpha} x e^{\alpha x} + (2\alpha + 3)e^{-2\alpha} x \operatorname{sh} \alpha x - x \operatorname{sh} \alpha x] \frac{q_k}{D} \right\}. \quad (2.6)$$

Здесь

$$\Delta = 2\alpha(\alpha + 2)[(5 - 2\alpha)e^{-2\alpha} - 1] + (e^{-2\alpha} - \alpha)(e^{-2\alpha} - 2\alpha - 5);$$

$$\alpha = \sqrt[4]{k_1}; k_2 = 2k_1\sqrt{k_1}; k_1 = 25; \eta_1 = 0,66; \eta_2 = 0,765.$$

На рисунке 3 показано выпучивание трубчатой конструкции с переменными параметрами в зоне плавления при однородных граничных условиях Грина $\Gamma^{I,III}$ цепной четырехмассовой системы.

На рисунке 4 показано распространение волны расширения в толще нефтяной смеси при внешней прослойке средней вязкости.

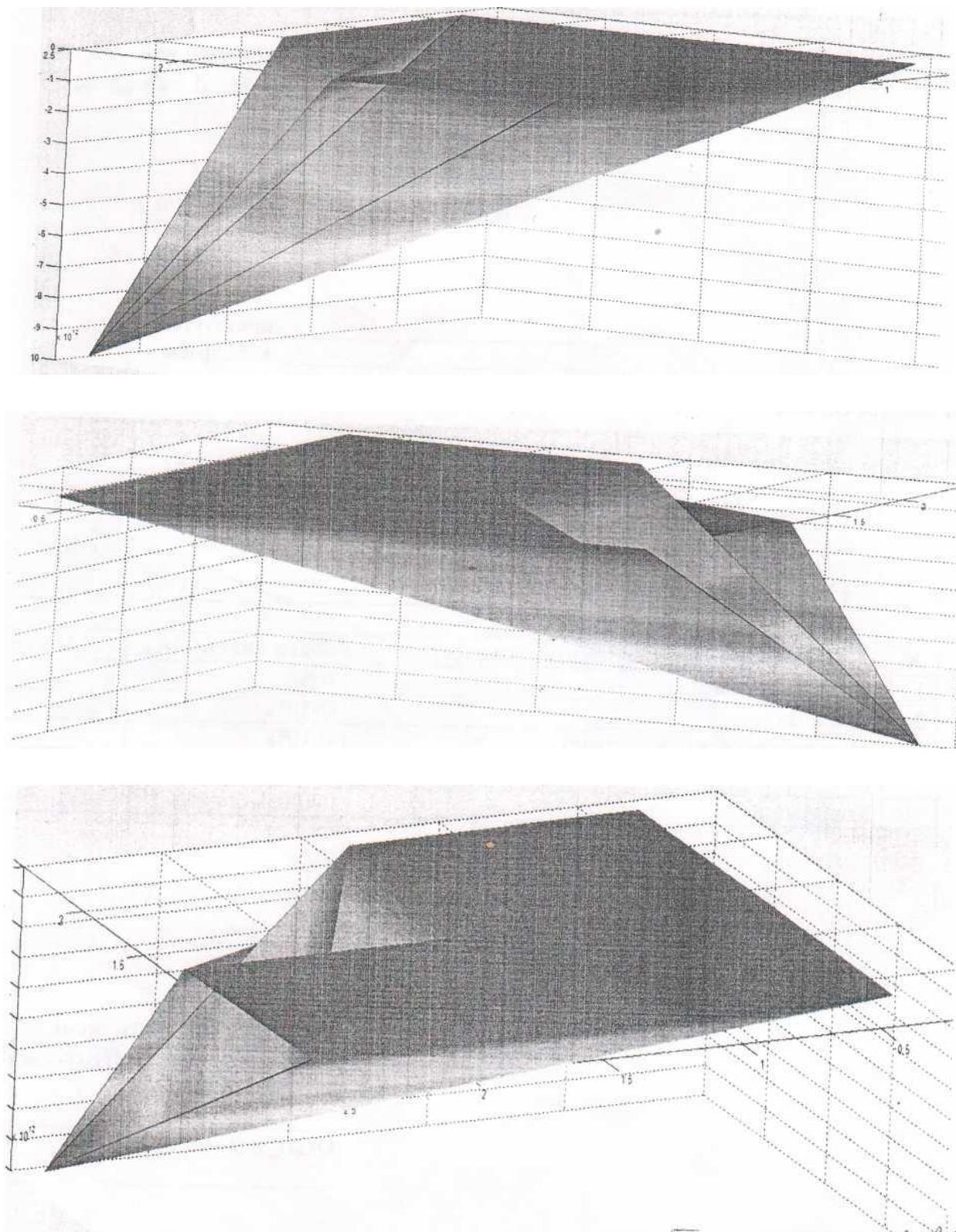


Рисунок 1 – Выпучивание трубчатой конструкции в зоне плавления при неоднородных граничных условиях

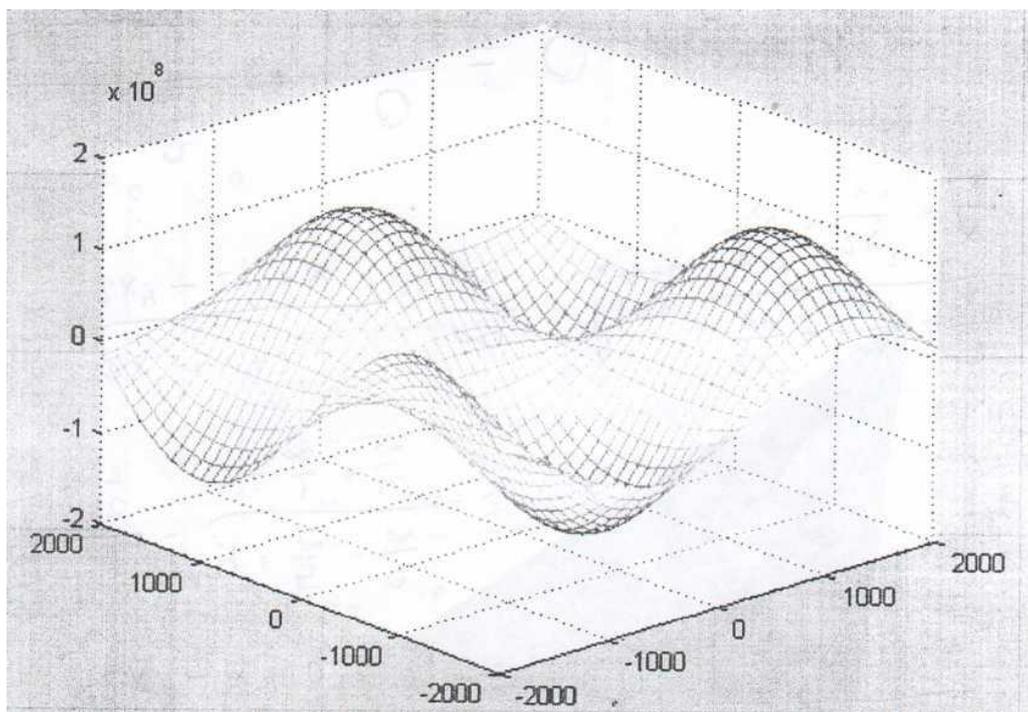


Рисунок 2 – Распространение волны расширения в толще нефтяной смеси при внешней прослойке легкой вязкости

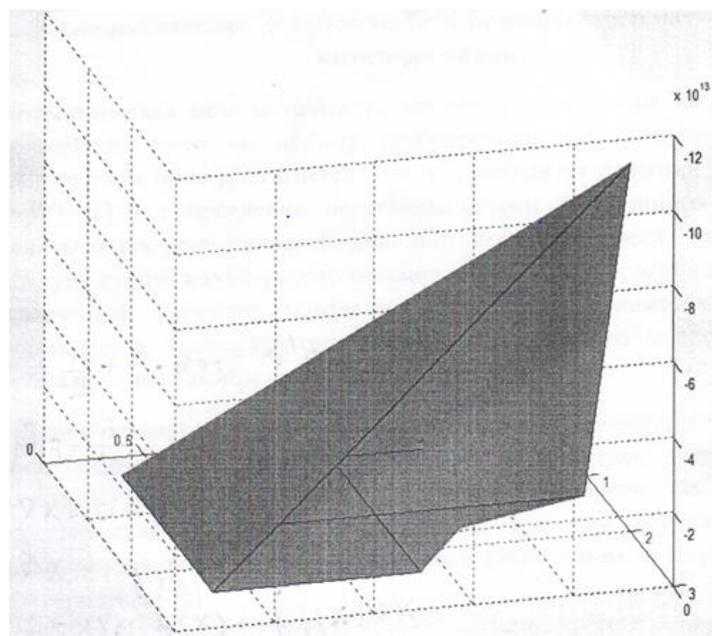


Рисунок 3 – Выпучивание трубчатой конструкции в зоне плавления при граничных условиях Грина

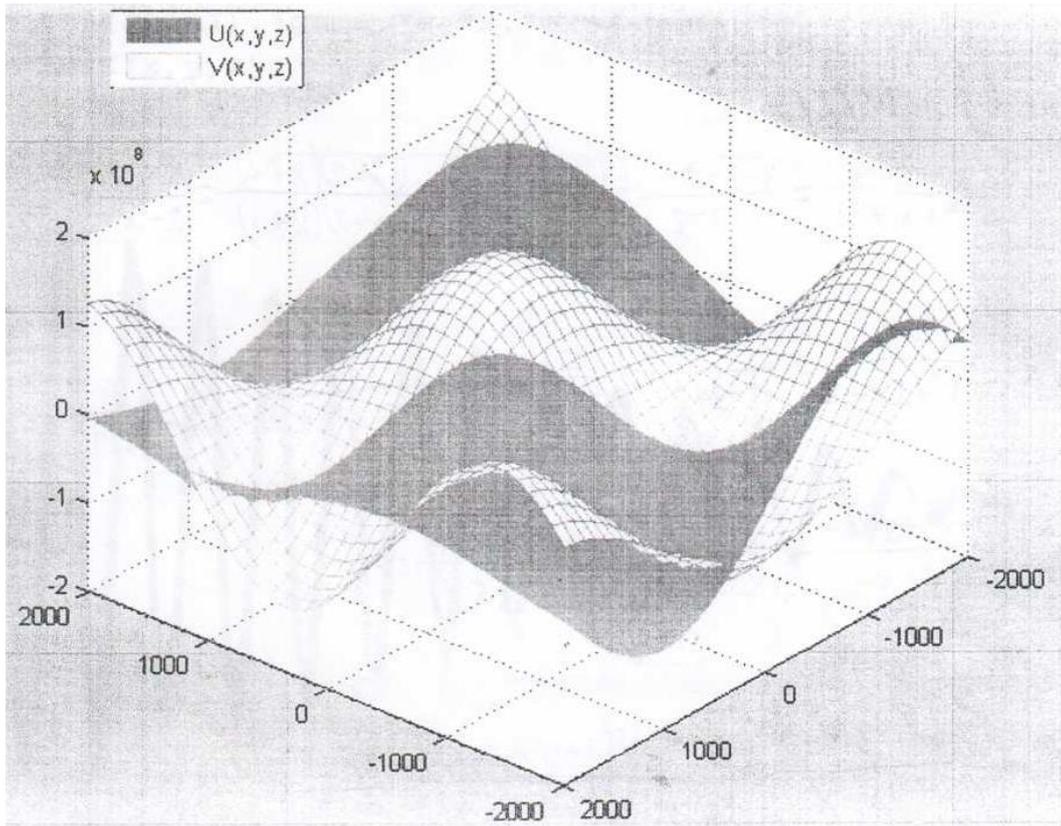


Рисунок 4 – Распространение волны расширения в толще нефтяной смеси при внешней прослойке средней вязкости

3. Выпучивание трубчатой конструкции с переменными параметрами в зоне кристаллизации

Если в зоне кристаллизации примем математическую модель [6]:

$$\frac{d^4 w}{dx^4} - \frac{k_2}{k_1} \frac{d^2 w}{dx^2} + k_1 w = 2 \frac{q_k}{D} (1-x), \quad k_2 = 4k_1 \sqrt{k_1}, \quad (3.1)$$

с общим решением:

$$W(x) = c_1 e^{\alpha_1 x} + c_2 e^{\beta_1 x} + c_3 e^{-\alpha_1 x} + c_4 e^{-\beta_1 x} + 2 \frac{q_k}{D} \frac{1}{k_1} (1-x), \quad (3.2)$$

граничными условиями Грина $\Gamma^{I,III}$:

$$W(x)|_{x=0} = 0; \quad \left. \frac{dw}{dx} \right|_{x=0} = 0; \quad \left. \frac{d^2 w}{dx^2} \right|_{x=1} = 0; \quad \left. \frac{d^3 w}{dx^3} \right|_{x=1} = 0. \quad (3.3)$$

Тогда
$$W(x) = \frac{1}{2} \frac{1}{\Delta} \frac{q_k}{D} \left\{ 2(7 - 4\sqrt{3})(\beta_1 sh \alpha_1 x - 2\alpha_1 ch \alpha_1 x) - \right.$$

$$- (\alpha_1 + \beta_1) sh[\alpha_1 x - (\alpha_1 - \beta_1)] + 2\alpha_1(3 - \sqrt{3}) ch[\alpha_1 x - (\alpha_1 - \beta_1)] +$$

$$+ (\alpha_1 - \beta_1) sh[\alpha_1 x - (\alpha_1 + \beta_1)] + 2\alpha_1(\sqrt{3} - 1) ch[\alpha_1 x - (\alpha_1 + \beta_1)] +$$

$$+ 2(7 + 4\sqrt{3})(\alpha_1 sh \beta_1 x - 2\alpha_1 ch \beta_1 x) - (\alpha_1 + \beta_1) sh[\beta_1 x + (\alpha_1 - \beta_1)] +$$

$$+ 2\alpha_1(3 + \sqrt{3}) ch[\beta_1 x - (\alpha_1 - \beta_1)] - (\alpha_1 - \beta_1) sh[\beta_1 x - (\alpha_1 + \beta_1)] -$$

$$\left. - 2\alpha_1(\sqrt{3} + 1) ch[\beta_1 x - (\alpha_1 - \beta_1)] \right\} + 2 \frac{q_k}{D} \frac{1}{k_1} (1 - x). \quad (3.4)$$

Здесь

$$\Delta = 14 + ch(\alpha_1 + \beta_1) - 3ch(\alpha_1 - \beta_1);$$

$$\alpha_1 = \sqrt{2\sqrt{k_1} + \sqrt{\frac{3}{k_1}}}; \quad \beta_1 = \sqrt{2\sqrt{k_1} - \sqrt{\frac{3}{k_1}}}; \quad \eta_1 = 0,66; \quad \eta_2 = 0,765 \quad (3.5)$$

На рисунке 5 показано выпучивание трубчатой конструкции с переменными параметрами в зоне кристаллизации при граничных условиях Грина $\Gamma^{I,III}$.

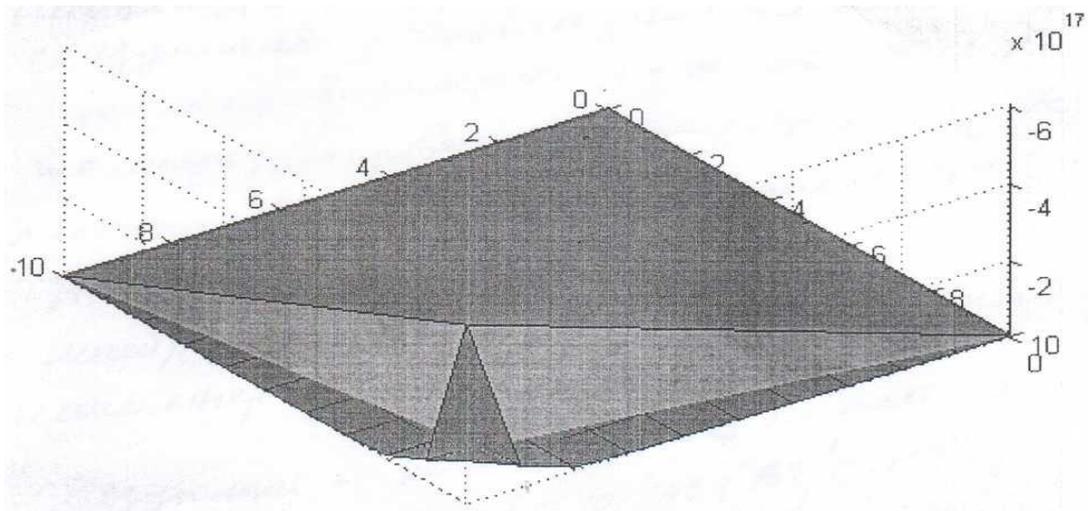


Рисунок 5 – Выпучивание трубчатой конструкции в зоне кристаллизации при граничных условиях Грина $\Gamma^{I,III}$

Внутренняя неустойчивость цепной четырехмассовой системы зависит от наклона характеристического уравнения динамики распространения волны сдвига:

$$\frac{\partial \omega_x}{\partial t^2} = k_2 \frac{\eta_1}{k_1} \nabla^2 \omega_x = \frac{1}{4} k_2^2 \left(\frac{\eta_1}{k_1} \right)^2 \alpha^3 \left\{ \left[k_2 + \frac{1}{2} \left(\eta_2 - k_2 + \frac{\eta_2^3 \sqrt{k_1}}{k_2^2} \right) \right] e^{\alpha z} - \frac{1}{2} \left(\eta_2 - k_2 - \frac{\eta_2^3 \sqrt{k_1}}{k_2^2} \right) e^{-\alpha z} \right\} \times \\ \times \sin(\alpha x + a) \cos(\alpha y + b) e^{-\frac{k_1 t}{\eta_1}} - \frac{k_2^2}{4} \left(\frac{\eta_1}{k_1} \right)^2 n^2 \cos ny,$$

$$\frac{\partial \omega_y}{\partial t^2} = -\frac{1}{4} k_2^2 \left(\frac{\eta_1}{k_1} \right)^2 \alpha^3 \left\{ \left[k_1 + \frac{1}{2} \left(\eta_1 - k_1 + \frac{\eta_1^3 \sqrt{k_2}}{k_1^2} \right) \right] e^{\alpha z} - \frac{1}{2} \left(\eta_1 - k_1 - \frac{\eta_1^3 \sqrt{k_2}}{k_1^2} \right) e^{-\alpha z} \right\} \times \\ \times \cos(\alpha x + a) \sin(\alpha y + b) e^{-\frac{k_1 t}{\eta_1}} + \frac{1}{8} k_2^2 \left(\frac{\eta_1}{k_1} \right)^2 \left(\frac{\pi}{50} \right)^3 \sin \frac{\pi x}{50},$$

$$\frac{\partial \omega_z}{\partial t^2} = -\frac{1}{4} k_2^2 \left(\frac{\eta_1}{k_1} \right)^2 \alpha^3 \left\{ \left[k_1 + \frac{1}{2} \left(\eta_2 - k_2 + \frac{\eta_2^3 \sqrt{k_1}}{k_2^2} \right) \right] e^{\alpha z} + \frac{1}{2} \left(\eta_2 - k_2 - \frac{\eta_2^3 \sqrt{k_1}}{k_2^2} \right) e^{-\alpha z} \right\} - \\ - \left[k_1 + \frac{1}{2} \left(\eta_1 - k_1 + \frac{\eta_1^3 \sqrt{k_2}}{k_1^2} \right) \right] e^{\alpha z} - \frac{1}{2} \left(\eta_1 - k_1 - \frac{\eta_1^3 \sqrt{k_2}}{k_1^2} \right) e^{-\alpha z} \left\} e^{-\frac{k_1 t}{\eta_1}} \cos(\alpha x + a) \cos(\alpha y + b),$$

Здесь $\alpha = \frac{k_1}{\eta_1} \frac{1}{\sqrt{k_2}}$; $a = 0,4\pi$; $b = 0,4\pi$; $z = 81$.

Заключение. Предложена математическая модель решения технической задачи для последовательнодвигающихся жидкостей с несущественной разницей вязкостей в механической системе.

Разработка технологии перекачки нефтепродуктов разной вязкости по одному трубопроводу путем получения материальной нефти посредством аппарата модифицированной гелиоустановки приводит к увеличению коэффициента использования нефтепроводов и дает большой экономический эффект. Отвод примесей, тяжелых отложений и солей путем опреснения на переработку дает максимальное снижение объема чистой материальной нефти.

В отличие от задач взаимодействия трехслойных оболочек с жидкостью в задачах цепной четырехмассовой системы в тепло-волновом процессе сама механическая система из четырех основ должна быть устойчивой, тогда как распределение возмущения во внутренних и поверхностных слоях может быть неустойчивым.

Материал трубчатой конструкции с переменными параметрами можно выбрать из новых полимерных материалов:

1) матрица – твердый полимер, наполнитель – стеклотка РС-1, связующая – эпоксидная смола ЭФ-5 с теплопроводностью $\lambda = 0,336 \left(\frac{BT}{(M \cdot c)} \right)$, температуропроводностью $\alpha = 0,188 \cdot 10^6$ (м²/с), плотностью $\rho = 1227$ кг/м³ при температуре 20⁰С;

2) матрица – твердый полимер, наполнитель – графит, связующая – эпоксидная смола ЭФ-5 с теплопроводностью $\lambda = 0,607 \left(\frac{BT}{(M \cdot c)} \right)$, температуропроводностью $\alpha = 0,388 \cdot 10^6$ (м²/с), плотностью $\rho = 1317$ кг/м³ при температуре 20⁰С;

3) матрица – твердый полимер, наполнитель – стеклотка и железный порошок, связующая – полиэфирная смола с теплопроводностью $\lambda = 0,532 \left(\frac{BT}{(M \cdot c)} \right)$, температуропроводностью $\alpha = 0,237 \cdot 10^6$ (м²/с), плотностью $\rho = 1675$ кг/м³ при температуре 20 °С.

Функции перемещения материальной точки:

$$u = u(z) \cos \frac{m\pi}{L} x \cdot \sin \frac{n\pi}{R} y \cdot e^{i\omega t},$$

$$v = v(z) \sin \frac{m\pi}{L} x \cdot \cos \frac{n\pi}{R} y \cdot e^{i\omega t},$$

$$w = f \left[\sin \frac{n\pi}{R} y + \sin^2 \frac{m\pi}{L} x \right].$$

Литература:

1. Божанов Е.Т., Отарбаев Ж.О., Буганбаева С. Н. Механико-математическое моделирование нефтепроводов, транспортирующих вязкие нефти методом горячей перекачки // Наука и инженерное образование без границ: труды международного форума, КазНТУ, Алматы. – 2009. – Т. 1. – С.276–279.
2. Божанов Е.Т., Сугиров Д.У., Ержанов К.Ш. Математическая модель турбулизатора с вырезами в теплообменнике, установленного в прямоугольном канале // Вестник КазГАСА. – 2004. – № 2. – С. 133–139.
3. Глушков А.А. Транспортировка высоковязкой нефти по магистральному нефтепроводу с использованием тепловых насосов: дис. ... канд. техн. наук : 25.00.19– Уфа: УГНТУ, 2009. – 137 с.
4. Божанов Е.Т., Тулешева Г.А., Бажаев Н.А., Хайруллин Е.М. Аналитико-расчетная модель движения тяжелой нефти под действием осевой критической силы, при поперечном сечении типа гадирни // Вестник КазНТУ. – 2015. – № 5. – С. 372–377.
5. Цейтлин А.И. Методы учета внутреннего трения в динамических расчетах конструкций. – Алма-Ата: Наука, 1987. – 240 с.
6. Божанов Е.Т. Буганова С.Н., Велямов Т.Т., Толганбаев А.Ж. Исследование процесса транспортировки нефти по одному трубопроводу с помощью модифицированной гелиоустановки методом тепловолнового процесса // Вестник КазГАСА. – 2017. – № 2. – С. 253–257.

Поступила 21 февраля 2019 г.

МРНТИ 30.19.21; 30.19.23

УДК 622.692.4.-52; 539.3:624.044(035.3)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ ПОСЛЕ СНЯТИЯ УСЛОВИЙ ПОД СОСРЕДОТОЧЕННОЙ ПЕРЕРЕЗЫВАЮЩЕЙ НАГРУЗКОЙ

Божанов Е.Т., Толганбаев А.Ж., Тулешева Г.А., Ажибекова А.С.

Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева,

Алматы, Республика Казахстан

e-mail: kafedra-matematika@mail.ru

Рассмотрена механическая система из четырех основ: трубчатая конструкция с переменными параметрами, пристеночный слой, предцентральный слой, центральный аномальный слой. Показаны изгибные деформации формы поперечного сечения предцентрального слоя цепной четырехмассовой системы в зоне охлаждения при неоднородных граничных условиях и граничных условиях Грина. Получены изгибные деформации формы поперечного сечения предцентрального слоя цепной четырехмассовой системы зоны кристаллизации. Приведены изгибные деформации формы поперечного сечения предцентрального слоя цепной четырехмассовой системы зоны плавления. Показаны амплитудно-частотные характеристики предцентрального слоя цепной четырехмассовой системы зоны плавления. Получены распределения возмущений, вызванных промежуточной внутренней неустойчивостью предцентрального слоя после снятия условий под сосредоточенной перерезывающей нагрузкой в зонах затвердения, кристаллизации и охлаждения. Представлены результаты сравнения предцентрального и центрального слоев.

Ключевые слова: *трубчатая конструкция, предцентральный слой, центральный аномальный слой, возмущения, устойчивость, амплитудно-частотные характеристики, нефтенасыщенность.*

Төрт іргетастың механикалық жүйесі қарастырылған: айнымалы параметрлері бар құбырлы құрылым, қабырға қабаты, орталыққа дейінгі қабат, орталық аномальды қабат. Біркелкі емес шекаралық шарттармен және Грин шекаралық шарттары бар салқындату аймағындағы төрт массалық тізбекті жүйенің орталыққа дейінгі қабатының көлденең қимасының нысанын иілу деформациялары көрсетілген. Кристалдану аймағының және балқу аймағының төрт массалық тізбекті жүйенің орталыққа дейінгі қабатының көлденең қимасының нысанын иілу деформациялары алынған. Балқу аймағының төрт массалық тізбекті жүйенің орталыққа дейінгі қабатының амплитудалық-жиілік сипаттамалары берілген. Орталыққа дейінгі қабаттың аралық ішкі тұрақсыздығынан туындаған бұзылулардың үлестірімі қаттылық, кристаллизация және салқындату аймақтарында концентрацияланған ығысу жүктемесі жағдайларын жойғаннан кейін алынған. Орталыққа дейінгі және орталық қабаттарды салыстыру нәтижелері келтірілген.

Тірек сөздер: *құбырлы құрылым, орталыққа дейінгі қабат, орталық аномальды қабат, ауытқулар, тұрақтылық, амплитудалық-жиілік сипаттамалары, майдың қанығуы.*

A mechanical system of four bases is considered: a tubular construction with variable parameters, a wall layer, a pre-central layer, a central anomalous layer. Bending deformations of the cross-sectional form of the pre-central layer of the four-mass chain system are shown in the cooling zone with heterogeneous boundary conditions and Green's boundary conditions. Bending deformations of the cross-sectional shape of the pre-central layer of the four-mass chain system of the crystallization zone are obtained. Bending

deformations of the cross-sectional shape of the pre-central layer of the four-mass chain system of the melting zone are given. The amplitude-frequency characteristics of the pre-central layer of the four-mass chain system of the melting zone are shown. Distributions of perturbations caused by the internal instability of the pre-central layer after abolishing conditions under a focused shear load in the zones of solidification, crystallization and cooling are obtained. The results of the comparison of the pre-central and central layers are presented.

Keywords: *tubular construction, pre-center layer, central anomalous layer, perturbations, stability, amplitude-frequency characteristics, oil saturation.*

Введение. Рассмотрим механическую систему из четырех основ:

- трубчатая конструкция с переменными параметрами под действием активной и реактивной критической силы;
- пристеночный слой под действием вышестоящих сил и лежащий на основании типа Соколова при неоднородных граничных условиях;
- предцентральный слой под действием силы вышестоящих слоев, лежащих на основании типа Пастернака при неоднородных граничных условиях;
- центральный аномальный слой под действием силы вышестоящих слоев, лежащих на основании обобщений модели типа Максвелла при неоднородных граничных условиях.

Предцентральный слой четырехмассовой системы с жёсткостью – k_1, k_2 и вязкостью – η_1, η_2 можно представить в виде смешения перекачиваемых жидкостей для максимального снижения объёма смеси в зависимости от диссипации энергии за счет тепло-волнового процесса, скорости свободной струи и от числа соударений элементов в выделенном объёме с ограничивающей объём поверхностью.

Предцентральный слой представим в виде одного эквивалентного слоя, тогда

$$V_0 = \sqrt{\frac{C_{\mathcal{O}}}{\rho_{\mathcal{O}}}}, \quad C_{\mathcal{O}} = \sum_{i=1}^4 \frac{h_i}{\lambda_i + 2k_i}, \quad \rho_{\mathcal{O}} = \sum_{i=1}^4 \rho_i h_i, \quad \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)h \ll 1, \quad \alpha = \alpha_0 \left[1 - \frac{\gamma^2}{4\left(\frac{2\pi}{\lambda}R\right)^2} \right].$$

Здесь: V_0 – скорость приведенной эквивалентной среды,

$C_{\mathcal{O}}$ – коэффициент упруго-вязкой среды,

$\rho_{\mathcal{O}}$ – плотность,

h_i – толщина предцентрального слоя,

h – длина волны,

k_i – комплексная жесткость,

$\frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число,

α_0 – начальные дисперсионные соотношения,

γ – коэффициент податливости,

R – внутренний радиус предцентрального слоя при больших деформациях. Механическая система предцентрального слоя имеет следующую математическую модель [1–5].

1. Математическая модель устойчивости

$$\frac{d^2}{dx^2} \left[\varepsilon(x) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - N_1(x) w(x) \right] = 0, \quad \frac{N_1(x)}{\varepsilon(x)} = \frac{k_1 + k_2}{\eta_1}; \quad \varepsilon(x) = \left\{ \frac{1}{x}; \frac{1}{1-x}; \frac{1}{1-x + \frac{x^2}{2}} \right\} \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = C^2 \nabla^2 \theta, \quad \theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}, \quad (1.2)$$

$$u = u(z) \cos(kx + a) \sin(\ell y + b) e^{i\omega t}, \quad v = v(z) \sin(kx + a) \cos(\ell y + b) e^{i\omega t}, \quad w = \sin \frac{\pi y}{R} + \sin^2 \frac{\pi x}{\ell} \quad (1.3)$$

Начальные условия, при низкотемпературной релаксации:

$$A) \quad W(t)|_{t=0} = \sigma_0 e^{-\left(\frac{k_1}{\eta_1}\right)^\rho \tau}, \quad \frac{dW}{dt}|_{t=0} = \sigma_0 e^{-k_a \tau}; \quad (1.4)$$

при среднетемпературной релаксации:

$$B) \quad W(t)|_{t=0} = \sigma_0 e^{-\left(\frac{k_1}{\eta_1}\right)^\rho \tau}, \quad \frac{dW}{dt}|_{t=0} = \sigma_0 e^{-k_a \tau} \quad (1.5)$$

$$\text{При этом в случае А): } W(t)|_{t=0} = \sigma_0 \exp\left(\frac{k_1}{\eta_1}\right)^\rho \tau \cdot \exp\left(e^{-\left[k_a - \left(\frac{k_1}{\eta_1}\right)^\rho \right] \tau} \right) t, \quad (1.6)$$

$$\text{в случае В): } W(t)|_{t=0} = \sigma_0 \exp(-k_a \tau) \exp\left(e^{(k_a - k_D) \tau} \right) t, \quad (1.7)$$

Граничные условия на торцах:

$$C) \quad W(x)|_{x=0} = k_1; \quad \frac{dW}{dx}|_{x=0} = \eta_1, \quad W(x)|_{x=1} = k_2; \quad \frac{dW}{dx}|_{x=1} = \eta_1. \quad (1.8)$$

на торцах угловые перемещения равны.

$$D) \quad W(x)|_{x=0} = k_1; \quad \frac{dW}{dx}|_{x=0} = \eta_1, \quad W(x)|_{x=1} = k_2; \quad \frac{dW}{dx}|_{x=1} = 0. \quad (1.9)$$

на торцах изгибающий момент равен нулю.

$$E) \quad W(x)|_{x=0} = k_1; \quad \frac{dW}{dx}|_{x=0} = \eta_1, \quad \frac{d^2 W}{dx^2}|_{x=1} = \frac{k_1 + k_2}{\eta_1}; \quad \frac{d^3 W}{dx^3}|_{x=1} = 0. \quad (1.10)$$

на торцах перегибающая сила равна нулю [4–6].

Общее решение обыкновенного дифференциального уравнения

$$\frac{d^2W}{dx^2} - \frac{k_1 + k_2}{\eta_1} W(x) = \frac{C_1 x + C_2}{\varepsilon(x)} \quad (1.11)$$

ищем в виде

$$W(x) = W_0(x) + W_1(x), \quad (1.12)$$

где $W_0(x)$ – общее решение однородной части

$$W_0(x) = C_3 e^{\alpha x} + C_4 e^{-\alpha x}, \text{ где } \alpha = \sqrt{\frac{k_1 + k_2}{\eta_1}}. \quad (1.13)$$

$W_1(x)$ – частное решение неоднородного уравнения (1.11). Здесь возможны случаи:

I случай. Если $\varepsilon(x) = \frac{1}{x}$, то $w_1(x) = -\frac{C_1}{\alpha^2} x^2 - \frac{C_2}{\alpha^2} x - \frac{2C_1}{\alpha^4}$ (1.14)

II случай. Если $\varepsilon(x) = \frac{1}{1-x}$, то $w_1(x) = \frac{1}{\alpha^2} \left(x^2 - x + \frac{2}{\alpha^2} \right) C_1 + \frac{1}{\alpha^2} (x-1) C_2$ (1.15)

III случай. Если $\varepsilon(x) = \frac{1}{1-x + \frac{x^2}{2}}$, то

$$w_1(x) = -\frac{1}{2\alpha^2} x^3 C_1 - \frac{1}{2\alpha^2} x^2 (C_2 - 2C_1) - \frac{1}{\alpha^2} x \left[\left(1 + \frac{3}{\alpha^2} \right) C_1 - C_2 \right] + \frac{1}{\alpha^2} \left[\frac{2}{\alpha^2} C_1 - \left(1 + \frac{1}{\alpha^2} \right) C_2 \right] \quad (1.16)$$

Таким образом, в зонах плавления $\varepsilon(x) = \frac{1}{x}$ и общее решение дифференциального уравнения (1.1) имеет вид:

$$w(x) = C_3 e^{\alpha x} + C_4 e^{-\alpha x} - \frac{1}{\alpha^2} \left(x^2 + \frac{2}{\alpha^2} \right) C_1 - \frac{1}{\alpha^2} x C_2. \quad (1.17)$$

В зонах кристаллизации $\varepsilon(x) = \frac{1}{1-x}$ и общее решение имеет вид:

$$w(x) = C_3 e^{\alpha x} + C_4 e^{-\alpha x} + \frac{1}{\alpha^2} \left(x^2 - x + \frac{1}{\alpha^2} \right) C_1 + \frac{1}{\alpha^2} (x-1) C_2. \quad (1.18)$$

В зонах затвердения $\varepsilon(x) = \frac{1}{1-x + \frac{x^2}{2}}$ и общее решение имеет вид:

$$w(x) = C_3 e^{\alpha x} + C_4 e^{-\alpha x} - \frac{1}{2\alpha^2} x^3 C_1 - \frac{1}{2\alpha^2} x^2 (C_2 - 2C_1) - \frac{1}{\alpha^2} x \left[\left(1 + \frac{3}{\alpha^2}\right) C_1 - C_2 \right] + \frac{1}{\alpha^2} \left[\frac{2}{\alpha^2} C_1 - \left(1 + \frac{1}{\alpha^2}\right) C_2 \right] \quad (1.19)$$

2. Распределение возмущений

2.1 Распределение возмущений, вызванных промежуточной внутренней неустойчивостью предцентрального слоя после снятия условий под сосредоточенной перерезывающей нагрузкой в зоне затвердения

Рассмотрим математическую модель

$$\frac{d^2 W}{dx^2} - \alpha^2 W = (C_1 x - C_2) \cdot \left(1 - x + \frac{x^2}{2}\right), \quad \alpha = \sqrt[3]{\frac{k_1 + k_2}{\eta_1}}. \quad (2.1)$$

Граничные условия

$$W(x)|_{x=0} = k_1; \quad \frac{dW}{dx}|_{x=0} = \eta_1; \quad \frac{d^2 W}{dx^2}|_{x=1} = \frac{k_1 + k_2}{\eta_1}; \quad \frac{d^3 W}{dx^3}|_{x=1} = 0. \quad (2.2)$$

Общее решение

$$W(x) = C_3 e^{\alpha x} + C_4 e^{-\alpha x} - \frac{1}{2\alpha^2} \left(x^3 - 2x^2 + 2 \left(1 + \frac{3}{\alpha^2}\right) x - \frac{4}{\alpha^2} \right) C_1 - \frac{1}{2\alpha^2} \left[x^2 - 2x + 2 \left(1 + \frac{1}{\alpha^2}\right) \right] C_2 \quad (2.3)$$

Подставляя (2.3) в граничные условия (2.2) получим систему алгебраических уравнений относительно произвольно-постоянных интегрирования C_1, C_2, C_3, C_4 . Решая систему получим значения C_1, C_2, C_3, C_4 , подставляя их значения в общее решение (2.3) получим:

$$\begin{aligned} W(x) = & -\frac{1}{2\Delta} \frac{1}{\alpha} \left\{ \alpha \left[(\alpha^2 - 3\alpha + 6) e^{-\alpha} - 6 \right] k_1 - \left[(\alpha^3 + 3\alpha^2 + 5\alpha - 3) e^{-\alpha} - 6 \right] \eta_1 + \right. \\ & + \alpha \left(\alpha^4 + 2\alpha^2 + 3 \right) e^{-\alpha} - 3\alpha \left(\alpha^2 - \alpha + 1 \right) \left. \right\} e^{\alpha x} - \frac{3}{2} \frac{1}{\Delta} \frac{1}{\alpha} \left\{ \left(\alpha^3 - 3\alpha^2 + 5\alpha - 3 \right) e^{\alpha} + 6 \right\} \eta_1 + \\ & + 3\alpha \left[\left(\alpha^2 - \alpha + 2 \right) e^{\alpha} - 2 \right] k_1 - \alpha \left[\left(\alpha^4 + 2\alpha^2 + 3 \right) e^{\alpha} + 3 \left(\alpha^2 + \alpha + 1 \right) \right] \left. \right\} e^{-\alpha x} - \\ & - \frac{1}{2\Delta} \alpha^2 \left[\alpha^2 k_1 - \left(\alpha^2 + 1 \right) \eta_1 \right] e^{\alpha x} \operatorname{ch} \alpha \left[x^3 - 2x^2 + 2 \left(1 + \frac{3}{\alpha^2} \right) x - \frac{4}{\alpha^2} \right] - \frac{1}{\Delta} \alpha^2 \left\{ \left[\alpha^2 k_1 - \left(\alpha^2 + 1 \right) \eta_1 \right] e^{\alpha} + \right. \\ & + 2 \left(\alpha k_1 + \eta_1 \right) - \alpha \left(\alpha^2 + \alpha + 1 \right) \left. \right\} \operatorname{sh} \alpha \left[x^3 - 2x^2 + 2 \left(1 + \frac{3}{\alpha^2} \right) x - \frac{4}{\alpha^2} \right] + \frac{1}{2\Delta} \alpha^2 \left(2\eta_1 - \alpha^2 \right) e^{\alpha} \left[x^3 - \right. \\ & - 2x^2 + 2 \left(1 + \frac{3}{\alpha^2} \right) x - \frac{4}{\alpha^2} \left. \right] - \frac{1}{4\Delta} \alpha^2 \left[\left(\alpha^2 + 2\alpha - 3 \right) e^{\alpha} k_1 + \left(1 + 2e^{\alpha} \right) \eta_1 - \right. \\ & - \left. \left(\alpha^2 + 2\alpha + 3 \right) \right] \operatorname{ch} \alpha \left[x^2 - 2x + 2 \left(1 + \frac{1}{\alpha^2} \right) \right] - \frac{1}{4\Delta} \alpha \left[\left(\alpha^3 + 2\alpha^2 - 3\alpha - 9 \right) k_1 + \right. \\ & + \left. \left(3 + 2\alpha e^{\alpha} \right) \eta_1 \right] \operatorname{sh} \alpha \left[x^2 - 2x + 2 \left(1 + \frac{1}{\alpha^2} \right) \right] + \frac{1}{4\Delta} \alpha^2 \left[\left(\alpha - 3 \right) e^{\alpha} k_1 + 2\alpha e^{\alpha} + 3 \right] \left[x^2 - 2x + 2 \left(1 + \frac{1}{\alpha^2} \right) \right], \quad (2.4) \end{aligned}$$

здесь

$$\Delta = [(\alpha^3 + 3\alpha^2 + 5\alpha + 6) - (\alpha^4 + \alpha^2 + \alpha + 3)e^\alpha]ch\alpha +$$

$$+ [(\alpha^4 + 4\alpha^3 + 6\alpha^2 + 4\alpha + 3)e^\alpha - 3(\alpha^2 + \alpha + 1)]sh\alpha - (\alpha - 3)(\alpha^2 + 1)e^\alpha \quad (2.5)$$

Если эту же техническую задачу решим относительно граничных условий Грина $\Gamma^{I,III}$:

$$W(x)|_{x=0} = 0; \quad \frac{dW}{dx}|_{x=0} = 0, \quad \frac{d^2W}{dx^2}|_{x=1} = 0; \quad \frac{d^3W}{dx^3}|_{x=1} = 0. \quad (2.6)$$

$$W(x) = \frac{1}{\Delta} \{(\alpha^4 + 2\alpha^2 + 3)[ch\alpha(1-x) + e^{\alpha(1-x)}] - 3(\alpha^2 + \alpha + 1)(sh\alpha x - e^{-\alpha x})\} +$$

$$\frac{1}{4\Delta} [2\alpha e^\alpha(1-\alpha) + (\alpha^2 + 2\alpha + 3)ch\alpha + 4\alpha(\alpha^2 + \alpha + 1)sh\alpha + 3[\alpha^2(x^2 - 2x) + 2(\alpha^2 + 1)]] \quad (2.7)$$

$$\alpha = \sqrt[3]{\frac{k_1 + k_2}{\eta_1}}; \quad k_1 = k_2 = 75,6; \quad \eta_1 = 0,94 \quad (2.8)$$

На рисунке 1 приведены вычисления формулы (2.4) при данных (2.5). На рисунке 2 приведена изгибная деформация формы поперечного сечения предцентрального слоя цепной четырех массовой системы зоны охлаждения при граничных условиях Грина $\Gamma^{I,III}$.

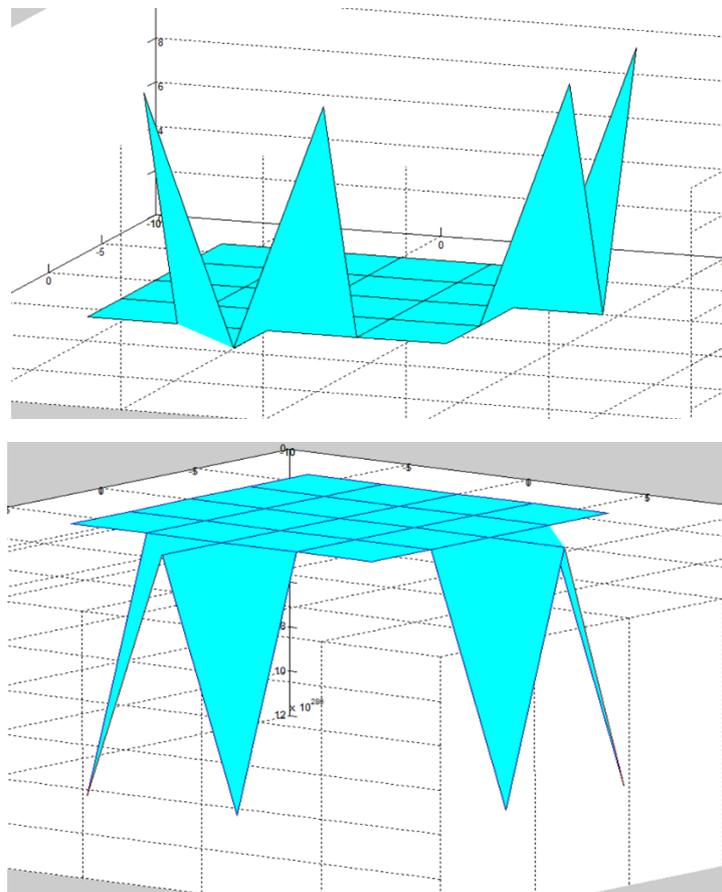


Рисунок 1 – Изгибная деформация формы поперечного сечения зоны охлаждения при неоднородных граничных условиях

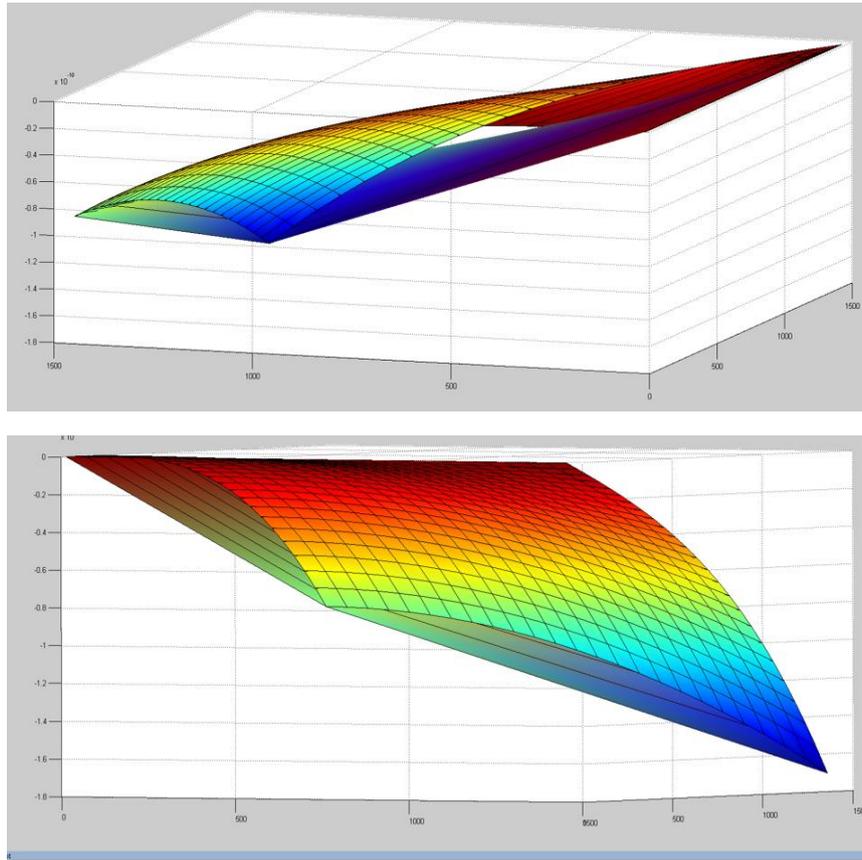


Рисунок 2 – Изгибная деформация формы поперечного сечения зоны охлаждения при граничных условиях Грина $\Gamma^{I,III}$

2.2 Распределение возмущений, вызванных промежуточной внутренней неустойчивостью предцентрального слоя после снятия условий в зоне кристаллизации

Математическая модель

$$\frac{d^2W}{dx^2} - \frac{k_1 + k_2}{\eta_1} W(x) = (C_1 + C_2) \cdot (1 - x) \quad (2.9)$$

Граничные условия

$$W(x)|_{x=0} = k_1; \quad \frac{dW}{dx}|_{x=0} = \eta_1; \quad \frac{d^2W}{dx^2}|_{x=1} = \frac{k_1 + k_2}{\eta_1}; \quad \frac{d^3W}{dx^3}|_{x=1} = 0. \quad (2.10)$$

Общее решение дифференциального уравнения (2.9)

$$W(x) = C_3 e^{\alpha x} + C_4 e^{-\alpha x} + \frac{1}{\alpha^2} \left(x^2 - x + \frac{2}{\alpha^2} \right) C_1 + \frac{1}{\alpha^2} (x-1) C_2, \quad \alpha = \sqrt[3]{\frac{k_1 + k_2}{\eta_1}} \quad (2.11)$$

Подставляя (2.11) в граничные условия (2.10) получим систему алгебраических уравнений относительно произвольных постоянных C_1, C_2, C_3, C_4 решая систему, получим значения C_1, C_2, C_3, C_4 .

А затем их значения подставляя в общее решение (2.11), получим:

$$W(x) = \frac{1}{2} \frac{1}{\Delta} \left\{ \frac{1}{\alpha^2} [(2 - \alpha^2)\alpha^2 - 2\alpha^2(k_1 + \eta_1)]ch\alpha(1-x) + \left[\frac{\alpha^2(ch\alpha - 2sh\alpha) -}{\alpha^2(k_1 + \eta_1)} \right] \left(x^2 - x + \frac{2}{\alpha^2} \right) \right\} + \frac{1}{2} \frac{1}{\Delta} \frac{1}{\alpha} \{ [2(\alpha^2 k_1 + 2\eta_1) - \alpha(\alpha^2 + 2\eta_1)]ch\alpha - 2(\alpha^2 + 2\eta_1)sh\alpha \} (1-x) \quad (2.12)$$

Здесь $\Delta = (1 + \alpha)sh\alpha - e^\alpha$, $\alpha = \sqrt[3]{\frac{k_1 + k_2}{\eta_1}}$; (2.13)

a) $k_1 = 75,6; k_2 = 75,6; \eta_1 = 0,94; \eta_2 = 0;$ b) $k_1 = 25; k_2 = 386; \eta_1 = 0,765; \eta_2 = 0$

На рисунках 3, 4 приведены изгибные деформации формы поперечного сечения предцентрального слоя цепной четырехмассовой системы зоны кристаллизации.

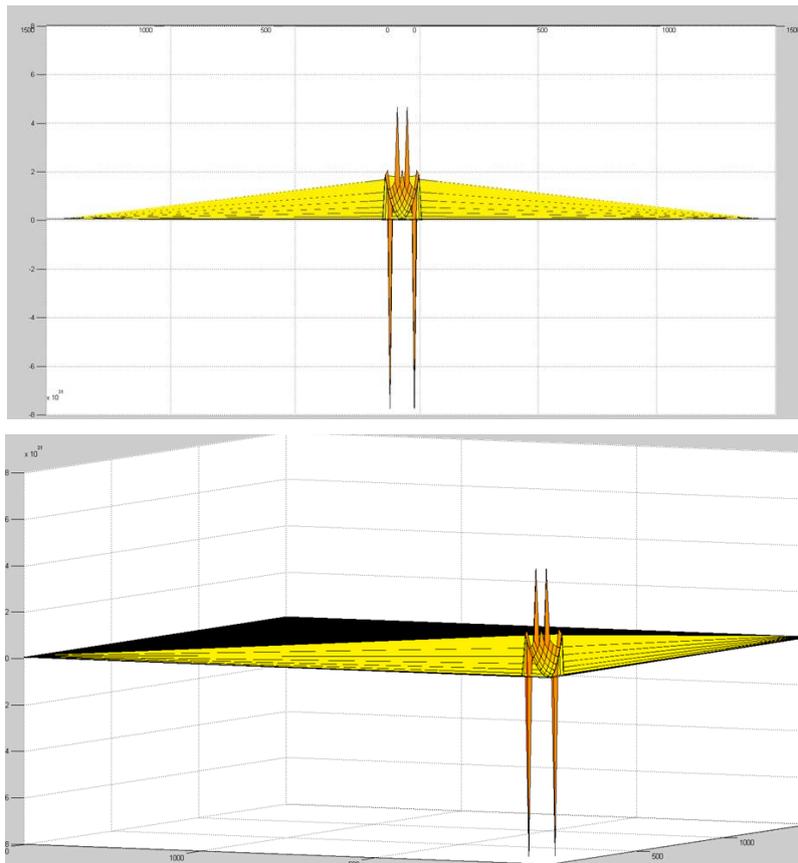


Рисунок 3 – Изгибная деформация формы поперечного сечения зоны кристаллизации при неоднородных граничных условиях и $k_1 = 75,6; \eta_1 = 0,94$.

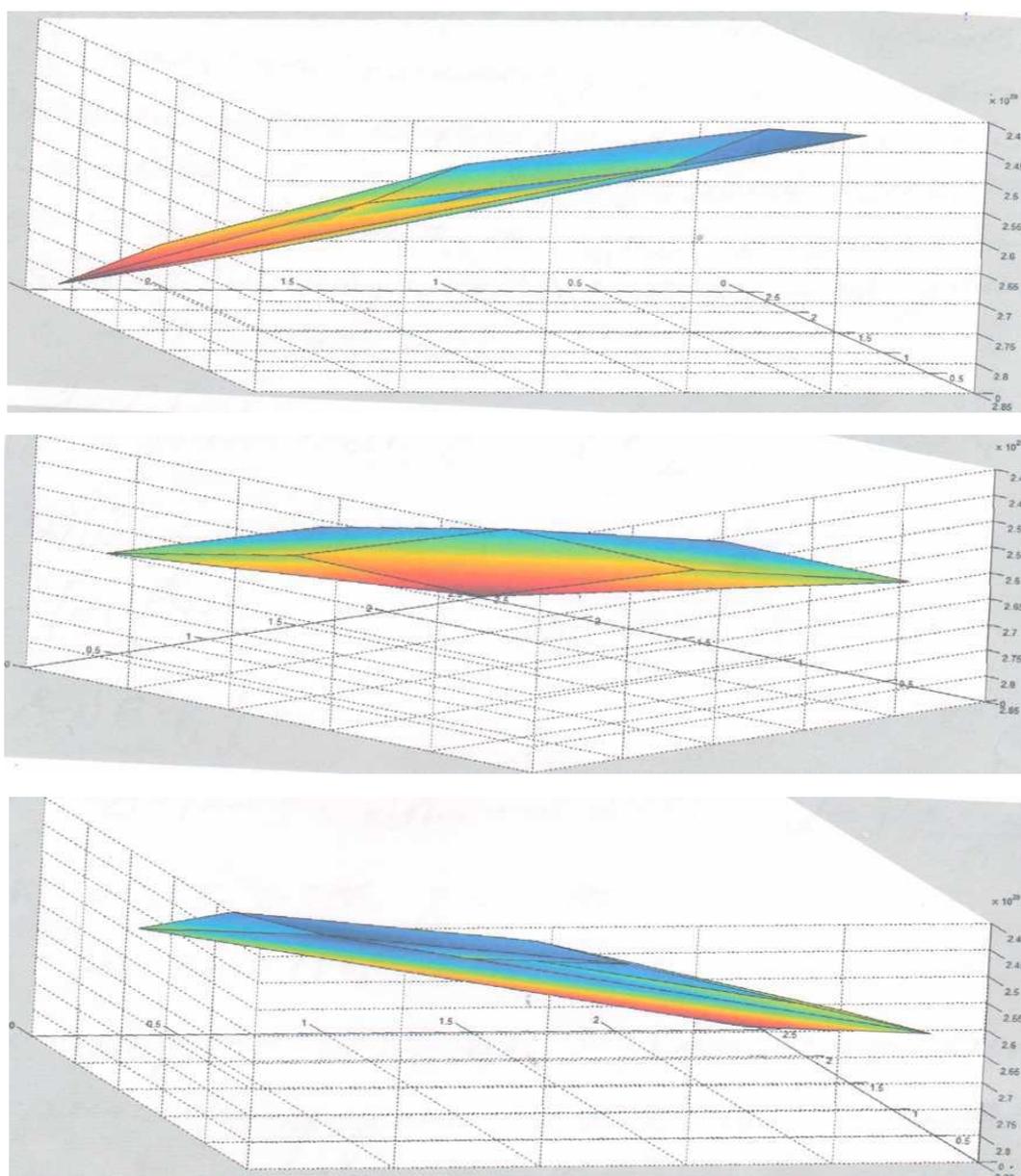


Рисунок 4 – Изгибная деформация формы поперечного сечения зоны кристаллизации при неоднородных граничных условиях и $k_1 = 25$; $k_2 = 386$; $\eta_1 = 0,765$.

2.3 Распределение возмущений, вызванных промежуточной внутренней неустойчивостью предцентрального слоя после снятия условий в зоне охлаждения

Математическая модель

$$\frac{d^2W}{dx^2} - \frac{k_1 + k_2}{\eta_1} W(x) = (C_1x + C_2) \cdot x \quad (2.14)$$

Граничные условия

$$W(x)|_{x=0} = k_1; \frac{dW}{dx}|_{x=0} = \eta_1, \quad W(x)|_{x=1} = k_2; \frac{d^2W}{dx^2}|_{x=1} = 0. \quad (2.15)$$

Общее решение дифференциального уравнения (2.14)

$$W(x) = C_3 e^{\alpha x} + C_4 e^{-\alpha x} + \frac{1}{\alpha^2} \left(x^2 - \frac{1}{\alpha^2} \right) C_1 - \frac{1}{\alpha^2} x C_2, \quad \alpha = \sqrt[3]{\frac{k_1 + k_2}{\eta_1}} \quad (2.16)$$

Подставляя (2.16) в граничные условия (2.15) получим систему алгебраических уравнений относительно произвольно постоянных C_1, C_2, C_3, C_4 . Решая систему получим значения C_1, C_2, C_3, C_4 . А затем их значения подставляя в общее решение (2.16) получим:

$$\begin{aligned} W(x) = & \frac{1}{2\Delta} \{ (\alpha^2 - 3)k_1 - (\eta_1 - k_2) \} sh \alpha (1-x) + 2(\eta_1 - k_2) sh \alpha x + 2\alpha k_1 e^{-\alpha x} \} + \\ & + \frac{1}{\Delta} \{ (\alpha + 1)e^\alpha k_1 - (\eta_1 - k_2) \} ch \alpha + (\eta_1 - k_2) e^\alpha \} (\alpha^2 x^2 - 1) \frac{1}{x^2} + \\ & \frac{1}{\Delta} \{ \alpha(\alpha^2 + 3)k_1 + \alpha k_2 - (\alpha^2 - 3)\eta_1 \} ch \alpha + 2\alpha k_2 + (\alpha^2 - 3)e^\alpha \eta_1 \} \cdot x \end{aligned} \quad (2.17)$$

Здесь $\Delta = (2\alpha^2 - \alpha - 6)sh \alpha + \alpha(\alpha^4 + 4)$, $\alpha = \sqrt[3]{\frac{k_1 + k_2}{\eta_1}}$;

$$a) k_1 = 25; k_2 = 386; \eta_1 = 0,765; \quad b) k_1 = 25; k_2 = 786; \eta_1 = 765; \quad (2.18)$$

На рисунках 5, 6 приведены изгибные деформации формы поперечного сечения предцентрального слоя цепной четырех массовой системы зоны плавления.

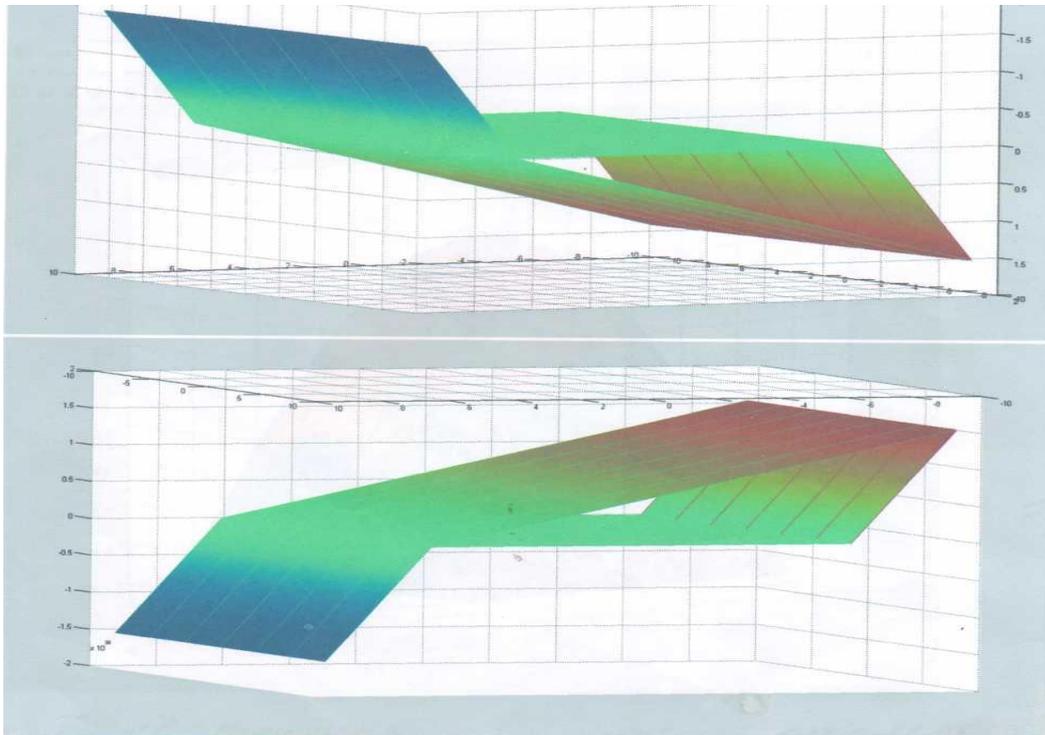


Рисунок 5 – Изгибная деформация формы поперечного сечения предцентрального слоя цепной четырех массовой системы зоны плавления при неоднородных граничных условиях

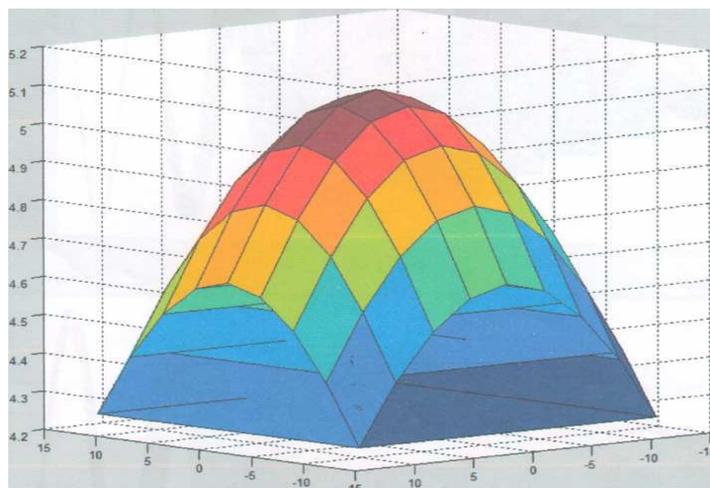


Рисунок 6 – Изгибная деформация формы поперечного сечения зоны плавления при однородных граничных условиях

На рисунках 7, 8 приведены амплитудно-частотные характеристики предцентрального слоя цепной четырех массовой системы зоны плавления.

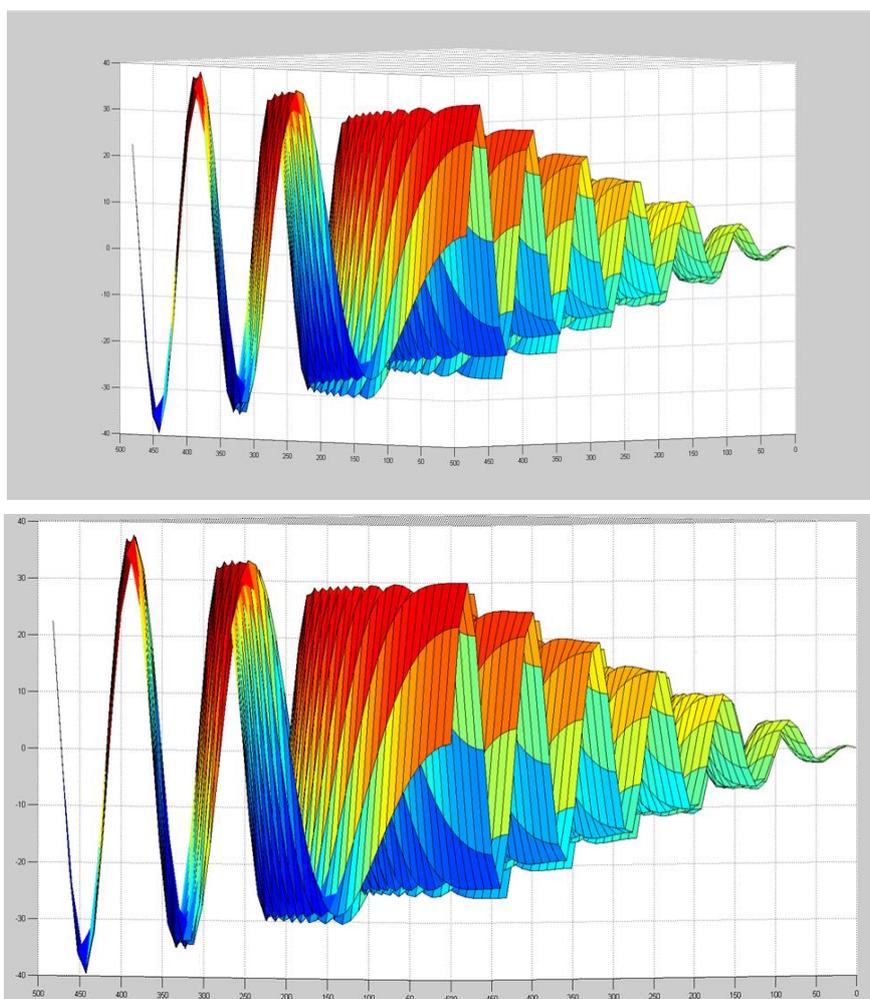


Рисунок 7 – Амплитудно-частотные характеристики во временной координате - e^{-icot}

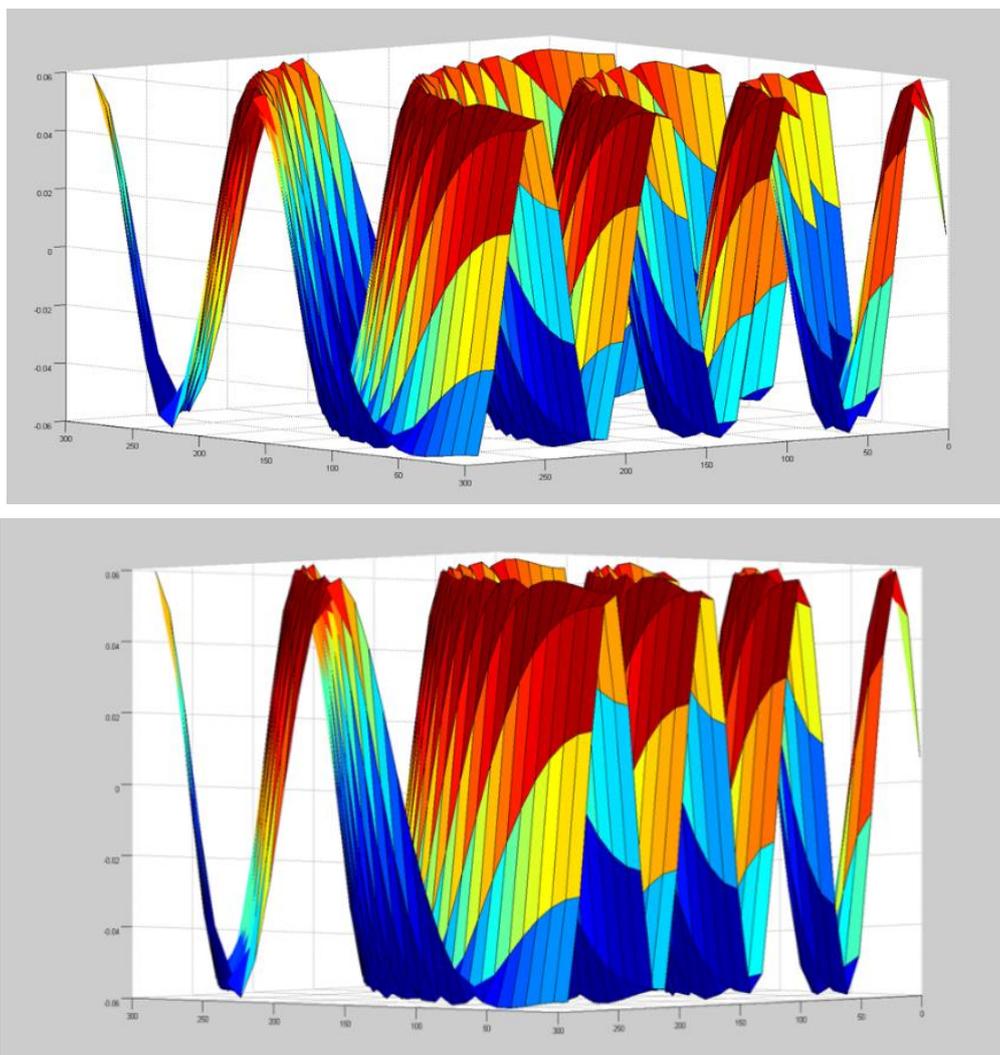


Рисунок 8 – Амплитудно-частотные характеристики соответственного колебания

Выводы:

1. Предцентральный слой. Отличия от центрального слоя:

- средняя эффективная нефтенасыщенность на 5% больше, чем в центральном слое;
- давление на 45 % выше, чем в центральном слое (МПА);
- газосодержащих на 34,5 % выше, чем в центральном слое ($\text{м}^3/\text{т}$);
- плотность на 2,2 % меньше, чем в центральном слое ($\text{г}/\text{см}^3$);
- вязкость на 67 % меньше, в чем центральном слое ($\text{мпа}\cdot\text{с}$), а в зоне ВК на 85,7 % меньше, чем в центральном слое.

2. Когда резонанс наступит одновременно от движения активного внешнего и реактивного внутреннего нагружения и пульсации на торцах зон охлаждения при неоднородных граничных условиях по временным координатам, в зоне охлаждения появляется локальная вакуумная область от сосредоточенного тепло-волнового удара крутильного момента.

Литература:

1. Расторгуев Б. С. К вопросу об определении зависимостей для диссипативных сил в уравнениях колебаний // Строительная механика и расчет сооружений. – 1983. – № 6. – С. 41–45.
2. Цейтлин А. И., Егорова О.Д. Гармонические колебания многомассовых систем с частотно-независимым внутренним трением, описываемым комплексной и упруговязкой моделями // Исследования по динамике сооружений: сб. науч. тр. / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко; под ред. А. И. Цейтлина. – М., 1984. – С. 32–47.
3. Божанов Е. Т., Ержанов Ж.С. Исследование проблем устойчивости упругих тел, гибких пластин и оболочек и их приложения: монография – Алматы: Издательство: Высшая школа Казахстана, 2001. – 300 с.
4. Цейтлин А. И. Методы учета внутреннего трения в динамических расчетах конструкций – Алма-Ата: Наука, 1987. – 240 с.
5. Божанов Е. Т., Тулешева Г. А., Ибраимкулов А. М. Моделирование физических процессов: учебное пособие. М-во образования и науки РК, Каз. нац. исслед. техн. ун-т им. К. И. Сатпаева. – Алматы: КазНИТУ, 2016 – Ч. 2. – 2016. – 88 с.
6. Божанов Е. Т., Буганова С. Н., Велямов Т. Т., Толганбаев А. Ж. Исследование процесса транспортировки нефти по одному трубопроводу с помощью модифицированной гелиоустановки методом тепловолнового процесса // Вестник КазГАСА. – 2017. – № 2. – С. 253–257.

Поступила 23 февраля 2019 г.

МРНТИ 12.41.33

УДК 378.1

ПСЕВДОНАУКА КАК РЕСУРС: НЕСТАНДАРТНЫЕ ПОДХОДЫ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Мун Г. А.¹, Тасбулатова З. С.², Сулейменов И. Э.²

¹ Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

² Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан.

e-mail: mungrig@yandex.ru, z.tasbulatova@gmail.com, esenyeh@yandex.ru

Анализируются различные аспекты широкого распространения экологического дискурса в казахстанской научной среде. Показано, что экологический дискурс часто используется для изготовления псевдонаучных публикаций, в которых апелляции к экологической проблематике служат для маскировки отсутствия научных результатов. Показано, что наличие большого объема псевдонаучных публикаций может быть конвертировано в ресурс, на основе которого могут быть реализованы новые образовательные технологии. Одна из них построена на написании отрицательных рецензий на псевдонаучные работы. Показано, что такая форма учебной работы в современных условиях является намного более предпочтительной, нежели написание рефератов, которые уже де-факто превратились в профанацию. Обсуждаются возможности для использования псевдонаучных работ для геймификации учебного процесса. Показано, что критика псевдонаучных работ может стать важным фактором развития критического мышления у студентов, а также способствовать возрождению искусства научной полемики.

Ключевые слова: псевдонаука, геймификация, образовательные ресурсы, рефераты, экологический дискурс, информационная война, информационные технологии.

Мақалада қазақстандық ғылыми ортада кең таралған экологиялық дискурстың түрлі аспектілері талданады. Экологиялық дискурс жайлы мәліметтер жиі ғылыми-жалған басылымдарды шығару үшін қолданылатыны, және бұл жағдайды экологиялық мәселелерге қатысты ғылыми нәтижелердің жетіспеушілігін жасыруға қызмет ететіні туралы пайымдалған. Көптеген ғылыми-жалған басылымдардың болуы, жаңа білім беру технологияларын енгізуге болатын ресурсқа айналуы мүмкін екендігі көрсетілген. Олардың біреуі жалған ғылыми жұмыстардың теріс пікірлерін жазуға негізделген. Осыған орай заманауи жағдайды қарастыра отырып ұсынылып отырған оқу үлгісі «рефератты жазғызу» оқу үлгісіне қарағанда әлдеқайда артық екені көрсетіледі. Оқу үдерісін геймификациалау үшін псевдомеханикалық жұмыстарды пайдалану мүмкіндіктері талқыланды. Ғылыми-жалған жұмыстардың сын-қатерлері студенттер арасында критикалық ойлау қабілетін дамытудың маңызды факторы болуы мүмкін, сондай-ақ ғылыми пікірталас өнерінің қайта қалыптасуына үлес қосуы мүмкін екендігі көрсетілген.

Тірек сөздер: жалған-ғылым, геймификация, білім беру ресурстары, рефераттар, экологиялық дискурс, ақпараттық соғыс, ақпараттық технологиялар.

Various aspects of the widespread environmental discourse in Kazakhstan scientific environment are analyzed. It is shown that environmental discourse is often used to produce pseudoscientific publications, in which appeals to environmental issues serve to disguise the lack of scientific results. It is shown that the presence of a large amount of pseudoscientific publications can be converted into a resource, on the basis of which new educational technologies can be implemented. One of them is based on writing negative reviews

of pseudoscientific works. It is shown that such a form of study in modern conditions is much more preferable than writing essays, which have already de facto turned into a profanation. The possibilities for using pseudoscientific works for gamification of the educational process are discussed. It is shown that the criticism of pseudoscientific works can be an important factor in the development of critical thinking among students, as well as contribute to the revival of the art of scientific debate.

Keywords: *pseudoscience, gamification, educational resources, essays, environmental discourse, information war, information technology.*

В современном мире экологический дискурс приобрёл выраженное социально-политическое значение. Известный тезис, согласно которому наука представляет собой одну из форм идеологии [1], разумеется, остаётся более чем дискуссионным, но по отношению к тем научным направлениям, которые так или иначе связаны с экологическим дискурсом, он, безусловно, является верным.

В различных странах мира давно сформированы политические партии, базовой компонентой идеологии которых является именно «экология» [2, 3], причём понимание данного термина часто становится далёким от научного.

Вопросы природоохранного характера всё чаще становятся инструментом политического давления на оппонентов, примером чему является дискуссия вокруг воздействия строительства моста, связывающего Крым и материковую Россию, на экологическую обстановку в акватории Азовского моря. Есть все основания полагать, что многие протестные экологические движения на территории постсоветских стран искусственно поддерживаются в целях дестабилизации социально-политической обстановки. В определённом смысле этот протестный потенциал является одним из резервов для разжигания социальной розни и является одним из потенциальных инструментов ведения информационной или гибридной войны против интересов постсоветских государств [3].

Мощное воздействие, которое экологические движения оказывают на характер социально-экономических процессов в постсоветских государствах, определяется, в том числе, и историческими причинами. Протестный потенциал, накапливавшийся со времён «перестройки» в СССР, аккумулировался в значительной степени экологическими движениями, что, в частности, привело к обсуждению вопроса о соотношении «патриотически ориентированной» и «зелёной» идеологии [4, 5].

Значительный разброс в идеологических платформах «зелёных» движений в РФ сохраняется и сейчас. Как отмечается в [6, 7], экологические движения весьма разнородны. Среди них можно выделить политические организации (например, Российская экологическая партия «Зелёные»), юридические инициативы, участвующие в правозащитной и законодательной деятельности («Экоюрист», «Экология и правозащита»), организации, сосредоточенные на конкретной проблеме (Лесной клуб российских НПО, союз «За химическую безопасность»), образовательные инициативные группы, занимающиеся работой в школах и лагерях (Ассоциация экологического образования «ЭкоОбраз»), и т. д. [6].

Существование столь многочисленных организаций показывает, что интерес общества к экологической проблематике остаётся на высоком уровне, и это обстоятельство, разумеется, не может не эксплуатироваться в самых различных целях. В результате реальная борьба за охрану природы часто сопровождается достижением тех или иных дополнительных целей, а иногда и вовсе «экология» является не более чем ширмой, в том числе, для инструментов ведения гибридной войны [3], подчеркнём это ещё раз.

Наука, будучи, в том числе, и социальной институцией, не могла и не может избежать влияния такого рода факторов, хотя бы только потому, что многие авторы исследований, претендующих на статус научных, мягко говоря, не свободны от конъюнктурных веяний. Упрощая, возникает выраженный соблазн писать работы на политически ангажированные темы (и получать соответствующие гранты). Вольно или невольно, но авторы такого рода публикаций становятся проводниками вполне определённого комплекса идей, создавая почву для использования инструментов информационной войны [3].

Социально-политические процессы, так или иначе связанные с экологическим дискурсом, являются крайне противоречивыми и в Казахстане.

С одной стороны, они действительно связаны с решением насущных проблем, связанных с защитой окружающей среды. Для жителей такого города, как Алматы, нет необходимости развёрнуто доказывать, что решение экологических проблем является действительно более чем насущным. Даже официальная статистика, имеющаяся по городу Алматы, [8, 9], однозначно показывает, что уровень заболеваемости в одном из крупнейших городов Казахстана тесно связан с уровнем загрязнения воздушного бассейна города Алматы, который, в свою очередь, связан с высокой интенсивностью автомобильного движения, с тем, что городская уличная дорожная сеть уже не справляется с таким потоком транспорта, и другими подобного рода факторами.

С другой стороны, нельзя не признать, что экологический дискурс в настоящее время существенно деформирован. Он зачастую приобретает выраженные извращённые формы, что в РК особенно наглядно проявляется в сфере науки и образования.

Так, одним из факторов, который оказывает негативное воздействие на развитие науки и образования в РК, становятся диспропорции в выборе направления научных исследований как отдельными исследователями, так и исследовательскими группами. Весьма заметная часть научных работников и преподавателей казахстанских университетов за последние десятилетия переориентировалась на выполнение работ, так или иначе связанных с экологической проблематикой.

При этом значительная часть публикаций по данной тематике де-факто использует экологический дискурс для маскировки отсутствия реальных научных результатов. Фактически речь идёт о том, что высокий уровень популярности экологической проблематики де-факто приводит к появлению значительного числа псевдонаучных работ. Наиболее тревожным здесь является тот факт, что псевдонаучные работы часто публикуются также и в достаточно престижных изданиях, очевидной причиной чему является повышенное внимание общественности (и политических кругов стран ядра мировой экономической системы) к экологической проблематике, включая вопросы антропогенного воздействия на климат.

В соответствии с классификацией [3], факторы такого рода позволяют утверждать, что экологический дискурс начинает приобретать определённые признаки мировоззренческого оружия, которое рассматривается как следующий этап развития средств ведения информационной войны. Его воздействие состоит в том, что значительная часть интеллектуального потенциала таких стран, как Казахстан, растрачивается впустую: усилия направляются на ложные цели, задаваемые иностранными манипуляторами.

Именно по этой причине для РК на современном этапе крайне важно поставить вопрос о разработке мер, обеспечивающих выявление псевдонаучных работ, публикуемых по экологической проблематике или в близких к ней областях. Разумеется, работы, которые нельзя отнести к подлинно научным, публикуются не только в этой области, но в силу

указанных выше причин меры, направленные на повышение реального качества научных исследований, необходимо принять именно в области экологии в первую очередь.

Рассмотрим типичный пример публикации, эксплуатирующей экологический дискурс в целях маскировки отсутствия значимых научных результатов [10].

За весьма претенциозным названием работы [10] скрывается набор общеизвестных соображений и несколько цитат из общедоступных источников. Весь текст [10] занимает четыре страницы, причём на первых двух излагаются некоторые соображения относительно очистки отходящих газов ТЭС, которые по степени научности вполне можно сопоставить с рефератом старшеклассника на подобную тему. В качестве примера приведём широковегательную цитату из [10], которая занимает около 5% всего объёма текстовой части:

«Существенный экономический рост республики, наблюдающийся в последние годы, допускает и позволяет заметно увеличить инвестиции в технику и технологии для снижения воздействия энергетики на окружающую среду. Срок окупаемости таких природоохранных и энергетически эффективных мероприятий может оказаться сравнительно недолгим (для электроэнергетики – от 2 до 7 лет). В настоящее время в этом направлении происходит трансферт новейших технологий очистки дымовых газов из опыта западных стран и международных компаний, в том числе и работающих в Казахстане, на энергетические объекты».

О каких именно «новейших» технологиях пишут авторы [10], и откуда взяты данные о сроках окупаемости – для читателя остаётся загадкой. (Для любого адекватного научного работника должно быть очевидным, что подобные утверждения должны аргументироваться, хотя бы и только ссылками на литературу.)

Ещё более несуразным выглядит следующее утверждение [10]:

«К существенному снижению вредного воздействия на окружающую среду и снижению выбросов парниковых газов приводит и государственная поддержка в области развития Возобновляемых Источников Энергии, что имеет громадное значение для обеспечения энергетической безопасности Казахстана, как отдельно взятой страны и как участника глобальной энергетической безопасности».

Претенциозное название [10] однозначно говорит о том, что авторы этого текста позиционируют себя как специалисты в области энергетики. Если это действительно так, то им должен был бы быть известен и реальный вклад возобновляемых источников энергии в генерацию по стране, и их реальные экономические показатели.

Следующий «блестящий» пассаж делает характер рассматриваемой работы [10] предельно ясным.

«Защита окружающей среды и рациональное использование ресурсов играют важную роль при рассмотрении перспектив электроэнергетической отрасли Казахстана, с учетом при этом мировых тенденций в области развития нетрадиционных и возобновляемых источников энергии».

Такого рода фразы (разве только стилистически несколько более грамотные) в литературе по экологической проблематике встречаются столь часто, что, очевидно, их уже можно было бы и не приводить, равно как и все остальные общеизвестные сведения о наличии в РК значительного потенциала для использования энергии ветра и Солнца, которыми завершается текст [10]. О таких вещах студентам говорят на первых курсах обучения. Остаётся только удивляться тому, что очередной повтор того, что уже и так многократно

растиражировано в литературе по экологической проблематике, кто-то решился выдать за научную публикацию.

Аналогичные выводы можно сделать и на основании анализа остальных публикаций подобного рода, каковых в периодике, увы, превеликое множество. Так, в заключительных абзацах текста [11] дословно сказано следующее.

«При выборе места размещения ТЭЦ вблизи городов заметное влияние окажет расстояние перевозки топлива, в том числе через затраты энергии на перевозку угля. В этом случае из степени использования топлива на ТЭЦ вычитается расход топлива на доставку топлива, и получаемая величина сравнивается с аналогичной величиной для конденсационной ТЭС, размещаемой вблизи места добычи угля (за вычетом величины, обусловленной потерями на транспортирование электричества)».

Хочется спросить – специалисты в области энергетики не знали о существовании транспортных расходов до того, как на авторов [11] снизошло озарение? Нужна отдельная «глубокомысленная» работа, которая на этом акцентирует внимание? И почему авторы [11] в таком случае не учли затраты энергии, расходуемой на печать сотен килограммов (если не тонн) текстов избранного ими жанра?

Однако, даже перлы авторов [10,11] меркнут по сравнению с целым рядом других работ, где экологический дискурс пытаются преподнести в качестве «оправдания» для псевдонаучного пустозвонства и полной некомпетентности в обсуждаемых вопросах. Типичным примером в данном отношении является удручающий текст [12], авторы которого столь откровенно и беззастенчиво использовали приемы, характерные для изготовления псевдонаучных «экологических» работ, что цитируемая публикация поистине заслуживает того, чтобы войти в учебники в качестве примера предельно бессовестной эксплуатации экологического дискурса.

Раскроем типовые приемы изготовления псевдонаучных работ, анализируя текст [12] более подробно.

Объем работы [12] составляет 4,5 журнальных страницы (+ список литературы – позиций). На трех из них авторы излагают общеизвестные сведения, касающиеся проблематики загрязнения вод лекарственными препаратами. На остальных 1,5 страницах авторы написали несколько абзацев, только формально относящихся к сути дела и представили одну схему.

Подчеркнем, что рассматриваемая публикация называется «Беспроводная система передачи для определения лекарственных препаратов в сточных водах», следовательно, в такой статье (если бы она действительно могла называться научной) следовало бы, как минимум, рассмотреть современное состояние дел в области проектирования и эксплуатации химических датчиков, способных измерять концентрацию тех или иных компонентов в многокомпонентных растворах. Вместо этого (!) авторы [12], без тени стыда, ограничились двумя следующими абзацами.

«Химические датчики (ХД) Они являются основными при мониторинге. В настоящее время в ведущих лабораториях мира создаются, так называемые, электронные языки, которые способны селективно выделять определенные химические вещества на фоне других элементов.»

«Сфера применения ХД постоянно растет: тестирование и контроль за качеством продуктов питания, за распространением пестицидов в сельском хозяйстве, а одно из последних их применений – мониторинг лекарственного загрязнения водных сред. Следует отметить, что ХД с идеальной селективностью не существует.»

Мы специально приводим эти абзацы полностью, чтобы почеркнуть: это – все, что авторы сказали о существовании вопроса; они даже не удосужились расставить формальные ссылки. Нет необходимости подчеркивать, что написание научной статьи на подобную тему требует профессионального обзора текущих исследований, осуществляемых в мире. Иначе сама постановка проблемы повисает в воздухе.

Резюмируя, можно утверждать, что в [12] использован один из типовых для псевдонаучной халтуры приемов – листаж выдается за счет различного рода суждений о «экологической важности» вопроса, причем эта «важность» аргументируется с помощью общих фраз на уровне плохого студенческого реферата. Суть дела при этом излагается максимально коротко и бессвязно, аргументации не приводится.

Впрочем, судя по анализу публикационной активности авторов [12] в таких сервисах как Google Академия, их трудно заподозрить в компетентности вообще в каком-либо вопросе. Более того, уместно подчеркнуть, что исследования, связанные с селективной сорбцией низкомолекулярных веществ, самым активным образом проводятся в Казахстане в течение последних 20 лет (в частности, в Институте химических наук им. А.Б. Бектурова [13–15]), причем на весьма высоком уровне, о чем свидетельствует высокий рейтинг журналов, где были опубликованы цитируемые работы.

Представляется не вполне этичным, что авторы [12] не сочли возможным хотя бы формально упомянуть достижения соотечественников в статье, непосредственно касающейся этого вопроса. Незнание авторами [12] научных работ сотрудников Института химических наук им. А.Б. Бектурова не может служить им оправданием ни в малейшей степени – если некто берется писать научный текст на ту или иную тему, то необходимо, как минимум, проработать соответствующую литературу. Если же авторы [12] не имеют представления о таких элементарных вещах, то приходится констатировать, что псевдонаука в нашей стране пустила очень глубокие корни, что делает борьбу с ней еще более актуальной.

Перечисленные обстоятельства позволяют выявить еще один прием, используемый авторами подобного рода текстов: «привязка» того вопроса, в котором они или разбираются слабо, или не разбираются вообще, к экологической проблематике используется именно для того, чтобы сделать собственную некомпетентность не такой очевидной.

Наконец, последний из рассматриваемых прием, освоенный «специалистами» в области радиотехники и электроники, и также использованный в [12], состоит в следующем. Авторами этой публикации предлагается некая «функциональная схема радиоэлектронного прибора», которая делает опубликованный ими вздор действительно отдаленно похожим на научную статью по внешнему виду. Отметим, что поскольку функциональное назначение этого «прибора» туманно (авторы [12], в сущности, не обосновали для чего конкретно этот прибор нужен и что, собственно, он будет измерять), то очевидно, в подобном материале можно изобразить практически любую более или менее правдоподобную блок-схему, особенно если ее не рассматривать в деталях. Собственно, именно это и сделали авторы [12], посвятив описанию схемы только три кратких абзаца и прибегнув к весьма расплывчатым формулировкам. Очень удобно: коль скоро назначение прибора неясно, то и невозможно понять решает он какую-либо здравую задачу или же нет.

К сожалению, псевдонаучный текст [12] – это не просто вздор, это весьма опасный вздор. Дело осложняется тем, что авторы текста [12] и ему подобных являются преподавателями университета, фактически развращающих студентов подобной белибердой. «Вдохновляясь» такими псевдонаучными текстами, сочиненными «уважаемыми» преподавателями, студенты и магистранты не видят ничего зазорного в том, чтобы писать аналогичную чепуху в своих

выпускных работах и диссертациях. Это приводит к еще большему падению качества высшего образования в нашей стране, что, подчеркиваем еще раз делает борьбу с псевдонаукой крайне актуальной задачей.

Некомпетентность и высокопарное пустозвонство – отличительный стиль тех, кто эксплуатирует экологическую проблематику в целях, далёких от науки. Они, как отмечалось выше, научились прятать отсутствие реальных научных результатов за пышной (а иногда и затасканной) фразеологией. Но негативные тенденции, сложившиеся в отечественной науке, тоже можно и нужно конвертировать в ресурс. Собственно, в этом и состоит основная идея «стратегии чуда», о которой говорилось, в частности, в [16]. Параллельно такой подход способен решить ту задачу, о которой говорилось в начале данной статьи, т. е. идентификацию псевдонаучных работ и блокировку использования экологического дискурса в недобросовестных целях.

Говоря о перспективах такого рода, можно упомянуть, что лексический, стилистический и другой анализ различного рода текстов давно является областью применения систем искусственного интеллекта [17]. Соответственно, возникает возможность для использования того ресурса, о котором говорилось выше, для студенческой проектной деятельности. То, что выше было названо «высокопарным пустозвонством» легко идентифицируется методами стилистического анализа – такая задача вполне по силам студентам и может стать основой весьма интересных проектов в области информационных технологий.

Однако тот ресурс, о котором говорилось выше, можно использовать и на уровне более простых информационных технологий. А именно: в современных условиях такая форма учебной работы, как написание рефератов, по существу, себя полностью изжила. Студенты используют то, что на жаргоне называется метод «художественного копи-паста», и при этом имеют возможность составлять достаточно адекватные тексты, не вникая в суть рассматриваемой проблемы. Большое количество информации, которая находится в открытых источниках, позволяет это делать без особых затруднений. Необходимо также принять во внимание, что существуют многочисленные ресурсы, которые позволяют за умеренную плату получать рефераты, курсовые работы и так далее. Другими словами, те формы учебной работы, которые связаны с написанием текстов общего характера, в настоящее время фактически превратились в профанацию, от них целесообразно отказаться.

Заменой рефератам может служить такая форма учебной работы, как написание рецензии на статью или написание комментария к этим работам. Отметим, что написание комментариев к научным работам в известном смысле является возвратом к тем научным традициям, которые существовали, скажем, в период золотого века ислама [18]. Написание комментариев к ранее изданным трактатам было весьма распространённой формой деятельности таких крупных учёных, как аль-Фараби, Ибн Рушд и других мыслителей средневекового Востока. Однако для написания комментария к научной работе студентам требуется достаточно высокий уровень подготовки; такую форму целесообразно использовать в магистратуре, но не в бакалавриате.

Гораздо более простым заданием в данном отношении выглядит написание отрицательной рецензии к конкретной работе. В этом случае уже нет возможности использовать готовые ресурсы, так как в силу причин общего характера полемически заострённые работы в научной периодике встречаются всё реже. Разумеется, для того, чтобы написать отрицательную рецензию на достаточно серьёзную работу, необходим соответствующий навык и достаточно глубокие знания. Гораздо более простым заданием является написание

отрицательной рецензии именно на псевдонаучные работы рассмотренного выше характера, которыми в настоящее время изобилует интернет.

Необходимо подчеркнуть, что написание отрицательных рецензий, в том числе, будет стимулировать развитие критического мышления у студентов, навыки которого в настоящее время во многом оказываются утраченными в силу того, что студенты находятся в потоке информации, который увеличивается год от года, что не оставляет возможности для критического переосмысления. Как отмечается во многих работах, например, в [19], сознание подавляющего большинства молодых людей, в том числе и студентов, в настоящее время является эклектичным, так называемым «кликковым». (Имеется в виду, что усваивается только та информация, которую легко и без особых умственных усилий можно получить за один «клик» – нажатие клавиши.)

Такого рода тенденции можно переломить, только поставив студента в условия, когда он будет вынужден критически осмысливать ситуацию, например, конкретную научную работу. Именно это обстоятельство показывает, насколько важным является такая форма учебной работы, как написание отрицательных рецензий.

У рассматриваемых вопросов есть ещё один аспект, а именно: в современной литературе, посвящённой проблемам педагогики, всё чаще используется термин «геймификация» [20]. Подразумевается, что участие студентов в тех или иных играх образовательного характера будет способствовать повышению эффективности обучения.

Это действительно так, однако разработка обучающей игры является весьма сложным и затратным процессом. Обучающих игр в настоящее время создано далеко не так много, как хотелось бы. Во всяком случае, они не охватывают всех образовательных программ, которые существуют в настоящее время, скорее, их существуют единичные экземпляры. Данное обстоятельство представляется вполне понятным, поскольку расходы на создание развивающих игр, на создание видеолекций и т. д. не предусмотрены в большинстве постсоветских университетов, которые, мягко говоря, остаются стеснёнными в средствах.

Соответственно, можно поставить вопрос о создании развивающих игр, которые бы не требовали значительных финансовых ресурсов. Именно тут уместно вспомнить о том, что юмор от века служил основой многих игровых форм, в частности, в студенческой среде популярностью всегда пользовались различного рода «капустники», КВНы и т. д. При определённых условиях именно такая форма студенческой жизни может быть конвертирована в учебную. Более того, это не требует таких существенных затрат, как, скажем, разработка компьютерных игр или других средств, которые обычно упоминаются в работах по геймификации.

КВНы и «капустники» многие годы делались силами самих студентов без дополнительных затрат, в том числе и со стороны университета. Характер псевдонаучных работ, публикуемых по экологической проблематике, подобных тем, что рассматривались выше, действительно создаёт предпосылки для того, чтобы их использовать в юмористических действиях. На этом пути вполне возможна реализация обучающих игр, которые бы проходили в режиме создания пародий, литературной игры и так далее.

Уместно ещё раз подчеркнуть, что критическое мышление и юмор, как однозначно говорит психология творчества, теснейшим образом связаны друг с другом. Отсутствие юмора, гипертрофированные (и, как показывает анализ таких работ, как [10, 11], далеко не всегда оправданное) уважение к авторитетам приводит к тому, что даже предпосылки для критического мышления в студенческой среде во многом оказываются утраченными, что и наблюдается в современных условиях в Казахстане.

Как следствие, угасает искусство полемики, исчезают площадки для ведения научных дискуссий, и те факторы, которые выражаются формулировкой «В спорах рождается истина», перестают работать. Именно по этой причине целесообразно создавать развивающие игры, основанные, в том числе, на юморе, которые бы развивали у студентов навыки критического мышления.

Таким образом, значительное количество псевдонаучных работ, подобных тем, что рассматривались выше, действительно представляет собой более чем значительный ресурс. Достаточно легко собрать целую кунсткамеру подобного рода работ, на базе которой студенты могли бы оттачивать навыки критического мышления. Более того, для этой цели можно простыми средствами разработать информационные технологии, которые стимулировали бы данные навыки и параллельно с этим стимулировали горизонтальное обучение.

Литература:

1. Кара-Мурза С. Г. Идеология и мать её наука. – М.: Алгоритм, 2002. – 256 с.
2. Матвеева Е. В. Институционализация экологических движений Европы: от появления общественных организаций до политических партий // Вестник Томского государственного университета. – 2016. – № 413. – С. 129–137.
3. Сулейменов И. Э., Пак И. Т., Бакиров А. С., Ирмухаметова Г. С., Мун Г. А. Информационные войны XXI века: стремительная трансформация. – Алматы–Симферополь: Print Express, 2017. – 234 с.
4. Халий И. А. Экологическое и национально-патриотическое движение в России: союзники или противники? // Социологические исследования. – 1995. – № 8. – С. 26–35.
5. Яницкий, О. Н. Экологическая политика: роль движений и гражданских инициатив. // Социологические исследования. – 1994. – № 10. – С. 10–21.
6. Введенская О. В. Идейная основа и коммуникативное воплощение идеологии «зелёных» // Филологические науки. Вопросы теории и практики. – 2018. – № 2(80). – С. 226–229.
7. Мыльников М. А. Политическая программа и идеология «зелёных» партий в России: сравнительный анализ // Политика и общество. – 2017. – № 2. – С. 1–10.
8. Алибаева Б. Н., Омарова А. С., Демченко Г. А., Цицурин В. И., Курасова Л. А., Есдаулет Б. К., Адамбекова М. Р. Состояние здоровья населения мегаполиса в зависимости от экологии г. Алматы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 11. – С. 155–159.
9. Мынбаева Б. Н. Анализ природных и антропогенных факторов загрязнения окружающей среды г. Алматы // Вестник Алтайского Государственного Аграрного Университета. – 2012. – № 2. – С. 51–55.
10. Алиярова М. Б., Джаманкулова Н. О., Бекалай Н. К. Снижение вредного воздействия на окружающую среду от объектов энергетики, повышение энерго- и ресурсосбережения – путь к энергетической и экологической безопасности // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов. Сб. трудов восьмой Междунар. науч.-техн. конф., 27–29 мая. – 2015. – С. 340–343.
11. Алияров Б. К., Алиярова М. Б. Дополнение к концепции выбора места строительства ТЭС // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов. Сб. трудов восьмой Междунар. науч.-техн. конф., 27–29 мая. – 2015. – С. 276–278.
12. Касимов А. О., Якубова М. З., Демидова Г. Д., Есенбек С. Я. Беспроводная система передачи для определения лекарственных препаратов в сточных водах // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. – 2018. – № 4 (6). – С. 121–126

13. Jumadilov T. K., Kondauron R. G. Intergel systems: Highly effective instruments for rare earth elements extraction from industrial solutions // *Chemical Engineering of Polymers: Production of Functional and Flexible Materials*. – 2017. – № 267. – С. 267–281.
14. Jumadilov T. K., Kondauron R. G., Abilov Z. A., Grazulevicius J. V., Akimov A. A. Influence of polyacrylic acid and poly-4-vinylpyridine hydrogels mutual activation in intergel system on their sorption properties in relation to lanthanum (III) ions. // *Polymer Bulletin*. – 2017. – № 74 (11). – P. 4701–4713.
15. Jumadilov T.K., Kondauron R.G., Kozhabekov S.S., Tolegen G.A., Eskalieva G.K., Khakimzhanov S.A. Influence of polyacrylic acid hydrogel's swelling degree on sorption ability of intergel system polyacrylic acid hydrogel–poly-4 vinylpyridine hydrogel in relation to neodymium ions // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. – 2018. – № 53. – P. 88–93.
16. Сулейменов И. Э., Габриелян О. А., Буряк В., Сафонова Н., Ирмухаметова Г. С., Кабдушев Ш. Б., Мун Г. А. Организация и планирование научных исследований. – А: Изд-во КазНУ, 2018. – 336 с.
17. Калимолдаев М. Н., Мун Г. А., Пак И. Т., Бакиров А. С., Байпакбаева С. Т., Сулейменов И. Э. Искусственный интеллект как драйвер четвертой технологической революции. – Алматы, – 2018. – 313 с.
18. Сулейменов И. Э., Габриелян О. А., Седлакова З. З., Мун Г. А. История и философия науки. – А: Изд-во КазНУ. – 2018. – 406 с.
19. Давыдов А.П. Социокультурные факторы цивилизационной динамики России. Подведение итогов первого заседания «круглого стола» «Ахиезеровских чтений» // *Философские науки*. – 2010. – № 2. – С. 68–79.
20. Говоров А.И., Говорова М.М. Геймификация как средство повышения мотивации учащихся // *Информатика и образование*. – 2014. – № 9. – С. 76–78.

Поступила 14 марта 2019 г.

МРНТИ 12.09.11

УДК 001.18

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ «ПАССИОНАРИИ – БЮРОКРАТЫ» ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПИСАНИЯ КРИЗИСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В СФЕРЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Сулейменов И.Э.¹, Витулёва Е.С.^{1,2}, Копишев Э.Е.²,
Шалтыкова Д.Б.³, Мун Г.А.⁴

¹Алматинский университет энергетики и связи, Алматы

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана

³Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК, Алматы

⁴Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы

Республика Казахстан

e-mail: esenych@yandex.ru

Показано, что неравномерный характер развития науки и техники (инновационного развития), наблюдающийся в историческое время, обусловлен не столько экономическими, сколько социально-психологическими причинами. Предложена математическая модель, аналогичная Лотки-Вольтерры. Модель, предназначенная для описания природы спада инновационной активности. Модель построена на антагонистических противоречиях между участниками инновационного процесса, различающихся по характеру мотивации. Одни из них рассматривают инновационную деятельность и научные исследования исключительно как средство заработка и средство карьерного (административного) роста («бюрократы»). Когда для других – наука и инновационная деятельность является средством самореализации и достижения высших целей («пассионарии»). В предложенной модели пассионарии выступают в качестве аналога жертвы в модели Лотки-Вольтерры, а бюрократы – в качестве аналога хищников.

Ключевые слова: теория Л. Н. Гумилева, пассионарность, модель Лотки-Вольтерры, инновационная деятельность, сопротивление инновациям, бюрократия.

Тарихи уақыттарда байқалатын ғылым мен техниканың (инновациялық дамудың) дамуының біркелкі емес сипаты экономикалық, әлеуметтік және психологиялық себептерге байланысты емес екендігін көрсетеді. Лотки-Вольтерра сияқты математикалық модель ұсынылған. Бұл модель инновациялық қызметтің төмендеуін сипаттайды. Модель ынталандыру сипатымен ерекшеленетін инновациялық процестің қатысушылары арасындағы антагонистік қайшылықтарға негізделген. Олардың кейбіреулері инновациялық қызметті және ғылыми зерттеулерді мансаптық (әкімшілік) өсудің құралы ретінде («бюрократтар») қолданады. Ал басқалар үшін ол ғылым мен инновациялық қызметтің өзін-өзі жүзеге асыру және жоғары мақсаттарға жету («пассионарии») ретінде қарастырылады. Ұсынылған модельде пассионарлар Лотки-Вольтерра үлгісінде жәбірленушінің аналогы, сондай-ақ бюрократия – жыртқыштар аналогының үлгісінде көрсетіледі.

Тірек сөздер: Л. Н. Гумилевтің теориясы, пассионарлық, Лотки-Вольтерра моделі, инновациялық қызмет, инновацияларға қарсы тұру, бюрократия.

It is shown that the uneven nature of the development of science and technology (innovation development), which is observed in historical time, is due not so much to economic, as social and

psychological reasons. A mathematical model similar to Lotka-Volterra is proposed. A model designed to describe the nature of the decline in innovation activity. A model intended to describe the nature of the decline in innovation activity. The model is based on antagonistic contradictions between the participants of the innovation process, differing motivation. Some of them view innovation activity and scientific research only as a means of earning and a means of career (administrative) growth (“bureaucrats”). When for others - science and innovation is a means of self-realization and the achievement of higher goals (“passionaries”). In the proposed model, passionaries act as an analogue of the victim in the Lotka-Volterra model, and bureaucrats act as an analogue of predators.

Keywords: *theory of L. N. Gumilev, passion, Lotka-Volterra model, innovation activity, resistance to innovation, bureaucracy.*

Подход, в соответствии с которым анализ мировых тенденций сводился к изучению сугубо экономических факторов, уже перестает удовлетворять большое количество исследователей, работающих в самых различных направлениях науки, в том числе и макроэкономики. Здесь уместно подчеркнуть, что ещё в работах Ф. Фукуямы [1,2] было показано, что такая, казалось бы, не вполне материальная категория как доверие, оказывает более чем значительное влияние на экономическое поведение общества в целом. Несколько упрощая, это можно пояснить так: высокий уровень доверия в обществе снижает стоимость транзакций, и поэтому эффективность функционирования общества как целого повышается.

Иначе говоря, в настоящее время уже признается, что миром правит далеко не только одна экономика «в чистом виде» – миром правят идеи, в том числе и те, которые позволяют создавать все новые и новые инновации.

Фундаментальные идеи чаще всего оказываются гораздо более работоспособными, нежели это может показаться на первый взгляд. В частности, именно только на их основе и может быть создан комплекс факторов, который именуется мобилизующим потенциалом общества [3]. Именно благодаря тому, что возникают новые нетривиальные идеи, общество оказывается способным консолидироваться ради достижения той или иной отдаленной цели, жертвуя при этом сиюминутными благами.

В условиях, когда во главу угла ставится *только* такое понятие как благосостояние, консолидация общества, равно как и генерация той или иной фундаментальной идеи (например, национальной), становится весьма проблематичной. Если благосостояние провозглашается единственной и высшей ценностью, то общество быстро вырождается в общество потребления, что сегодня не нуждается в развернутых доказательствах. В таком обществе практически любой человек будет действовать только в своекорыстных сиюминутных интересах, а забота об общем благе для него неизбежно будет отходить на второй план.

Как однозначно свидетельствует история [3–5], условием того, что люди окажутся готовыми отказываться от сиюминутных интересов ради достижения какой-то высокой цели, является наличие определённой фундаментальной идеи, ассимилированной или обществом в целом или его истинными элитами. Именно в фундаментальных идеях, способных консолидировать общество, сегодня ощущается более чем жесткий дефицит. Соответствующие негативные факторы хорошо известны и перечислять их в деталях нет необходимости.

Однако следует подчеркнуть, что до последнего времени последовательных теорий, которые бы позволяли *количественно* описывать воздействия тех или иных фундаментальных идей на процессы в обществе, создано не было.

Хорошо известны работы Л. Н. Гумилева [4, 5] базовым для которых является понятие пассионарности, однако они, до сих пор, сталкиваются с достаточно жесткой критикой. В первую очередь это связано с тем, что обоснование самого понятия «пассионарность» до сих пор не является общепризнанным. Л.Н. Гумилевым оно вводится на основании качественных рассуждений, которые до сих пор не имеют последовательного количественного обоснования, и более того, физический смысл этого понятия до сих пор остаётся ясным далеко не до конца. (Более того, существуют отдельные работы, в которых указанному понятию придается некий мистический смысл, что только способствует критике положений теории Л.Н. Гумилева.)

Целью данной работы является последовательная трактовка понятия пассионарность, а также построение на этой основе модели, которая позволяла бы адекватно описывать развитие и упадок различных общественных институций, формирование которых так или иначе связано с возникновением определенного комплекса нетривиальных идей.

Понятие пассионарности можно упрощенно истолковать следующим образом. Это – некая черта характера индивида, которая заставляет его совершать поступки, казалось бы, полностью противоречащее сиюминутным интересам, заставляя его стремиться к тем или иным свершениям.

Наиболее сложным вопросом, если отталкиваться от трактовки предложенной непосредственно Л.Н. Гумилёвым, является переход от пассионарности как характеристики *отдельного человека* к пассионарности как *характеристике общества*. Действительно, те примеры пассионариев, которые приводит в своих трудах Л.Н. Гумилёв, относятся непосредственно к конкретным историческим фигурам, конкретным личностям, которые совершали те или иные великие деяния, и хорошо известная шкала пассионарности предложенная Л.Н. Гумилевым [4, 5] относится именно к индивидуальностям.

Однако в этих же трудах понятие пассионарности используется как характеристика больших масс людей и более того, как характеристика этносов. Другими словами, здесь возникает закономерный вопрос: «Каким образом пассионарность отдельных личностей может быть связана с пассионарностью больших масс коллектива людей, конкретно с пассионарностью этноса?».

Ответ на этот вопрос нетривиален потому, что как показывает даже беглый анализ исторической литературы, пассионарии или люди, которые могли бы обладать качествами пассионариев, возникают во все исторические периоды. Однако в определённых условиях их потенциал, их возможности, их способности проявляются, а в других нет.

Особенно наглядно это обстоятельство видно если рассматривать инновационную активность человечества. Творческая деятельность (в частности, инновационная деятельность) также требует определенного ненулевого уровня пассионарности. Антипод пассионария – человек, который ориентирован на полуживотное бытие, горизонт которого ограничен только материальными благами, такого рода вещь вещами заниматься не будет.

История развития инноваций однозначно показывает, что их развитие протекает волнами [3]. Существуют периоды, когда сопротивление инновациям падает практически до нуля, а существуют исторические периоды, когда сопротивление инновациям является более чем высоким. В то же время, людей, обладающих соответствующими склонностями, никогда не становилось заведомо меньше. По крайней мере, интеллектуальный потенциал распределяется во времени далеко не так неравномерно, как достижения общества в области инновационной деятельности.

Следовательно, ответ на вопрос о том, как именно пассионарность общества связана с пассионарностью индивидов, действительно далеко нетривиален. Существуют условия, когда пассионарии могут проявить свои способности, а когда – нет. Другими словами, даже если формально продолжать логику Л.Н. Гумилёва, то, прежде всего, необходимо выяснить, когда пассионарность становится присуща не просто отдельным людям, но обществу в целом. Предложенная в данной работе модель позволяет ответить на этот вопрос.

Базовым является следующий тезис: пассионарность общества определяется не столько наличием пассионариев, как отдельных личностей, сколько их способностью консолидироваться и осуществлять совместные действия.

Упрощая, возникновение любых институций, связанных с появлением нетривиальных идей, в рамках данной модели, интерпретируется как создание условий, при которых пассионарии начинают действовать совместно. Консолидируясь, они создают некое ядро, вокруг которого далее консолидируются менее пассионарные члены общества, и так вплоть до тех, кто по своим характеристикам близок к субпассионариям.

Другими словами, консолидация пассионариев и есть тот фактор, который обеспечивает консолидацию общества в целом. Следовательно, для того чтобы выяснить характер условий, при которых может сложиться генерация новых фундаментальных идей, ассимилируемых обществом, необходимо выяснить условия, при которых пассионарии окажутся в состоянии достаточно эффективно взаимодействовать друг с другом.

Подчеркиваем, что взаимодействие пассионариев друг с другом, как правило, затруднено. Любой из них, в той или иной мере, является индивидуалистом. Любой из них, в той или иной мере, думает о собственном «Я». Для него, пусть даже тогда, когда он готов принести себя в жертву обществу, важен фактор собственного лидерства. Упрощая, даже те пассионарии, которые подобно Жанне Д'Арк, были готовы пожертвовать жизнью ради общего блага, всё равно не могли не принимать во внимание свое собственное эго, по крайней мере в том отношении, что они видели себя как неких лидеров, за которыми идут люди.

Если в пределах одной и той же общественной группы таких лидеров появляется достаточно много, точнее если появляется достаточно много людей, обладающих такого рода склонностями, то им – в обычных условиях – достаточно сложно договориться друг с другом. Каждый из них пытается поставить себя на первое место, в результате чего, их совместные действия, тем более консолидация на долговременной основе, представляется маловероятной. Именно это, скорее всего, является тем фактором, который определяет низкое значение пассионарной активности на продолжительных исторических этапах. (Во всяком случае, этот тезис заведомо верен, если рассматриваются пассионарии, ориентированные на инновационную деятельность.) В условиях, когда общество более или менее благополучно, отсутствует тот фактор, который стимулировал бы консолидацию пассионариев. Именно это соображение положено в основу той количественной модели, которая предлагается в данной работе. Подчеркиваем, что данная модель преимущественно носит иллюстративный характер и изначально строилась для описания проявлений пассионарности в области инновационной деятельности.

Для упрощения картины при построении количественной модели рассматриваются только два полюса, два типа человеческой индивидуальности, которые, так или иначе, присутствовали на всех исторических периодах.

Один из них и далее будет именоваться пассионариями. Этот термин здесь трактуется широко, под ним понимается те люди, у которых, в той или иной степени, проявляется

склонность к достижению высшей цели, люди, готовые к тем или иным свершениям, и готовые принести этому в жертву те или иные свои сиюминутные свои корыстные интересы.

На противоположном полюсе стоят индивидуальности, которые далее будут именоваться обобщенными бюрократами или просто бюрократами, то есть люди, готовые к определённому целеполаганию, но которые невосприимчивы к каким-либо идеям. Эта категория людей не нуждаются в детальном описании, поскольку они весьма хорошо распространены. Это чиновники, рядовые исполнители, менеджеры среднего звена и т.д., и т.п. Наиболее типичной формой является так называемый «офисный планктон». Идеи бюрократов не интересуют, им важны только их сиюминутные своекорыстные интересы и конкретное положение в иерархии [3].

Даже поверхностный анализ истории создания инноваций, однозначно показывает, что между двумя этими категориями людей существует ярко выраженный антагонизм. Бюрократы, даже на подсознательном уровне, ненавидят пассионариев, поскольку они вносят определённое смятение в их стройную жизнь, а самое главное, любой бюрократ, так или иначе, чувствует свою ущербность, общаясь с пассионарием. Сознательно, или же подсознательно, он понимает, что пассионарий намного выше него, особенно если говорить о достижениях в области науки и техники. Он понимает, что его существование как винтика административной машины – заурядно. Понимая ущербность собственной жизни, любой бюрократ тем сильнее ненавидит пассионария.

Верно и обратное. Пассионарии столь же негативно относятся к любым бюрократам, поскольку их презирают и боятся. Презирают за никчемность их интересов, за отсутствие истинной индивидуальности, за непонимание стремлений к любой из высоких целей. Имеет место и страх, поскольку административная система, которая консолидирует бюрократов, оказывается в состоянии уничтожить любого, пусть даже самого талантливого пассионария, поскольку они обладают для этого широчайшим спектром инструментов, а самое главное, в состоянии действовать коллективно. Подробно такого рода эффекты анализировались ещё монографии [6].

Следовательно, тот фактор, который обеспечивает консолидацию пассионариев, определяется в первую очередь степенью их отвращения к бюрократам. Когда степень такого отвращения становится достаточно высокой, пассионарии вынуждены консолидироваться, невзирая на внутренние противоречия. Они начинают чувствовать себя неким единым целым, противостоящим окружающей среде, которая им глубоко противна. Возникает своего рода собственная идентичность, которая и определяет возможность для коллективных действий, оказания взаимной поддержки и так далее.

Для наглядности можно заметить, что этот механизм во многом аналогичен гидрофобным взаимодействиям в водных растворах. Здесь также гидрофобные функциональные группы начинают образовывать мицеллы, из которых вытесняется растворитель (вода).

Отталкиваясь от соображений такого рода, можно предложить следующую модель, отражающую характер факторов, определяющих способность пассионариев к консолидации. Она выражается следующими уравнениями.

$$\frac{dP}{dt} = k_1 P \left(\int_0^t P(t') dt' - \alpha Q \right) - \frac{1}{\tau_1} P \quad (1)$$

$$\frac{dQ}{dt} = k_2 P Q - \frac{1}{\tau_2} Q \quad (2)$$

Использованы следующие обозначения:

- $P(t)$ и $Q(t)$ - функции, зависящие от времени, и описывающие число пассионариев и бюрократов в системе, соответственно;

- k_1 – коэффициент, отражающий степень эффективности взаимодействия между пассионариями, определяемую степенью их отвращения к «обобщенной серости», фактически это и есть мера пассионарности соответствующей социальной группы или иной общности;

- k_2 - коэффициент, отражающий степень привлекательности начинания для бюрократов, которые рассматривают институцию, развивающую успех, как источник для своего благополучия;

- α - коэффициент, отражающий степень отвращения пассионариев к бюрократам (шире – «обобщенной серости»), формально разделяющим исходные идеи.

При записи уравнений (1) и (2) использованы также следующие соображения. Интеграл

$$J = \int_0^t P(t') dt' \quad (3)$$

формально описывает потенциал, накопленный вследствие развития конкретного комплекса идей; предполагается, что усилия пассионариев, создающих нечто привлекательное (политическая система, инновация, национальная идея и т.д.) формирует вполне определенное наследие, накапливаемое с течением времени.

Приращение данного наследия в приемлемом приближении можно считать пропорциональным числу пассионариев в данный момент времени, что и выражает формула (3).

Мерой привлекательности начинания для бюрократа в формуле (2) является общее число пассионариев в системе в данный момент времени. Это вытекает из очевидного соображения: для бюрократа исходный комплекс идей и результаты его внедрения есть не более чем источник получения благ, соответственно, бюрократы, в отличие от пассионариев ориентируются только на сиюминутное положение дел.

Скорость увеличения числа пассионариев в системе при отсутствии в ней бюрократов выражается формулой

$$v = k_1 P \int_0^t P(t') dt' , \quad (4)$$

которая де-факто выражает высказанные выше соображения о взаимодействиях между пассионариями (аналог гидрофобных взаимодействий в водных растворах). Однако, данную формулу приходится модернизировать, используя разность $(\int_0^t P(t') dt' - \alpha Q)$, которая отражает отвращение пассионариев не только к бюрократам, имеющимся вне системы, но и внутри нее.

Предложенная модель весьма близка к известной модели «хищник – жертва» (модель Лотки-Вольтерры [7]). Данная модель описывает взаимодействия двух видов животных в экосистеме, один из которых питается другими (например, волки и зайцы). Она названа в честь авторов, которые предложили модельные уравнения независимо друг от друга. Предложенная модель переходит в модель Лотки-Вольтерры, если заменить интеграл (3) постоянной величиной. В роли «жертвы» в такой модели выступают пассионарии:

бюрократы «питаются» их достижениями и результатами, соответственно они выступают в роли «хищников». Предложенная модель отличается от модели «хищник – жертва» тем, что в нее входит член, отражающий накопление ресурса, который «потребляют» «жертвы». Уместно отметить, что в литературе уже известны попытки использовать модель «хищник – жертва» для описания инновационных экосистем [8], однако в работах такого рода не было предложено последовательных количественных моделей.

Можно видеть, что полученная система обыкновенных дифференциальных уравнений имеет третий порядок. Действительно, дифференцируя (3) по времени, получаем

$$\frac{dJ}{dt} = P \quad (5)$$

$$\frac{dP}{dt} = k_1(J - \alpha Q)P - \frac{1}{\tau_1}P \quad (6)$$

$$\frac{dQ}{dt} = k_2PQ - \frac{1}{\tau_2}Q \quad (7)$$

Для решения рассматриваемой системы необходимо задать три граничных условия, причем существенно, что все три величины $P(0)$; $Q(0)$; $J(0)$ следует полагать отличными от нуля. Это связано с тем, что предлагаемая формальная модель не способна описать самую начальную стадию зарождения обобщенной инновации, так как здесь проявляются многочисленные неконтролируемые факторы, в том числе, и субъективного характера (способность зачинателей сплотить вокруг себя хотя бы минимальное число сторонников, например).

В частности, это означает, что рассматриваемая система де-факто содержит восемь управляющих параметров. Три из них (граничные условия) описывают первичную систему, идеологическое ядро обобщенной инновации. Три остальных (постоянные коэффициенты в формулах (1) и (2)) – долговременный характер взаимодействий в системе.

Уравнения (5)–(7) численно решаются методом Рунге-Кутты, результаты расчетов представлены на рисунках 1–3.

Данная иллюстративная модель, несмотря на свою простоту, позволяет сделать ряд достаточно важных выводов.

Прежде всего, отметим, что поведение кривых на рисунках 1–3 хорошо согласуется с качественными (схематическими) кривыми развития любых институций, которые имеются в текущей литературе. В частности, в [3] использована схема (рисунок 4), обобщающая такие модели как модель становления и деградации институций Азиеса [9]. Видно, что кривая 1 характеризующая количество пассионариев в системе в начале, достаточно быстро нарастает, затем достигает пикового значения и идёт на спад. При этом кривая, характеризующая численность бюрократов, в данной системе ведёт себя в известном смысле «зеркально»: вначале она нарастает весьма ещё более быстро, а затем спадает относительно медленно. Это говорит о том, что для бюрократов становится привлекательной та институция, которая уже вышла на определённый уровень развития.

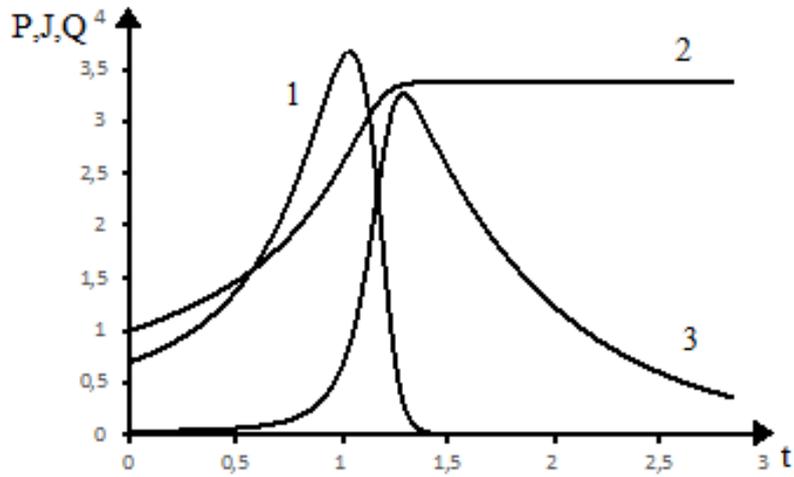


Рисунок 1 – Зависимости числа пассионариев (1), накопленного идейного потенциала (2) и числа бюрократов (3) в системе от времени; значения управляющих параметров и начальные значения составляют: $k_1 = 2,2$; $k_2 = 3,0$; $\alpha = 3,0$, $\tau_1 = 1,0$; $\tau_2 = 0,7$; $J(0) = 1,0$; $P(0) = 0,7$; $Q(0) = 0,03$.

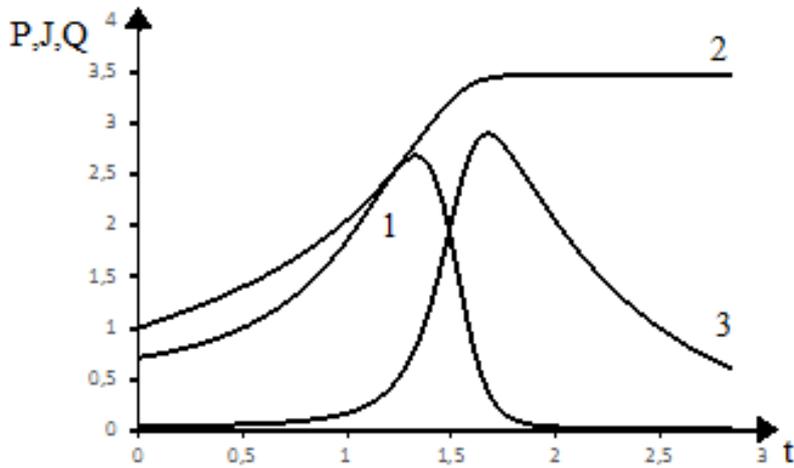


Рисунок 2 – Зависимости числа пассионариев (1), накопленного идейного потенциала (2) и числа бюрократов (3) в системе от времени; значения управляющих параметров составляют: $k_1 = 1,6$; $k_2 = 3,0$; $\alpha = 3,0$, $\tau_1 = 1,0$; $\tau_2 = 0,7$; $J(0) = 1,0$; $P(0) = 0,7$; $Q(0) = 0,03$.

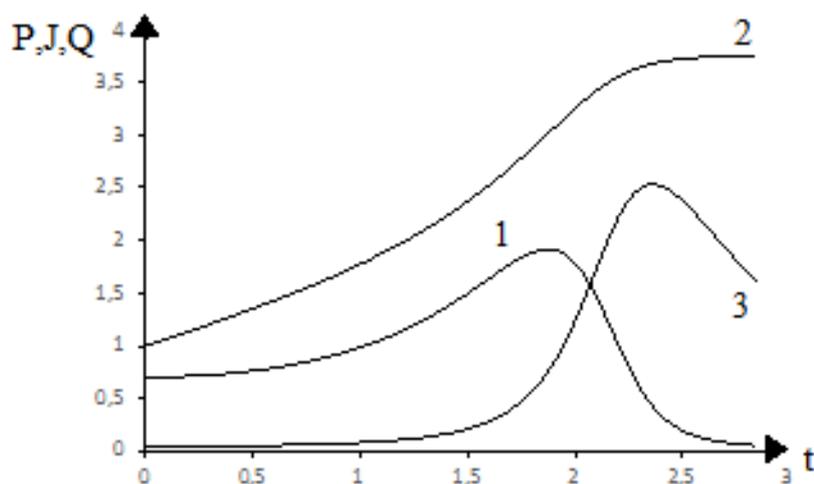


Рисунок 3 – Зависимости числа пассионариев (1), накопленного идейного потенциала (2) и числа бюрократов (3) в системе от времени; значения управляющих параметров составляют:

$$k_1 = 1,1; k_2 = 3,0; \alpha = 3,0; \tau_1 = 1,0; \tau_2 = 0,7; J(0) = 1,0; P(0) = 0,7; Q(0) = 0,03$$

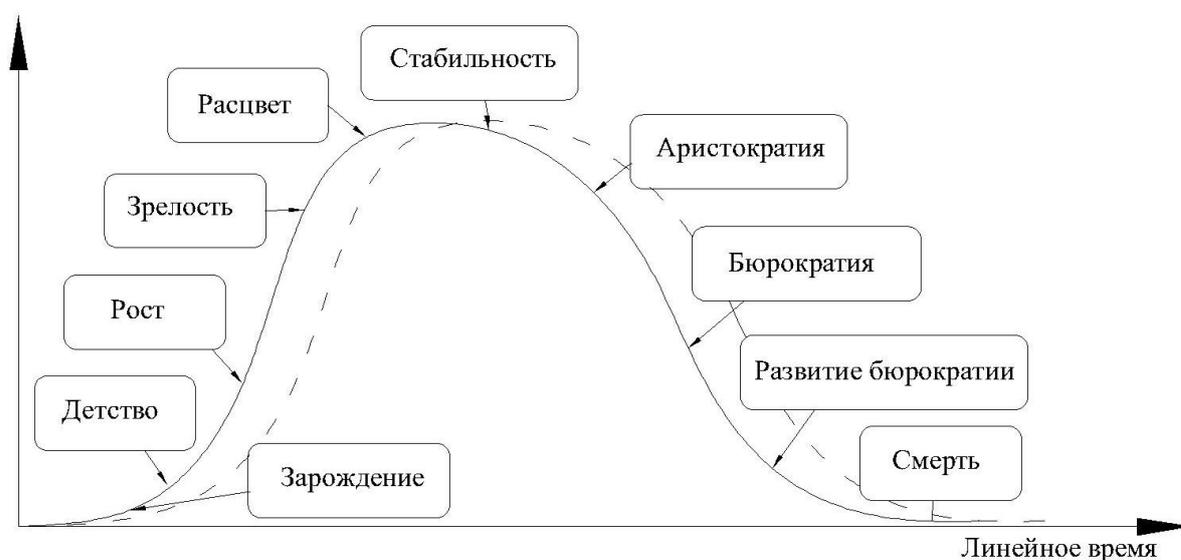


Рисунок 4 – Фазы жизненного цикла институции произвольной природы [3]

Однако, когда их количество в системе достигает вполне определенной критической величины, то, как и следовало ожидать, имеет место, ее достаточно быстрая деградация: количество пассионариев в системе стремительно падает практически до нуля, накопленный потенциал уже остаётся на том же самом уровне, однако система ещё продолжает существовать по инерции, что выражается в том, что численность бюрократов (кривая 3) спадает достаточно медленно. Другими словами, характер полученных кривых позволяет сказать следующее: идея представляет собой некоторый ресурс, этот ресурс поддерживается пассионариями, но, как и любой другой ресурс, он исчерпаем. По мере того, как бюрократы

вытесняют из системы пассионариев, система в состоянии ещё некоторое время существовать по инерции, однако ее деградация является достаточно быстрой.

Такое поведение характерно для систем различной природы, в частности, именно такого рода процессы и протекают в современной науке.

Бюрократизация научных исследований привела к тому, что потенциал, накопленный предшественниками, в значительной степени, уже исчерпан, как это отмечалось в [3], новых инноваций практически не создается, но бюрократические структуры функционируют в штатном режиме, подменяя реальную инновационную деятельность различного рода формальной отчётностью.

Далее, как показывает сравнение рисунков 1–3, параметр, характеризующий степень консолидации пассионариев, точнее, параметр, характеризующий эффективность их притяжения друг к другу влияет на систему не вполне очевидным образом.

Сравнение указанных графиков показывает, что при возрастании этого параметра, как и следовало ожидать, возрастает скорость, с которой накапливается креативный потенциал данной конкретной идеи. Гораздо менее очевиден тот факт, что с понижением данного управляющего параметра в системе происходит определенное повышение устойчивости. Другими словами, система создается более медленно, однако и ее деградация также происходит существенно медленнее. Условно, это можно отразить цитатой: «медленный огонь сильнее греет».

Данный вывод представляется достаточно важным в современных условиях. А именно, в мире отчетливым образом проявляются разнообразные тенденции, связанные с увеличением административной нагрузки на любые системы. Отдельные авторы уже говорят о том, что Европейский Союз представляет собой «территорию взбесившегося права», подразумевая под этим, что административные и юридические системы фактически вышли из-под контроля и превратились в самоорганизующуюся систему, которая поддерживает свое дальнейшее существование, невзирая на то, что ее деятельность уже приносит более чем ощутимый вред обществу в целом. Правовая и административная зарегулированность достигла такого уровня, при котором создание крупномасштабных инноваций и генерация каких-либо нетривиальных идей становится крайне сложным процессом. Их внедрение неизбежно столкнется с противодействием со стороны бюрократов и это отчетливо наблюдается на практике.

Соответственно, в этих условиях можно прогнозировать возникновение некоей формы «революционной ситуации», которая далеко не обязательно, разумеется, может принять формы классовой борьбы в том смысле, о котором это говорит традиционный марксизм. Могут возникнуть, вполне определенные нетривиальные идеи, которые окажутся в состоянии сломать существующий бюрократический порядок и эти тенденции становятся тем более опасными, что они накладываются на процессы, связанные с теми факторами, которые С. Хантингтон [10] обозначал как «столкновение цивилизаций».

Речь идет о том, что соответствующие модели и соответствующие идеи могут быть привнесены, в том числе и на территории Европейского Союза извне. В этом случае серьезные катаклизмы становятся неизбежными.

Более того, как показывают сопоставление указанных выше рисунков, процесс станет тем более лавинообразным, чем выше в обществе, точнее в пассионарной его части, нарастает отвращение к бюрократам.

Разумеется, управлять процессом генерации инноваций, равно как и управлять процессами генерации любых нетривиальных идей крайне сложно, однако в руках

государств остается достаточно серьезный инструмент воздействия на эти процессы, а именно: если нельзя менять параметры, характеризующие взаимодействие пассионариев, то остается возможность менять параметры, характеризующие взаимодействие пассионариев и бюрократов. Иными словами, уровень сопротивления инноваций, всё же является управляемым через общественную роль всех тех институций, которые связаны с бюрократией. В настоящее время роль бюрократов чрезвычайно высока, в том числе и потому что они, как правило, способны занять довольно заметное общественное положение. Если такое положение будет искусственным образом снижено, то естественным образом будут уменьшены и параметры, характеризующие степень отвращения пассионариев к бюрократам.

Иными словами, у современных элит остается возможность управлять скоростью лавинообразных процессов, рассмотренного выше характера через направленные изменения этих параметров, которые характеризуют степень отвращения пассионариев к бюрократам.

Литература:

1. Фукуяма Ф. Доверие: социальные добродетели и путь к процветанию – М.: ООО «Издательство АСТ»: ЗАО НПП «Ермак», 2004. – 730 с.
2. Fukuyama F. Social capital and the global economy // Foreign Affairs. – 1995. – № 74. – P. 52–58.
3. Сулейменов И. Э., Габриелян О.А., Седлакова З.З., Мун Г.А. История и философия науки. – Алматы: КазНУ, 2018. – 406 с.
4. Гумилев Л.Н. География этноса в исторический период. – Л.: Наука, 1990. – 279 с.
5. Гумилев Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. – М.: Гидрометеоиздат, 1990. – 560 с.
6. Ергожин Е.Е., Арын Е.М., Сулейменов И.Э., Беленко Н.М., Габриелян О.А., Сулейменова К.И., Мун Г.А. Нанотехнология. Экономика. Геополитика. / Библиотека нанотехнологии. Алматы–Москва–София–Антиполис–Симферополь: ТОО «Print-S», 2010. – 227 с.
7. Трубецков Д. И. Феномен математической модели Лотки-Вольтерры и сходных с ней // Известия высших учебных заведений // Прикладная нелинейная динамика. – 2011. – Т. 19. – №. 2. – С. 69–88.
8. Романов В. П., Ахмадеев Б. А. Моделирование инновационной экосистемы на основе модели «хищник-жертва» // Бизнес-информатика. – 2015. – №. 1 (31). – С. 28–38.
9. Adizes I. Corporate Lifecycles: How and Why Corporations Grow and Die and What to Do About It. – NJ.: Prentice Hall: Englewood Cliffs, 1989. – 365 p.
10. Хантингтон С. Столкновение цивилизаций. – М.: АСТ, 2016. – 640 с.

Поступила 5 января 2019 г.

МРНТИ 50.41.29

УДК 378

IMPLEMENTATION OF EDUCATIONAL INFORMATION TECHNOLOGY TO DEVELOP CRITICAL THINKING SKILLS

Suleimenov I.¹, Gabrielyan O.², Egemberdyeva Z.³

Kopyshev E.⁴, Tasbolatova Z.⁵

¹ Almaty University of energy and communications, Almaty, Republic of Kazakhstan

² V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation

³ Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Republic of Kazakhstan

⁴ Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan

⁵ Almaty University of energy and communications, Almaty, Republic of Kazakhstan

e-mail: esenykh@yandex.kz, gabroleg@mail.ru, egem.zm@mail.ru,

eldar_kopishev@mail.ru, z.tasbulatova@gmail.com

The innovative information technology intended for use in educational process is offered. This technology is able to prevent negative trends associated with unfair treatment of published materials. The basis is the writing of students' critical reviews of scientific works that deserve criticism, as well as the search for these works. This form of educational work eliminates the possibility of using plagiarism, compilations, etc., i.e. eliminates those factors that currently led to the fact that the writing of abstracts by students actually turned into profanity. The technology involves the use of trained neural networks, which provides a database of scientific works used to write critical reviews.

We emphasize that the only effective form of counteraction to any negative trends in science is an open scientific debate. It can be revived with the help of the proposed information technology, simultaneously instilling in undergraduates the skills of General scientific critical thinking.

Keywords: *critical thinking, scientific controversy, neural networks, artificial intelligence, educational technologies, innovative technologies, innovative economy.*

Еңбекте оқу үрдісінде қолдануға арналған инновациялық ақпараттық технология ұсынылады. Бұл технология жарияланатын материалдарға теріс пиғылмен байланысты теріс трендтерге кедергі жасауға қабілетті. Негізгі мақсат білім алушылардың ғылыми жұмыстарға сын пікір жазуға, сондай-ақ көрсетілген жұмыстарды іздеуге тарту болып табылады. Оқу жұмысының мұндай формасы плагиатты, компиляцияны және т. б. қазіргі уақытта студенттердің реферат жазуын іс жүзінде профанацияға айналдыратын факторларды жоюды. Технология оқытылатын нейрондық желілерді пайдалануды болжайды, бұның өзі сыни пікір жазу үшін пайдаланылған ғылыми жұмыстар бойынша деректер базасын құруды қамтамасыз етеді.

Ғылымдағы кез келген теріс трендтерге қарсы тұрудың бірден-бір тиімді түрі ашық ғылыми өріс болып табылатынын атап өтеміз. Магистранттарға жалпы ғылыми сын тұрғысынан ойлау дағдыларын үйрете отырып, ұсынылған ақпараттық технологияның көмегімен оны қайта жандандыруға болады.

Тірек сөздер: *сыни ойлау, ғылыми өріс, нейрондық желілер, жасанды интеллект, білім беру технологиялары, инновациялық технологиялар, инновациялық экономика.*

Предложена инновационная информационная технология, предназначенная для использования в учебном процессе. Данная технология способна препятствовать негативным трендам, связанным с недобросовестным отношением к публикуемым материалам. Основой является написание обучающимися критических рецензий на научные работы, заслуживающие критики, а также поиск указанных работ. Такая форма учебной работы устраняет возможность использования плагиата, компиляций и пр., т.е. устраняет те факторы, которые в настоящее время привели к тому, что написание рефератов студентами фактически превратилось в профанацию. Технология предполагает использование обучаемых нейронных сетей, что обеспечивает создание базы данных по научным работам, использованным для написания критических рецензий.

Подчеркнем, что единственной эффективной формой противодействия любым негативным трендам в науке является открытая научная полемика. Именно ее и можно возродить при помощи предлагаемой информационной технологии, параллельно прививая магистрантам навыки общенаучного критического мышления.

Ключевые слова: *критическое мышление, научная полемика, нейронные сети, искусственный интеллект, образовательные технологии, инновационные технологии, инновационная экономика.*

Introduction: The quality of scientific work of post-Soviet space, including the ones supported by the state [1, 3], remains unacceptably low, at least for the tasks related to implementation of technological breakthrough [4,5] and development of innovative economy [2–10]. It is important to note that it is not the representatives of the scientific and pedagogical community but the media who speaks about the unacceptably low quality but. This fact reinforces the negative attitude towards scientific institutions both from society and business communities. In modern conditions, it is critically important, due to problems of public-private partnership in the field of innovation activity implementation [8].

The problem of support to innovation by the business community is indeed very acute. It needs systematical approach, including improvement of science's prestige. Moreover, these activities should be carried out as objectively and transparently as possible, which will additionally allow to significantly transforming the image of post-Soviet science in the eyes of the business community.

Due to the number of objective reasons [7, 8], the task of improving the quality of scientific works is not trivial. One of these reasons is the disciplinary structure of science that was established by the first half of the twentieth century, which has resulted in the emergence of a significant number of relatively independent scientific disciplines and areas. For the post-Soviet countries (with the possible exception of Russia, although the problem of the effectiveness of scientific research is observed even here) the existence of the significant number of relatively independent scientific disciplines leads to the fact that only small number of specialists works in each of them. In particular, this is demonstrated by the data of the number of scientific dissertations by each specialty.

As a result, competition within the discipline falls significantly. There is even [7] the factor of “usurpation” of certain scientific areas by specific individuals who have taken a certain positions in the particular area of knowledge and reject any criticism from representatives of related disciplines because of formal issues.

There is another objective reason for the decline of the quality of the scientific potential in the post-Soviet countries. The scientific debate as the most important aspect of the existence of science is almost completely disappeared. Even a cursory analysis of the scientific periodicals over the last two decades clearly shows that there is no critical articles. This indicates the existence of pronounced negative trends that have emerged in modern science of the post-Soviet space.

The thesis that the truth is born in dispute never becomes less of an issue. Accordingly, the absence of scientific disputes and the lack of the scientific debates art is one of the most reliable indicators of crisis phenomena in science as a public institution [6, 7].

Coming back to the art of the scientific debate can become one of the most important tools for overcoming the mentioned negative trend. The art of the scientific debate can and should be revived at a new level in modern conditions.

The scientific environment has always been a self-organizing system. Evaluation of the scientists' activities were never just "external", it was mainly given by other scientists during the debate, when some members of the scientific community criticized others.

Critical reviews as a new form of education

In actual conditions of information surplus of communication, a significant part of scientists is forced to limit the list of analyzed literature to highly specialized problems. If we are talking about teachers of post-Soviet universities, the time cost factor becomes even more significant. There is no time for a critical analysis of colleagues' publications, and even more for conducting scientific debates.

However, in our opinion, there appeared an additional resource related to the educational work of undergraduates. As follows, the form of work as writing essays by students and undergraduates has virtually become obsolete now [9]. Firstly, the significant accessibility of scientific information makes it possible to write an essay using the "Copy-Paste" method without going into the subject matter. In addition, a number of resources provide relevant services for a reasonable price. All this makes writing essays a waste of time for bureaucratic formalities.

An alternative option is the writing of critical reviews by undergraduate students. At least it should work for certain scientific publications that deserve criticism and are abundantly presented online.

In this case, it is excluded the possibility of using ready resources. Additionally, the critical review requires deep study not only of the most reviewed work but of related issues as well. The proposed technology, of course, is aimed to the students who have mastered the skills of conducting scientific research, but such skills should be mandatory at least for those who are studying in a scientific and pedagogical magistracy.

The following information technology is proposed to implement this approach of the writing the critical reviews. The fig.1 presents the corresponding block diagram.

The main purpose of the technology is to ensure the performance of the proposed approach for a long time, as well as to ensure the correctness of the scientific debate and compliance with ethical standards when criticizing publicly available publications. Additionally, it is planned to create a data bank of criticized works.

Accordingly, the student is invited to either criticize the article not from the database or enter into polemics with the author of the previously written critical review. The latter case is about identifying shortcomings of the critical review or refutation of its individual points, etc.

Scheme of application of new information technology

The system is carried out through a web interface. The site with appropriate tools implements the proposed information technology.

The first step includes the standard account registration. As a next step, the user analyzes the available publications from the point of possibility of writing the critical review, i.e. search publications that are vulnerable to criticism by using standard search services.

In conditions when the approach is only beginning to be implemented (there are few negative reviews in the database), the task can be solved by looking at periodicals and starting from the examples contained in the training materials.

Further, the student downloads to the database at least five articles, which he could use to write the critical review.

The technology is focused on the development of general scientific outlook skills. One of them is the ability to identify deliberately false or pseudoscientific judgments, no matter what field of knowledge they belong to. Accordingly, the choice of criticized works is desirable to be related to the master's thesis but not mandatory.

The next step involves collecting material for the critical review. The student downloads the relevant works in the database. The downloaded information has to prove the erroneous provisions of the article being criticized, etc. The pseudoscientific (or anti-scientific) work is in exceptions here, its criticism can be given only on the basis of general scientific logic. The information downloaded by students is used both for the compilation of the database (which, as noted above, makes it possible to exclude plagiarism in the future) and for training the neural network, which will ensure the systematic use of the developed educational technology at subsequent stages of its implementation.

Then the student makes the final selection of the articles intended for criticism. He makes the review using relevant information sources and publishes it in his account on the site.

At this stage, the review material is open only for internal access. Only registered users of the same study group can see the review.

It is assumed that the review materials of the students will be discussed at seminars of such subjects as “Theory and Practice of Innovation Activity”, “History and Philosophy of Science”, etc. Actually, the information technology is being developed for the seminars of these kinds of disciplines. Indeed, one of the main objectives of such subject as “History and Philosophy of Science” is the formation of general scientific thinking, which can be honed only in discussions.

The structure of the site that implements the proposed information educational technology also provides the possibility to comment the review by the other undergraduates of this study group and the built-in neural network algorithms estimate the activity of students.

We emphasize once again that the proposed approach also ensures the revival of the art of scientific controversy, which in countries such as Kazakhstan is now largely lost (Figure).

After the discussions, the student forms the final version of the critical review. This version is becoming public after the approval of the teacher, who makes the conclusion.

The factor of publicity is extremely important. Since the publication is not anonymous, the author of the review assumes responsibility for the norms of scientific ethics and the validity of judgments, etc. Student has to take responsibility for the publication.

Prerequisites for the implementation of the proposed technology

The introduction of the proposed technology is projected to face strong resistance from the conservative part of the scientific and pedagogical community. In countries such as Kazakhstan, there are quite a large number of teachers who are unable to carry out scientific work, but are forced to publish articles due to the requirements of the Ministry of education and science. We emphasize that when calculating the rating of universities in Kazakhstan, the publication activity of teachers is also taken into account. In such circumstances, it is not surprising that a significant part of

University professors publish only pseudo-scientific works, and the creation of any system of counteraction will be perceived negatively by the pedagogical environment.

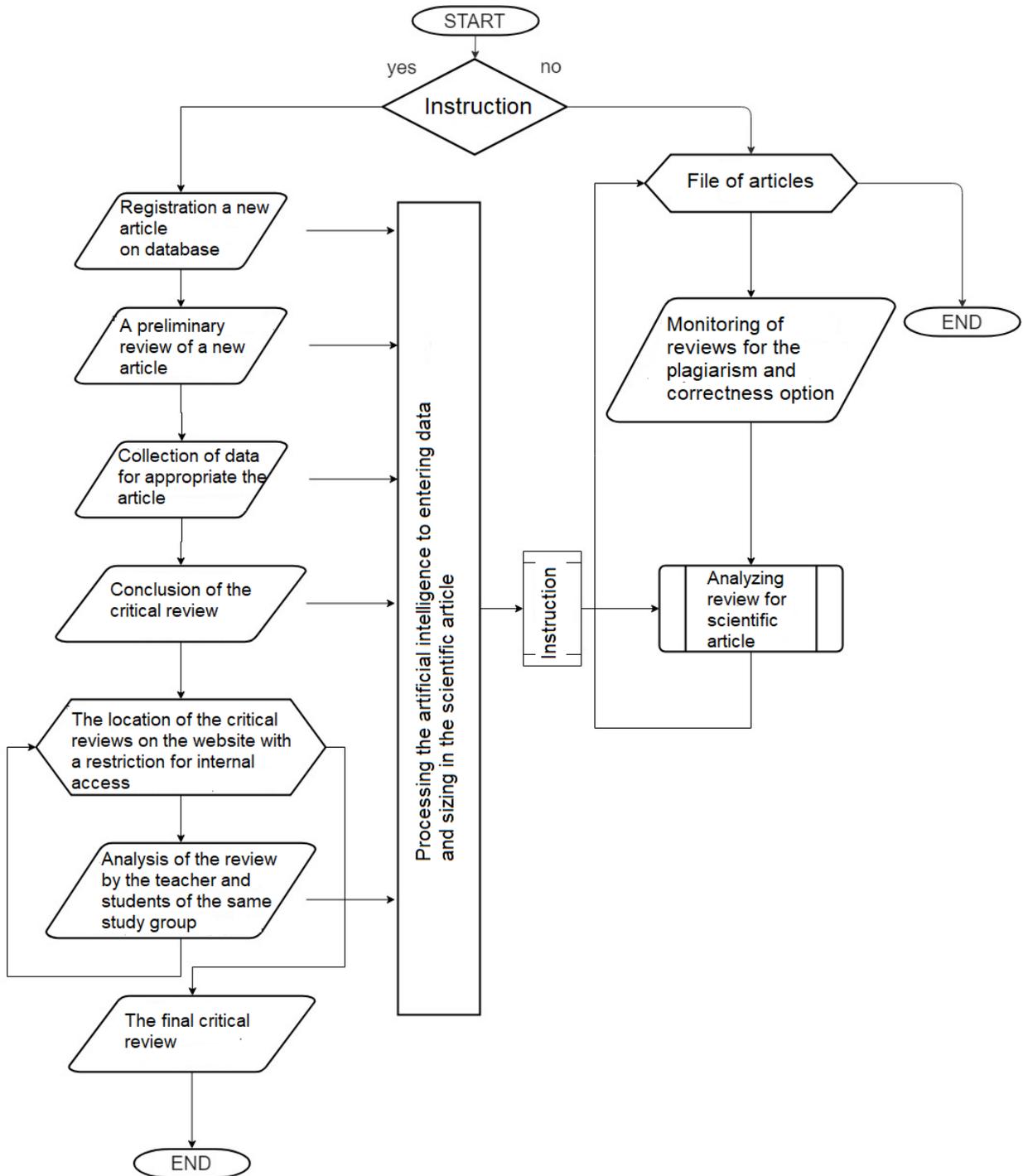


Figure – Operations block diagram of writing the critical review by using the proposed information technology

Therefore, speaking about the introduction of the proposed information technology, it is necessary to take into account this factor and provide opportunities to overcome it.

This can be done, for example, by making the technology commercially attractive.

In the post-Soviet space, there is now an objective request for the introduction of distance learning, including on the basis of video lectures. This is due, among other things, to the poor quality of teaching at regional universities. It is obvious that lectures can really be transferred to a remote mode without much effort, while for practical tasks it is much more difficult to do.

The proposed technology makes it possible to fill this gap, at least in part.

Indeed, the difficulties in the implementation of practical tasks in remote mode are associated, with the need to prepare individual tasks for a large number of students. When using the proposed technology, this difficulty is automatically removed.

In addition, it is possible to track the correlation between the subject of the article and the subject of the dissertation of a particular undergraduate. This not only serves as an indirect form of control over the fact that the task is actually performed by a graduate student personally, but also serves as an additional incentive to work on a thesis during the entire period of study in the master's degree. Unfortunately, in modern conditions master's theses in post-Soviet universities are often carried out in the last months of training, and measures aimed at countering plagiarism are not always effective. That is why the measures providing additional stimulation of work on the dissertation are relevant.

Therefore, it can be argued that the implementation of the proposed approach allows to solve a number of problems of modern higher education in a complex way and, moreover, it is economically advantageous for most post-Soviet universities.

Conclusion: Thus, the existence of negative trends in modern post-Soviet science can be converted into a certain resource that allows introducing an innovative technology based on writing critical reviews. Development of students' critical thinking skills is the main advantage in comparison with such widely used forms of educational work as writing essays.

In parallel, this technology is able to prevent negative trends associated with unfair attitude to the published materials. Specialized agencies of the post-Soviet space are making extraordinary efforts to combat with such shameful phenomena as plagiarism, but so far, they have not brought systemic results. Because the plagiarism checking is carried out by the software and it is nothing more than a formal procedure now. Such procedures are not able to provide an assessment of the quality of scientific works. However, it is worth noting that such scientometrics indicators as the Hirsch index, designed to assess the effectiveness of a particular researcher, are also far from ideal [3]. By massive use of the proposed technology, it would possible to use additional indicators based on "anti-rating" because the students would obviously choose the articles that are most vulnerable to criticism.

It has to be emphasized once again that the only effective form of countering any negative trends of science is an open scientific debate. The proposed information technology can revive it and additionally develop the critical thinking skills of students.

References:

1. Gokhberg L. New innovative system for the " new economy " //Economic Issues. – 2018. – N. 3. – P. 26–44.
2. Ivanova N. I. Science and innovation: choosing priorities // World of change. – 2013. – N. 1. – P. 84–88.

3. **Mun G. A.**, Zhanbaev R. A. Phantom pains of world science // Bulletin of the AUES, spec. issue (Matt. Conf. "The role of youth in the formation of the knowledge economy"). – 2018. – P. 24.
4. Rumyantsev A. A. Strategic innovations in the technological breakthrough of economy // Economy and management. – 2011. – N. 6. – P. 25–28.
5. Sokolova G. N. Modernization as a technological and social phenomenon: Belarus–Russia // Sociological researches. – 2012. – N. 5. – P. 3–12.
6. Suleimenov I. E., Gabrielyan O. A., Sedlakova Z. Z., mun G. A. History and philosophy of science. – Almaty: Kazakh university, 2018. – 406 p.
7. Suleimenov I. E., Gabrielyan O. A., Buryak V., Safonov N., Irmuhametova G., Kardashev S., Mun G. Organization and planning of scientific researches – Almaty: publishing house of the Treasury, 2018. – 336 p.
8. Suleimenov I. E., Gabrielyan O. A., Mun G. A., Pak I. T., Saltykov D. B., Panchenko S. V., Vitulyova E. S. Some problems of modern theory of innovation. – Almaty-Simferopol: Print Express, 2016. – 197 p.
9. Suleimenov I. E., Pak I. T., Gabrielyan O. A., Bakirov A. S., Koldaeva S. N. Principles for the development of combined tools, training testing // Review of Association of Science and Technology "КАНАК". – 2017. – N. 3 (58) – P. 96–105.
10. Shilov A. Innovative economy: science, government, business // Economic Issues. – 2018. – N. 1. – P. 127–137.

Поступила 25 февраля 2019 г.

ХИМИЯ

IRSTI 31.17.15

UDC 546-3: 546.06

FEATURES OF ION-EXCHANGE BETWEEN HYDROGELS BASED ON SOFT POLYACID AND LOW-MOLECULAR SALT SOLUTION IN THE FIELD ENHANCED THE CONCENTRATION OF LOW-MOLECULAR CATIONS

Suleimenov I.E.¹, Baipakbayeva S.T.¹, Alikulov A.², Samatkyzy D.², Guven O.³, Mun G.A.²

¹Almaty University of Power Engineering & Telecommunications, Almaty, Republic of Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan

³Hacettepe University, Beytepe 06532, Ankara, Turkey

e-mail: mungrig@yandex.ru

An analytical description of the previously discovered ion-exchange effect between hydrogel based on soft polyacid and a solution of low-molecular salt is proposed. This issue also has an academic interest, because of ion exchange has a significant effect on any processes in which polyacids participate in both crosslinked and linear form. An explicit equation is obtained for the value of the Donnan multiplier, which reflects the redistribution of the concentrations of low-molecular ions between the solution and the volume of the hydrogel. The range of control parameters of the system is determined in which the amplitude of variations in the acidity of the solution over the gel reaches a maximum with temperature variations. It is shown that this range corresponds to grids with large degrees of swelling. The possibilities of practical use of ion-exchange grids with high degrees of swelling are discussed, in particular, for the realization of heat pumps using an acid gel as a working fluid and functioning under the influence of solar heat. Also it is necessary to emphasize that the carried out theoretical analysis shows that hydrogels based on weak polyacrylic acids placed in a solution of a low molecular weight salt, which can indeed serve as the means of regulating the pH of the medium by the means of temperature.

Keywords: polyacid, ion-exchange, dissociation constant, hydrogels, thermosensitive, heat pumps, polymer, low-molecular salt.

Әлсіз полиқышқылды және азмолекулярлы тұздар негізіндегі гидрогельдің арасындағы алдында байқалған ионды алмасу әсерлерінің аналитикалық сипаттамасы ұсынылған. Қарастырылып отырған тақырып академиялық қызығушылықты да тудыратын жайы бар, себебі ионды алмасу тігілген мен сызықтық түрдегі полиқышқылдардағы кез келген процесстерде ықпал көрсетеді. Азмолекулярлы иондардың ерітінді мен гидрогель көлемінің арасында концентрациясының алмасуына тойтарыс бере алатын айқын түрдегі Доннан көбейткішінің мәні бойынша теңдеулер шығарылған. Жүйенің басқару параметрлерінің ауқымы мен оның гель үстіндегі ерітіндінің қышқылдығының амплитудалық өзгерісі, температура өзгергенде максимум шамасына ие болуы анықтылған. Берілген ауқым үлкен деңгейдегі ісіну торларының ауқымына жауап беретіні көрсетілген. Үлкен деңгейдегі ісінуге ие ионалмасу торларының тәжірибелік мүмкіндіктері ойластырылып жатыр, соның ішінде, қышқылды гелдерді жұмыстық дене ретінде қолдану арқылы жылу насостарын шығару үшін және күн жылуының ықпалымен іске қосылу қабілетіне ие

болуы талқыланып жатыр. Және де жүргізілген теориялық сараптама аз молекулярлы қышқылда орналасқан әлсіз полиакрилат қышқылдық негізіндегі гидрогельдер рН ортаны температура арқасында реттеуге болатыны айқын дәлелденеді.

Тірек сөздер: полиқышқылдық, ионды алмасу, диссоциация тұрақтылығы, гидрогельдер, термосезімталдылық, жылу насостары, полимерлер, аз молекулярлы тұздар.

Предложено аналитическое описание ранее обнаруженного эффекта ионного обмена между гидрогелем на основе слабой поликислоты и раствором низкомолекулярной соли. Рассматриваемый вопрос представляет также и академический интерес, так как ионный обмен оказывает существенное влияние на любые процессы, в которых принимают участие поликислоты и в сшитой, и в линейной форме. В явном виде получено уравнение на значение множителя Доннана, отражающего перераспределение концентраций низкомолекулярных ионов между раствором и объемом гидрогеля. Определен диапазон управляющих параметров системы, в котором амплитуда вариаций кислотности раствора над гелем при вариациях температуры достигает максимума. Показано, что данный диапазон отвечает сеткам с большими степенями набухания. Обсуждаются возможности практического использования ионообменных сеток с большими степенями набухания, в частности, для реализации тепловых насосов, использующих кислотный гель в качестве рабочего тела, и функционирующих под воздействием солнечного тепла. А также проведенный теоретический анализ показывает, что гидрогели на основе слабых полиакриловых кислот, помещенные в раствор низкомолекулярной соли, действительно могут служить средством регулирования рН среды при помощи температуры.

Ключевые слова: поликислота, ионный обмен, константа диссоциации, гидрогели, термочувствительность, тепловые насосы, полимеры, низкомолекулярные соли.

The interaction of gels based on soft acids with low-molecular salts and acids was previously studied in many works [1–5]. An important feature of such systems is the effect of redistribution of concentrations, due to which concentrations of low-molecular electrolyte outside and inside hydrogel can differ significantly. In particular, if the density of the net charge is high [6, 7], the counterions are almost completely displaced into the solution over the gel, which, therefore, accumulates the solution, which is significantly depleted in the low-molecular component. (Note that this effect was proposed in [8] for the deionization of natural waters.)

The simplest for the theoretical description is the case of grids on the basis of hard polyacid or grids based on soft polyacid neutralized by a strong base (for example, nets based on sodium polyacrylate). In such cases, the total number of dissociated functional groups remains unchanged and simple equations describing the effect of redistribution of concentrations can be obtained [6,7]. On the contrary, if hydrogen ions are present in the system under consideration, then some of them are bound by the functional groups of the grid, that is, the degree of ionization that determines the Donnan multiplier can vary.

The simplest for the theoretical description is the case of grids on the basis of hard polyacid or grids based on soft polyacid neutralized by a strong base (for example, nets based on sodium polyacrylate). In such cases, the total number of dissociated functional groups remains unchanged and simple equations describing the effect of redistribution of concentrations can be obtained [6,7]. On the contrary, if hydrogen ions are present in the system under consideration, then some of them are bound by the functional groups of the grid, that is, the degree of ionization that determines the Donnan multiplier can vary.

There is a kind of feedback when the density of the grid charge (through the effect of redistribution of concentrations) effects, among other things, the concentration of counterions

remaining in the volume of the gel, but at the same time, the density of the grid charge itself depends on the concentration of such ions.

The nature of the phenomena under consideration is influenced, in particular, by the temperature, since the dissociation of the constant soft polyacid also depends on this thermodynamic variable. Consequently, it is possible to provide a change in the concentration of hydrogen ions (pH of the medium) in the solution above the hydrogel due to temperature variations. It can be expected that as the dissociation constant increases, the density of the grid charge will increase and, consequently, the number of hydrogen ions displaced into the solution over the gel will also increase. It will become more acidic. This effect can be considered as the basis of a wide class of pH converters having different purposes. In particular, on this basis, it is possible to realize heat pumps operating directly by heating with solar energy, the principle of which is as follows. The working body - hydrogel based on polyacrylic acid - is placed in the control element connected to the working body filling the spool member. When the gel is heated in the control element, the pH of the medium contacting with the gel filling the spool member changes. At present, numerous varieties of pH-sensitive hydrogels are known [7], the degree of swelling of which varies significantly with comparatively small variations in the acidity of the medium. This is due to the fact that hydrogels of this type include both hydrophilic and hydrophobic functional groups. The role of the latter is that even with an insignificant decrease in hydrophilic interactions, hydrophobic interactions provide a grid collapse.

Swelling of such gels is a reversible process, which makes it possible to realize the heat pump due to the heating-cooling cycle (of course, it is advisable to use the liquid itself as a coolant, which is certainly justified, for example, in the case of natural water withdrawal to the surface).

Therefore, it is of interest to study the effect of variations of dissociation constant polyacid on the nature of the effect of redistribution of concentrations. Moreover, from the point of view of promising practical applications, it is important to determine the range of parameters in which the response of the system to a change in temperature (through the variation of the dissociation constant) will be maximum.

This issue is also of academic interest since ion-exchange has a significant effect on any processes in which polyacid participates in both crosslinked and linear form. In particular, these processes significantly affect the formation of complexes between soft polyacids and non-ionic polymers under conditions where the medium contains low-molecular salt [9,10]. It is pertinent to emphasize that from the point of view of the theoretical description of the analogy between crosslinked and linear polymers (with respect to ion-exchange effects) are sufficiently deep, since the size of macromolecular coils considerably exceeds the Debye length [10].

Thus, despite the rather detailed study of the nature of the interaction of gels based on soft polyacids with solutions of low-molecular salts and acids [1–5], there remains a significant previously *unexplored issue of the effect of the change of dissociation constant polyacid on the behaviour of the system as a whole. The purpose of this paper is to fill this gap.*

It is also pertinent to emphasize that the system under consideration (in which the binding of hydrogen ions by functional groups of the grid proceeds) is obviously a special case of systems in which ion-exchange occurs in the traditional sense of this term (metal ion binding by a polymer network, for example). Processes of this kind have also been studied in detail in the literature, including, theoretically [13]. In particular, considerable attention was paid to the regeneration of ion-exchange resin. (From a chemical point of view, an ion-exchange resin placed in a solution of an alkali metal salt has an analogue of an acid hydrogel placed in a solution of such a salt.)

However, there is a significant difference between ion-exchange resin and hydrogels - the degree of grid swelling. As shown in this paper, large values of the grid swelling degree can lead to significant differences in the nature of ion-exchange processes compared to the tightly cross-linked ion-exchange resin. To prove this statement, in this paper we derive the Donnan factor equation without using any approximations related to the dissociation constant as a small parameter of the problem.

We write the Donnan balance equation for the case of the system, which comprises a 1:1 salt, 1:1 acid and grid based on a crosslinked soft polyacid. For definiteness, we shall consider a grid based on polycrystal acid, placed in a solution containing sodium chloride. We will also assume that in the initial state the network is a crosslinked copolymer of polyacrylic acid and sodium polyacrylate, i.e. it is assumed that already in the initial state the acid gel is partially neutralized.

We have:

$$[Na^+]_i = \alpha[Na^+]_e \quad (1)$$

$$[H^+]_i = \alpha[H^+]_e \quad (2)$$

$$[Cl^-]_i = \alpha^{-1}[Cl^-]_e \quad (3)$$

where the chemical symbol in square brackets denotes the concentration of the corresponding ions, α is the Donnan coefficient, the indices i , e refer to the ion concentrations inside and outside the hydrogel, respectively.

Equations (1)–(3) should be supplemented by equations expressing the condition of neutrality of the medium outside and inside the hydrogel

$$[Cl^-]_e = [H^+]_e + [Na^+]_e \quad (4)$$

$$[-COO^-] + [Cl^-]_i = [H^+]_i + [Na^+]_i, \quad (5)$$

as well as by the equation of conservation of the total number of carboxyl groups (it is assumed that the grid density remains unchanged)

$$[-COO^-] + [-COOH] = N_0 \quad (6)$$

The system of equations describing the equilibrium state of the system under consideration closes the equilibrium equation in the dissociation constant of carboxyl groups

$$[H^+]_i[-COO^-] = K[-COOH] \quad (7)$$

and balance equations for low-molecular components

$$w[Cl^-]_i + (1-w)[Cl^-]_e = c_0 \quad (8)$$

$$w[H^+]_i + (1-w)[H^+]_e = w((1-q)N_0 - [-COOH]) \quad (9)$$

where q is the mole fraction of sodium polyacrylate in the grid.

We emphasize that it is this form of recording the balance equation for hydrogen cations that differs from those used earlier. It is this form of the equation used that corresponds to the situation when a partially neutralized gel based on soft polyacid is placed in a solution of low-molecular salt 1:1; the total number of hydrogen ions (both mobile and bound) in such a situation is less than when a gel based on pure polyacid is placed in the solution.

Denote the total concentration of low-molecular ions in the solution over the gel (index e) and inside the gel (index i) through

$$[Na^+]_{e,i} + [H^+]_{e,i} = c_{e,i} = [Cl^-]_{e,i} \quad (10)$$

We proceed to dimensionless variables (adjusted concentrations and adjusted value dissociation constant)

$$x_{e,i} = \frac{c_{e,i}}{N_0}; x_0 = \frac{c_0}{N_0}; x = \frac{[H^+]_i}{N_0}; n = \frac{[-COO^-]}{N_0}; k = \frac{K}{N_0} \quad (11)$$

Then we can proceed to the following system of equations for dimensionless unknowns

$$(\alpha - \alpha^{-1})x_0 = (w\alpha^{-1} + (1 - w))n \quad (12)$$

$$(w + (1 - w)\alpha^{-1})k(1 - n) = wn(n - q) \quad (13)$$

Equation (12) makes it possible to express the reduced concentration of ionized functional groups through the Donnan multiplier

$$n = \frac{(\alpha^2 - 1)x_0}{w + \alpha(1 - w)} \quad (14)$$

Expression (14) makes it possible, with the help of (13), to obtain a unique equation for the Donnan factor

$$(\alpha w + (1 - w))\frac{k}{x_0} \left(1 - \frac{(\alpha^2 - 1)x_0}{w + \alpha(1 - w)}\right) = w \frac{\alpha(\alpha^2 - 1)}{w + \alpha(1 - w)} \left(\frac{(\alpha^2 - 1)x_0}{w + \alpha(1 - w)} - q\right) \quad (15)$$

Equation (15), in particular, shows that instead of the given dissociation constant, determined in accordance with formulas (11), it is expedient to use the reduced value, defined as

$$k_0 = \frac{k}{x_0} = \frac{K}{c_0} \quad (16)$$

The convenience of using the form (16) is connected with the fact that when the degree of swelling of the gel changes, the density of the grid also changes. The equation (16), on the other hand, is given only by the initial conditions of the experiment.

Knowing the Donnan multiplier, it is possible to find the salt concentration outside and inside the hydrogel, as well as the concentration of hydrochloric acid in the solution over the gel, according to formulas

$$\frac{[Cl^-]_e}{N_0} = x_e = \frac{\alpha x_0}{w + \alpha(1-w)}; \quad \frac{[Cl^-]_i}{N_0} = x_i = \frac{x_0}{w + \alpha(1-w)} \quad (17)$$

$$y = \frac{[H^+]_e}{N_0} = k \frac{(1-n)}{\alpha n} = \frac{wn}{\alpha w + (1-w)} \quad (18)$$

The algebraic equation (15) has in the general case the fifth power and does not have an analytic solution. The results of its numerical solution are shown in Fig. 1–6 (curves 1). The same figures show the dependence of the hydrogen ion concentration in the solution above the gel (curve 2) and their derivatives $d\alpha/dk_0$ (curve 3) and dy/dk_0 (curve 4) on the decimal logarithm of the reduced dissociation constant k_0 for different values of the control parameters.

It can be seen that, as expected, the acidity of the solution over the gel increases markedly as the reduced dissociation constant increases. However, there is also a non-obvious nuance: the maximum derivative of the concentration of hydrogen ions in the solution over the hydrogel over $\log k_0$ falls on the region near $\log k_0 = 0$, and this value varies little with the control parameters of the system, as shown in Fig. 1–6.

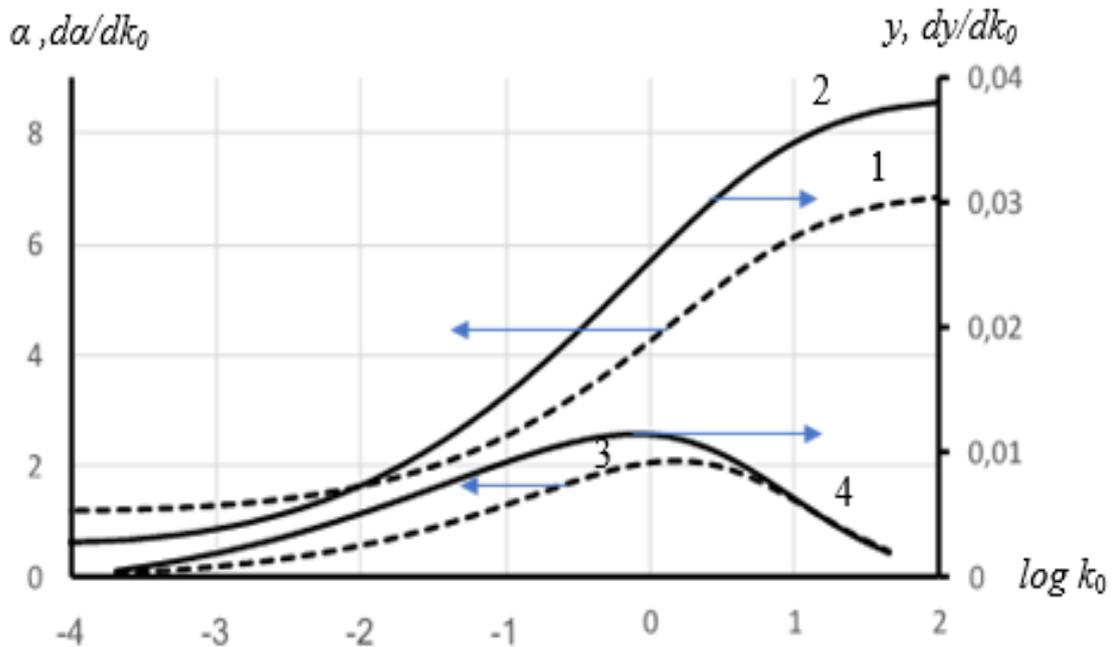


Figure1 – Dependences of the Donnan factor α (curve 1), the reduced concentration of hydrogen ions in the solution above the gel (curve 2) and their derivatives $d\alpha/dk_0$ (curve 3) and dy/dk_0 (curve 4) from the decimal logarithm of the reduced dissociation constant k_0 for $x_0= 0,14$; $w = 0,05$; $q = 0,05$.

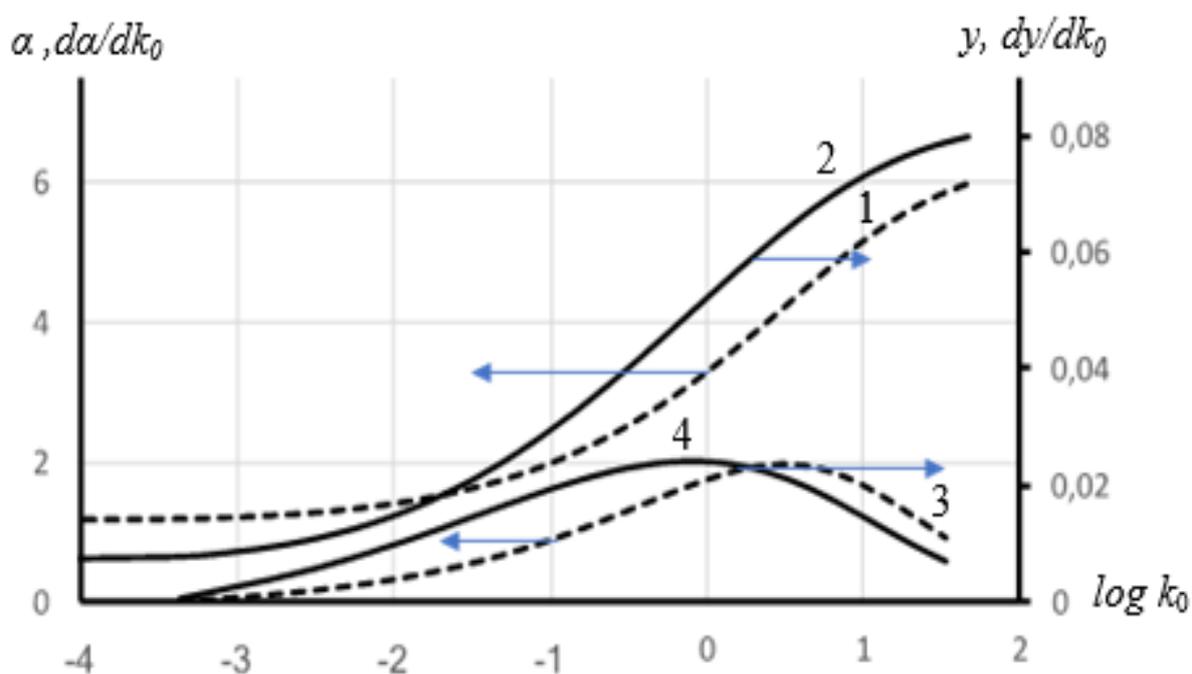


Figure 2 – Dependences of the Donnan factor α (curve 1), the reduced concentration of hydrogen ions in the solution above the gel (curve 2) and their derivatives $d\alpha/dk_0$ (curve 3) and dy/dk_0 (curve 4) from the decimal logarithm of the reduced dissociation constant k_0 for $x_0 = 0,14$; $w = 0,15$; $q = 0,05$

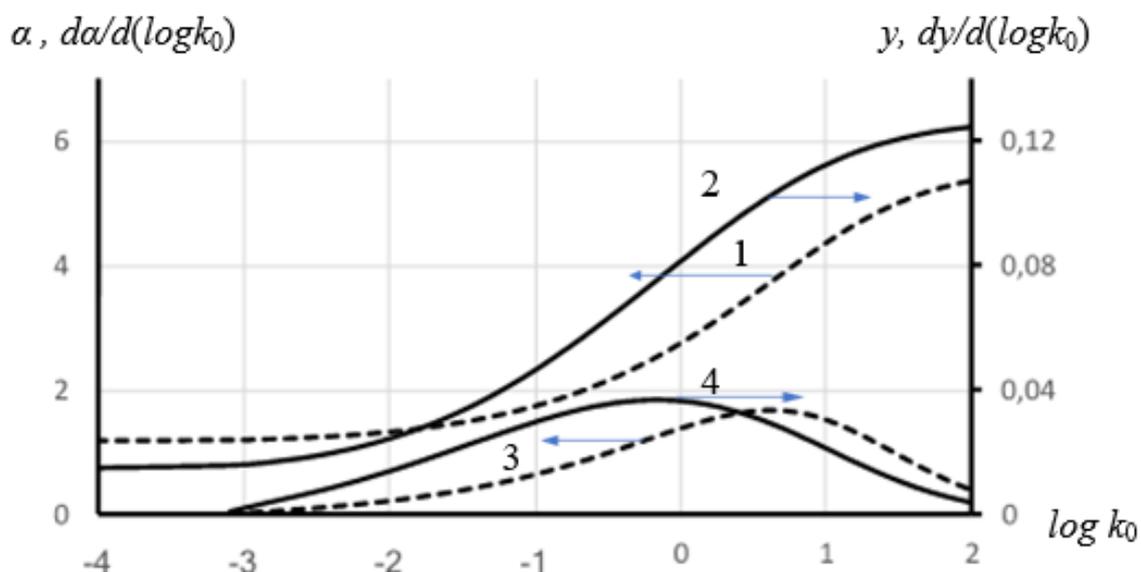


Figure 3 – Dependences of the Donnan factor α (curve 1), the reduced concentration of hydrogen ions in the solution above the gel (curve 2) and their derivatives $d\alpha/dk_0$ (curve 3) and dy/dk_0 (curve 4) from the decimal logarithm of the reduced dissociation constant k_0 for $x_0 = 0,14$; $w = 0,3$; $q = 0,05$

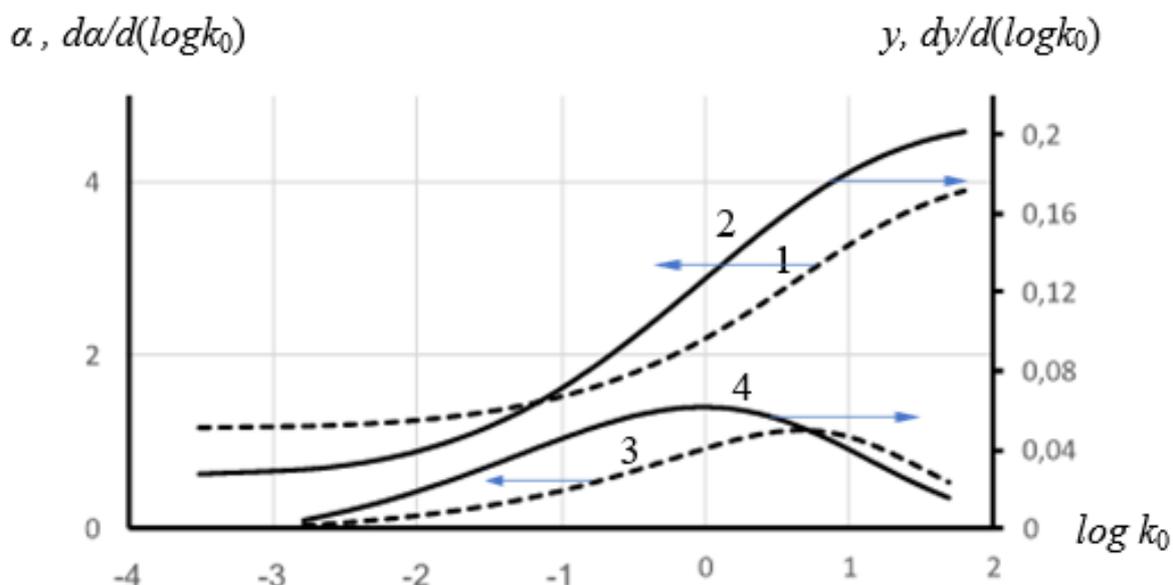


Figure 4 – Dependences of the Donnan factor α (curve 1), the reduced concentration of hydrogen ions in the solution above the gel (curve 2) and their derivatives $d\alpha/dk_0$ (curve 3) and dy/dk_0 (curve 4) from the decimal logarithm of the reduced dissociation constant k_0 for $x_0 = 0,14$; $w = 0,6$; $q = 0,05$

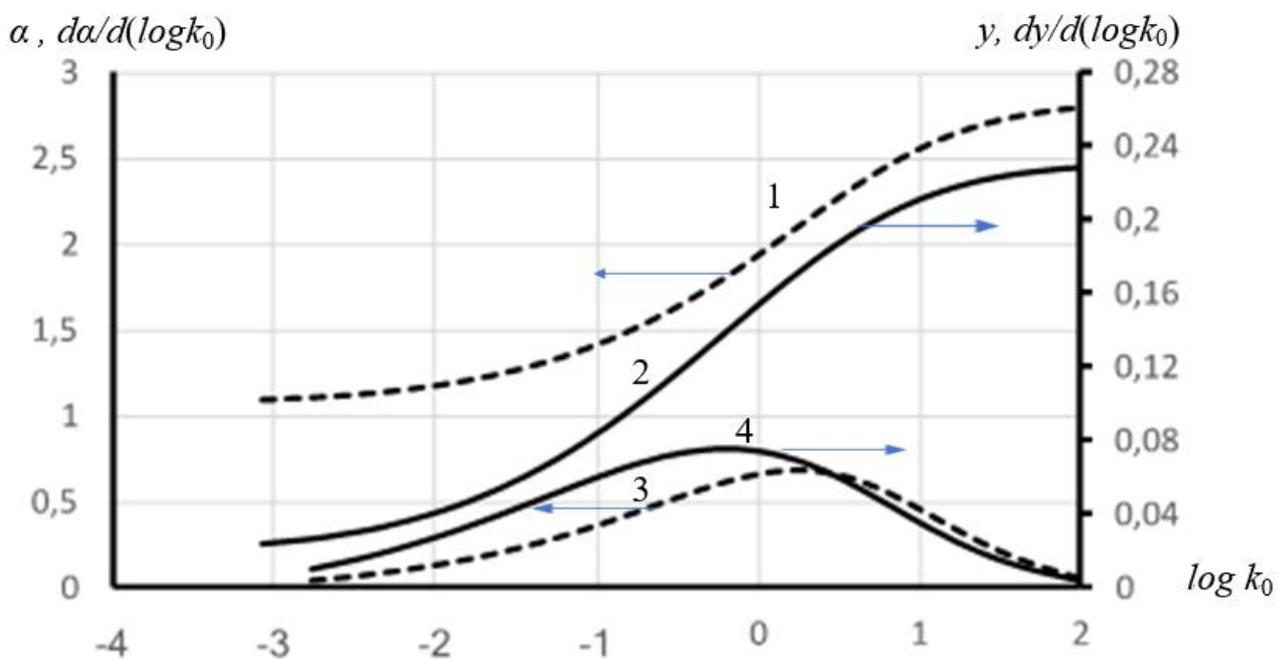


Figure 5 – Dependences of the Donnan factor α (curve 1), the reduced concentration of hydrogen ions in the solution above the gel (curve 2) and their derivatives $d\alpha/dk_0$ (curve 3) and dy/dk_0 (curve 4) from the decimal logarithm of the reduced dissociation constant k_0 for $x_0 = 0,3$; $w = 0,4$; $q = 0,05$

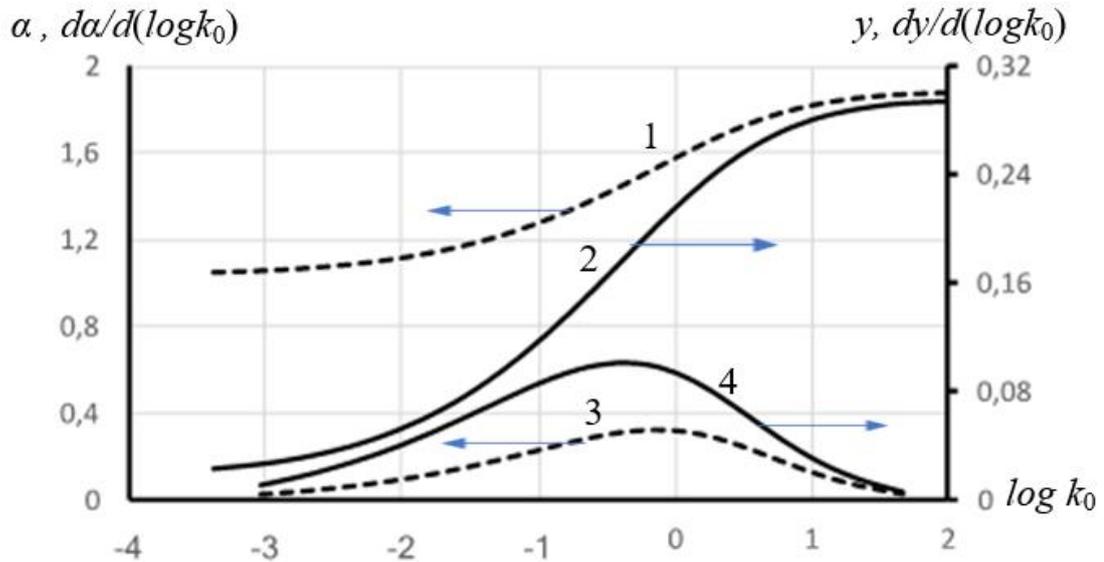


Figure 6 – Dependences of the Donnan factor α (curve 1), the reduced concentration of hydrogen ions in the solution above the gel (curve 2) and their derivatives $d\alpha/dk_0$ (curve 3) and dy/dk_0 (curve 4) from the decimal logarithm of the reduced dissociation constant k_0 for $x_0 = 0,14$; $w = 0,05$; $q = 0,05$

The necessity of the system's deduction to this range is also emphasized by Fig. 7 and Fig. 8, which shows examples of the phase portraits dependencies of the hydrogen ions reduced concentration in solution over the gel (the dependences $dy/d(\log k_0)$ from y). The figures emphasize that the range of conditions in which the response of the system for changing in the value of the dissociation constant is maximal and very narrow. Consequently, if we talk about practical applications, it is advisable to ensure that this system is tuned to the optimum or conditions, closer to it. These figures also show that it is possible to approximate the theoretical curves that obtained as the resolution to an algebraic equation of the fifth degree with simpler dependencies, which is justified from the point of view of the subsequent development of the engineering calculation technique for devices such as heat pumps based on the hydrophilic polymer networks.

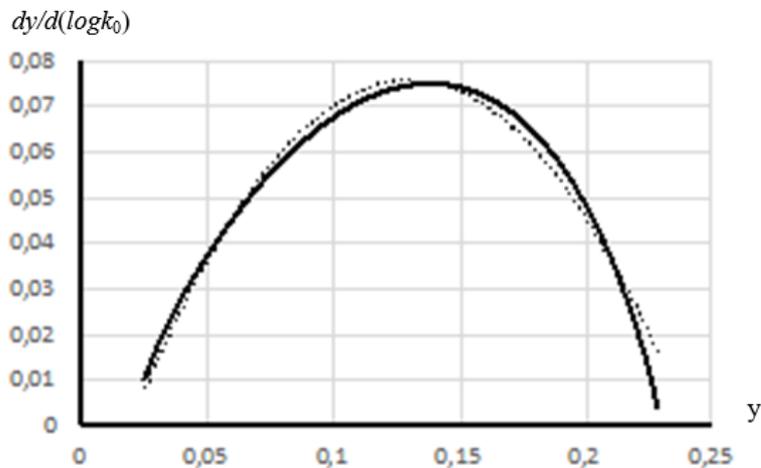


Figure 7 – The phase portrait (the dependence of $dy/d(\log k_0)$ on y) of curve 2 from Fig. 5 and its approximation by a parabola

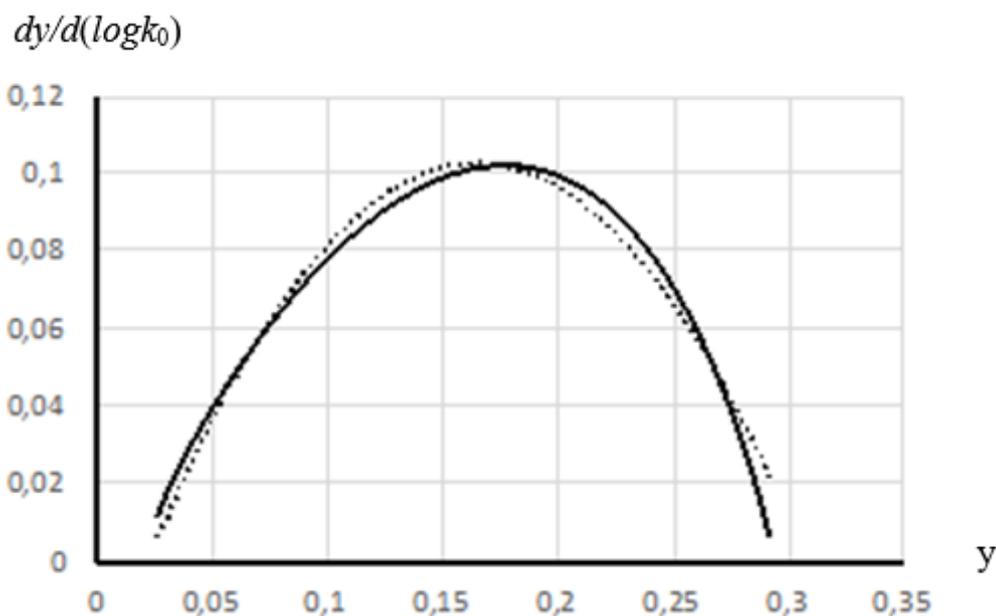


Figure 8 – The phase portrait (the dependence of $dy/d(\log k_0)$ on y) of curve 2 from Fig. 6 and its approximation by a parabola

Therefore, it is this range that is desirable to be used for implementing any systems in which the temperature variations of the dissociation constant of the polyacid are used, since the response of the system to the temperature variation will be most pronounced. At the same time, this range corresponds to relatively small concentrations (close in magnitude to the absolute value of the dissociation constant, measured in moles/ litre), so the question arises of optimizing the operation of the system, which is why the theory developed in this paper is necessary. It is important that this theory does not use approximations related to the consideration of the dissociation constant as a small parameter since the range most interesting from the point of view of potential practical application corresponds to the values of the reduced dissociation constant close to unity.

Thus, conducted theoretical analysis shows that hydrogels based on weak polyacrylic acids placed in the solution of a low molecular weight salt can indeed serve as a means of regulating the pH by the means of temperature. This effect can find application in such devices as heat pumps, which is source of energy from solar heat. (The temperature range that is easily achievable when heated by direct sunlight is 40–60 °C, which corresponds to the temperature range of thermosensitive systems based on epy hydrophilic polymer networks.)

Thus, the carried out theoretical analysis shows that soft polyacrylic acid hydrogels placed in a solution of a low molecular weight salt can indeed serve as a means of regulating the pH of the medium by means of temperature. This effect can find application in such devices as heat pumps, the source of energy for which is solar heat. (The range of temperatures that are easily achievable when heated by direct sunlight is 40–60 °C, which corresponds to the range of temperature sensitivity of systems based on hydrophilic polymer networks.)

The theoretical analysis also shows that there is a rather narrow range of values for the dissociation constant of the reaction (reaction providing the effect of temperature sensitivity), in which the response of the system to the temperature change reaches a maximum. Consequently, the optimization of systems of this type can be associated not only with the selection of concentrations

of working substances but also with the transition to other types of interactions. Promising in this respect are the interactions of non-ionic hydrogels and surfactants, due to which hydrogels become polyelectrolyte. The susceptibility to a temperature, in this case, is ensured by the fact that the hydrophobic interactions responsible for the formation of surfactant micelles within the hydrogel are temperature dependent.

References:

1. Budtova T. V., Belnikovich N. G., Suleimenov I. E., Frenkel S. Y. Concentration redistribution of low-molecular-weight salts of metals in the presence of a strongly swelling polyelectrolyte hydrogel // *Polymer*. – 1993. – №34 (24). – P. 5154–5156.
2. Budtova T. V., Suleimenov I. E., Bichutskiy D. A., Frenkel S. Redistribution of low-molecular-mass acid between polyelectrolyte hydrogel and solution // *Polymer science. Series A, Chemistry, physics*. – 1995. – №37 (6). – P. 646–650.
3. Suleimenov I.E., Mun G.A., Kopsishev E. Ye. Ion-exchange properties of cross-linked and linear polyacrylic acid // *Journal of PSU, Chemical-biological series*. – 2010. – №4. – P. 20–27.
4. Suleimenov I.E., Reva Yu. I., Bekturov E.A. Analytical description of the redistribution of the concentration of low-molecular acid between a weakly dissociating hydrogel and a solution // *Review of The Scientific and Technical Association "КАХАК"*. – 2008. – № 1 (20). – P.58–63.
5. Budtova, T. V., Suleimenov, I. E., Frenkel, S. A diffusion approach to description of swelling of polyelectrolyte hydrogels // *Polymer science*. – 1995. – №37 (1). – P.10–16.
6. Mun G., Suleimenov I., Park K., Omidian H. Superabsorbent hydrogels // *In Biomedical applications of hydrogels handbook*. – New-York: Springer, 2010. – P. 375–391.
7. Ergozhin E.E., Zezin A.B., Suleimenov I.E., Mun G.A. Hydrophilic polymers in nanotechnology and nanoelectronics // *Nanotechnology Library, Almaty–Moscow: LEM*. – 2008. – 234 p.
8. Budtova T., Suleimenov I. Physical principles of using polyelectrolyte hydrogels for purifying and enrichment technologies // *Journal of applied polymer science*. – 1995. – № 57(13). – P. 1653–1658.
9. Mun, G. A., Suleimenov, I. E., Yermukhambetova, B. B., Vorob'eva, N. A., Irmukhametova, G. S. Features of the formation of interpolymer complexes of poly (carboxylic acids) and nonionic polymers in aqueous solutions in the presence of low-molecular-mass electrolytes // *Polymer Science Series A*. – 2016. – №58 (6). – P.944–955.
10. Suleimenov I., Güven O., Mun G., Beissegul A., Panchenko S., Ivlev R. The formation of interpolymer complexes and hydrophilic associates of poly (acrylic acid) and non-ionic copolymers based on 2-hydroxyethylacrylate in aqueous solutions // *Polymer International*. – 2013. – № 62 (9). – P. 1310–1315.
11. Ryabchikov B.E. et al. Comparative Investigations of the efficiency of ion exchange filter regeneration by various methods // *Energy saving and Water Treatment*. – 2006. – №. 5. – P. 2–6.
12. Suleimenov, I. E., Budtova, T., Adilbekov, S. A., Pereladov, I. Y., Bekturov, E. A. Application of the method of phase portraits to the analysis of the kinetics of redistribution of metal ion concentrations in the polyelectrolyte hydrogel-multicomponent solution system // *Polymer Science Series A*. – 2004. – №46 (8). – P. 797–805
13. Vergun A.P. Ion-exchange technology // *Ion-exchange technology for separation and purification of substances*. – Free output data of publication. – 108 p.

Поступила 20 марта 2019 г.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

МРНТИ 67.53.21

УДК 697.1

ОСОБЕННОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ В ОТКРЫТЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Бердикул Н.И., Нурпеисова К.М.

Казахский национальный исследовательский технический университет

им. К.И. Сатпаева, Алматы, Республика Казахстан

e-mail: Berdikul.n@mail.ru

Рассматриваются вопросы повышения эффективности водяных систем централизованного теплоснабжения путем оптимизации гидравлических режимов. Эффективность работы систем централизованного теплоснабжения во многом зависит от режимов работы тепловых сетей и систем теплопотребления. Теоретическое исследование гидравлических режимов в системе теплоснабжения как объекта управления весьма актуально. Управление рабочими режимами влияет на оптимизацию режимов функционирования систем теплоснабжения. Гидравлические режимы в открытых системах теплоснабжения обладают рядом особенностей, обусловленных конструктивными и технологическими факторами. Соответственно показаны особенности физического моделирования, основанного на применении метода гидроаналоговых установок. Гидравлические характеристики абонентских теплопотребляющих установок оказывают большое воздействие на гидравлические режимы тепловой сети, методы их расчета и моделирования.

Ключевые слова: *теплоснабжение, тепловые сети, открытая система, теплоноситель, гидравлический режим, пьезометрический график, диафрагма.*

Гидравликалық режимдерді оңтайландыру арқылы орталықтандырылған жылумен жабдықтаудың су жүйелерінің тиімділігін арттыру мәселелері қарастырылады. Орталықтандырылған жылумен жабдықтау жүйелері жұмысының тиімділігі көп жағдайда жылу желілері мен жылу тұтыну жүйелерінің жұмыс режимдеріне байланысты. Басқару объектісі ретінде жылумен жабдықтау жүйесінде гидравликалық режимдерді теориялық зерттеу өте өзекті. Жұмыс режимдерін басқару жылумен жабдықтау жүйелерінің жұмыс істеу режимдерін оңтайландыруға әсер етеді. Жылумен жабдықтаудың ашық жүйелерінде гидравликалық режимдер конструктивтік және технологиялық факторларға байланысты бірқатар ерекшеліктерге ие. Сәйкесінше, гидроаналогиялық қондырғылар әдісін қолдануға негізделген физикалық моделдеудің ерекшеліктері көрсетілген. Жылу энергиясын есептеу және есептеу әдістері жылу желісінің гидравликалық режимдеріне, оларды есептеу және модельдеу әдістеріне үлкен әсер етеді

Тірек сөздер: *жылумен қамту, жылу желілері, ашық жүйе, жылу тасымалдығыш, гидравликалық режим, пьезометриялық график, диафрагма.*

The problems of increasing the efficiency of water district heating systems by optimizing hydraulic regimes. The efficiency of district heating systems largely depends on the modes of operation of heat networks and heat consumption systems. The theoretical study of hydraulic regimes in the heat supply system as a control object is very relevant. Management of operating modes affects the optimization of modes of operation of heat supply systems. Hydraulic modes in open heat supply systems have a number of features

due to structural and technological factors. Accordingly, the features of the physical modeling, based on the method of hydro-analog installations. Hydraulic characteristics of subscriber heat-consuming plants have a great impact on the hydraulic modes of the heat network, methods of their calculation and modeling.

Keywords: *heat supply, heat networks, open system, coolant, hydraulic mode, piezo-metric chart, diaphragm.*

Введение. Обеспечение рациональных режимов работы трубопроводных систем, которые обеспечивают разные категории потребителей тепла, приводит к необходимости оптимального и скоординированного управления тепловых сетей, которые, в свою очередь, требует правильного управления рабочими режимами системы теплоснабжения. Большой перерасход энергетических, тепловых и финансовых ресурсов происходит в результате неэффективной работы системы теплоснабжения.

Режимы работы тепловых сетей и систем теплоснабжения во многом воздействуют на эффективность работы системы централизованного теплоснабжения. Поэтому задачи теоретического исследования гидравлических режимов системы теплоснабжения как объекта управления и их оптимизации в сложных системах городов является весьма актуальной.

С увеличением радиуса действия и района эксплуатации повышаются требования к надежности теплоснабжения, т.е. бесперебойной подаче тепла потребителям. Конструкция тепловых сетей и качество их выполнения не исключает аварийное или плановое отключение отдельных участков сети. Основным методом повышения надежности является сооружение резервных связей между тепловыми сетями от одного или нескольких источников теплоты [1]. В результате прокладки таких сетей развиваются сложные многокольцевые гидравлические системы.

Основная часть. Под гидравлическим режимом системы теплоснабжения понимается взаимосвязь между расходами и давлением теплоносителя во всех участках тепловой сети. Гидравлический режим определяется характеристиками основных элементов, образующих систему теплоснабжения. Такими элементами являются насосные установки и тепловые сети, абонентские узлы. При анализе гидравлических режимов теплоснабжения наряду с давлением применяется единица гидравлического потенциала – напор. Пьезометрический напор, создаваемый совместным функционированием подпиточных и сетевых насосов, определяет давление во всех участках системы теплоснабжения.

Гидравлические режимы тепловых сетей обладают рядом особенностей, обусловленных конструктивными и технологическими факторами. Во-первых, тепловые сети являются двухтрубными. Подающие и обратные трубопроводы гидравлически связаны между собой. Во-вторых, эксплуатация теплоносителя высокой температуры, связаны с возможностью ее вскипания. Непосредственное присоединение к тепловым сетям местных систем отопления, обладающих наименьшей механической прочностью по сравнению с остальным оборудованием системы теплоснабжения, накладывают ряд ограничений на гидравлический режим сети. Это касается максимально и минимально допустимых давлений в подающем и обратном трубопроводе тепловых сетей:

- напор в местных системах не должен превышать допустимого для отопительных приборов, например, для чугуна 60 м;
- напоры во всех участках тепловой сети и местных систем не должны быть избыточными, равными не менее 5 м во избежание подсоса воздуха и кавитации сетевых

насосов;

– напор в подающем трубопроводе должен обеспечивать незакипание сетевой воды.

При максимальной температуре теплоносителя в сети 150 °С пьезометрический напор в подающем трубопроводе должен быть не меньше 38,6 м; при температуре 180 °С не менее 102 м. Эти условия являются основными при проектировании гидравлического режима (пьезометрического графика) тепловых сетей.

Совершенствования режимов работы тепловых сетей относится к организационно-техническим мероприятиям, не требующих особо значительных финансовых затрат на внедрение, но приводящим к особенному экономическому результату.

Разработка гидравлических режимов в отопительный и межотопительный периоды проводится ежегодно в отношении анализа режимов, работы систем теплоснабжения в предыдущие периоды, возможное присоединение новых нагрузок, плановые ремонты и реконструкции. По результатам данной информации осуществляются гидравлические расчеты с составлением перечня наладочных мероприятий. Главной целью оптимизационной задачи при разработке гидравлических режимов и перераспределения тепловых нагрузок является снижение затрат на производство и транспорт тепловой энергии при имеющихся технологических ограничениях.

По способу подачи воды на горячее водоснабжение водяные системы делят на закрытые и открытые. В закрытых системах воду из тепловых сетей используют только как греющую среду, а в открытых системах теплоснабжения горячая вода к водоразборным приборам местной системы горячего водоснабжения поступает непосредственно из тепловых сетей.

Главная особенность переменного гидравлического режима открытых систем теплоснабжения состоит в том, что при водозаборе по тепловым сетям движется неравноценное количество теплоносителя [4]. В зависимости от периода в тепловых элементах будут неравноценные расходы. Действительно, в период минусовых наружных температур, температура воды в обратном трубопроводе после системы отопления будет выше 65 °С. В этот период вода для ГВС будет отбираться из обратного трубопровода после системы отопления. При этом по подающей линии достаточно подавать только отопительный расход, по обратной линии будет идти отопительный расход минус расход на горячее водоснабжение.

В теплый период, когда наружная температура превышает 3–4 °С, температура воды в подающем трубопроводе поддерживается равной 65 °С и отбор теплоносителя на горячее водоснабжение осуществляется только из подающего трубопровода до системы отопления. При таком режиме по подающей линии подается расход, как на отопление, так и на горячее водоснабжение, а по обратной возвращается только расход, прошедший систему отопления [2].

В период между этими режимами вода отбирается как из подающей, так и из обратной сети. Соотношение количеств воды, отбираемых из сети, регулируется регулирующим клапаном смешения, которым управляет регулятор температуры, поддерживающий нужную температуру теплоносителя.

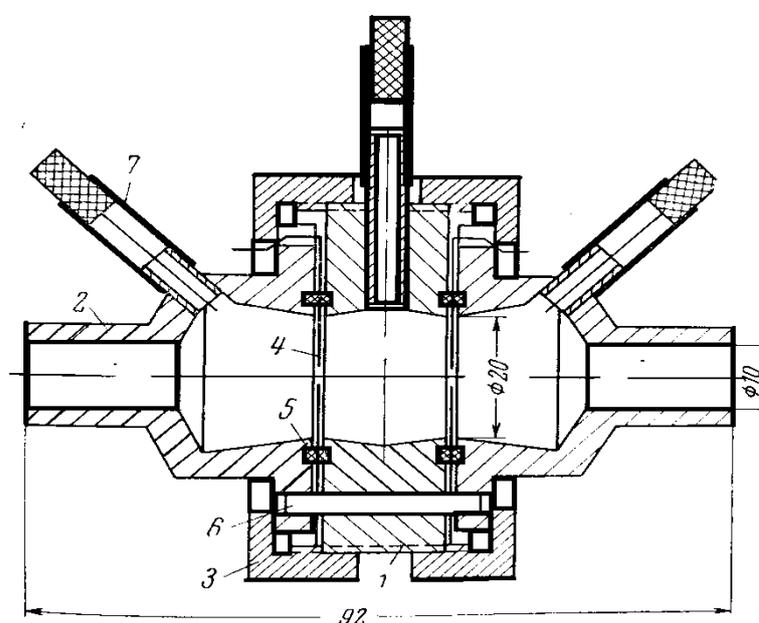
Следовательно, соотношение расходов воды, движущейся последовательно по тепловым сетям циркуляционного контура открытой системы теплоснабжения, постоянно изменяется в зависимости от температуры наружного воздуха, и это составляет главную особенность ее переменных гидравлических режимов.

Приведенные сведения показывают, что схемы тепловых сетей являются сложными и связанные с ними вопросы гидравлических режимов требуют соответствующего

правильного решения. В практике проектирования, наладки и эксплуатации возникают следующие задачи, требующие обеспечения гидравлических режимов тепловых сетей:

- анализ гидравлических режимов действующих тепловых сетей при необходимых в практике эксплуатации переключениях и выбор оптимального варианта переключений;
- решение вопроса о возможности присоединения к определенным участкам действующей тепловой сети дополнительных тепловых нагрузок и необходимых для этой цели мероприятий по реконструкции;
- разработка мероприятий по аварийному резервированию действующих и проектируемых сетей;
- разработка схем автоматизации и защиты тепловых сетей;
- разработка программы переключений для обнаружения места аварии и его локализации.

Наряду с совершенствованием методов расчета гидравлических режимов, на практике можно задействовать особенности физического моделирования, основанного на применении метода гидроаналоговых установок [3]. Потеря напора в местном сопротивлении, так же как и потеря напора в трубопроводах, пропорциональна квадрату расхода сетевой воды. Благодаря этому имеется возможность использовать надлежащим образом подобранные местные сопротивления. Исследования, проведенные различными авторами и практика, показали, что наиболее целесообразно применить в качестве местного сопротивления, отверстие в тонкой пластинке диафрагму [3] (рисунок 1).



1 – кольцо; 2 – крышка; 3 – накидная гайка; 4 – диафрагма; 5 – уплотняющее резиновое кольцо; 6 – центрирующий штифт; 7 – резиновые трубки для выпуска воздуха

Рисунок 1 – Конструкция диафрагмы и патрона

Расход жидкости через такое отверстие определяется уравнением:

$$V = \mu f \sqrt{2gh}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (1)$$

где, μ – коэффициент расхода;
 f – сечение отверстия диафрагмы;
 h – потеря напора диафрагмы, м²;
 g – ускорение силы тяжести.

Диаметр отверстия диафрагмы определяется по формуле:

$$d_d = 10 \cdot \sqrt[4]{\frac{G^2}{\Delta H_d}} \quad (2)$$

где, G – расход воды на участке, т/ч;
 H_d – напор, м в. ст.

Основной задачей выбора размеров и разработки конструкции диафрагм для использования их при гидравлическом моделировании тепловых сетей является обеспечение постоянства коэффициента расхода в наибольшем диапазоне изменения f и h , а также при течении жидкости через диафрагму в обоих направлениях.

Значительное влияние оказывает острота входной кромки диафрагмы, так как округленная кромка диафрагмы не обеспечивает достаточной стабильности коэффициента расхода. Поскольку направление потока жидкости заранее неизвестно, диафрагма не может быть сделана по образцу измерительной диафрагмы со скошенной выходной кромкой. Обе кромки отверстия диафрагмы должны быть острыми, с тем чтобы коэффициенты расхода при течении жидкости через диафрагму в обоих направлениях были близки между собой.

При расчете гидравлических режимов систем теплоснабжения производится определение потери напора, которое в свою очередь важно для тепловых сетей и для правильного построения пьезометрического графика. Если в системе выявился избыточный напор, нужно погасить напоры при помощи диафрагм, устанавливаемых на участке присоединения ответвления к магистрали. Если не погасить этот избыточный напор, то потребители получат больше воды, чем им полагается, а следующие по магистральной линии потребители недополучат расчетного количества воды.

Распределение давлений в тепловых сетях удобно изображать в виде пьезометрического графика, который дает наглядное представление о давлении или напоре в любом участке тепловой сети и поэтому обеспечивает большие возможности учета многочисленных факторов (рельеф местности, высота зданий, особенности абонентских систем и т.д.) при выборе оптимального гидравлического режима.

Заключение. Таким образом, при помощи диафрагм, устанавливаемых на участке присоединения ответвления к магистрали можно создать гидравлическую модель, которая более совершенна и экономична в эксплуатации.

1. Такая оптимизация гидравлического режима теплоснабжения влияет на надежное функционирования системы.

2. Эффективность водяных систем централизованного теплоснабжения повышается из-за способов регулирования тепловых и гидравлических режимов.

3. Организационно-технические мероприятия не требуют значительных финансовых затрат на внедрение, но в то же время приводят к значительному экономическому результату и снижению затрат на топливно-энергетические ресурсы.

Литература:

1. Абдулаев Д.А., Маркелова Е.А., Сабирзянов А.Р., Миронов Н.Ю. Гидравлическая устойчивость тепловой сети // Строительство уникальных зданий и сооружений – 2017. – № 1. – С. 67–85.

2. Бытенский О.М., Скольник Г.М. Методические рекомендации по оптимизации гидравлических и температурных режимов функционирования открытых систем коммунального теплоснабжения: Справочно-методическое пособие. – М.: Коммунальная энергетика, 2005. – 16 с.

3. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 73–90 с.

Поступила 12 февраля 2019 г.

МРНТИ 73.31.41

УДК 621.869

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОГРУЗЧИКА С ЦИКЛОИДАЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ КОВШЕЙ

Ли С.В., Кабашев А.Р., Сайдинбаева Н.Д.

Казахская автомобильно-дорожная академия им. Л.Б. Гончарова (КазАДИ),

Алматы, Республика Казахстан

e-mail: lee.sergei@list.ru

Важным параметром, от которого зависит производительность машины, является скорость движения рабочего органа. В работе приводится кинематика рабочего оборудования погрузчика с циклоидальным движением ковшей. Траектории движения и размеры звеньев рабочего оборудования определяются скоростями и ускорениями его отдельных звеньев (ротора и эксцентрикового вала). Увеличение скорости, с точки зрения повышения производительности машины, является весьма значительным. Целесообразным может оказаться и повышение ускорений рабочего органа (РО). В рабочем оборудовании с планетарным (циклоидальным) движением движущее усилие от привода передается через эксцентриковый вал-водило на сателлиты и ротор (планетарный редуктор выполняется встроенным в корпус РО). В работе определены скорости резания в зависимости от кинематических параметров РО с циклоидальным движением ковшей, разработан алгоритм и программа расчета траекторий движения резания, скорости и производящего радиуса «а» РО.

Ключевые слова: *рабочий орган (ротор), планетарно-роторное (циклоидальное) движение, производительность, скорость, ускорение, инерционная разгрузка, траектория, сателлит, водило, эксцентриковый вал, гипоциклоида.*

Машинаның жұмысына әсер ететін маңызды параметрі – жұмыс бөлігінің қозғалыс жылдамдығы. Жұмыста циклоидті ожаулы қозғалысы бар тиегіштің жұмыс істеу техникасының кинематикасы көрсетілген. Қозғалыстың траекториялары және жұмыс жабдығының байланысы, өлшемдері оның жеке байланыстарының жылдамдығымен және үдеуімен анықталады (ротор мен эксцентрлік білік). Машиналардың жұмысын жақсарту бойынша жылдамдықтың өсуі өте маңызды. Бұл орынды болуы және жұмыс бөлігінің (РО) жеделдетілуін арттыруы мүмкін. Планетарлық (циклоидалық) қозғалыстағы жұмыс жабдығында қозғалтқыштың қозғаушы күші эксцентрлік білікпен тасымалдаушы арқылы спутниктерге және роторға (планеталық тетік Р РО корпусына салынған) тасымалданады. Жұмыста кесу жылдамдығы ПБ-ның кинематикалық параметрлеріне байланысты ожаулы циклоидтық қозғалысы, алгоритм және кесу жолдарын есептеуге арналған бағдарлама, жылдамдық пен генераторлық радиусы «а» ПС әзірленеді.

Тірек сөздер: *жұмыс бөлігі (ротор), планетарлы-айналмалы (циклоидалық) қозғалыс, өнімділік, жылдамдық, жеделдету, инерциялық түсіру, траектория, спутник, тасымалдаушы, эксцентрлік білік, гипокциклоид.*

An important parameter that affects the performance of the machine is the speed of movement of the working body. The work presents the kinematics of the working equipment of the loader with cycloidal bucket movement. The trajectories of motion and the dimensions of the links of the working equipment are

determined by the speeds and accelerations of its individual links (the rotor and the eccentric shaft). The increase in speed, in terms of improving machine performance, is very significant. It may be appropriate and increase the acceleration of the working body (RO). In work equipment with a planetary (cycloidal) movement, the driving force from the drive is transmitted through the eccentric shaft carrier to the satellites and the rotor (the planetary gear is built into the housing RO). In the work, the cutting speeds are determined depending on the kinematic parameters of the PO with cycloidal movement of the buckets, an algorithm and a program for calculating the cutting paths, speed and generating radius "a" PO are developed.

Keywords: *working body (rotor), planetary-rotary (cycloidal) movement, productivity, speed, acceleration, inertial unloading, trajectory, satellite, carrier, eccentric shaft, hypocycloid.*

Введение: Увеличение производительности машин связано с повышением скоростей копания (резания), поэтому кинематические характеристики машин имеют большое значение. Повышение скорости вращения ротора вызывает возрастание центробежных сил, действующих на грунт и препятствующих разгрузке ковша. Время пребывания ковша в зоне разгрузки при этом сокращается, и, следовательно, условия опорожнения ковшей ухудшаются в еще большей степени. Таким образом, активная сила, действующая на грунт в момент разгрузки, и время ее действия уменьшаются; иными словами, уменьшается импульс силы, способствующий разгрузке грунта из ковша. Это является основным препятствием на пути повышения скорости копания (резания) роторных РО, имеющих гравитационную разгрузку, и определяет некоторое предельное значение допустимой скорости вращения ротора. Допустимая скорость вращения ротора во многом зависит от физико-механических свойств грунта; при работе на связных, влажных и липких грунтах она значительно ниже, чем при работе на сыпучих, сухих. Немаловажное значение имеет конструктивное исполнение ковшей с цепными днищами, с падающими днищами, с принудительной очисткой и т.п. В нашей конструкции РО рабочая поверхность ковшей и сами режущие элементы выполнены по взаимоогibaющим циклоидальным кривым (эпициклоидам). Такое конструктивное решение позволяет получить минимально возможные удельные энергозатраты рабочего процесса [1].

Траектория копания (резания) РО с циклоидальным движением ковшей образуется в результате сочетания поступательного движения погрузчика со скоростью $v_{\text{маш}}$ и вращательного движения ротора со скоростью ω_r (рисунок 1).

Направление вращательного движения в нижней части ротора совпадает с направлением поступательного перемещения погрузчика, а в верхней – противоположно ему [2].

В каждый момент движения РО в некоторой точке расположенной на расстоянии от оси ротора вверх скорости поступательного и вращательного движения уравниваются. Последовательные положения этой точки образуют прямую, параллельную поверхности массива на расстоянии e от траектории оси ротора. Поэтому траекторию резания (копания) можно представить как замкнутую кривую с прямолинейными отрезками равной длины, образующихся за счет конструктивных особенностей механизма ротора. Траектории описываются точкой M на продолжении радиуса катящейся окружности на расстоянии L от ее центра.

Шагом траектории резания (каждым из ковшей РО с циклоидальным движением ковшей) являются гипоциклоиды, измеряемые в направлении перемещения машины.

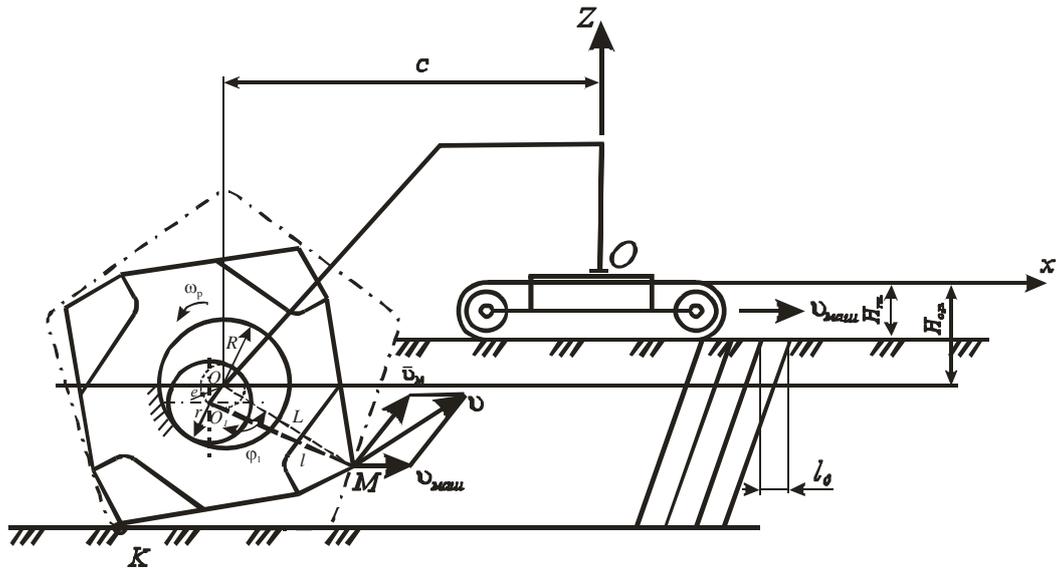


Рисунок 1 – Расчетная схема исполнительного механизма (ротора) погрузчика

Уравнения траектории резания (копания) в принятой системе координат равна [3]:

$$\left. \begin{aligned} x &= v_{\text{маш}} \cdot t - c + e \cdot \cos(\omega_1 t) + l \cdot \cos(\omega \cdot t) \\ z &= -H_{o.p.} - (e \cdot \sin(\omega_1 t) + l \cdot \sin(\omega \cdot t)) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где $v_{\text{маш}}$ – скорость движения РО с циклоидальным движением ковшей;

t – время, отсчитываемое от момента нахождения режущих кромок рассматриваемого ковша в точке K ;

c – вылет оси вращения ротора;

$H_{o.p.}$ – разница уровней платформы машины и оси вращения ротора;

ω_1 – угловая скорость водила;

e – эксцентриситет;

L – расстояние от центра оси колеса до кромки ковша.

Расстояние от точки O до M , это есть L (расстояние от центра оси колеса до кромки ковша) (см. рисунок 1):

$$L = OM = \sqrt{(R-r)^2 + l'^2 - 2(R-r) \cdot l \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi)}, \quad (2)$$

где r – радиус сателлита;

l' – расстояние от O_1 до точки M ;

R – радиус зубчатого колеса;

φ – угол поворота сателлита;

φ_1 – угол поворота эксцентриситета (водила);

Глубина копания:

$$H = L + H_{o.p.} - H_{пл}, \quad (3)$$

где $H_{пл}$ – высота платформы.

При вращении ротора скорость движения на каждой ветви траектории изменяется от минимального до максимального значения (рисунок 2).

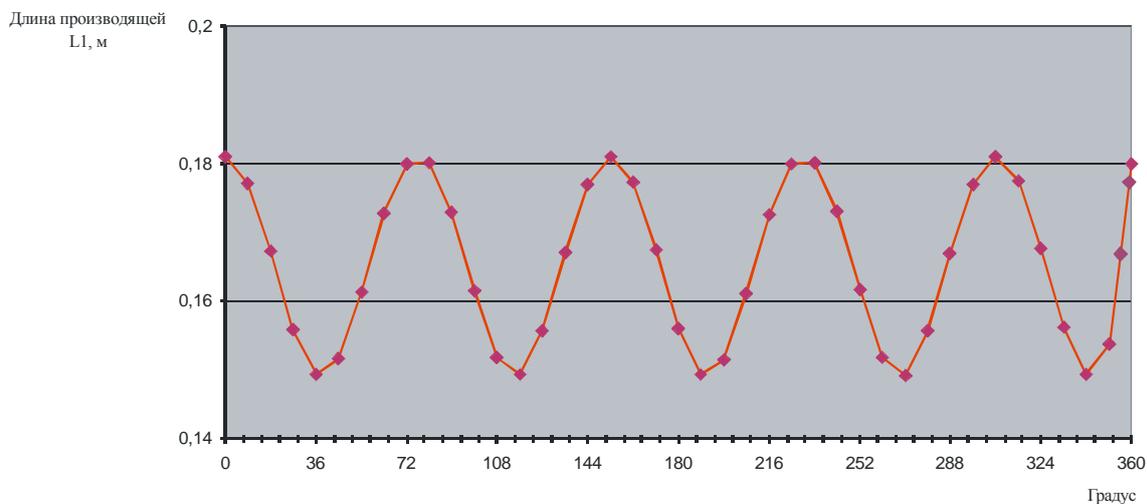


Рисунок 2 –Траектория движения производящей точки l , одного ковша

На рисунке 3 показана траектория движения ковшей рабочего органа погрузчика в полярных координатах.

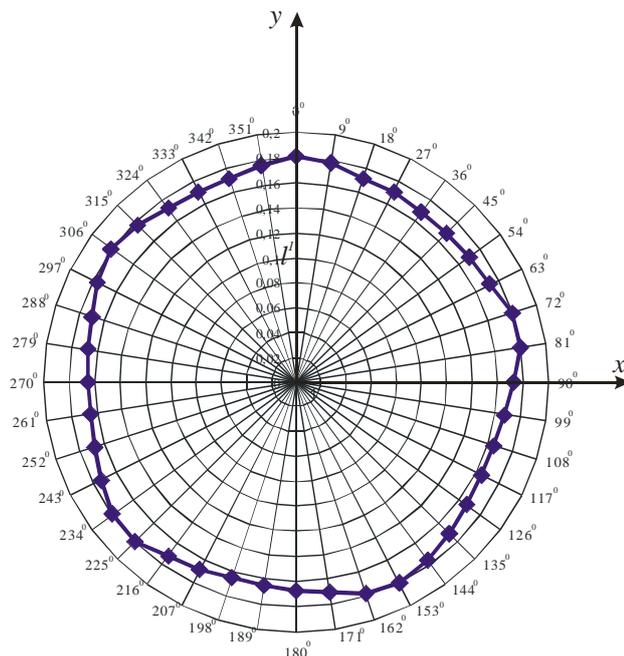


Рисунок 3 – Траектория движения ковшей в полярных координатах роторного РО с циклоидальным движением ковшей

Из рисунка видно, что траектория движения ковшей РО погрузчика имеет форму пятиугольника с плавными переходами в вершинах [4].

Скорость резания $\mathcal{A}_{рез}$ – величина переменная. При повороте ротора на угол $\varphi_1 = \omega_1 t$, где ω_1 – угловая скорость вращения сателлита.

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= v_{\text{max}} - e\omega_1 \sin(\omega_1 t) - l\omega \sin(\omega t) \\ \dot{z} &= -e\omega_1 \cos(\omega_1 t) - l\omega \sin(\omega t) \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

$$v_{\text{рез}} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}, \quad (5)$$

$$v_{\text{рез}} = \sqrt{v_{\text{max}}^2 - 2v_{\text{max}}(e\omega_1 \sin(\omega_1 t) + l\omega \sin(\omega t)) + e^2\omega_1^2 + l^2\omega^2 - 2e\omega_1 l\omega \cos(t(\omega_1 + \omega))}, \quad (6)$$

Новые конструкции РО, скорость которых превышает предельные значения скорости гравитационных роторов того же диаметра, называются скоростными роторами [5]. Из всего многообразия исследованных конструкций скоростных роторов перспективные направления получил скоростной рабочий орган с центробежной разгрузкой ковшей [6].

Выводы

1. Современные строительно-дорожные машины имеют достаточную производительность, но ограничения сдерживают рост производительности. Погрузчик с циклоидальным движением ковшей превышает показатели других базовых по производительности и удельным энергозатратам на рабочий процесс. Он имеет значительно меньшие габариты и массу, в силу циклоидального (сложного) движения рабочих органов. Циклоидальное движение рабочих органов интенсифицирует взаимодействие ковшей с разрабатываемым материалом.

2. Вследствие периодического изменения скорости движения РО возникает вибрационное воздействие на разрабатываемый материал, что приводит к снижению энергоемкости рабочего процесса.

3. Использование свойств циклоидальных кривых и тел постоянной ширины в РО значительно расширяет технологические возможности погрузчика с циклоидальным движением ковшей.

Литература:

1. Недорезов И.А., Кабашев Р.А. Машины строительного производства и их рабочие среды взаимодействия. – Москва-Алматы: Бастау, 2013. – 444 с.
2. Зеленин А.Х., Баловнев В.И., Недорезов И.П. Машины для землеройных работ. – М.: Машиностроение, 1975. – 424 с.
3. Ли С.В. Совершенствование рабочих органов строительно-дорожных машин // Известия научно-технического общества «Кахак». – 2013. – №2. – С. 76–79.
4. Рабат О.Ж., Ли С.В., Мурзахметова У.А., Нурғалиева М.Р. Конструктивные особенности валковой дробилки со сложным движением рабочих органов // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2018. – №1. – С. 38–44.
5. Erdman G., Sandor G. N. Mechanism Design: Analysis and Synthesis, Vol. 1. – Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1991. – 645p.
6. Баловнев В.И. Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсифицирующего действия. – М.: Машиностроение, 1981. – 223 с.

Поступила 13 января 2019 г.

МРНТИ 73.31.41

УДК 625. 144. 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ НАРЕЗАНИИ ЩЕЛЕЙ В ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЯХ

Ли С.В., Рабат О.Ж., Мусин К.С., Кабашев А.Р., Жетибайулы К.

Казахская автомобильно-дорожная академия им. Л.Б. Гончарова (КазАДИ),

Алматы, Республика Казахстан

e-mail: lee.sergeri@list.ru

В работе даётся определение силы резания рабочим органом с циклоидальным движением. При определении силы резания учитывались прочностные свойства асфальтобетона. Кроме того, учитывался способ воздействия рабочего органа (РО) с циклоидальным движением режущих элементов на разрабатываемый материал и траектории движения РО. Поперечное сечение рабочего органа машины представляет собой плоскую треугольную фигуру, точки которой при вращательном движении вокруг двух параллельных осей описывают кривые линии – гипоциклоиды с прямолинейными ветвями. Боковые образующие сечения перекачиваются по этим ветвям, как по направляющим. Именно эта особенность движения РО (по взаимосогибающим кривым) используется в щелерезной машине. Применение циклоидальных кривых постоянной ширины в рабочих органах щелерезных машин и циклоидальное движение позволяет получить минимальную энергоёмкость рабочего процесса.

Ключевые слова: *производительность, циклоидальное движение, рабочий орган, основные параметры, взаимосогибающие кривые, гипотрохоида, сателлит, сила резания, асфальтобетон.*

Жұмыста жұмыс органының циклоидтік қозғалыстағы кесу күші анықталады. Кесу күші анықталған кезде асфальт бетонының беріктік қасиеттері ескерілді. Бұдан басқа, жұмыс органының кескін элементтерінің циклоидті қозғалысын дамытатын материалға әсер ету әдісі және жұмыс органының қозғалыс траекториясы ескерілді. Машинаның жұмыс корпусының көлденең қимасы - параллель ось айналасында айналу қозғалысы бар нүктелер, жалпақ үшбұрышты пішін, қисық сызықтарды - тікұшақпен гипоциклоидті сипаттайды. Бүйірлік генераторлар осы бұтақтар бойымен бағыттайды, бағыттаушылар сияқты. Бұл кесу машинасында қолданылатын жұмыс органының (өзара қисық қисықтар бойымен) қозғалысының бұл ерекшелігі. Кесу машиналары мен циклоидтік қозғалыстың жұмыс органдарына үнемі ені бар циклоидті қисықтарды пайдалану жұмыс процесінің ең төменгі энергия сыйымдылығын алуға мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: *өнімділік, циклоидтық қозғалыс, жұмыс органы, негізгі параметрлер, өзара қисық сызықтары, гипотрохоид, спутниктік, кесу күші, асфальт-бетон.*

The work provides a definition of the cutting force of the working body with a cycloidal movement. In determining the cutting force, the strength properties of asphalt concrete were taken into account. In addition, the method of action of the working body (RO) with the cycloidal movement of the cutting elements on the material being developed and the trajectory of the movement RO was taken into account. The cross section of the working body of the machine is a flat triangular shape, the points of which, with rotational movement around two parallel axes, describe curved lines - hypocycloid with straight branches. The lateral generatrix rolls along these branches, as along guides. It is this feature of the RO motion (along mutually curving curves) that is used in the cutting machine. The use of cycloidal curves of constant width in the

working bodies of cutting machines and cycloidal movement allows to obtain the minimum energy intensity of the working process.

Keywords: *productivity, cycloidal movement, working body, basic parameters, mutually curving curves, hypotrochoid, satellite, cutting force, asphalt concrete.*

Поперечное сечение рабочего органа машины представляет плоскую треугольную фигуру, точки которой при вращательном движении вокруг двух параллельных осей описывают кривые линии – гипоциклоиды с прямолинейными ветвями, а боковые образующие сечения перекатываются по этим ветвям, как по направляющим. Именно эта особенность движения РО (по взаимоогibaющим кривым) используется в щелерезной машине.

Траектория движения РО машины в значительной степени определяет её нагруженность. В нашем случае траектория резания роторного РО с циклоидальным движением дисков образуется в результате сочетания поступательного движения машины со скоростью $v_{\text{маш}}$ и сложного вращательного движения ротора со скоростью ω на рисунке 1 показана пунктирными линиями. Направление вращательного движения в нижней части ротора совпадает с направлением поступательного перемещения машины, а в верхней – противоположно ему. Траектории описываются точкой М на продолжение радиуса катящейся окружности сателлита на расстоянии a от её центра [1].

Из рисунка 1 видно, что траектория движения резцов РО с циклоидальным движением режущих элементов имеет форму правильного четырёхугольника с плавными переходами в вершинах.

При определении силы резания учитывались способ воздействия РО на разрабатываемый материал и траектория движения РО. Сила резания $P_{\text{рез}}$ при внедрении в дорожное покрытие с определенными допущениями, может быть определена на основании теоремы о кинетической энергии материальной точки. Изменение кинетической энергии движущейся материальной точки состоит из кинетической энергии вращения ротора и кинетической энергии поступательного движения и равно работе, приложенной к ней силы на пройденном пути.

Тогда, применительно к нашему случаю, теорема выражается равенством:

$$\frac{J_c \cdot \omega^2}{2} + \frac{M \cdot v_c^2}{2} = A = P_{\text{рез},01} \cdot L_{\text{рез}}, \quad (1)$$

где J_c — момент инерции дисков ротора и сателлита, кг·м²;

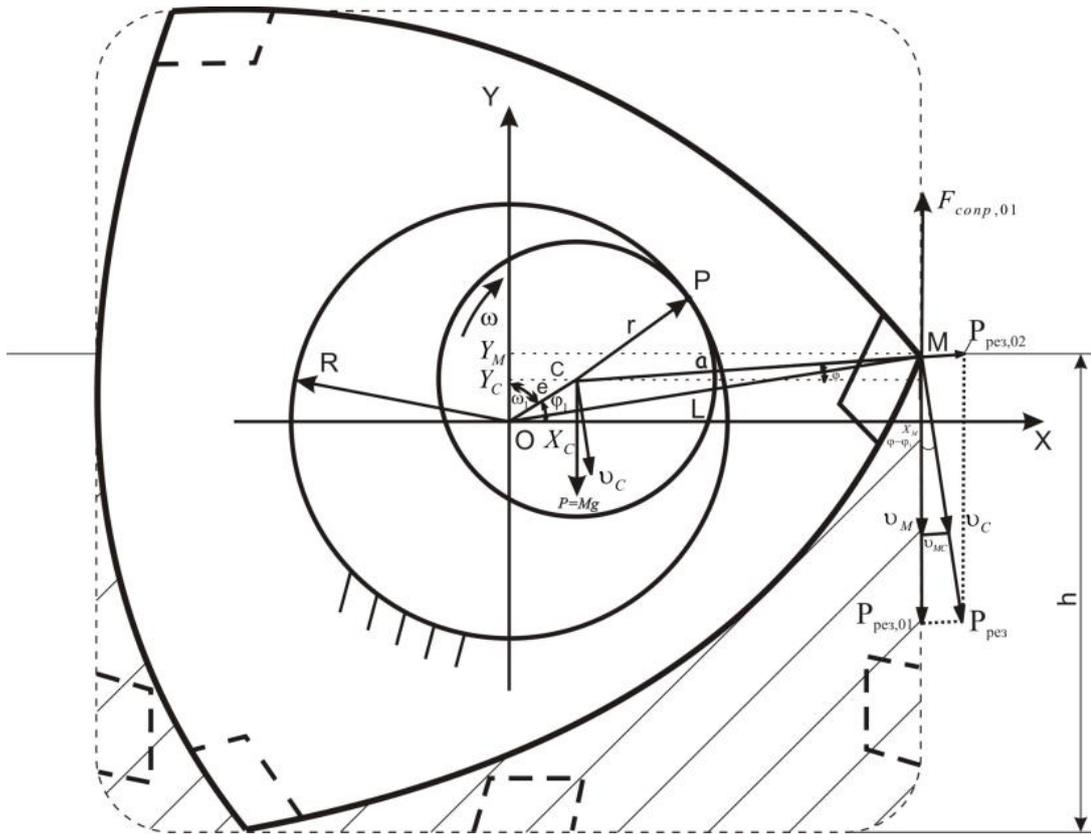
v_c — скорость вращения сателлита, м/с;

A — работа, затраченная на резание дорожного покрытия, Дж;

ω — угловая скорость сателлита, рад/с;

$L_{\text{рез}}$ — путь резания, м;

$P_{\text{рез},01}$ — касательная составляющая силы резания $P_{\text{рез}}$, Н.



O – центр вала колеса; C – центр саттелита; CM – расстояние от оси саттелита до режущего элемента; $CM = a$, $OC = e$ (эксцентриситет); R – радиус большого неподвижного колеса; r – радиус саттелита; X_c, Y_c – координатные точки C ; X_m, Y_m – координаты точки M режущего элемента; φ_1, ω_1 – угол поворота и угло вая скорость водила; φ, ω – угол поворота и угловая скорость саттелита; v_c – скорость точки C относительно точки O центра вала колеса; v_{MC} – скорость точки M (режущего элемента дискового PO) относительно точки C центра саттелита; v_M – абсолютная скорость точки M (режущего элемента дискового PO) относительно точки O центра вала колеса; h – глубина резания, м; $P_{рез,01}$ – касательная составляющая силы резания $P_{рез}$, Н; $P_{рез,02}$ – нормальная составляющая силы резания $P_{рез}$, Н; $F_{сопр,01}$ – касательная составляющая силы общей сопротивления $F_{сопр}$, Н.

Рисунок 1 – Схема к определению кинематических параметров и силы резания дискового РО с циклоидальным движением

У нас $v_c = \omega \cdot r$; тогда равенство (1) примет вид:

$$\left(\frac{M r^2}{2} + \frac{J_c}{2} \right) \omega^2 = P_{рез,01} \cdot L_{рез}, \quad (2)$$

Угловая скорость РО равна (через угловую скорость сателлита ω) [2]:

$$\omega_1 = -\frac{r}{R-r} \omega$$

Тогда:

$$\left(\frac{M r^2}{2} + \frac{J_c}{2} \right) \left[\frac{(R-r)}{r} \right]^2 \omega_1^2 = P_{рез,01} \cdot L_{рез}. \quad (3)$$

После преобразований, на основе теоремы об изменении кинетической энергии получим силу резания:

$$P_{рез,01} = \frac{\left(\frac{M \cdot r^2}{2} + \frac{J_c}{2} \right) \left[\frac{(R-r)}{r} \right]^2 \omega_1^2}{L_{рез}}, \quad (4)$$

где R – радиус зубчатого колеса, м;

r – радиус сателлита, м;

ω_1 – угловая скорость водила, $сек^{-1}$;

\dot{I} – масса диска и срезаемого дорожного покрытия, $\dot{I} = m_{\delta\dot{\theta}} + m_{\dot{\theta}}$, кг;

Скорость отбрасывания можно выразить через скорость резания ($v_{рез}$) рисунок (2 Б).

Используя теорему синусов, получим:

$$v_{отб} = v_{рез} \frac{\sin \delta}{\sin(\delta + \theta)},$$

где δ – угол резания;

θ – угол между траекторией стружки и поверхности резания.

Рассмотрим треугольник ΔABC . Из этого треугольника, используя теорему синусов, находим участок резания длиной:

$$L_{рез} = \ell \frac{\sin(\delta + \theta)}{\sin \theta}.$$

Тогда отбрасываемый объем асфальтобетона равен:

$$V = F_{cp} \cdot L_{рез},$$

где F_{cp} – средняя площадь поперечного сечения среза.

Отсюда средняя масса срезаемого дорожного покрытия будет равна:

$$m_{cp} = F_{cp} \cdot L_{рез} \cdot \gamma = F_{cp} \cdot \ell \cdot \gamma \cdot \frac{\sin(\delta + \theta)}{\sin \theta},$$

где γ – плотность асфальтобетона (дорожного покрытия).

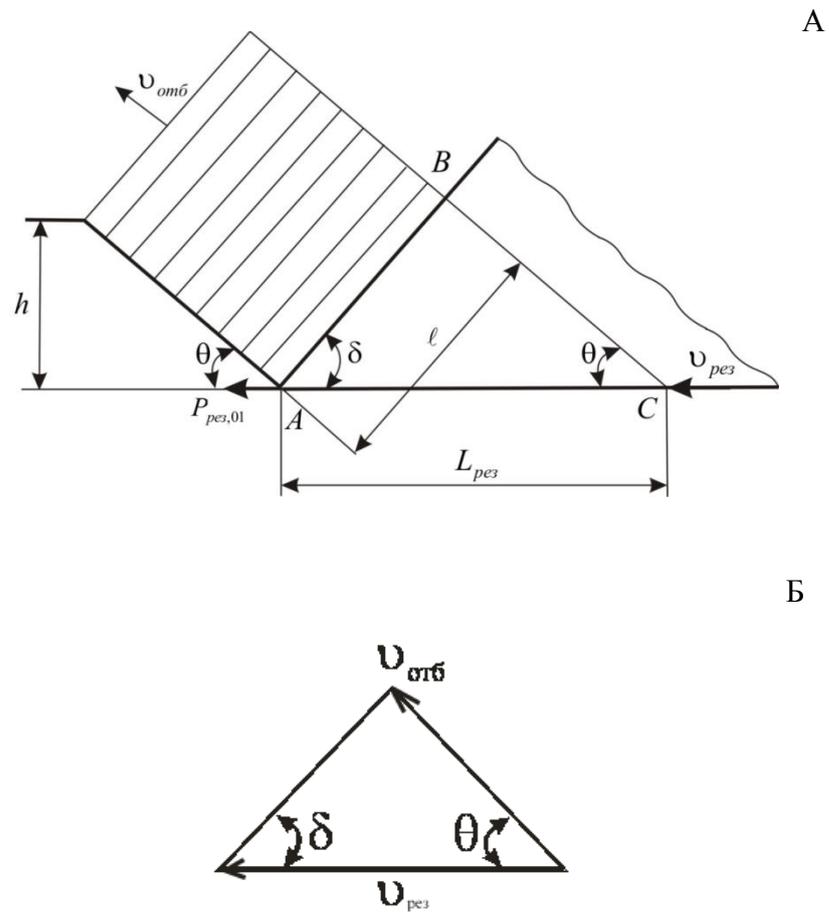


Рисунок 2 – Схемы к определению силы резания дорожного покрытия

Касательная составляющая силы резания при внедрении РО в дорожное покрытие примет вид:

$$P_{рез,01} = \frac{\left(\frac{(m_{пот} + F_{ср} \cdot L_{рез} \cdot \gamma) r^2}{2} + \frac{J_c}{2} \right) \left[\frac{(R-r)}{r} \right]^2 \omega_1^2}{L_{рез}}, \quad (5)$$

Или

$$P_{рез,01} = \frac{\left(\frac{\left(m_{пот} + F_{ср} \cdot \ell \cdot \gamma \cdot \frac{\sin(\delta + \theta)}{\sin \theta} \right) r^2}{2} + \frac{J_c}{2} \right) \left[\frac{(R-r)}{r} \right]^2 \omega_1^2}{L_{рез}}, \quad (6)$$

Рабочий орган щелерезной машины выполнен в виде диска треугольной выпуклой формы, когда линии гипотрохонд, описываемые вершинами внутренних огибающих, близки по форме к правильному четырехугольнику (при $\frac{R}{r} = \frac{4}{3}$) [3]. Тогда, после преобразований формулы (6), с учетом, что $P_{рез.01} = 0,85 P_{рез.}$, получим:

$$P_{рез} = \frac{0,06 \cdot \omega_1^2 \left[m_{ром} + F_{ср} \cdot \ell \cdot \gamma \cdot \frac{\sin(\delta + \theta)}{\sin \theta} \right] \cdot (r^2 + J_c)}{L_{рез}}, \quad (7)$$

где δ – угол резания, град;

θ – угол между траекторией стружки и поверхности резания, град;

ℓ – длина сечения среза, м;

$F_{ср}$ – средняя площадь поперечного сечения среза, м²;

γ – плотность асфальтобетона, кг/м³.

Из выражения (7) видно, что сила резания увеличивается с возрастанием скорости резания. Увеличение силы резания с возрастанием скорости резания можно объяснить условием механики процесса – затратами энергии на сообщение движения отделяющимся куском асфальтобетона и физическими причинами, заключающимися во внутренних изменениях в асфальтобетоне, происходящих в результате изменения скорости воздействия на них внешних сил. При малой скорости приложения нагрузки (в нашем случае – малой скорости резания) скорость разрушения (отделения от массива кусков асфальтобетона) больше скорости резания. Поэтому резец встречает своей верхней частью куски асфальтобетона, успевшие отделиться от массива. Если скорость приложения нагрузки превышает скорость разрушения асфальтобетона, то резцу приходится продвигаться через среду, не разрушившуюся или разрушившуюся частично, преодолевая сопротивление большей величины, чем при медленном резании. В этих условиях разрушение приобретает характер хрупкого разрушения, с интенсивным измельчением и разбрасыванием отделяющихся кусков асфальтобетона.

Выводы

1. Предложена формула силы резания (7) роторным РО с циклоидальным движением дисков. Определено, что под действием циклоидальной вынуждающей силы роторного рабочего органа совершаются колебания, передающиеся разрезаемому асфальтобетону, что позволяет подводить дополнительную энергию, увеличивающую производительность и эффективность рабочего процесса.

2. Экспериментальным путём подтверждена зависимость силы резания от скорости вращения РО. Во всех опытах сила резания увеличивалась с возрастанием скорости резания. Такую закономерность можно объяснить особыми условиями механики рабочего процесса резания дорожного покрытия, происходящих в результате циклического изменения скорости воздействия режущих элементов на асфальтобетон [4].

Литература:

1. Ли С.В., Шин Б.С., Таран М.В., Конысбай С.Б. Геометрия рабочего органа машин с планетарно-роторным движением. //Транспорт Евразии: Взгляд XXI век. Материалы Третьей Международной научно-практической конференции. Том 1. – Алматы: КазАТК, 2004. – С.126–129.
2. Ли С.В. Повышение производительности строительно-дорожных машин за счет совершенствования рабочих органов. // Поиск: научный журнал Министерства образования и науки – 2004. – № 4. – С. 184–188.
3. Недорезов И.А., Кабашев Р.А. Машины строительного производства и их рабочие среды взаимодействия. – Москва–Алматы: Бастау, 2013. – 444 с.
4. Ли С.В., Рабат О.Ж, Салманова А.Н. Дробильная машина со сложным движением рабочих органов // Znanstvena misel. – 2017. – №13. – С. 52–57.

Поступила 24 января 2019 г.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Ажибекова А.С. – сениор-лектор кафедры математики Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева
2. Аликулов А.
Alikulov A. – докторант PhD факультета химии и химической технологии Казахского национального университета им. аль-Фараби
3. Байпакбаева С. Т.
Baipakbayeva S.T. – докторант PhD кафедры инфокоммуникационных технологий Алматинского университета энергетики и связи, инженер ТОО «QAZTEX Innovations»
4. Бердикул Н.И. – магистрант кафедры инженерных систем и сетей Института архитектуры, строительства и энергетики им. Т.К. Басенова Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева
5. Божанов Е.Т. – д.ф.-м.н., профессор кафедры математики Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева
6. Витулёва Е.С. – докторант PhD кафедры инфокоммуникационных технологий Алматинского университета энергетики и связи
7. Габриелян О.А.
Gabrielyan O. – д.ф.н., профессор, декан философского факультета Таврической Академии Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация
8. Guven O. – доктор PhD, профессор университета Ходжетепе, Анкара, Турция
9. Жетибайулы К. – магистрант второго курса Казахской автомобильно-дорожной академии (КазАДИ) им. Л.Б. Гончарова
10. Егембердиева З.М.
Yegemberdieva Z.M. – инженер Института информационных и вычислительных технологий
11. Кабашев А.Р. – к.т.н., ассоциированный профессор кафедры транспортной техники и организации перевозок Казахской автомобильно-дорожной академии (КазАДИ) им. Л.Б. Гончарова
12. Копишев Э. Е.
Kopyshev E. E. – к.х.н., старший преподаватель Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева
13. Ли С.В. – д.т.н., профессор Казахской автомобильно-дорожной академии им. Л.Б. Гончарова
14. Мун Г.А.
Mun G.A. – д.х.н., профессор, заведующий кафедрой химии и технологии органических веществ, природных

- соединений и полимеров факультета химии и химической технологии Казахского национального университета им. аль-Фараби
15. Мусин К.С. – к.т.н., ассоциированный профессор кафедры транспортной техники и организации перевозок Казахской автомобильно-дорожной академии (КазАДИ) им. Л.Б. Гончарова
 16. Нурпеисова К.М. – к.т.н., ассистент профессор кафедры инженерных систем и сетей Института архитектуры, строительства и энергетики им. Т.К. Басенова Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева
 17. Рабат О.Ж. – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой транспортной техники и организации перевозок Казахской автомобильно-дорожной академии (КазАДИ) им. Л.Б. Гончарова
 18. Сайдинбаева Н.Д. – магистр, старший преподаватель кафедры транспортной техники и организации перевозок Казахской автомобильно-дорожной академии (КазАДИ) им. Л.Б. Гончарова
 19. Саматкызы Д.
Samatkyzy D. – магистрант факультета химии и химической технологии Казахского национального университета им. аль-Фараби
 20. Сулейменов И.Э.
Suleimenov I. – д.х.н., к.ф.-м.н., профессор, академик Национальной инженерной академии РК, заведующий лабораторией нанозлектроники Алматинского университета энергетики и связи
 21. Тасбулатова З.С.
Tasbolatova Z.S. – PhD докторант кафедры телекоммуникационных сетей и систем Алматинского университета энергетики и связи
 22. Толганбаев А.Ж. – к.ф.-м.н., сениор-лектор кафедры математики Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева
 23. Тулешева Г.А. – к.ф.-м.н., ассциированный профессор кафедры математики Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева
 24. Шалтыкова Д. Б. – старший научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий МОН РК

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

БАЙПАКБАЕВА С.Т.

Использование полых световодных элементов в наружной рекламе 4

БОЖАНОВ Е.Т., ТОЛГАНБАЕВ А.Ж., ТУЛЕШЕВА Г.А., АЖИБЕКОВА А.С.

Математическое моделирование процесса возмущения цепной четырехмассовой системы при перекачке нефти разной вязкости 17

БОЖАНОВ Е.Т., ТОЛГАНБАЕВ А.Ж., ТУЛЕШЕВА Г.А., АЖИБЕКОВА А.С.

Распределение возмущений после снятия условий под сосредоточенной перерезывающей нагрузкой 30

МУН Г.А., ТАСБУЛАТОВА З.С., СУЛЕЙМЕНОВ И.Э.

Псевдонаука как ресурс: нестандартные подходы в образовательных информационных технологиях 43

СУЛЕЙМЕНОВ И.Э., ВИТУЛЁВА Е.С., КОПИШЕВ Э.Е., ШАЛТЫКОВА Д.Б., МУН Г.А.

Использование модели «пассионарии – бюрократы» для количественного описания кризисных явлений в сфере инновационной деятельности 53

SULEIMENOV I.E., GABRIELIAN O.A., EGEMBERDYEVA Z.M., KOPYSHEV E.E., TASVOLATOVA Z.S.

Implementation of educational information technology to develop critical thinking skills 63

ХИМИЯ

СУЛЕЙМЕНОВ И.Э., БАЙПАКБАЕВА С.Т., АЛИКУЛОВ А., САМАТКЫЗЫ Д., ГЮБЕН О., МУН Г.А.

Особенности ионного обмена между гидрогелями на основе слабых поликислот и раствором низкомолекулярной соли в области повышенных концентраций низкомолекулярных катионов 71

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

БЕРДИКУЛ Н. И., НУРПЕИСОВА К.М.

Обенности гидравлических режимов в открытых системах теплоснабжения 82

ЛИ С.В., КАБАШЕВ А.Р., САЙДИНБАЕВА Н.Д.

Кинематические характеристики рабочего оборудования погрузчика с циклоидальным движением ковшей 88

ЛИ С.В., РАБАТ О.Ж., МУСИН К.С., КАБАШЕВ А.Р., ЖЕТИБАЙУЛЫ К.

Определение кинематических параметров и силы резания при нарезании щелей в дорожных покрытиях 93

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 100

CONTENTS

MATHEMATICS AND INFORMATICS

БАЙПАКБАЙЕВА С. Т. The use of hollow light guide elements in outdoor advertising	4
БОЖАНОВ Е.Т., ТОЛГАНБАЕВ А.ЗН., ТУЛЕСHEVA G.A., AZHIBEKOVA A.S. Mathematical modeling of perturbation process in the four-mass chain system when oils with different viscosities are transferred	17
БОЖАНОВ Е.Т., ТОЛГАНБАЕВ А.ЗН., ТУЛЕСHEVA G.A., AZHIBEKOVA A.S. Perturbation distribution after removal of conditions under a concentrated shear load	30
MUN G.A., TASBULATOVA Z.S., SULEIMENOV I.E. Pseudoscience as a resource: non-standard approaches in educational information technologies	43
SULEIMENOV I.E., VITULYOVA E. S., KOPISHEV E.E., SHALTYKOVA D.B., MUN G.A. Using the model "passionaries - bureaucrats" for a quantitative description of the crisis phenomena in the field of innovation	53
SULEIMENOV I.E., GABRIELIAN O.A., EGEMBERDYEVA Z.M., KOPYSHEV E.E., TASBOLATOVA Z.S. Implementation of educational information technology to develop critical thinking skills	63

CHEMISTRY

SULEIMENOV I.E., БАЙПАКБАЙЕВА С.Т., ALIKULOV A., SAMATKYZY D., GUVEN O., MUN G.A. Features of ion-exchange between hydrogels based on soft polyacid and low-molecular salt solution in the field enhanced the concentration of low-molecular cations	71
--	----

TECHNICAL SCIENCES

BERDIKUL N. I., NURPEISOVA K. M. Features of hydraulic regimes in open heat supply systems	82
LEE S.V., KABASHEV A.R., SAIDINBAYEVA N.D. Kinematic characteristics of the working equipment of the loader with cycloidal movement of the bucket	88
LEE S.V., RABAT O.Zh., MUSIN K.S., KABASHEV A.R., ZHETIBAYULY K. Determination of kinematic parameters and cutting force when cutting thresholds in road coverings ..	93

THE INFORMATION ABOUT AUTHORS	100
--	-----

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Журнал «Известия НТО «Кахак» публикует написанные на русском, казахском, английском и корейском языках оригинальные статьи, обзоры. Журнал дает информацию, связанную с деятельностью общества.

2. В оригинальных статьях могут рассматриваться результаты как теоретических, так и прикладных НИР.

3. Авторы, желающие опубликовать обзорную статью, должны предварительно согласовать ее тематику, представив аннотацию на 1–2 стр. В обзорах следует освещать темы, представляющие достаточно общий интерес по выбранной тематике или отражающие какой-либо важный аспект применения в промышленности, сельском хозяйстве, медицине и т.д. Допускается обобщение результатов многолетних исследований научных коллективов.

4. Объем статьи не должен превышать 10 страниц формата А4. Статья должна начинаться с введения. В нем должны быть даны: содержательная постановка рассматриваемого в статье вопроса, краткие сведения по его истории, отличие предлагаемой задачи от уже известных, или преимущество излагаемого метода по сравнению с существующим. Основная часть статьи должна содержать формулировку задачи и предлагаемый метод ее решения, заключительная часть – краткое обсуждение полученных результатов и, если возможно, пример, иллюстрирующий их эффективность и способы применения.

5. Все статьи проходят именное рецензирование.

6. Авторы могут представить электронную версию своей статьи по адресу: **izv.ntokahak@mail.ru**

Требования к оформлению рукописей

Статьи представляются в электронном виде в текстовом редакторе Word 97, формулы набираются с помощью редактора MS Equation 3.0 (2.0) или Chem Draw.

Шрифт Times New Roman 12 pt. Межстрочный интервал одинарный. Поля: верхнее – 2,0 см, нижнее – 2,0 см, левое – 2,0 см, правое – 2,0 см. Абзац – красная строка – 0,5 см.

Текст статьи должен начинаться с указания:

с левой стороны – **индексов МРНТИ и УДК**, *ниже* приводятся:

- название статьи (прописные буквы, форматирование по центру),
- фамилии и инициалы авторов (прописные/светлые, форматирование по центру),
- название организации и ее местонахождение,
- e-mail авторов
- резюме (краткое изложение содержания статьи, дающее представление о теме и структуре текста, а также основных результатах, **7–10 предложений**),
- ключевые слова, обеспечивающие полное раскрытие содержания статьи (**7–10 слов**),
- текст статьи,
- список литературы,
- Ф.И.О. авторов, название статьи, резюме, ключевые слова на трех языках (на казахском, английском и русском).

Рисунки должны быть представлены в отдельном файле.

Статья представляется в **doc** или **docx** формате, а также идентичная копия в **pdf** формате, на электронный адрес журнала, в отдельных файлах дублируются рисунки, таблицы, графики, схемы, а также приводятся сведения об авторах (имя, отчество, ученая степень, ученое звание, служебный адрес, место работы, должность и телефоны для связи).

Ссылки на литературные источники в тексте приводятся в квадратных скобках. Библиографический список оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание: общие требования и правила составления».

Компьютерный набор и макетирование Ли У.П.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Курмангазы, 40 (Дом Дружбы), офис 34
Тел. 8(727)–2726774

Подписано в печать 26.03.2019 г.
Печать трафаретная. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная № 1.
Тираж 500 экз.

Отпечатано в «Print Express. Издательство и полиграфия»
Алматы, ул. Байтурсынова, 85
Тел. 8(727)-292-10-95, 8(727)-292-14-28