



# Sciences of Europe

**VOL 1, No 62 (2021)**

**Sciences of Europe**  
(Praha, Czech Republic)

**ISSN 3162-2364**

The journal is registered and published in Czech Republic.  
Articles in all spheres of sciences are published in the journal.

Journal is published in Czech, English, Polish, Russian, Chinese, German and French.

Articles are accepted each month.

Frequency: 24 issues per year.

Format - A4

All articles are reviewed

Free access to the electronic version of journal

All manuscripts are peer reviewed by experts in the respective field. Authors of the manuscripts bear responsibility for their content, credibility and reliability.

Editorial board doesn't expect the manuscripts' authors to always agree with its opinion.

**Chief editor:** Petr Bohacek

**Managing editor:** Michal Hudecek

- Jiří Pospíšil (Organic and Medicinal Chemistry) Zentiva
- Jaroslav Fährnich (Organic Chemistry) Institute of Organic Chemistry and Biochemistry Academy of Sciences of the Czech Republic
- Smirnova Oksana K., Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Department of History (Moscow, Russia);
- Rasa Boháček – Ph.D. člen Česká zemědělská univerzita v Praze
- Naumov Jaroslav S., MD, Ph.D., assistant professor of history of medicine and the social sciences and humanities. (Kiev, Ukraine)
- Viktor Pour – Ph.D. člen Univerzita Pardubice
- Petrenko Svyatoslav, PhD in geography, lecturer in social and economic geography. (Kharkov, Ukraine)
- Karel Schwaninger – Ph.D. člen Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
- Kozachenko Artem Leonidovich, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Department of History (Moscow, Russia);
- Václav Pittner -Ph.D. člen Technická univerzita v Liberci
- Dudnik Oleg Arturovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Physical and Mathematical management methods. (Chernivtsi, Ukraine)
- Konovalov Artem Nikolaevich, Doctor of Psychology, Professor, Chair of General Psychology and Pedagogy. (Minsk, Belarus)

«Sciences of Europe» -

Editorial office: Křižíkova 384/101 Karlín, 186 00 Praha

E-mail: [info@european-science.org](mailto:info@european-science.org)

Web: [www.european-science.org](http://www.european-science.org)

# CONTENT

## PHYSICS AND MATHEMATICS

<b>Koshman V.</b> PHYSICAL FEATURES OF THE PLANCK COSMOLOGICAL EPOCH AND THE EQUATION OF ITS LONGEVITY ..... 3	<b>Tyatyushkin A.</b> MULTI-METHOD OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR CALCULATION OF OPTIMUM CONTROL ..... 22
<b>Rysin A., Nikiforov I., Boikachev V., Hlebnikov A.</b> PARADOXES OF THE MATHEMATICAL REPRESENTATION OF THE ELECTROMAGNETIC WAVE AND NEUTRINO ..... 8	<b>Yurov V., Guchenko S., Salkeeva A., Kusenova A.</b> SOLID SURFACE AND ITS ROLE IN ITS DESTRUCTION 30

## TECHNICAL SCIENCES

<b>Azizov T.</b> DETERMINATION OF DISPLACEMENT OF A REINFORCED CONCRETE ELEMENT IN A NORMAL CRACK..... 34	<b>Nikolaev I., Voronov V., Shilyaev S.</b> THE ROLE OF HUMAN IN INDUSTRY 4.0 AND ITS PERSPECTIVES..... 49
<b>Hafizov S., Hafizov G.</b> BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL OF POMEGRANATE JUICE BY-PRODUCTS: REVIEW ..... 38	<b>Yashchuk I., Lytvyn O., Kravets O., Pankov S.</b> MULTI-FACTOR EXPERIMENTAL RESEARCH OF FORCE CHARACTERISTICS A CLAMPING CHUCKS..... 56
<b>Sukach R., Kovalyshyn V., Kyrlyiv Y.</b> EXTINGUISHING TACTICS AND FIRE-FIGHTING EQUIPMENT FOR EXTINGUISHING FIRES IN PEAT- FOREST ECOSYSTEMS..... 44	<b>Sultanov D., Nagmanova A.</b> RENOVATION OF STRUCTURAL INTEGRITY AND OPERATIONAL CAPABILITIES OF INTERCEPTOR SEWERS ON THE BASIS OF IMPLEMENTING THE TECHNOLOGY OF POLYETHYLENE FITTINGS ..... 64

# PHYSICS AND MATHEMATICS

## ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ ЭПОХИ ПЛАНКА И УРАВНЕНИЕ ЕЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

**Кошман В.С.**

*канд. техн. наук, доцент,  
Пермский государственный аграрно-технологический университет,  
Пермь, Россия*

## PHYSICAL FEATURES OF THE PLANCK COSMOLOGICAL EPOCH AND THE EQUATION OF ITS LONGEVITY

**Koshman V.**

*Cand. Tech. Sci., Associate Professor,  
Perm State Agrarian and Technological University,  
Perm, Russia*

DOI: [10.24412/3162-2364-2021-62-1-3-7](https://doi.org/10.24412/3162-2364-2021-62-1-3-7)

### АННОТАЦИЯ

Выделены начальные условия движения Вселенной в эпоху Планка. Приведена сводка физических особенностей эпохи Планка. В согласии с формулой Планка для спектра реликтового излучения предложено уравнение долговечности планковской эпохи. Приведены результаты приближенного решения двойного интеграла Планка для элементарного кванта действия. Обоснована причина взрыва Вселенной на момент окончания эпохи Планка.

### ABSTRACT

The initial conditions of the Universe motion in the Planck epoch are distinguished. A summary of the physical features of the Planck epoch is given. In agreement with the Planck formula for the relic radiation spectrum, the Planck epoch durability equation is proposed. The results of an approximate solution of the double Planck integral for an elementary quantum of action are presented. The reason for the explosion of the Universe at the end of the Planck epoch is substantiated.

**Ключевые слова:** микроволновый космический фон, спектр излучения абсолютно черного тела, формула Планка, особенности эпохи Планка, большой взрыв, энергия космического вакуума, квант действия.

**Keywords:** the cosmic microwave background, the spectrum of blackbody radiation, Planck's formula, especially the Planck epoch, big Bang, the energy of the cosmic vacuum, quantum of action.

*«Среди всех астрономических экспериментов, предложенных для изучения возникновения и эволюции Вселенной, особо выделяются исследования реликтового излучения»*

*Олег Верходанов [1]*

И сегодня вопросы происхождения и эволюции известной нам Вселенной носят проблемный характер и продолжают оставаться на переднем крае науки. В печати обсуждаются успехи, загадки и трудности, порой отдельные положения теории подвергаются сомнению, а дискуссии идут до сих пор, что стимулирует активность дальнейшего поиска. Уильям Корлисс характеризует космологию наших дней как науку, «рисующую самые грандиозные картины самыми разбавленными красками». Из года в год объем знаний и представлений о грандиозной картине мира нарастает, а полученные результаты обсуждаются, уточняются и доводятся до подрастающих поколений исследователей. Луи де Бройль [1, с. 342] обращает внимание на фразу, которая написана Ш. Пеги почти сто лет назад: «Нет ничего более противоположного, - писал Пеги, -

функциям науки, чем функции преподавания, поскольку наука требует вечного беспокойства, а преподавание – непоколебимой уверенности». Но всегда ли мы встречаем признаки «вечного беспокойства» на страницах доступных нам научных изданий по актуальным вопросам космологии?

В теории эволюции Вселенной изучается совместимость результатов предлагаемых авторами физических теорий с реальной действительностью при достаточно смелом погружении в далекое прошлое. На этом пути в 1940 – е годы - в развитие идей ядерной физики - Г.А. Гамов предложил модель «горячего начала» Вселенной, а также предсказал наличие в ней остаточного фотонного излучения [3]. В дальнейшем теоретическое открытие реликтового фона было подтверждено результатами прецизионных астрономических измерений.

Если из числа современных публикаций выделить монографию «Реликтовое излучение Вселенной», то можно выделить и три суждения, которые имеют принципиальный характер и, следовательно, отличаются и своей актуальностью:

а) всю «историю развития космологии, начиная с Птолемея и Аристотеля и вплоть до нашего времени можно условно разделить на два этапа: до

и после экспериментального открытия реликтового излучения» [4, с. 13];

б) «новый этап изучения реликтового излучения Вселенной... связан с качественным изменением статуса современной космологии, которая по образному выражению Малкольма Лонгейра вступила в фазу «precision cosmology», когда уровень развития теории и эксперимента оказался столь высоким, что интерпретация наблюдательных данных уже уступает место задачам измерения...» [там же, с. 8];

в) выделяется необходимость проекта, «способного картографировать анизотропию и поляризацию РИ с уникальным угловым разрешением... максимально возможным покрытием небесной сферы...» [там же, с. 9 и с. 10].

Содержание первого из выделенных нами пунктов, возможно, связано с уверенностью авторов [4] в том, что реликтовое излучение обладает тем богатством космологической информации, глубинное освоение которого достаточно для целей дальнейшего развития космологии. Третье из выделенных нами суждений затрагивает круг задач, решение которых предусмотрено при проведении ближайших астрономических исследований. Однако вряд ли следует отрицать необходимость дальнейшей интерпретации результатов измерения параметров реликтового излучения. Есть основания полагать, что вывод о приоритете измерений параметров микроволнового космического фона над осмыслением результатов измерения следует считать преждевременным.

По современным представлениям, регистрируемое материальными приборами реликтовое излучение возникло в эпоху первичной рекомбинации водорода [5], то есть через 379000 лет после Большого взрыва [6]. Но какова смысловая нагрузка термина «Большой взрыв»? Убедительный ответ на данный вопрос важен для теории эволюции Вселенной. Закон тяготения А. Эйнштейна (1917 г.) «приписывает притяжение массивных тел кривизне мира в окружающей их области и этим бросает свет на всю проблему» [7, с. 50]. Исследуя мировые уравнения Эйнштейна, А.А. Фридман (1922 г.) показал, что Вселенная не стационарна, и этот вывод надежно подтверждается данными астрономических наблюдений и измерений. Из аналитических решений следует, что в модельном  $M_\phi$  – мире Фридмана на момент времени, равный нулю ( $t = 0$  с), плотность  $\rho$  мира и его температура  $T$  равны бесконечности. Причины этой ситуации (в литературе обычно для краткости обозначаемой термином «Большой взрыв») скрыты в структуре дифференциальных уравнений ОТО и вряд ли имеют какое – либо отношение к реальной действительности. По крайней мере, отмеченное выше сочетание числовых значений величин  $t$ ,  $\rho$  и  $T$  наука объяснить не может, поскольку «при бесконечной плотности мира хаос стремится к нулю, что не может совмещаться с бесконечной температурой» [6]. Исследование природных явлений допускает возможность разработки конкурирующих моделей. Наряду с физически необъяснимым Большим взрывом в теории

эволюции Вселенной обсуждается модель первичного чрезвычайно радиоактивного атома [8, с. 179], или модель взрывающейся конечной бомбы [9, с. 162].

По результатам замера современная температура реликтового излучения  $T_n$  близка к абсолютному нулю и равна  $T_n = 2,725 \pm 0,002$  К [10]. Однако, чем дальше мы смотрим в прошлое, тем более высокой температура становится, достигая планковского числового значения своей величины (равное  $T_{PL} = 10^{32}$  К) на планковский момент времени  $t_{PL} = \left(\frac{h \cdot G}{c^5}\right)^{1/2} = 10^{-43}$  с. Здесь  $h$  – постоянная Планка,  $G$  – гравитационная постоянная Ньютона, а  $c$  – скорость света в вакууме. Согласно современным представлениям, Вселенная расширяется с охлаждением.

В числе этапов развития Вселенной выделяется и непродолжительная пока не ясная эпоха Планка, которая длится от  $t = 0$  до планковского времени  $t_{PL}$ . Полагают, что эпоха Планка завершилась 13,7 миллиардов лет тому назад [6]. Однако в охоте за истиной сама возможность «заглянуть» в далекое прошлое Вселенной в наши дни увязывается [1,4 и др.] с отклонениями от спектра реликтового излучения, то есть от спектра абсолютно черного тела, а не со спектром излучения как таковым. Тем самым, на наш взгляд, не уделяется должное внимание тому факту, что установленная М. Планком формула для распределения энергии по спектру идеально черного тела [11, с. 293]:

$$u = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/k_B T} - 1} \quad (1)$$

( $k_B$  – постоянная Больцмана,  $\nu$  – частота), имеет статус закона физики.

Автору хотелось бы обратить внимание на следующее. При погружении научной мысли в неведомое, предварительные наброски возможного решения той или иной задачи порой более предпочтительны, чем эскизы, строго исполненные в деталях. Ведь прежде, чем рисовать картину, художник делает предварительный набросок (и по возможности – не один) во весь холст, а детали он обычно прорабатывает позднее. Аналогично и в науке каждую новую для решения задачи идею многие авторы рекомендуют оглядеть «со всех сторон», прежде чем приступить к ее детальной проработке. Если же решение задачи существует, то результаты его поиска могут оказаться и успешными. Правда, порой «достаточно лишь засыпать зерна исходных данных и привести в действие жернова алгоритмов, как мы получим ответ» [12]. Но научные объяснения, как правило, возможны лишь только в тех случаях, когда в их основу заложены объективные факты и законы природы. Если эмпирические физические законы «показывают, что происходит», то теоретически установленные законы «пытаются объяснить как это произошло» [13, с. 145].

При теоретическом выходе на формулу (1) ее автор принял два фундаментальные допущения и, тем самым, одновременно предложил две мировые константы:  $h$  и  $k_B$ . Постоянная Планка  $h$  позволила реально учесть дискретную природу фотонного излучения; и что характерно, благодаря константе  $h$  в

дальнейшем возник новый раздел физики – квантовая теория. Планк отмечает [11, с. 287]: «Величина  $h$ , «элементарный квант действия», является универсальной постоянной с размерностью энергия  $\times$  время». Современные физики – теоретики первым делом выписывают действие и только потом выводят уравнения и исследуют их [14]. С другой стороны, мировая константа  $k_B$  наполнила глубинным содержанием – востребованную [11] и для выхода на объективную закономерность (1) - формулу Больцмана для энтропии. В результате формула для энтропии  $S$  приняла вид функциональной связи:

$$S = k_B \cdot \ln W, \text{ Дж/К}, \quad (2)$$

согласно которой  $S$  логарифмически зависит от числа возможных микросостояний  $W$ , отвечающих данному макросостоянию. Иными словами, энтропия зависит от состояния материальных объектов, от их организации, от их внутренней структуры (микроскопический аспект энтропии).

Если макроскопический аспект энтропии заявил о себе в инженерной теории тепловых машин, то благодаря формуле (2) энтропия стала восприниматься как «мера беспорядка, царящего в системе». При наличии размерности энтропия  $S$  (как функция количества индивидуальных микроскопических расстановок частиц) наравне со вторым началом термодинамики и сегодня полезна для целей естествознания. Вместе с тем, как нас учили, инженерам важно помнить, что те или иные уравнения (и соответственно сделанные из них выводы) справедливы только до тех пор, пока принятые (при выходе на них) допущения в полной мере отвечают сути тех реальных физических систем (процессов, явлений), которые исследуются.

В целях исторической реконструкции космологического прошлого изучаемой физической системы интерес, прежде всего, представляет именно чернотельный спектр реликтового излучения, а также отвечающие ему закономерности. Актуализируется и формула Планка (1). Обращаем внимание на планковские величины энергии  $U_{\varepsilon PL}$ , объема  $V_{pl}$  и частоты  $\nu_{PL}$ :

$$U_{\varepsilon PL} = b_\varepsilon \cdot U_{PL} = b_\varepsilon \cdot \left(\frac{h \cdot c^5}{G}\right)^{1/2}; V_{pl} = b_V \cdot L_{PL}^3 = b_V \cdot \left(\frac{h \cdot G}{c^3}\right)^{3/2}; \nu_{PL} = t_{PL}^{-1}$$

(здесь запись вида  $U_{\varepsilon PL} = b_\varepsilon \cdot U_{PL}$  означает, что  $U_{\varepsilon PL}$  является частью целого  $U_{PL}$ ;  $L_{PL}$  - планковская длина;  $b_\varepsilon$  и  $b_V$  - безразмерные множители). Тогда формула Планка (1) принимает [15 и др.] вид:

$$B_{\nu,T} = \frac{du_\varepsilon}{dv} = \frac{U_{\varepsilon PL}}{V_{PL} \cdot \nu_{PL}} \left(\frac{\nu}{\nu_{PL}}\right)^3 \frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu}{k_B T}\right) - 1}, \quad (3)$$

где  $B_{\nu,T}$  – излучательная способность,  $u_\varepsilon$  – объемная плотность энергии газа фотонов. Здесь в явном виде постоянная Планка  $h$  выступает как отношение объемной плотности энергии планковских фотонов  $U_{\varepsilon PL}$  к планковской частоте  $\nu_{PL}$ :

$$h = \frac{U_{\varepsilon PL}}{\nu_{PL}}, \quad (4)$$

а планковская длина  $L_{PL}$  и планковская частота  $\nu_{PL}$  увязаны соотношением

$$L_{PL} \cdot \nu_{PL} = c. \quad (5)$$

Математические выражения (4) и (5) – суть фрагменты формального образа глубинных природных связей (в проекции на активное  $e$  – состояние Вселенной, характерное для окончания эпохи Планка). Здесь ограничимся словами А. Эддингтона [7, с. 50]: «Иногда объяснение требует очень много дополнительных пояснений». Из (1) и (3) следует, что фотонная составляющая Вселенной является ее неотъемлемой внутренней частью с планковского мгновения времени  $t_{PL} = 10^{-43}$  с.

Авторы [4, с. 8] задаются и «вечным вопросом: как и почему «взорвалась» Вселенная, что послужило «первотолчком» расширения материи, и что было (если было?) до этого момента и как будет расширяться Вселенная дальше?» Для исследовательских целей желателен выход на те или иные ориентиры направленного движения материи в эпоху Планка. В развитие представлений [16,17 и др.] можно добавить следующее.

Если обратиться к правилу предельного перехода, то при глубинном погружении а прошлое на планковское мгновение времени, то есть на момент окончания эпохи Планка из формулы Планка (3) следует выражение для удельной объемной плотности энергии планковских фотонов:  $B_{\nu_{PL},T_{PL}} = \frac{1}{e-1} \frac{U_{\varepsilon PL}}{V_{PL} \cdot \nu_{PL}} = k_e \frac{U_{\varepsilon PL}}{V_{PL} \cdot \nu_{PL}}$ , где  $k_e$  – безразмерный множитель,  $k_e < 1$ . На планковском уровне интенсивности движения частиц вряд ли есть серьезная преграда для перехода от части к целому. Полная удельная объемная плотность энергии (или планковская объемная плотность кванта действия)  $B_{PL}$  первичного вещества оказывается равной

$$B_{PL} = \frac{U_{PL}}{V_{PL} \cdot \nu_{PL}} = \frac{h}{V_{PL}}. \quad (6)$$

Если величина планковской энергии  $U_{PL}$  не столь уж высока:  $U_{PL} = 10^9$  Дж (она достигалась на момент выстрела в стволах известных артиллерийских орудий), то на планковское мгновение времени  $t_{PL}$  величина объемной плотности кванта действия  $\frac{h}{V_{PL}}$  космологически огромна:  $\frac{h}{V_{PL}} = 10^{71}$  Дж/м<sup>3</sup>.

Считаем, что задачу следует решать на удалении от абсолютного начала мира. Ниже - на пути поиска - мы не будем опираться на те или иные постулаты (то есть на недоказуемые предположения), а воспользуемся известным из физики простым приемом, тем более, что суть исходной космологической ситуации весьма примечательна:

- стрела космологического времени готова устремиться в будущее;
- материальные частицы уже существуют;
- начальный объем физического мира есть величина весьма малая, то есть не бесконечно малая, а конечная;
- ячейка первичного вещества отличается своим сильно сжатым состоянием;
- в своем оригинальном узоре частицы неподвижны, а количество микроскопических расстановок частиц  $W_{\text{нач}}$  равно единице:

$$W_{\text{нач}} = 1. \quad (7)$$

Если полагаться на (6), то круг существенных для описания движения переменных величин

вполне определен. При движении материи в эпоху Планка:

- понятия «раньше» и «позже» имеют смысл;
- «...изменения эти скрадываются хитрым разговором, в котором соединяются все силы природы: электрические, механические, оптические и гравитационные» [7, с.22];
- первичный сгусток вещества расширяется вне взаимодействия с окружающим его космическим вакуумом и, следовательно, его давление  $p_{pl}$  в планковскую эпоху величина неизменная;
- сгусток вещества разжимается, его объем  $V$  нарастает, возрастает интенсивность движения частиц, повышаются и температура  $T$ , и частота  $\nu$ ;
- энергия вещества не локализуется в точках, а размазывается по его весьма малому растущему объему;
- расширение ячейки отвечает второму началу термодинамики в его записи вида

$$p_{pl} \cdot \Delta V > 1, \quad (8)$$

где  $\Delta V$  – конечное по величине повышение объема.

Физика описывает мир с помощью уравнений, связывающих воедино числовые значения отдельных групп физических величин. Поскольку в эпоху Планка величина внутренней энергии  $U = k_B T$  Вселенной возрастает во времени  $t$ , то переходя в очевидном равенстве  $\frac{U_{PL} V_{PL} \nu_{PL}}{U_{PL} V_{PL} \nu_{PL}} = 1$  (оно отвечает правилу предельного перехода) к текущим величинам параметров, имеем  $\psi \frac{U}{U_{PL}} \frac{V_{PL} \nu_{PL}}{V \nu} = 1$  или  $\psi \frac{U}{V \nu} = \frac{U_{PL}}{V_{PL} \nu_{PL}}$ . Тогда с учетом связи (6) есть и возможность выхода на уравнение долговечности планковской эпохи (в его записи через предложенные Планком мировые константы  $k_B$  и  $h$ ):

$$\psi \frac{k_B T}{V \nu} = \frac{h}{V_{PL} \nu_{PL}}, \text{ Дж} \cdot \text{с} / \text{м}^3. \quad (9)$$

Здесь функция  $\psi$  имеет физический смысл с той точки зрения, что учитывает начальные условия движения материи во времена  $t < t_{PL}$ ; при  $t = t_{PL}$  величина  $\psi = \psi_{PL} = 1$ . Правильная функция  $\psi$  должна быть простой и математически красивой.

Рассмотрим возможность приближенного решения двойного интеграла М. Планка. Планк [11, с. 286] обозначает «через  $q$  одну из независимых обобщенных координат физической системы, а через  $p$  – соответствующий этой координате импульс (момент)», что нас и интересует. Планк полагает «величину элементарной области уже не бесконечно малой, а конечной» и обращается к выражению [там же, с. 287]:

$$\iint dq dp = h, \quad (10)$$

где мировая константа  $h$  – «элементарный квант действия». Искомую величину проще всего найти, если обратить внимание на запись вида (8). Тогда применительно к планковской эпохе в интеграле Планка (10) за величину  $\int dq$  можно принять конечный планковский объем  $V_{PL}$ , а величина  $\int dp$  может быть восстановлена через планковское давление  $p_{PL}$ , а также пройденный - со скоростью света в вакууме  $c$  - путь, равный планковской длине  $L_{PL}$ .

В результате имеем величину давления  $p_{pl}$  в эпоху Планка

$$p_{pl} = \frac{h \cdot c}{V_{PL} \cdot L_{PL}} = \frac{10^{-34} \cdot 10^8}{10^{-105} \cdot 10^{-35}} = 10^{114} \text{ Па}. \quad (11)$$

Тогда  $p_{pl} \cdot \Delta V = p_{pl} \cdot V_{PL} = 10^{114} \cdot 10^{-105} = 10^9$  Дж, что отвечает принципу положительной работы в его записи вида (8). Величина  $p_{pl}$  превышает самые смелые ожидания и, следовательно, не отвечает правилам и мерам безопасной эксплуатации сосудов, работающим под давлением. Под действием внутренних сил Вселенная «взрывается», частицы разлетаются от центра к периферии (или от единого центра в просторы космического вакуума). Поскольку в решении (11) находят отражение объективные связи  $\frac{L_{PL}}{c} = t_{PL} = \nu_{PL}^{-1}$  и  $p_{pl} = \frac{U_{PL}}{V_{PL}}$ , то приведенные выше результаты (4) – (6) и (11) дополняют друг друга. И это не случайно, так как планковские величины внутренне согласованы. Однако связи между планковскими величинами наполняются физическим содержанием, что придает планковскому оркестру достаточно информативное звучание. Если следовать закономерностям (1), (3) и (9), то через естественные единицы измерения М. Планка (в их  $cGhk$  – комбинациях) особенности планковской эпохи воедино увязываются с событиями дальнейшего расширения (но уже с охлаждением) изучаемой физической системы.

Мы не более как пытаемся заглянуть в глубинное космологическое прошлое нашей Вселенной с желанием представить контуры естественной изменчивости начальной физической картины мира. В (9) левая часть есть функция времени  $t$ . При величинах  $t < t_{PL}$  по мере роста объема  $V$  первичной ячейки драматизм развития событий в зарождающейся Вселенной нарастает. В планковское мгновение времени  $t_{PL}$  естественный ход событий достигает своей кульминации, за которой следует смена режима движения Вселенной. Сложность механизма накопления массы Вселенной от её планковской величины  $m_{PL} = 10^{-8}$  кг до современного числового значения  $m_n$  сомнений не вызывает. Полагаем, что это происходит в эпоху освобождения энергии космического вакуума. На известной нам узловой космологической станции мы как бы встречаемся с тем растением, которое своим ростом обязано исключительно той энергии, которую оно черпает из окружающей его космической среды. На «этапе освобождения» наша Вселенная по мере своего (близкого к экспоненциальному) расширения активно наполняется и ныне реликтовыми фотонами, а в целом развитие событий подчиняется правилу [18, с. 79]: «Увеличивать энтропию проще, чем уменьшать». Ранее показано, что динамика роста энтропии  $S_e$  фотонного излучения в функции от возрастающей величины ныне реликтовых фотонов  $N_e$  выражается простой математической формулой.

Автор разделяет мнение о том, что предельно ранняя Вселенная является уникальным объектом для изучения изменчивости физической картины мира (на пути установления естественной обусловленности всего происходящего); определения степени влияния определяющих факторов на реальное

развитие космологических событий; анализа спектра альтернативных решений. В заключение отметим, что вне сомнений, выше мы нарушили тот девиз, который порой приписывают биологам [19, с. 140]: «Все наблюдать, все описывать, все классифицировать, но избави нас бог от каких - либо выводов». Однако есть принципиальное различие. Биолог изучает реальные объекты окружающей нас природы, а автор - как инженер (от лат. ingenium – изобретательность) - выше обращает внимание на те следствия, которые отвечают результатам инженерного осмысления физической модели реальной действительности.

Порой возникают непредвиденные ситуации, привлекающие к себе внимание. Но если постоянно думать о содержании той или иной конкретной задачи, стремясь уловить ее истинную природу, то в окружающем нас мире вряд ли встретится такая загадка, ответ на которую невозможно найти.

### Литература

1. Верходанов О.В. «Планк»: новый шаг к пониманию Вселенной // Земля и Вселенная. 2014. № 1. С. 3 – 21.
2. Бройль Л. де. Преподавание и исследование // Луи де Бройль. По тропам науки / пер. с англ. М.: Изд – во иностр. лит. 1962. С.342 – 345.
3. Мемория. Джордж Гамов [Электронный ресурс]. URL: polit.ru/new/2016/ 03/04/gamov/ (дата обращения 07.01. 2021).
4. Насельский П.Д. Реликтовое излучение Вселенной / П.Д. Насельский, Д.И. Новиков, И.Д. Новиков. М.: Наука. 2003. – 390 с.
5. Реликтовое излучение - Википедия [Электронный ресурс]. URL: ru.wikipedia.org/wiki/Реликтовое\_излучение (дата обращения 02.01. 2021).
6. История Вселенной – Википедия [Электронный ресурс]. URL: ru.wikipedia.org/wiki/История\_Вселенной (дата обращения 02.01.2021).
7. Эддингтон А.С. Теория относительности и ее влияние на научную мысль / пер. с англ. Одесса: МАТЕЗИС. 1923. - 56 с.
8. Дирак П. Космология и гравитационная постоянная // П. Дирак. Воспоминания о необычной эпохе / пер. с англ. М.: Наука. 1990. С.178 – 188.
9. Гекман О. Эйнштейн и космология // Проблемы физики: классика и современность / пер. с нем. и англ. М.: Мир. 1982. С.155 – 163.
10. Вайнберг С. Космология / пер. с англ. М.: УРСС: ЛИБРОКОМ. 2013. – 608 с.
11. Планк М. Законы теплового излучения и гипотеза элементарного кванта действия // М. Планк. Избранные труды. Термодинамика. Теория излучения и квантовая теория. Теория относительности. Статьи и речи. М.: Наука. 1975. С.282 – 310.
12. Гарднер М. Есть идея! / пер. с англ. М.: Мир. 1982. – 305 с.
13. Шустова О.Б. Философское исследование понятия закона природы // Электронный научно – методический журнал Омского ГАУ. 2016. № 1(4). С. 145 – 149.
14. Что такое действие и почему физики все время о нем говорят [Электронный ресурс]. URL: https://zen.yandex.ru/media/nplus1/ (дата обращения 07.01. 2021).
15. Кошман В.С. Физические законы излучения как ключ к выявлению космологических тайн Вселенной // Sciences of Europe. 2020. № 59. Vol. 1. pp. 52 – 56.
16. Кошман В.С. Уравнение баланса энергии в эпоху Планка и эволюция Вселенной // Sciences of Europe. 2020. № 61. Vol.1. pp. 35 – 38.
17. Кошман В.С. К вопросу поиска уравнения долговечности эпохи Планка // Sciences of Europe. 2020. № 61. Vol.1. pp. 38 – 40.
18. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. М.: Сов. радио. 1979, - 184 с.
19. Тринг М., Лейтуэйт Э. Как изобретать? / пер. с англ. М.: Мир. 1980. – 272 с.

## ПАРАДОКСЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ И НЕЙТРИНО

**Рысин А.В.**

*АНО «НТИЦ «Техком» г. Москва, радиоинженер*

**Никифоров И.К.**

*Чувашский государственный университет, г. Чебоксары,  
кандидат технических наук, доцент*

**Бойкачев В.Н.**

*кандидат технических наук*

*АНО «НТИЦ «Техком» г. Москва, директор*

**Хлебников А.И.**

*студент 5-го курса факультета «Инженерная механика» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина,  
г. Москва*

## PARADOXES OF THE MATHEMATICAL REPRESENTATION OF THE ELECTROMAGNETIC WAVE AND NEUTRINO

**Rysin A.**

*ANO "NTIC" Techcom " Moscow, radio engineer*

**Nikiforov I.**

*Chuvash state University, Cheboksary,  
candidate of technical Sciences, associate Professor*

**Boikachev V.**

*candidate of technical Sciences*

*ANO "NTIC" Techcom " Moscow, Director*

**Hlebnikov A.**

*5th year student*

*of the faculty of Engineering mechanics at the Russian state University of oil and gas. I.M. Gubkina, Moscow*

DOI: [10.24412/3162-2364-2021-62-1-7-22](https://doi.org/10.24412/3162-2364-2021-62-1-7-22)

### АННОТАЦИЯ

Считается, что современное математическое описание электромагнитной волны в электродинамике достаточно точно описывает этот физический процесс. При этом было представлено наглядное графическое представление распространения электромагнитной волны. Однако в данном математическом представлении был допущен парадокс отдельного существования волновых свойств вне взаимосвязи с корпускулярными свойствами, то есть, нарушен закон необходимости взаимного обмена между противоположностями. Аналогично, математическое представление нейтрино (антинейтрино) в квантовой механике не позволяло получить взаимные преобразования. Соответственно, это исключало взаимосвязь всех объектов Мироздания по принципу от простого к сложному. Объяснить преобразование одних частиц в другие при данном математическом описании не представлялось возможным, и было предложено чудо, когда объекты возникают из вакуума и так же исчезают в нём. Отсюда возникли мифические частицы типа кварков, глюонов, виртуальных фотонов, гравитонов и бозоны Хиггса. В данной статье авторы исключают указанные парадоксы на основании представления объекта в зависимости от системы наблюдения и при этом обосновывают переход от усовершенствованных уравнений Максвелла к описанию взаимодействия объектов и их представления.

### ABSTRACT

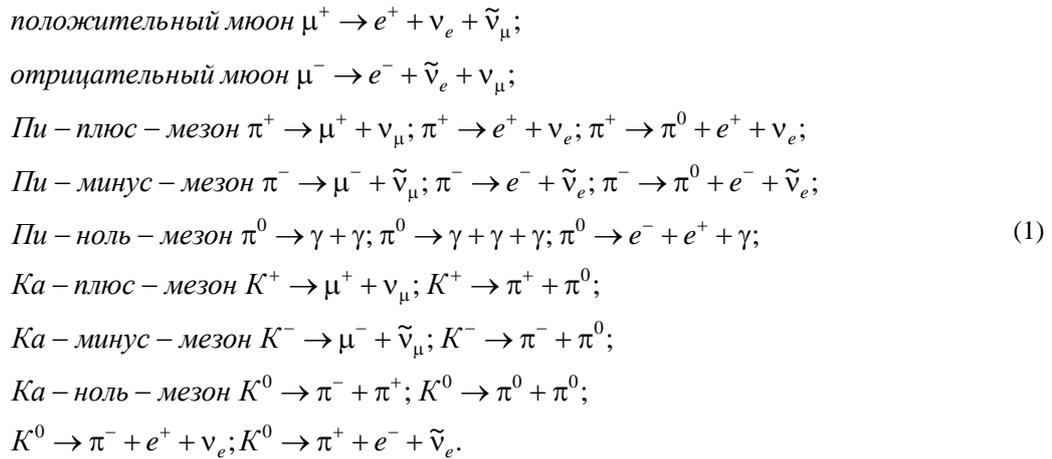
It is believed that the modern mathematical description of the electromagnetic wave in electrodynamics describes this physical process quite accurately. At the same time, a visual graphical representation of the propagation of an electromagnetic wave was presented. However, in this mathematical representation, the paradox of the separate existence of wave properties outside of the relationship with corpuscular properties was admitted, that is, the law of the necessity of mutual exchange between opposites was violated. Similarly, the mathematical representation of neutrinos (antineutrinos) in quantum mechanics did not allow for mutual transformations. Accordingly, this excluded the relationship of all objects of the Universe on the principle from simple to complex. It was not possible to explain the transformation of some particles into others with this mathematical description, and a miracle was proposed when objects arise from a vacuum and also disappear in it. This gave rise to mythical particles such as quarks, gluons, virtual photons, gravitons, and Higgs bosons. In this article, the authors exclude these paradoxes based on the representation of an object depending on the observation system, and at the same time justify the transition from the improved Maxwell equations to the description of the interaction of objects and their representation.

**Ключевые слова:** СТО и ОТО Эйнштейна, система уравнений Дирака, классические уравнения Максвелла, вектор-потенциалы, волновое уравнение, формула Луи де Бройля, уравнение Гамильтона-Якоби, формула Планка.

**Keywords:** Einstein's SRT and GRT, Dirac system of equations, classical Maxwell equations, vector potentials, wave equation, Louis de Broglie formula, Hamilton-Jacobi equation, Planck formula.

Процесс обмена между противоположностями в Мироздании имеет особенное значение, так как современная наука пошла по ложному пути, объясняя ядерные процессы через ядерные силы, кварки и глюоны. В действительности на практике, ни при каком распаде, не наблюдаются ни кварки, ни глюоны. Все наблюдаемые процессы заканчиваются распадом с получением фотонов, электронов, позитронов (с превращением при аннигиляции в фотоны) и электронных и мюонных нейтрино (антинейтрино). Не сумев объяснить отсутствие распада протона, учёные придумали наличие у него некоего

барионного заряда. Тогда возникают вопросы: «Каким образом кварки и глюоны, которые по предположению учёных есть в положительных и отрицательных пионах преобразуются при распаде в фотоны и электронные и мюонные нейтрино (антинейтрино)? Для исключения распада протона за счёт барионного заряда необходимо иметь энергию этого самого барионного заряда, так как силы без энергии не бывает, а по формуле энергии Эйнштейна барионный заряд в ней не предусмотрен, как быть?» Проанализируем известные схемы распада [1]:



Здесь  $\nu_e, \tilde{\nu}_e$  – электронное нейтрино и антинейтрино,  $\nu_\mu, \tilde{\nu}_\mu$  – мюонное нейтрино и антинейтрино соответственно,  $\gamma$  – фотоны. Существуют и другие схемы распада, но они все заканчиваются на электронах  $e^+$ , позитронах  $e^-$ , фотонах и электронных и мюонных нейтрино (антинейтрино). При

этом известно, что электрон и позитрон, при аннигиляции, дают фотоны. Из (1) также видно, что схема распада заряженных мезонов может идти как по схеме распада через заряженные мюоны с наличием электронных и мюонных нейтрино (антинейтрино), так и с излучением электромагнитной волны (рис.1) и фотонов.

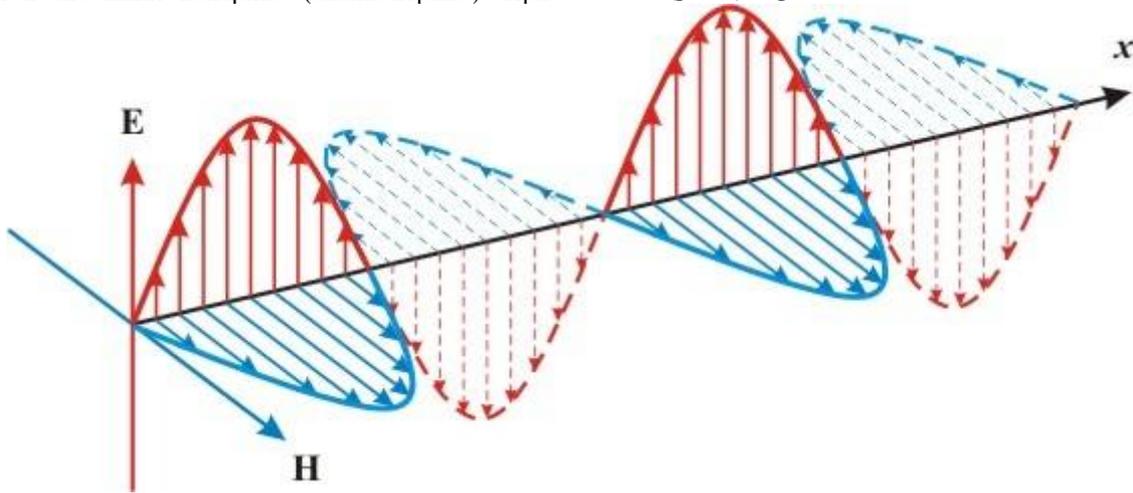


Рис.1. Плоская электромагнитная волна

Это говорит о том, что электронные и мюонные нейтрино (антинейтрино) имеют связь с фотонами, а также с электроном и позитроном при соотношении

$$\text{rot } \mathbf{H} = 1/c \partial \mathbf{E} / \partial t; \text{rot } \mathbf{E} = -1/c \partial \mathbf{H} / \partial t; \text{div } \mathbf{H} = 0; \text{div } \mathbf{E} = 0, \tag{2}$$

из которых получается плоская электромагнитная волна, характеризующая фотон

$$\Delta \mathbf{E} - 1/c^2 \partial^2 \mathbf{E} / \partial t^2 = 0; \Delta \mathbf{H} - 1/c^2 \partial^2 \mathbf{H} / \partial t^2 = 0, \tag{2}$$

не соответствующим уравнениям электронных и мюонных нейтрино (антинейтрино) [3]. Так как уравнения нейтрино и антинейтрино описывают движение частиц со спином, равным половине, и

$$\sigma'_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}; \sigma'_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ -i & 0 \end{pmatrix}; \sigma'_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}, \tag{3}$$

либо уравнениями Дирака (это система уравнений (41)), с расщепляющимися на два независимых уравнения, при массе покоя равном нулю, и которые, исходя из наличия четырёх компонент,

ответствующем взаимодействию с учётом энергетического распределения в пространстве. Однако классические уравнения Максвелла [2]

массе покоя, равной нулю, и описываются либо уравнениями с двухрядными матрицами Паули (уравнение Вейля)

должны описывать как электронные, так и мюонные нейтрино (антинейтрино). Поэтому, вместо уравнений Дирака можно написать уравнение с двухкомпонентной функцией:

$$\varphi = \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

При этом имеем уравнение Вейля:

$$[E - c(\boldsymbol{\sigma}'\mathbf{p})]\varphi = 0. \quad (5)$$

Но парадокс здесь в том, что при представлении электронных и мюонных нейтрино (антинейтрино) через волновые функции (4), определяющих вероятностное местонахождение частицы, в уравнениях Дирака вероятностное местоположение определялось с привязкой к массе покоя частицы, а здесь масса покоя равна нулю. Кроме того, функции, определяющей вероятность местонахождения, при скорости распространения частицы со скоростью света, вообще быть не может, так как это означает отказ от распространения с одной единственной скоростью – скоростью света, т.е. здесь нет параметра неопределённости. Третий парадокс связан с тем, что магнитный спин должен при движении наводить электрическое поле, так как мы имеем изменение во времени, а электрическое поле в нейтрино (антинейтрино) вообще не рассматривается. Это даёт повод рассматривать случай, когда электрическое и магнитное поля никак не связаны, даже по уравнениям Максвелла. Следует также отметить, что само понятие спина связано с понятием массы покоя и для объектов, распространяющихся со скоростью света, такие как электромагнитные волны, такой подход не применим. Отсутствие

$$\begin{aligned} \operatorname{rot}\mathbf{H} &= \partial\mathbf{D}/\partial t + \mathbf{j}; \operatorname{rot}\mathbf{E} = -\partial\mathbf{B}/\partial t; \mathbf{j} = \boldsymbol{\sigma}\mathbf{E}; \\ \operatorname{div}\mathbf{D} &= \rho \\ ; \operatorname{div}\mathbf{B} &= 0; \mathbf{D} = \varepsilon_0\mathbf{E}; \mathbf{B} = \mu_0\mathbf{H}. \end{aligned} \quad (6)$$

Однако, по закону сохранения количества, изменения по времени должны сопровождаться изменениями по пространству, что и видно по уравнению Умова-Пойтинга (энергетический эквивалент уравнения непрерывности) [5]:

$$\partial\mathbf{W}/\partial t = -\operatorname{div}\mathbf{S}, \quad (7)$$

а уравнение вида  $\operatorname{rot}\mathbf{E} = -\partial\mathbf{B}/\partial t$  говорит о том, что изменения во времени не приводят к изменению в пространстве, так как величина ротора даёт замкнутость. И в этом случае имеем неоднозначность законов физики. Поэтому и встал вопрос об усовершенствовании уравнений Максвелла, тем более что обойтись описанием электромагнитных волновых процессов только на основе классических уравнений Максвелла при рассмотрении вынужденного излучения не смогли, и были использо-

$$\begin{aligned} \operatorname{rot}\operatorname{rot}\mathbf{A} - \mu_0\varepsilon_0\partial\mathbf{E}/\partial t = \mu_0\mathbf{j}; -\nabla^2\mathbf{A} + \operatorname{grad}\operatorname{div}\mathbf{A} + 1/c^2\partial^2\mathbf{A}/\partial t^2 + 1/c^2\partial\nabla\Phi/\partial t = \mu_0\mathbf{j}; \\ -\nabla^2\mathbf{A} + 1/c^2\partial^2\mathbf{A}/\partial t^2 + \nabla(\operatorname{div}\mathbf{A} + 1/c^2\partial\Phi/\partial t) = \mu_0\mathbf{j}. \end{aligned} \quad (11)$$

С учётом накладываемого условия (калибровка Лоренца)

$$\operatorname{div}\mathbf{A} + 1/c^2\partial\Phi/\partial t = 0, \quad (12)$$

массы покоя в уравнениях Дирака даёт симметричный вид между двумя первыми и двумя вторыми уравнениями, поэтому совершенно неясно за счёт чего имеются отличия электронных и мюонных нейтрино (антинейтрино).

Иными словами, уравнения электронных и мюонных нейтрино и антинейтрино по уравнениям квантовой механики не соответствуют классическим уравнениям Максвелла, так как невозможно представить их преобразование в вид для электромагнитной волны, характеризующей фотоны. Это говорит о том, что для соблюдения практических результатов по преобразованиям надо усовершенствовать указанные уравнения исходя из исключения парадоксов. При этом надо отметить, что и классические уравнения Максвелла также не лишены парадоксов. Отсюда следует вывод, что надо искать иное формульное представление электронных и мюонных нейтрино (антинейтрино), а также классических уравнений Максвелла чем то, что предложено в квантовой механике и электродинамике с исключением парадоксов.

В соответствии с этим, рассмотрение начнём с указания парадоксальности классических уравнений Максвелла, как уравнений не соответствующих описанию корпускулярно-волновых объектов Мироздания и покажем логику и причину их усовершенствования. Как известно вид классических уравнений Максвелла может быть представлен в виде [4]:

ваны вектор-потенциалы  $\mathbf{A}$  и  $\Phi$ . Причём вектор-потенциал  $\mathbf{A}$  должен был удовлетворять условию  $\operatorname{div}\mathbf{B} = 0$ , что достигалось посредством следующего уравнения [6]:

$$\mathbf{B} = \operatorname{rot}\mathbf{A}. \quad (8)$$

По сути, величина магнитного поля здесь представляется константой от ротора  $\mathbf{A}$ . Подстановка этого выражения в уравнение  $\operatorname{rot}\mathbf{E} = -\partial\mathbf{B}/\partial t$  даёт уравнение

$$\operatorname{rot}(\mathbf{E} + \partial\mathbf{A}/\partial t) = 0. \quad (9)$$

Чтобы удовлетворить этому уравнению выражение в скобках приравнялось к величине градиента потенциальной функции, т.е. имеем уравнение  $\mathbf{E} + \partial\mathbf{A}/\partial t = -\nabla\Phi$ ;  $\mathbf{E} = -\nabla\Phi - \partial\mathbf{A}/\partial t$ . (10)

Далее делается подстановка в первое уравнение системы (6) уравнения (8):

получаем векторное уравнение Даламбера для вынужденного излучения:

$$-\nabla^2 \mathbf{A} + 1/c^2 \partial^2 \mathbf{A} / \partial t^2 = \mu_0 \mathbf{j} = \mu_0 \rho \mathbf{v} = \mu_0 q \mathbf{v} = \pm \mu_0 \mathbf{v}. \quad (13)$$

Здесь нами принимается, что по теории Дирака [7]  $\rho=q=\pm 1$ . В противном случае уравнение энергии

Эйнштейна должно было бы зависеть и от величины заряда. Относительно  $\Phi$ , исходя из (10) и (12) и четвертого уравнения в (6), получаем:

$$\begin{aligned} \operatorname{div}(-\partial \mathbf{A} / \partial t - \nabla \Phi) &= \rho / \epsilon_0; \quad -\partial(\operatorname{div} \mathbf{A}) / \partial t - \operatorname{div} \nabla \Phi = \rho / \epsilon_0; \\ 1/c^2 \partial^2 \Phi / \partial t^2 - \nabla^2 \Phi &= \rho / \epsilon_0 = \pm 1 / \epsilon_0. \end{aligned} \quad (14)$$

Далее учитываем известную формулу из электродинамики [8]:

$$\mathbf{A} = v/c^2 \Phi. \quad (15)$$

При этом принимаем, что  $v=c$ , и тогда вектор - потенциалы связаны также как компоненты электрического и магнитного поля по уравнению  $H=cE$  и характеризуют именно электромагнитное поле.

Иными словами, имеем плотность тока  $j = c\rho$  исходя из подчинения преобразованиям Лоренца в соответствии с уравнениями Дирака в квантовой механике [9]. Отсюда получим систему волновых уравнений относительно вектор-потенциалов в виде:

$$-\nabla^2 \mathbf{A} + 1/c^2 \partial^2 \mathbf{A} / \partial t^2 = \pm \mu_0 c = \pm 1/(\epsilon_0 c); \quad 1/c^2 \partial^2 \Phi / \partial t^2 - \nabla^2 \Phi = \pm 1 / \epsilon_0. \quad (16)$$

Иными словами, возбуждение электромагнитных волн, где в качестве электрических и магнитных составляющих выступают вектор - потенциалы, определяется только параметрами среды в виде констант электрической и магнитной проницаемостей. В этом случае в (16), по сравнению с уравнениями (2), решается парадокс огибания волной препятствия, так как в (2) имеем независимое движение без наведения вторичных волн. Причём

волновые уравнения для электрических и магнитных составляющих не имеют связи, чего на практике не наблюдается.

При этом заметим, что переход к вектор - потенциалам определил новое свойство относительно операции дифференцирования по переменным. Так, имеем вариант несимметрии относительно дифференцирования по переменным пространства и времени при  $c\mathbf{A}=\Phi$  в виде:

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \mathbf{A} + 1/c^2 \partial \Phi / \partial t &= 0; \quad \partial \mathbf{A} / \partial r + 1/c \partial \mathbf{A} / \partial t = 0; \quad \partial \mathbf{A} / \partial r + \partial \mathbf{A} / \partial t = 0; \\ \mathbf{E} = -\nabla \Phi - \partial \mathbf{A} / \partial t; \quad -\mathbf{E} &= \partial \mathbf{A} / \partial t + \partial \mathbf{A} / \partial t. \end{aligned} \quad (17)$$

Здесь второе уравнение в (17) по переменной  $r$  соответствует (7) при учёте известной связи длины и времени при преобразованиях Минковского [10]

$r=ct$ , где уравнение (7) представим с учётом  $c\mathbf{W}=\mathbf{S}$  в виде

$$\partial \mathbf{W} / \partial t = -\operatorname{div} \mathbf{S}; \quad c \partial \mathbf{W} / \partial (ct) = -\operatorname{div} \mathbf{S}; \quad \partial \mathbf{S} / \partial (ct) + \partial \mathbf{S} / \partial r = 0. \quad (18)$$

Последнее уравнение в (17) относительно  $\mathbf{A}$  по переменной  $t$ , уравнению (18) не соответствует. Это говорит о том, что представление объекта зависит от системы наблюдения относительно переменных. Значит одна и та же величина, в данном случае  $\mathbf{A}$ , характеризуется при изменениях по переменной  $r$  операцией вычитания, а при изменениях по  $t$  - операцией сложения. Другими словами, переменные  $r$  и  $t$  определяют глобальные Противоположности, связанные через скорость обмена (скорость света). И их наличие определяется тем, что объединение (сложение) в одной противоположности означает

разъединение (вычитание) в другой противоположности, иначе различия между противоположностями не было бы. Физики интуитивно через так называемые вектор - потенциалы ввели в электродинамику закон, где представление объекта определяется системой наблюдения от противоположностей. Учитывая, что классические уравнения Максвелла имеют очевидные парадоксы, то мы попытаемся получить усовершенствование уравнений Максвелла на основе вектор - потенциалов по следующей схеме преобразований:

$$\begin{aligned} \mathbf{B} = \operatorname{rot} \mathbf{A} = \mu_0 c \mathbf{E} = \mu_0 c (-\nabla \Phi - \partial \mathbf{A} / \partial t) &= \mu_0 c (-\partial \Phi / \partial r - \partial \mathbf{A} / \partial t); \\ -\operatorname{rot} \mathbf{A} = \mu_0 (c \partial \Phi / \partial r + c \partial \mathbf{A} / \partial t). \end{aligned} \quad (19)$$

Далее с учётом  $c\mathbf{A}=\Phi$ , имеем аналогичную связь как и между электромагнитными составляющими  $\mathbf{H}=c\mathbf{E}$ ; получим

$$-\operatorname{rot} \mathbf{A} = \mu_0 c \partial \Phi / \partial r + \mu_0 \partial \Phi / \partial t. \quad (20)$$

Так как от знака равенства слева и справа стоят противоположности, то из-за ортогональности надо переписать уравнение (20) по координатам, тогда в частном случае будем иметь

$$\partial A_y / \partial z - \partial A_z / \partial y = \mu_0 c \partial \Phi_t / \partial x + \mu_0 \partial \Phi_x / \partial t. \quad (21)$$

Мы получили фактически соответствие ротора и уравнения непрерывности на основе вектор - по-

тенциалов. Таким образом, мы исключили парадокс классических уравнений Максвелла, так как имеем замкнутость по противоположностям. При

этом учитываем, что для производной по величине  $x$  для вектор-потенциала  $\Phi$  не остаётся иных компонент, кроме как проекции  $\Phi$  на время, т.е.  $\Phi_t$ . Это аналогично тому, как это было сделано Фейнманом в [11]. Далее, с учётом применения вектор-потенциалов в квантовой механике [12], значение проекции на время должны умножить на мнимую единицу  $i$ . По сути, переходим к комплексно-сопряжённому виду, т.е. выражаем любой объект в виде противоположностей. Такое умножение связано с

$$\partial A_y / \partial z - \partial A_z / \partial y = \mu_0 i c \partial \Phi_t / \partial x + \mu_0 \partial \Phi_x / \partial t. \quad (22)$$

Если сделать замену переменных и считать  $H_t = \Phi_t$ ,  $H_x = \Phi_x$ ,  $E_y = A_y$ ,  $E_z = A_z$ , то получим вид, аналогичный усовершенствованным уравнениям Максвелла [13]:

$$\begin{aligned} -\mu_0 \partial H_x / \partial t + i \mu_0 c \partial H_t / \partial x &= \partial E_z / \partial y - \partial E_y / \partial z; \\ -\mu_0 \partial H_y / \partial t + i \mu_0 c \partial H_t / \partial y &= \partial E_x / \partial z - \partial E_z / \partial x; \\ -\mu_0 \partial H_z / \partial t + i \mu_0 c \partial H_t / \partial z &= \partial E_y / \partial x - \partial E_x / \partial y; \\ \epsilon_0 \partial E_x / \partial t - i \epsilon_0 c \partial E_t / \partial x &= \partial H_z / \partial y - \partial H_y / \partial z; \\ \epsilon_0 \partial E_y / \partial t - i \epsilon_0 c \partial E_t / \partial y &= \partial H_x / \partial z - \partial H_z / \partial x; \\ \epsilon_0 \partial E_z / \partial t - i \epsilon_0 c \partial E_t / \partial z &= \partial H_y / \partial x - \partial H_x / \partial y. \end{aligned} \quad (23)$$

Здесь  $i = \sqrt{-1}$ . Существует также и комплексно-сопряжённая форма записи этих уравнений. Усовершенствованные уравнения Максвелла могут быть также выведены сразу из преобразования Лоренца-Минковского [14], что говорит о том, что усовершенствованные уравнения Максвелла подчиняются СТО и ОТО Эйнштейна. А это означает и наличие общего пространственно-временного и электромагнитного континуума, так как составляющие напряжённости электрического и магнитного поля также связаны через скорость света.

Иными словами, можно сделать вывод, что *электромагнитные компоненты отображают пространство и время, но в противоположной системе наблюдения, так как для них выполняются аналогичные законы физики*. Соответственно здесь можно предположить, что усовершенствованные уравнения Максвелла как простейшие уравнения, характеризующие корпускулярно-волновые свой-

получением соответствия с уравнениями Дирака, которые получены из уравнения энергии Эйнштейна (в противном случае независимость уравнений). Кроме того, без наличия мнимой единицы получить преобразование уравнений Максвелла в преобразования Лоренца-Минковского (а это необходимое условие связи волновых и корпускулярных свойств), с соблюдением закона сохранения количества по аргументам функций, не представляется возможным. В итоге имеем:

ства (проще нельзя, так как приходим к классическим уравнениям Максвелла с вытекающими парадоксами), должны отображать реально существующие простейшие объекты, которыми являются электронные и мюонные нейтрино (антинейтрино). При этом разделение на электронные и мюонные нейтрино определяется на основе констант электрической и магнитной проницаемостей, а деление на нейтрино и антинейтрино определяется знаком мнимой единицы для члена с проекцией на время. Однако, чтобы сделать такой вывод надо получить из взаимодействия электронных и мюонных нейтрино (антинейтрино) другие объекты типа фотонов и электронов (позитронов), которые наблюдаются на практике по (1). Иными словами, теория должна соответствовать практике. В [15] мы показали, что взаимодействие электронных и мюонных нейтрино и антинейтрино на основе усовершенствованных уравнений Максвелла даёт уравнение электромагнитной волны в виде:

$$\begin{aligned} -\nabla^2 \mathbf{H} + 1/c^2 \partial^2 \mathbf{H} / \partial t^2 &= -(c \epsilon_0) i \text{grad}(\mathbf{j}_H) - (c \epsilon_0) \partial \mathbf{j}_H / \partial (ct) + \text{rot}(\mathbf{j}_E); \\ -\nabla^2 \mathbf{E} + 1/c^2 \partial^2 \mathbf{E} / \partial t^2 &= -1/(c \epsilon_0) i \text{grad}(\mathbf{j}_E) - 1/(c \epsilon_0) \partial \mathbf{j}_E / \partial (ct) - \text{rot}(\mathbf{j}_H). \end{aligned} \quad (24)$$

Для соблюдения одинаковой размерности значения  $\mathbf{j}_E$  и  $\mathbf{j}_H$  (в электродинамике – это сторонние или фиктивные токи) должны быть связаны через скорость света  $\mathbf{j}_E = c \mathbf{j}_H$ , также как время и длина в преобразованиях Минковского, и фактически ха-

рактеризуют пространственно-временное искривление, но в противоположности. Полученные уравнения (24) не являются нашей выдумкой и соответствуют известным из электродинамики уравнениям [16] в комплексном виде:

$$\begin{aligned} \nabla^2 \mathbf{E} + k^2 \mathbf{E} &= -\mathbf{M}^3; \quad \nabla^2 \mathbf{H} + k^2 \mathbf{H} = -\mathbf{M}^M; \\ \mathbf{M}^3 &= -i \omega \mu_a \mathbf{j}^{3-ct} + 1/(i \omega \epsilon_a) \text{grad div} \mathbf{j}^{3-ct} - \text{rot} \mathbf{j}^{M-ct}; \\ \mathbf{M}^M &= -i \omega \epsilon_a \mathbf{j}^{M-ct} + 1/(i \omega \mu_a) \text{grad div} \mathbf{j}^{M-ct} - \text{rot} \mathbf{j}^{3-ct}; \\ \nabla^2 \mathbf{E} + k^2 \mathbf{E} &= -i \omega \mu_a \mathbf{j}^{3-ct} + 1/(i \omega \epsilon_a) \text{grad div} \mathbf{j}^{3-ct} - \text{rot} \mathbf{j}^{M-ct}; \\ \nabla^2 \mathbf{H} + k^2 \mathbf{H} &= -i \omega \epsilon_a \mathbf{j}^{M-ct} + 1/(i \omega \mu_a) \text{grad div} \mathbf{j}^{M-ct} - \text{rot} \mathbf{j}^{3-ct}. \end{aligned} \quad (25)$$

Здесь  $\mathbf{j}^{\text{э.ст}}$  и  $\mathbf{j}^{\text{м.ст}}$  – так называемые сторонние токи, через которые и получаются электромагнитные составляющие в нашей системе наблюдения. Однозначный переход уравнений (25) в (24) нами показан в [17].

Учитывая соблюдение одинаковых законов физики в противоположных системах наблюдения, друг относительно друга, а также замкнутость Мироздания на две глобальные Противоположности с соблюдением закона сохранения количества, мы можем, исходя из симметрии между усовершенствованными уравнениями Максвелла и вектор -

$$\begin{aligned} \nabla^2 \mathbf{H} - 1/c^2 \partial^2 \mathbf{H} / \partial t^2 &= i \varepsilon_0 c \text{grad } \mathbf{j}_H + \varepsilon_0 \partial \mathbf{j}_H / \partial t - \text{rot } \mathbf{j}_E; \\ (\nabla^2 \mathbf{H} - 1/c^2 \partial^2 \mathbf{H} / \partial t^2) &= \varepsilon_0 (ic \text{grad } \Phi + \partial \Phi / \partial t) - \text{rot } \mathbf{A}. \end{aligned} \quad (27)$$

В нижнем уравнении (24) получаем результат:

$$\begin{aligned} \nabla^2 \mathbf{E} - 1/c^2 \partial^2 \mathbf{E} / \partial t^2 &= ic \mu_0 \text{grad } \mathbf{j}_E + \mu_0 \partial \mathbf{j}_E / \partial t + \text{rot } \mathbf{j}_H; \\ (\nabla^2 \mathbf{E} - 1/c^2 \partial^2 \mathbf{E} / \partial t^2) &= \mu_0 (ic \text{grad } \mathbf{A} + \partial \mathbf{A} / \partial t) + \text{rot } \Phi. \end{aligned} \quad (28)$$

Таким образом, электромагнитные волновые свойства  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  в нашей системе наблюдения выражаются в противоположности через вектор - потенциалы  $\mathbf{A}$  и  $\Phi$  аналогично усовершенствованным уравнениям Максвелла. Иными словами, сочетание и взаимодействие электронного и мюонного нейтрино (или антинейтрино) в противоположной системе наблюдения (или как бы на более низком

$$\begin{aligned} \mu_{0u} (\nabla^2 \mathbf{H} - 1/c^2 \partial^2 \mathbf{H} / \partial t^2) &= (ic \text{grad } \Phi + \partial \Phi / \partial t) - \mu_{0u} \text{rot } \mathbf{A}; \\ \varepsilon_{0u} (\nabla^2 \mathbf{E} - 1/c^2 \partial^2 \mathbf{E} / \partial t^2) &= (ic \text{grad } \mathbf{A} + \partial \mathbf{A} / \partial t) + \varepsilon_{0u} \text{rot } \Phi. \end{aligned} \quad (29)$$

В уравнениях (29) справа от знака равенства мы имеем две противоположные системы наблюдения, которые характеризуют вращательное и поступательное движения. Причём, величины  $\mathbf{A}$  и  $\Phi$  в этих системах наблюдения отражают поступательное и вращательное движения попеременно, что характеризует наличие двух противоположных систем наблюдения. Слева, от знака равенства в уравнениях (29), мы имеем представление в системе наблюдения, где отражён волновой электромагнитный процесс и отличие электромагнитных составляющих только по количественному признаку – величине. Фактически по уравнениям (29) мы получили, что электронное нейтрино в одной системе

$$\begin{aligned} (\nabla^2 \mathbf{H} - 1/c^2 \partial^2 \mathbf{H} / \partial t^2) &= \varepsilon_0 ic \text{grad } \Phi; \varepsilon_0 \partial \Phi / \partial t = \text{rot } \mathbf{A}; \\ (\nabla^2 \mathbf{E} - 1/c^2 \partial^2 \mathbf{E} / \partial t^2) &= \mu_0 ic \text{grad } \mathbf{A}; \mu_0 \partial \mathbf{A} / \partial t = -\text{rot } \Phi. \end{aligned} \quad (30)$$

При этом первое и третье уравнения в (30), при использовании вектор-потенциалов в квантовой

$$\begin{aligned} (\nabla^2 \mathbf{H} - 1/c^2 \partial^2 \mathbf{H} / \partial t^2) &= \varepsilon_0 ic \text{grad } \Phi = \varepsilon_0 i \partial \mathbf{A} / \partial t = i v_a; \\ (\nabla^2 \mathbf{E} - 1/c^2 \partial^2 \mathbf{E} / \partial t^2) &= \mu_0 ic \text{grad } \mathbf{A} = \mu_0 i \partial \mathbf{A} / \partial t = i v_\phi. \end{aligned} \quad (31)$$

Понятно, что значения  $v_a$  и  $v_\phi$  определяют значение скорости, характеризующей пространственно-временное искривление от противоположности на основе констант электрической и магнитной проницаемости. Данная аналогия возникла у

потенциалами, сделать замену переменных, т.е. сторонних токов на вектор-потенциалы с условием равенств:

$$\mathbf{j}_E = c \mathbf{j}_H = \mathbf{A}; \mathbf{j}_H = \Phi = c \mathbf{A}, \quad (26)$$

т.е., по сути, это переход от так называемых сторонних токов на другой уровень иерархии в противоположную систему наблюдения за счёт скорости света. Отсюда, при замене переменных в верхнем уравнении (24) имеем:

уровне иерархии) приводит к формированию электромагнитной волны в нашей системе наблюдения. При этом необходимо учесть, что константы электрической и магнитной проницаемостей меняются местами (иначе отличий между противоположностями не будет). Отсюда  $\varepsilon_{0u} = 1/\square_0$  и  $\square_{0u} = 1/\varepsilon_0$ ,  $\mathbf{B} = \square_{0u} \mathbf{H}$ ,  $\mathbf{D} = \varepsilon_{0u} \mathbf{E}$ ; соответственно из этого получим:

наблюдения характеризует в противоположной системе наблюдения волновой процесс с магнитной составляющей, а мюонное нейтрино – волновой процесс с электрической составляющей, а взаимодействие этих электронных и мюонных нейтрино определяет общий волновой электромагнитный процесс, так как величины  $\mathbf{A}$  и  $\Phi$  как функции входят в оба уравнения.

Данный вид уравнений (29) можно представить и в виде известных уравнений электродинамики, учитывая то, что равенство в одной противоположности выглядит неравенством в другой противоположности исходя из условий (17), например

механике [12], с учётом  $r=ict$ , могут быть представлены в виде

нас не случайно и опирается на известные уравнения электродинамики по связи волновых процессов с токами и зарядами в виде [4]:

$$\nabla^2 \mathbf{H} - (\epsilon\mu / c^2)(\partial^2 / \partial t^2)\mathbf{H} = -\text{rot } \mathbf{j} \quad (32)$$

$$\nabla^2 \mathbf{E} - (\epsilon\mu / c^2)(\partial^2 / \partial t^2)\mathbf{E} = (1 / \epsilon_0 \epsilon) \text{grad } \rho - \mu_0 \mu \partial \mathbf{j} / \partial t \quad (33)$$

Эти уравнения не применимы для принятого ныне понятия вакуума как, например, уравнения из той же электродинамики (25). Это связано с тем, что искривление прохождения света в пространственно-временном искривлении (гравитационном поле) не получить из-за отсутствия зарядов и токов, т.е. нет градиента заряда и движения заряда со скоростью  $v$ . Но главная их суть в том, что уже до нас была сделана попытка описать возникновение волнового процесса на основе любого изменения с неизбежным наличием пространственно-временного искривления по СТО.

Если учесть известную формулу из магнито-статики:

$$\mathbf{j} = q\mathbf{v} = \pm \mathbf{v} = \text{rot } \mathbf{H}, \quad (34)$$

то мы видим, что формула (32) по виду аналогична уравнению (31), с той лишь разницей, что в качестве скорости выступает изменение от вектор-потенциала, который относится к противоположной системе наблюдения. И такая замена переменных правомочна, так как законы физики одинаковы для противоположностей в силу симметрии на основе закона сохранения количества (с учётом наших усовершенствованных уравнений такую замену можно сделать и для (33)). Таким образом, получается симметрия в преобразованиях вектор-потенциалов в электромагнитные составляющие, и

$$\mu_0 \epsilon_0 = 1/c^2; \mu_0 = 1/(cu_0) = 1/[c^2(1 - v_{\text{пр}}^2/c^2)^{1/2}]; \epsilon_0 = u_0/c = [(1 - v_{\text{пр}}^2/c^2)^{1/2}]. \quad (36)$$

Здесь  $v_{\text{пр}}$  – характеризует интегральную среднюю скорость (кинетическую энергию) в противоположной системе наблюдения. В силу того, что мы имеем в соответствии с преобразованиями Лоренца замкнутую систему на две глобальные Противоположности, с условием закона сохранения количества, то из этого следует равноправие и симметрия между этими двумя противоположностями с соблюдением одних и тех же законов физики. А иначе было бы чудо возникновения из нуля и исчезновение в ноль.

Можно было бы не рассматривать вектор-потенциалы как «реальность», но благодаря им были связаны волновые уравнения (13) со скоростью

$$\begin{aligned} Et - pr = 0; Et = pr; hft = pr = pct; \\ hf = pc; h/p = c/f; \lambda = cT = 2\pi\hbar/p. \end{aligned} \quad (37)$$

Далее учитываем, что по нашей теории  $h=m_0=1/c$ ; имеем:

$$\begin{aligned} h/p = c/f; m_0/p = c/f; m_0/(m_0v) = c/f; \\ 1/v = c/f; f = cv; hf = v. \end{aligned} \quad (38)$$

Иными словами, частота и скорость связана также как длина и время через скорость света, т.е. имеем выражение через пространственно-временное искривление, но в противоположности, которые в нашей системе наблюдения выражены через

наоборот. По сути, мы видим, что представление объектов зависит от системы наблюдения. Отсюда формулу (8) можно записать аналогично формуле (34), используя новую переменную  $v_{\text{пр}}$ , но исходя из того, что скорость движения  $v_{\text{пр}}$  (в соответствии с исключением парадокса между СТО и ОТО Эйнштейна) связана с противоположной системой наблюдения:

$$\mathbf{B} = \pm v_{\text{пр}} = \text{rot } \mathbf{A}. \quad (35)$$

Иными словами, магнитное поле в нашей системе наблюдения представляется в виде пространственно-временного искривления в противоположной системе наблюдения, а роль электромагнитного поля характеризуют уже вектор - потенциалы.

Сравнивая (16) и (31), и учитывая симметрию между противоположностями в соответствии с законом сохранения количества, мы видим, что значения констант электрической и магнитной проницаемостей в (16) фактически отражают интегральное значения скорости в противоположности, а по сути – кинетической энергии. Отсюда мы можем представить константы электрической и магнитной проницаемостей в соответствии с СТО и ОТО Эйнштейна в виде зависимости от интегральной скорости в противоположности, как это сделано нами в [18]:

движения объекта в противоположной и нашей системами наблюдения, через значения  $v$  и  $u_0$ , что, кстати, соответствовало гипотезе Луи де Бройля. То есть волны Луи де Бройля отражают через вектор - потенциалы формирование электромагнитных волн в противоположности за счёт движения со скоростью  $v$  (пространственно-временного искривления) в нашей системе наблюдения с учётом нормировки на движение  $u_0$  и в самой противоположности. При соблюдении условия термодинамического равновесия между противоположностями (иное означает чудо) член  $\pm v/u_0$  в (13) аналогичен аргументу  $hf/kT$  в формуле Планка. Действительно

стями, что не раз мы отмечали в ряде статей на страницах этого журнала. Так же еще раз отметим, что системы СИ и СГС дают парадоксы наличия «чёрных дыр» и «размазанность электрона» [19, 20], а отсюда чудеса в физике в виде соотношения неопределённостей Гейзенберга, вероятностных волновых функций, телепортации через потенциальный барьер и наличие различных вакуумов, которые, по сути, аналогичны теплоруду. Отметим, что в противном случае получить связь частоты волновых реальных процессов (а иначе мы бы не имели

подтверждения с практическими опытами) с массой в виде

$$hf = mc^2 = pc \quad (39)$$

было бы невозможно.

Далее, анализируя уравнения (27, 28) и (30–32), с учётом (35), мы в системе наблюдения электромагнитной волны при движении со скоростью света можем представить магнитное и электрическое поле в статике как:

$$\begin{aligned} iv_H &= ic\varepsilon_0 \mathbf{H} = ic^2\varepsilon_0 \mathbf{E} = \varepsilon_0 (ic \operatorname{grad} \Phi + \partial\Phi/\partial t) - \operatorname{rot} \mathbf{A}; \\ iv_E &= ic\mu_0 \mathbf{E} = ic/(u_0c) \mathbf{E} = \mu_0 (ic \operatorname{grad} \mathbf{A} + \partial\mathbf{A}/\partial t) + \operatorname{rot} \Phi. \end{aligned} \quad (40)$$

Здесь значения  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  в уравнениях (40) – это не величины, характеризующие волновые свойства в динамике изменения со скоростью света, а величины характеризующие пространственно-временное искривление, т.е. здесь осуществлён переход от

кинетической энергии к потенциальной по примеру связи в квантовой механике [12], с учётом  $r=ict$ . По сути, аналогичное представление сделано и в уравнениях Дирака:

$$\begin{aligned} (\partial\hbar/\partial t + im_0c^2)\Psi_1 + c(\partial\hbar/\partial x + i\partial\hbar/\partial y)\Psi_4 + (c\partial\hbar/\partial z)\Psi_3 &= 0; \\ (\partial\hbar/\partial t + im_0c^2)\Psi_2 + c(\partial\hbar/\partial x - i\partial\hbar/\partial y)\Psi_3 - (c\partial\hbar/\partial z)\Psi_4 &= 0; \\ (\partial\hbar/\partial t - im_0c^2)\Psi_3 + c(\partial\hbar/\partial x + i\partial\hbar/\partial y)\Psi_2 + (c\partial\hbar/\partial z)\Psi_1 &= 0; \\ (\partial\hbar/\partial t - im_0c^2)\Psi_4 + c(\partial\hbar/\partial x - i\partial\hbar/\partial y)\Psi_1 - (c\partial\hbar/\partial z)\Psi_2 &= 0. \end{aligned} \quad (41)$$

Учтем, что по нашей теории  $m_0=1/c$ , а отсюда  $im_0c^2\Psi = ic\Psi$ . Переход от уравнений (40) к уравнениям Дирака (41) связан с тем, что значения  $\mathbf{A}$  и  $\Phi$  расписываются по ортогональным координатам, например,  $\mathbf{A}$  представляется в виде волновых функций  $\Psi_1, \Psi_2$ , а  $\Phi$  – в виде  $\Psi_3, \Psi_4$ . Причём знаки сложения и вычитания зависят от системы наблюдения (а их четыре, по количеству проекций по пространству и времени), и такая зависимость была введена не нами, а на основании условий, налагаемых на вектор-потенциалы (17). Более подробно это показано нами в [21]. В нашем случае мы имеем переход от волновых свойств непосредственно к уравнению

Гамильтона-Якоби, а не к уравнениям Паули, как это было сделано у Дирака с наличием парадоксов. Переход от уравнений электронных и мюонных нейтрино (антинейтрино) к корпускулярным свойствам можно показать и иначе, используя аналогичный подход, который был использован для перехода к уравнению электромагнитной волны. Но вначале приведём необходимые соотношения, которые следуют из вышеприведённых равенств с заменой одних членов уравнения на их эквиваленты.

Исходя из уравнений (30, 31) мы можем представить уравнения в (40) в виде, подобном известным уравнениям электродинамики:

$$\begin{aligned} i\varepsilon_0c^2\mathbf{E} &= \varepsilon_0 ic \operatorname{grad} \Phi; \quad \varepsilon_0 \partial\Phi/\partial t = \operatorname{rot} \mathbf{A}; \\ i\mu_0c\mathbf{E} &= \mu_0 ic \operatorname{grad} \mathbf{A}; \quad \mu_0 \partial\mathbf{A}/\partial t = -\operatorname{rot} \Phi. \end{aligned} \quad (42)$$

Суть данных равенств в (40) основана на том, что, например, по (8) значение  $\mathbf{V}$  однозначно связано с ротором вектор-потенциала  $\mathbf{A}$ , и мы можем иметь равенство через новую переменную  $\varepsilon_0 \partial\Phi/\partial t = v_a = j = \operatorname{rot} \mathbf{A}$ . Далее можно представить и выражение  $i\mu_0c\mathbf{E} = \mu_0 ic \operatorname{grad} \mathbf{A}$  в виде

$\mathbf{E} = \operatorname{grad} \mathbf{A} = \nabla(c\mathbf{A}) = \partial\Phi/\partial t$ , что близко по аналогии к закону электромагнитной индукции Фарадея. Иными словами, выражения в (42) имеют практическую интерпретацию. Теперь вспомним условия по (17). При преобразовании к общим переменным, с учётом  $r=ct$  и  $\Phi=c\mathbf{A}$ , имеем:

$$\mathbf{E} = -\nabla(c\mathbf{A}) - \partial\mathbf{A}/\partial t = -2\partial\mathbf{A}/\partial t. \quad (43)$$

Понятно, что здесь удвоение – это результат того, что имеется условие калибровки Лоренца, в противном случае отсутствовал бы закон сохранения количества. Обратим также внимание, что после перехода к волновым уравнениям от усовершенствованных уравнений Максвелла у нас  $\mathbf{A}$  и  $\Phi$  поменялись местами и  $\mathbf{A}$  перешло в  $\Phi$ , а  $\Phi$  перешло в  $\mathbf{A}$ . Поэтому мы вернёмся к значениям  $\mathbf{A}$  и  $\Phi$  что

были до преобразований, при этом  $\mathbf{A}$  мы представим в виде  $\Phi^*$ , а  $\Phi$  в виде  $\mathbf{A}^*$ , в этом случае константа электрической проницаемости будет связана с эквивалентом электрического поля в виде  $\mathbf{A}^*$ , а магнитная проницаемость будет связана с эквивалентом магнитного поля в виде  $\Phi^*$ .

Отсюда, исходя из того, что представление объекта зависит от системы наблюдения, мы можем сделать запись, аналогичную (42), в виде:

$$\begin{aligned} i\epsilon_0\mathbf{H} &= i\mu_0c\mathbf{E} = \epsilon_0 ic \operatorname{grad} \mathbf{A}^*; \epsilon_0\partial\mathbf{A}^*/\partial t = \operatorname{rot} \Phi^*; \\ i\epsilon_0\mathbf{E} &= i\mu_0\mathbf{E} = \mu_0\partial\Phi^*/\partial t; \mu_0 ic \operatorname{grad} \Phi^* = -\operatorname{rot} \mathbf{A}^*. \end{aligned} \quad (44)$$

Далее выполним действия аналогичные тем, которые были проведены с уравнениями электродинамики при рассмотрении скин-эффекта [22] для получения корпускулярных свойств. Однако, при этом мы исключим парадокс, связанный с тем, что значение плотности заряда  $\rho$  принимается равным

$$\begin{aligned} i\epsilon_0c\mathbf{E} &= \epsilon_0 ic \operatorname{grad} \mathbf{A}^*; \epsilon_0\partial\mathbf{A}^*/\partial t = \operatorname{rot} \Phi^*; \\ i\epsilon_0\mathbf{E} &= \mu_0\partial\Phi^*/\partial t; \mu_0 ic \operatorname{grad} \partial\Phi^*/\partial t = -\operatorname{rot} \partial\mathbf{A}^*/\partial t. \end{aligned} \quad (45)$$

Далее, с учётом второго уравнения в (45) и уравнения  $\Phi^*=c\mathbf{A}^*$ , получим:

$$\begin{aligned} \epsilon_0\mu_0 ic \operatorname{grad} \partial\Phi^*/\partial t &= -\operatorname{rot} \operatorname{rot} \Phi^*; \\ \epsilon_0\mu_0 ic \operatorname{grad} \partial\Phi^*/\partial t &= \nabla^2\Phi^* - \operatorname{grad} \operatorname{div} \Phi^*; \\ i \operatorname{grad} \partial\Phi^*/\partial(ct) + \operatorname{grad} \operatorname{div} \Phi^* &= \nabla^2\Phi^*; \\ \operatorname{grad}[i\partial\Phi^*/\partial(ct) + \operatorname{div} \Phi^*] &= \nabla^2\Phi^*; \\ \operatorname{grad}[i\partial\mathbf{A}^*/\partial t + \operatorname{div} \Phi^*] &= \nabla^2\Phi^*. \end{aligned} \quad (46)$$

По сути, величина  $i\partial\mathbf{A}^*/\partial t + \operatorname{div} \Phi^*$  соответствует уравнению непрерывности, где величина  $\mathbf{A}^*$  отражает плотность вероятности так называемого заряда  $\rho$ , а значение  $\Phi^*=c\mathbf{A}^*$  имеет аналог значения плотности тока  $j$ .

Отсюда с учетом  $i\mathbf{E} = \partial\Phi^*/\partial(ct)$ , и при использовании для вектор-потенциалов условия из

$$\begin{aligned} \operatorname{grad}[i\partial\Phi^*/\partial(ct) + \operatorname{div} \Phi^*] &= \nabla^2\Phi^*; \\ -\operatorname{grad}[2\mathbf{E}] &= \nabla^2\Phi^*. \end{aligned} \quad (47)$$

Далее, ориентируясь на реальное разложение по координатам, и с учётом, что по нашей теории  $m_0=1/c$ , а также сменой системы наблюдения (так

$$-\operatorname{grad}[2\mathbf{E}] = \nabla^2\Phi^*; \quad -\partial\mathbf{E}/\partial t = 1/(2m_0)\nabla^2\Phi^*; \quad -\partial\Phi^*/\partial t = 1/(2m_0)\nabla^2\Phi^*. \quad (48)$$

Здесь мы учитываем замкнутость системы Мироздания на противоположности с равным количественным преобразованием противоположностей, отсюда  $E=\Phi^*$ , так как при отсутствии распада частицы количественные преобразования осуществляются по замкнутому циклу, и мы получаем уравнение, аналогичное уравнению Гамильтона-Якоби [23]. Иными словами, волновые процессы в одной противоположности означают корпускулярное движение частицы в другой противоположности, что и требовалось доказать. То, что мы показали (переход от волновых свойств к корпускулярным свойствам), пытались сделать и в квантовой механике на основе системы уравнений Дирака методом подстановки функций. Какие при этом были допущены парадоксы, мы подробно показали в [21].

$$-\partial B_z/\partial t + ic\partial B_t/\partial z = \partial E_y/\partial x - \partial E_x/\partial y; \quad i = \sqrt{-1}. \quad (49)$$

Далее сведём левую часть к зависимости от дифференциала одной переменной с учётом того, что значение дифференциала  $\partial z$  в соответствии с

нулю  $\operatorname{div}\mathbf{E} = 0$ . И вместе с тем, используется уравнение вида  $\operatorname{rot} \mathbf{H}/\partial t = 4\pi/c\sigma \mathbf{E}$ , ток в котором напрямую связан с наличием заряда. Соответственно продифференцируем четвёртое уравнение в (44) по времени:

квантовой механики [12]  $t=ict$  (что в принципе соответствует смене системы наблюдения), имеем представление со сложением величин  $i\partial\Phi^*/\partial(ct) + \operatorname{div} \Phi^* = -\mathbf{E} + \operatorname{div} \Phi^* = -2\mathbf{E}$ .

Другими словами, противоположности в одной системе наблюдения выступают как единое целое в другой системе наблюдения. В итоге получаем:

как от длины опять переходим ко времени), мы можем (47) представить в виде:

Таким образом, мы видим, что усовершенствованные уравнения Максвелла, представленные нами как уравнения для электронных и мюонных нейтрино (антинейтрино), обеспечивают переход к волновому виду фотонов, а также к уравнению Гамильтона-Якоби для частиц, т.е. к корпускулярному виду при замкнутом цикле обмена.

Учитывая, что минимальный объект, который характеризует силовое воздействие, выражается через усовершенствованное уравнение Максвелла, нами в [24] был показан вывод полной силы Лоренца на основе усовершенствованного уравнения Максвелла. Действительно, усовершенствованное дифференциальное уравнение Максвелла в проекциях по координатам и времени выглядит так:

[12] можно представить как  $\partial z = ic\partial t$ . По сути, в квантовую механику интуитивно ввели закон связи

противоположностей в виде  $|1| = |i|$ , который исключает появление арифметического нуля в Мироздании, т.е. обнуление величин из-за того, что изменение одной величины означает автоматический переход в противоположность с присвоением атрибута принадлежности. При этом надо отметить, что в физике в отличие от математики такой операции как возведение в квадрат нет, так как изменения всегда связаны с переходом в противоположность. Отсюда единица будет переходить в мнимую единицу, а мнимая единица – в минус единицу. Иными словами, это означает, что интегрирование и дифференцирование характеризуют переход в противоположность с умножением на мнимую единицу. По-другому говоря, при рассмотрении взаимодействия между противоположностями в математике

$$-\partial B_z / \partial t + \partial B_t / \partial t = \partial E_y / \partial x - \partial E_x / \partial y. \quad (50)$$

Дифференциалы на практике можно заменить приращениями  $\Delta$ , так как бесконечно малых величин в Мироздании нет, тогда перепишем:

$$-\Delta B_z / \Delta t + \Delta B_t / \Delta t = \Delta E_y / \Delta x - \Delta E_x / \Delta y. \quad (51)$$

Далее, по правилам математики, умножим члены уравнения на  $\Delta x$ , и получим

$$-\Delta B_z \Delta x / \Delta t + \Delta B_t \Delta x / \Delta t = \Delta E_y - \Delta E_x \Delta x / \Delta y. \quad (52)$$

Если считать, что  $\Delta x / \Delta t = v_x$ , а  $\Delta x / \Delta y = 1$ ,  $q = \pm 1$ , будем иметь уравнение полной силы Лоренца:

$$-q \Delta B_z v_x + q v_x \Delta B_t = q \Delta E_y - q \Delta E_x. \quad (53)$$

Здесь противодействие величине изменения движения по координате  $x$ , под действием силы  $q \Delta E_x$  оказывается величиной  $-q \Delta B_z v_x$ , и это выражается через наличие силы  $q \Delta E_y$ , которая в свою очередь компенсируется наличием силы от величины  $q v_x \Delta B_t$ . Поэтому напряжённости электромагнитных полей характеризуют все возможные силовые воздействия в силу того, что обмен происходит именно через них и это, кстати, и попытался отобразить Фейнман через лоренцевы преобразования электромагнитных полей [25]. Однако, он не учёл наличие общего пространственно-вре-

мени и электромагнитного континуума, который получается при учёте проекции электрических и магнитных полей на время. Отсутствие этого понимания отразилось и в интерпретации электромагнитных полей на рис. 1 и рис. 2. Действительно, на рис. 1 вектора электрических и магнитных полей имеют незамкнутый вид, а это означает, что есть начало и конец у вектора, что в свою очередь подразумевает точку «рождения» (излучения) и точку «смерти» (поглощения) в пространстве. Отсюда следует обмен электромагнитных составляющих с пространственно-временным континуумом. Эту проблему отсутствия замкнутости силовых электромагнитных линий попытались решить с помощью графической интерпретации по рис. 2.

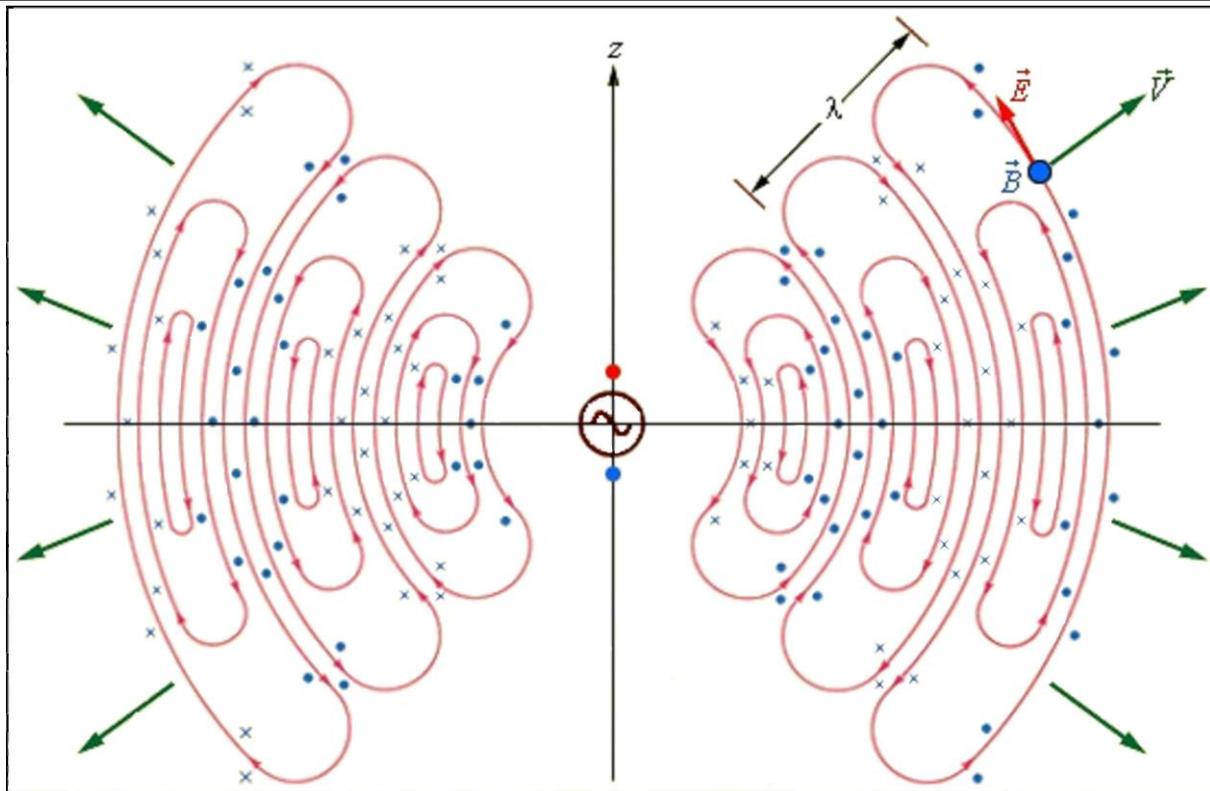


Рис. 2. Излучение электромагнитной волны

Здесь в данном случае электрические силовые линии одной напряжённости представлены в замкнутом виде. Магнитные силовые линии (которые тоже замкнуты) представлены перпендикулярно к плоскости электрических силовых линий в виде крестиков (силовая магнитная линия сверху вниз, уходящая в плоскость распространения электрических силовых линий) и в виде жирных точек (силовая магнитная линия снизу вверх, входящая в плоскость распространения электрических силовых линий). Здесь мы имеем парадокс, связанный с тем, что при рассмотрении направления магнитных силовых линий по направлению движения силовой электрической линии по контуру причины смены направления замкнутых магнитных силовых линий нет. Она может быть только за счёт уменьшения амплитуды напряжённости магнитного поля с соответствующим уменьшением напряжённости электрического поля. Соответственно это противоречит

условию замкнутости силовых электрических и магнитных линий из-за изменения напряжённости полей. Кроме того, мы получаем, что напряжённости электрических и магнитных полей по направлению движения со скоростью света существуют, а это равносильно существованию ускорения по направлению движения и была бы возможна неограниченная скорость движения, т.е. имеем ещё один парадокс.

Понятно, что указанные парадоксы получают и для фотона, так как фотон представляется электромагнитной волной высокой частоты в виде одного периода шарообразной формы.

При этом мы знаем из практики, что изменение амплитуд  $E$  и  $H$  (в зависимости от направления движения излучаемой электромагнитной волны) наблюдается в антеннах, что показано на рис. 3.

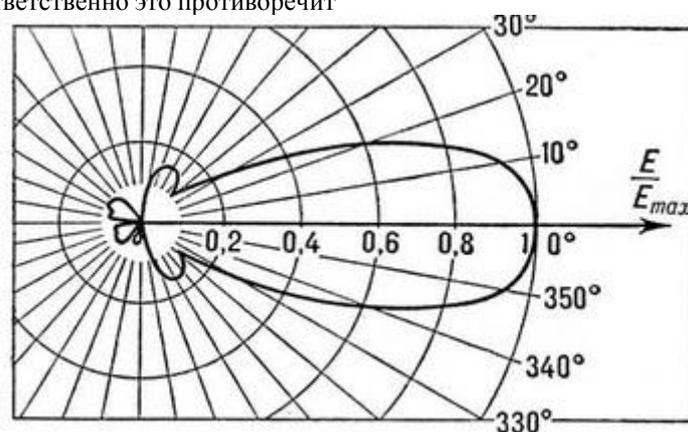


Рис. 3. Излучение электромагнитного поля антенной

Отсюда следует вывод, что для исключения парадокса, связанного с разрывом из-за смены направления в местах, где силовые линии электрических и магнитных полей направлены по направлению движения объекта со скоростью света, необходимо иметь обмен электромагнитных составляющих с пространственно-временным континуумом. Это как раз и означает, что не бывает полностью волновых объектов. Соответственно не бывает объектов и полностью корпускулярных из-за разрывов по СТО и ОТО Эйнштейна. И связь через разрывы решается через электромагнитный обмен. Иными словами, любой объект представляется в корпускулярно-волновом виде.

Собственно, мы показали, что распад по уравнениям (1) в случае усовершенствования уравнений Максвелла имеет логическое обоснование.

Понятно, что уравнение Гамильтона-Якоби (48) не отражает корпускулярно-волновой вид, как например, и волновое уравнение (2), т.е. не учитывает динамику обмена. Кроме того, мы имеем полностью замкнутый вид, который соответствует движению частицы без взаимодействия (т.е. мы имеем закон сохранения энергии, аналогичный уравнению энергии Эйнштейна; такие объекты без наличия обмена попросту невозможно обнаружить). Показанный нами замкнутый обмен позволил совместить уравнение Шредингера при применении

$$-\partial G / \partial t = 1 / (2m_0)(\nabla G)^2 - i / (2m_0)\nabla^2 G. \quad (57)$$

В квантовой механике значение  $i / (2m_0)\nabla^2 G$  отражает дополнительную потенциальную энергию [27]. При этом, так как мы имеем дело с волновыми свойствами самого объекта в замкнутом виде, то коэффициент  $1/2$  относится к магнитному потенциальному полю воздействия, замкнутого на частицу. С учётом  $m_0=1/c$  мы имеем равенство  $i / (2m_0)\nabla^2 G = ic / 2\nabla^2 \mathbf{A} = i / 2\nabla^2 \Phi$ . Фактически при соответствующей нормировке мы имеем аналог известному уравнению Пуассона, которое по-

$$-\partial G / \partial t - 1 / (2m_0)(\nabla G)^2 = -i / (2m_0)\nabla^2 G = 1 / 2\nabla^2 \Phi = U = \pm 1 / (2\varepsilon_0) = \pm c / (2u_0). \quad (58)$$

Если теперь учесть, что  $\varepsilon_0 = u_0 / c = [(1 - v_{пр}^2 / c^2)^{1/2}]$ , то мы получаем, что силовое воздействие потенциального поля  $U$  будет определяться пространственно-временным распределением  $v_{пр}$ , связанным с интегральной средней кинетической энергией движения в противоположности. Отметим, что не мы являемся первооткрывателями представления члена  $i / (2m_0)\nabla^2 G$  в качестве потенциальной энергии –

$$i[\partial \mathbf{A} / \partial t + 1 / (2m_0)(\nabla \mathbf{A})^2] = 1 / 2 [1 / c^2 \partial^2 \Phi / \partial t^2 - \nabla^2 \Phi] = q / (2\varepsilon_0) = \pm c / (2u_0). \quad (60)$$

Нами снова показано, что волновые процессы в одной противоположности представляются корпускулярным движением в другой противоположности. Другими словами – это фактически отобра-

волновой функции [26] с уравнением Гамильтона-Якоби. И здесь волновые изменения (в этом случае) привязаны к корпускулярным свойствам, так как распада нет, и это означает равное количественное взаимопревращение. Поэтому перейдём к учёту динамики обмена между противоположностями за счёт изменения аргумента функции аналогично, как это было сделано для уравнения Шредингера, например, для функции:

$$\Phi(\mathbf{r}, t) = A \exp[iG(\mathbf{r}, t)]. \quad (54)$$

Здесь мы получаем уравнение, аналогичное уравнению Шредингера, но без нормировки на постоянную Планка  $h$

$$i\partial \Phi / \partial t = 1 / (2m_0)\nabla^2 \Phi. \quad (55)$$

Иными словами, волновые процессы в одной противоположности означают корпускулярное движение в другой противоположности, что очередной раз доказано и наглядно показано нами.

Далее с учётом изменения аргумента волновой функции, получим равенства:

$$\begin{aligned} \nabla \Phi &= i(\nabla G)\Phi; \\ \nabla^2 \Phi &= -1(\nabla G)^2 \Phi + i(\nabla^2 G)\Phi; \\ \partial \Phi / \partial t &= i(\partial G / \partial t)\Phi. \end{aligned} \quad (56)$$

На основании уравнений (56) уравнение (55) преобразовано с учётом сокращения на функцию  $\Phi$  и получено уравнение:

лучается из нижнего уравнения (14), если нет изменения по времени:

$$\nabla^2 \Phi = \pm q / \varepsilon_0 = \pm 1 / \varepsilon_0. \quad (58)$$

Далее, если рассматривать величины  $\Phi$  и  $G$  как противоположности (а иное не допустимо, в силу того, что все физические величины обязаны быть выражены через пространство и время, так как в противном случае возникает их независимость от нашего Мироздания), то мы имеем аналогичную связь через скорость света  $\Phi=c\mathbf{A}=icG$ , с учётом  $r=ict$ . Отсюда имеем:

это было сделано и в квантовой механике в приближённом методе Вентцеля-Крамерса-Бриллюэна (метод ВКБ) [27] в качестве дополнительной потенциальной энергии. Это говорит о том, что никакого свободного движения (изменения) без взаимодействия противоположностей просто быть не может, так как движение в одной противоположности представляется силовым воздействием потенциального поля в другой противоположности. Далее учтём, что  $\Phi=c\mathbf{A}=icG$  и при сравнении уравнений (16) и (59), имеем вид:

жение формулы Луи де Бройля, при котором движение в одной противоположности приводит к волновому процессу определённой частоты. Сказанное определяет наличие потенциального поля взаимо-

действия через излучение или поглощение. Учитывая симметрию уравнений между вектор-потенциалами (16) и электромагнитными составляющими по

$$\begin{aligned}
 i[\partial\mathbf{A}/\partial t + 1/(2m_0)(\nabla\mathbf{A})^2] &= 1/2 (1/c^2 \partial^2\Phi/\partial t^2 - \nabla^2\Phi) = \\
 &= 1/2 (\partial\mathbf{E}/\partial t - ic\nabla\mathbf{E} - 1/\varepsilon_0 \text{rot}\mathbf{H}); \\
 i[\partial\mathbf{A}/\partial t + 1/(2m_0)(\nabla\mathbf{A})^2] &= 1/2 (\partial\mathbf{E}/\partial t - ic\nabla\mathbf{E} - 1/\varepsilon_0 \text{rot}\mathbf{H}); \\
 i[\partial\Phi/\partial t + 1/(2m_0)(\nabla\Phi)^2] &= 1/2 (1/c^2 \partial^2\mathbf{A}/\partial t^2 - \nabla^2\mathbf{A}) = \\
 &= 1/2 (\partial\mathbf{H}/\partial t - ic\nabla\mathbf{H} + 1/\mu_0 \text{rot}\mathbf{E}); \\
 i[\partial\Phi/\partial t + 1/(2m_0)(\nabla\Phi)^2] &= 1/2 (\partial\mathbf{H}/\partial t - ic\nabla\mathbf{H} + 1/\mu_0 \text{rot}\mathbf{E}).
 \end{aligned} \tag{61}$$

Здесь второе и четвертое уравнения в (61) говорят о том, что всякое корпускулярное движение так называемых заряженных частиц (а это и есть противоположности, выраженные через  $\mathbf{A}$  и  $\Phi$ ) приводят к изменению электромагнитных полей, а так как проекцию на время мы не наблюдаем (если конечно не учитывать сторонние или фиктивные токи), то на практике это выразилось через классические уравнения Максвелла, например, в виде  $\text{rot}\mathbf{H} = \partial\mathbf{D}/\partial t$  и  $\text{rot}\mathbf{E} = -\partial\mathbf{B}/\partial t$ . Понятно, что в данном случае не рассматриваются движущиеся объекты с так называемыми нейтральными зарядами, так как нейтральность обеспечивается на основе взаимодействия (обмен через поглощение или излучение) в динамике движения противоположных зарядов (противоположностей). Из (61) становится ясно, что формирование электромагнитных волн (фотонов) основано на взаимодействии электронных нейтрино (антинейтрино) и мюонных нейтрино (антинейтрино), которые в противоположной системе наблюдения дают корпускулярное движение противоположных частиц (зарядов). Собственно сам принцип взаимодействия, как для определения корпускулярного движения, так и для электромагнитной волны основан на подстановке одних уравнений в другие, что и определяет харак-

(17), так как иное противоречит закону сохранения количества между противоположностями, мы можем записать:

теристики движения объектов. При этом сами объекты, излучаемые для взаимодействия и обмена противоположными частицами (зарядами) представляют собой электронные и мюонные нейтрино (антинейтрино). Это самые простые корпускулярно-волновые объекты, описываемые в двух глобальных Противоположностях с соблюдением закона сохранения количества. Уравнения (61) показывают, что представление объекта зависит от системы наблюдения. Поэтому один и тот же объект может интерпретироваться по-разному, в зависимости от системы наблюдения. Здесь надо отметить, что между противоположностями (зарядами) всегда есть взаимный обмен через электронные и мюонные нейтрино (антинейтрино), иначе их невозможно обнаружить в Мироздании из-за полной замкнутости. В этом случае равновесие наблюдается только через непрерывный обмен, что подразумевает учет динамики происходящих непрерывных процессов. Так же отметим, что изменение состояния через силовое воздействие может сопровождаться только с добавлением или исключением усовершенствованных уравнений Максвелла, характеризующих электронные и мюонные нейтрино (антинейтрино). Понятно, что при условии равновесия в динамике мы имеем уравнения вида:

$$\begin{aligned}
 i[\partial\mathbf{A}/\partial t + 1/(2m_0)(\nabla\mathbf{A})^2] &= 0; \quad 1/2 (\partial\mathbf{E}/\partial t - ic\nabla\mathbf{E} - 1/\varepsilon_0 \text{rot}\mathbf{H}) = 0; \\
 i[\partial\Phi/\partial t + 1/(2m_0)(\nabla\Phi)^2] &= 0; \quad 1/2 (\partial\mathbf{H}/\partial t - ic\nabla\mathbf{H} + 1/\mu_0 \text{rot}\mathbf{E}) = 0.
 \end{aligned} \tag{62}$$

Анализируя преобразование волновых свойств в корпускулярные и наоборот, мы должны признать существование как минимум двух противоположных систем наблюдения, где волновые и корпускулярные свойства меняются местами. Однако, учитывая наличие связей вида  $r=ct$ ,  $\mathbf{H}=c\mathbf{E}$ ,  $\Phi=c\mathbf{A}$  и  $f=cv$ , мы видим, что полная картина взаимодействия выражается как минимум через четыре системы наблюдения, что фактически и отражено в системе уравнений Дирака в соответствии с количеством используемых функций и уравнений с соответствующим сложением и вычитанием. Это означает, что представление объектов зависит от

системы наблюдения в иерархии Мироздания, в которой важную роль играет обратно-пропорциональная связь между противоположностями, так как максимальный объект в одной противоположности выглядит минимальным в другой противоположности. Иное бы означало, отсутствие взаимодействия, и такое свойство как усиление-ослабление в принципе бы не существовало.

Теперь соответственно дадим обоснование разнице масс между протоном и электроном исходя из следующих соображений. Уравнение (60) можно представить в виде:

$$\begin{aligned}
 i[\partial\mathbf{A}/\partial t + 1/(2m_0)(\nabla\mathbf{A})^2] &= \pm c/(2u_0) = \pm 1/(2m_0u_0); \\
 im_0u_0[\partial\mathbf{A}/\partial t + 1/(2m_0)(\nabla\mathbf{A})^2] &= im[\partial\mathbf{A}/\partial t + 1/(2m_0)(\nabla\mathbf{A})^2] = \pm 1/2.
 \end{aligned} \tag{63}$$

Иными словами, мы имеем обратно-пропорциональную связь между потенциальной энергией, выраженной через массу  $m$  и кинетической энергией, которая характеризуется уравнением Гамильтона-Якоби. Здесь значение  $u_0$  характеризует изменение массы. Видно, что глобальные Противоположности находятся в устойчивом термодинамическом равновесии в соответствии с формулой Планка для средней энергии [28]:

$$\langle \varepsilon_s \rangle = \hbar\omega / [\exp(\hbar\omega / kT) - 1]. \quad (64)$$

В противном случае была бы ультрафиолетовая катастрофа. Аналогичный вид мы получили исходя из динамики взаимодействия по замкнутому циклу для двух глобальных Противоположностей в

$$m_p / m_0 = 4,965 / u_0 = 4,965(\mu_0 / \varepsilon_0)^{1/2} = 4,965 \cdot 120\pi = 1871,76. \quad (66)$$

Отметим, что это соответствует практическим измерениям (1836). Разница связана с тем, что получить чистый вакуум (здесь мы придерживаемся того, что принято в физике, хотя и писали не раз о парадоксах такого принятия общего пространственно-временного континуума) в условиях любого эксперимента не представляется возможным, так как вносится погрешность от влияния измерительной техники и самой среды измерения. Следовательно, наличие протона объясняется условием термодинамического равновесия с учетом, что частицы с большей или меньшей массой подвержены распаду; в частности, это показано нами в (1).

В итоге мы видим, что через усовершенствованные уравнения Максвелла может выражаться весь состав элементарных частиц Мироздания. Собственно и распад всех объектов Мироздания в соответствии с идеей Ломоносова происходит именно на приведённые выше элементарные объекты. Таким образом, уже существующий математический аппарат на основе известных уравнений позволяет объяснить логику преобразования одних элементов в другие. И в эту систему никак не вписываются виртуальные фотоны, гравитоны, кварки, глюоны, а также бозоны Хиггса, так как у них нет даже непротиворечивого математического описания.

### Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 3. – М.: Наука, 1979. – С. 277.
2. Терлецкий Я.П., Рыбаков Ю.П. Электродинамика. – М.: Высш.шк., 1980. – С. 108.
3. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. Квантовая механика. – М.: Наука, 1979. – С. 355.
4. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Наука, 1989. – С. 116.
5. Терлецкий Я.П., Рыбаков Ю.П. Электродинамика. – М.: Высш.шк., 1980. – С. 44.
6. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Наука, 1989. С. 118.
7. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. Квантовая механика. – М.: Наука, 1979. – С. 350.

[29]. При этом наблюдается пик энергетического спектра на определённой частоте в соответствии с формулой

$$\lambda_m = hc / (4,965); \quad (65)$$

$$kT / (\hbar f_m) = 1 / 4,965.$$

Отсюда, если считать, что  $1/u_0$  отражает потенциальную энергию, соответствующую средней величине энергетического спектра, то величина  $4,965/u_0$  отражает максимум энергетического спектра, соответствующего равновесию. В итоге мы получаем соотношение между массой протона  $m_p$  и электрона  $m_0$  через волновое сопротивление среды в виде

8. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике т. 6: Электродинамика. – С. 165.

9. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. Квантовая механика. – М.: Наука, 1979. – С. 300.

10. Терлецкий Я.П., Рыбаков Ю.П. Электродинамика. – М.: Высш.шк. 1980. – С. 226. 11. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике т. 6: Электродинамика. – С. 271.

12. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. Квантовая механика. – М.: Наука, 1979. – С. 317.

13. Рысин А.В. Революция в физике на основе исключения парадоксов / А.В. Рысин, О.В. Рысин, В.Н. Бойкачев, И.К. Никифоров. М.: Техносфера, 2016. 291 с.

14. Рысин А.В., Рысин О.В., Бойкачев В.Н., Никифоров И.К. Уравнения Максвелла, как результат отражения преобразований Лоренца-Минковского в противоположности // Науч. журнал "Sciences of Europe" (Praha, Czech Republic) / 2016/ – № 8 (8), vol. 1 – p. 104-113.

15. Рысин А.В., Рысин О.В., Бойкачев В.Н., Никифоров И.К. Парадокс закона Снеллиуса и обоснование нового явления в физике // Науч. журнал "Sciences of Europe" (Praha, Czech Republic) / 2018/ – № 30 (2018), vol. 1, p. 56-65.

16. Марков Г.Т., Петров Б.М., Грудинская Г.П. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Советское радио, 1979. – С. 40.

17. Рысин А.В., Рысин О.В., Бойкачев В.Н., Никифоров И.К. Парадоксы эффекта Комптона с точки зрения классической электродинамики и квантовой механики // Науч. журнал "Sciences of Europe" (Praha, Czech Republic) / 2019/ – № 36 (2019) vol. 1, p. 19-31.

18. Рысин А.В., Рысин О.В., Бойкачев В.Н., Никифоров И.К. Вывод соотношения масс протона и электрона на основе логики мироздания и термодинамического равновесия // Науч. журнал "Sciences of Europe" (Praha, Czech Republic) / 2017/ – № 19 (19), vol. 1 – p. 41-47.

19. Рысин А.В., Рысин О.В., Бойкачев В.Н., Никифоров И.К. Парадоксы чёрной дыры и кварков // Науч. журнал "Sciences of Europe" (Praha, Czech Republic) / 2017/ – № 18 (18), vol. 1 – p. 54-61.

20. Рысин А.В., Рысин О.В., Бойкачев В.Н., Никифоров И.К. Парадокс электромагнитного вакуума в описании лембовского сдвига уровней // Науч. журнал " Sciences of Europe" (Praha, Czech Republic) / 2019/ – № 41 (2019) vol. 2, p. 54-70.

21. Рысин А.В., Рысин О.В., Бойкачев В.Н., Никифоров И.К. Парадокс современной концепции изменения Вселенной и распада элементарных частиц // Науч. журнал " Sciences of Europe" (Praha, Czech Republic) / 2019/ – № 37 (2019) vol. 1, p. 21-39.

22. Терлецкий Я.П., Рыбаков Ю.П. Электродинамика. – М.: Высш.шк. 1980. – С. 153.

23. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. Квантовая механика. – М.: Наука, 1979. – С. 29.

24. Рысин А.В., Рысин О.В., Бойкачев В.Н., Никифоров И.К. Парадоксы гипотезы "Большого взрыва" и инфляционных теорий, связь всех сил

Мироздания // Науч. журнал " Sciences of Europe" (Praha, Czech Republic) / 2019/ – № 39 (2019) vol. 1, p. 11-27.

25. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике т. 6: Электродинамика. – С. 277.

26. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. Квантовая механика. – М.: Наука, 1979. – С. 30.

27. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. Квантовая механика. – М.: Наука, 1979. – С. 60.

28. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 3. – М.: Наука, 1979. – С. 28.

29. Рысин А.В., Рысин О.В., Бойкачев В.Н., Никифоров И.К. Парадоксы вычисления боровских орбит в квантовой механике на основе системы измерения СИ // Науч. журнал " Sciences of Europe" (Praha, Czech Republic) / 2019/ – № 42 (2019) vol. 2, p. 50-58.

## МНОГОМЕТОДНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

*Тятюшкин А.И.*

*доктор техн. наук, профессор*

*Институт динамики систем и теории управления СО РАН  
г. Иркутск*

## MULTI-METHOD OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR CALCULATION OF OPTIMUM CONTROL

*Tyatyushkin A.*

*doctor tech. sciences, professor*

*Institute of System Dynamics and Control Theory SB RAS, Irkutsk  
DOI: [10.24412/3162-2364-2021-62-1-22-29](https://doi.org/10.24412/3162-2364-2021-62-1-22-29)*

### АННОТАЦИЯ

Рассматривается задача оптимального управления с фазовыми ограничениями, содержащая управляющие параметры как в правых частях управляемой системы, так и в начальных условиях. Для решения этой сложной задачи предлагается сначала редукция к задаче математического программирования, а затем для поиска оптимальных значений параметров и управляющих функций - применение многометодного алгоритма, состоящего из методов линеаризации, метода приведенного градиента и метода спроектированного лагранжиана. Работоспособность предложенных алгоритмов показана на численном решении практических задач.

### ABSTRACT

An optimal control problem with phase constraints is considered, which contains control parameters both in the right-hand sides of the controlled system and in the initial conditions. To solve this complex problem, first a reduction to a mathematical programming problem is proposed, and then, to find the optimal values of parameters and control functions, a multi-method algorithm is used, consisting of linearization methods, the reduced gradient method, and the projected Lagrangian method. The efficiency of the proposed algorithms is shown in the numerical solution of practical problems.

**Ключевые слова:** численные методы, задача оптимального управления с параметрами, метод приведенного градиента, модифицированная функция Лагранжа, многометодная оптимизация.

**Keywords:** numerical methods, optimal control problem with parameters, reduced gradient method, modified Lagrange function, multi-method optimization.

### 1. ВВЕДЕНИЕ.

Задачам оптимального управления с параметрами и с ограничениями на управление и фазовые координаты посвящено много как теоретических работ, так и численных методов с программным обеспечением ([1]-[19]). В силу высокой сложности этого класса оптимизационных задач для поиска их

численного решения нередко применяется не один, а несколько численных методов одновременно.

Многометодная технология решения задач оптимального управления заключается в параллельном использовании сразу несколько итерационных методов оптимизации для поиска решения одной и той же задачи. Основной проблемой применения

многометодной технологии при численном решении задач оптимального управления является выбор метода для эффективного продолжения процесса оптимизации с того момента, когда ухудшилась сходимость текущего метода. Современные операционные системы позволяют обеспечить решение задачи путем организации параллельных вычислительных потоков для одновременного проведения расчетов несколькими методами. В каждом таком потоке можно реализовывать итерационный процесс одного из методов оптимизации и решение одной задачи вести несколькими методами одновременно. На многопроцессорных компьютерах для реализации каждого метода удобнее использовать отдельный процессор. После нахождения очередного приближения все методы оцениваются, например, по полученному приращению функционала, и из них выбирается наиболее эффективный метод для продолжения оптимизации, а полученное этим методом приближение передается остальным

методам в качестве начального для выполнения следующей итерации.

Продолжая итерационный процесс до получения приближения, на котором с заданной точностью будет выполнен критерий оптимальности, найдем приближенное решение задачи. При этом решение будет найдено многометодным алгоритмом, состоящим из последовательности шагов разных методов, подключаемых к процессу оптимизации с целью ускорения его сходимости. Например, в случае параллельного использования трех методов (см. рис. 1) лучшее приближение будет определяться по максимуму приращения функционала, полученного на данной итерации каждым из трех методов:

$u_{i_0} = \arg \max_{i \in \{1,2,3\}} (I(u_i^k) - I(u_i^{k-1}))$ . Затем это приближение передается всем трем методам для выполнения следующей итерации:  $u_i^{k+1} = u_{i_0}, i = 1,2,3$ .

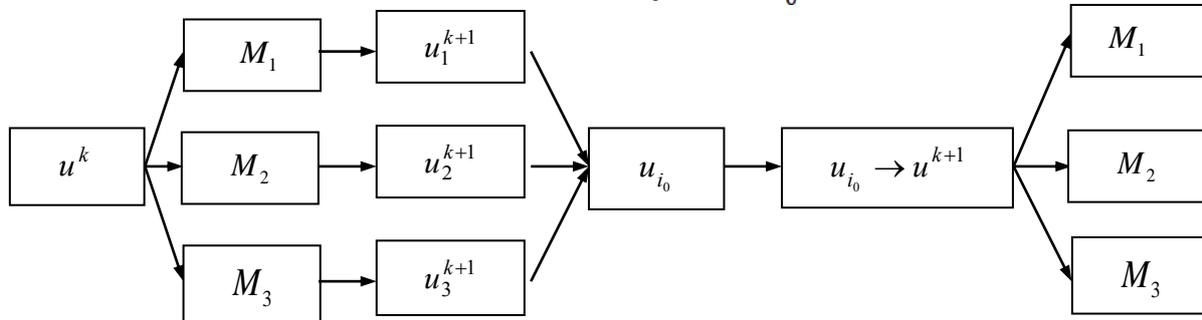


Рис.1. Схема выполнения  $k + 1$ -й итерации многометодным алгоритмом для группы из трех методов:  $M_1, M_2, M_3$

## 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ С ПАРАМЕТРАМИ

При построении математической модели сложного динамического процесса, а также при создании систем с желаемыми свойствами и поведением нередко используется параметрический синтез управления в виде функции известной структуры

$$\dot{x} = f(x, u, w, t), x(t) \in E^n, u(t) \in E^r, t \in T = [t_0, t_1],$$

$$x(t_0) = \theta(v), w \in R^p, v \in R^n \quad (2.1)$$

с терминальными условиями

$$I_i(u) = h_i(x(t_1)) = 0, i = \overline{1, m}, \quad (2.2)$$

и фазовыми ограничениями

$$J_i(u, v) = g_i(x(t), t) = 0, t \in T, i = \overline{1, s}. \quad (2.3)$$

Управление и параметры стеснены следующими ограничениями:

$$c_i(u, t) = 0, t \in T, i = \overline{1, l}, \quad (2.4)$$

$$u^u(t) \leq u(t) \leq u^e(t), t \in T, \quad (2.5)$$

$$v^u \leq v \leq v^e, w^u \leq w \leq w^e.$$

$$I_0(u) = \phi(x(t_1)) \quad (2.6)$$

достигнет наименьшего значения.

Требуется среди управлений и параметров, удовлетворяющих ограничениям (2.4)–(2.5), найти такие, которые обеспечивают выполнение условий (2.3) для управляемого процесса (2.1) и приводят его в точку фазового пространства, где с заданной точностью будут выполнены условия (2.2), а функционал

от фазовых координат, но с неизвестными значениями параметров. Тогда проблема синтеза управления сводится к задаче оптимизации процесса с параметрами.

Пусть задан управляемый процесс с управляющими параметрами как в правых частях так и в начальных условиях

### 2.1. ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ. ПРИМЕНЕНИЕ ГРАДИЕНТНЫХ МЕТОДОВ.

Градиенты функционалов  $I_j(u)$ ,  $j = \overline{0, m}$ , с помощью функций  $H^j(\psi_j, x, u, t) = \psi_j'(t)f(x, u, t)$  и сопряженной системы

$$\dot{\psi}_j = -f_x(x, u, t)\psi_j(t), \psi_j(t_1) = -\phi_x^j(x(t_1))$$

традиционно определяются по формулам:

$$\nabla I_j(u) = -H_u^j(\psi_j, x, u, t), j = \overline{0, m}.$$

Для каждого  $t \in T$  можно аналогично вычислить градиенты  $J_j(u, t)$ ,  $j = \overline{1, s}$ :

$$\nabla I_j(u, t) = -\bar{H}_u^j(\Phi_j, x, u, t, \tau), t_0 \leq \tau \leq t \leq t_1,$$

где  $\bar{H}^j(\Phi_j, x, u, t, \tau) = \Phi_j'(t, \tau)f(x, u, \tau)$ ,  $\Phi_j(t, \tau)$ ,  $j = \overline{1, s}$  – решения сопряженной системы

$$\frac{\partial \Phi_j(t, \tau)}{\partial \tau} = -\frac{\partial f(x, u, \tau)}{\partial x} \Phi_j(t, \tau), \tau \in [t_0, t]$$

с краевыми условиями

$$\Phi_j(t, t) = -\frac{\partial g^j(x(t))}{\partial x}, j = \overline{1, s}.$$

Матрица-якобиан линеаризованных ограничений составляется из градиентов  $\nabla I_i$ ,  $i = \overline{1, m}$ , и  $\nabla J_j(t)$ ,  $j = \overline{1, s}$ ,  $t \in T$ , и так как правые части и начальные условия системы (2.1) зависят еще и от параметров, то необходимо иметь также градиенты функционалов  $I_i$ ,  $i = \overline{1, m}$ , и  $J_j(t)$ ,  $j = \overline{1, s}$ ,  $t \in T$ , по этим параметрам [1]:

$$\begin{aligned} \nabla_v I_i(u^k, w^k, v^k) &= -\psi_i(t_0)' \theta_v(v^k), i = \overline{1, m}, \\ \nabla_w I_i(u^k, w^k, v^k) &= -\int_{t_0}^{t_1} \psi_i(t)' f_w(x^k, u^k, w^k, t) dt, \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\nabla_w J_i(u^k, w^k, v^k, t^j) = -\int_{t_0}^{t^j} \Phi_i(t)' f_w(x^k, u^k, w^k, t) dt, \quad (2.8)$$

$$\nabla_v J_i(u^k, w^k, v^k, t^j) = -\Phi_i(t_0)' \theta(v^k), i = \overline{1, s}, j = \overline{1, N}. \quad (2.9)$$

На каждой итерации внешнего метода спроектированного лагранжиана решается вспомогательная задача минимизации модифицированного функционала Лагранжа

$$\begin{aligned} L &= \phi(x(t_1)) - \lambda^k [h(x(t_1)) - \bar{h}^L] + \frac{\rho}{2} [h(x(t_1)) - \bar{h}^L]^{[h(x(t_1)) - \bar{h}^L]} - \\ &- \int_{t_0}^{t_1} \mu^k(t) [g(x(t), t) - \bar{g}^L] dt + \frac{\rho}{2} \int_{t_0}^{t_1} [g(x(t), t) - \bar{g}^L] [g(x(t), t) - \bar{g}^L] dt - \\ &- \int_{t_0}^{t_1} \gamma^k(t) [c(u, t) - \bar{c}^L] dt + \frac{\rho}{2} \int_{t_0}^{t_1} [c(u, t) - \bar{c}^L] [c(u, t) - \bar{c}^L] dt, \end{aligned} \quad (2.10)$$

при линеаризованных на  $k$ -м приближении ограничениях

$$I^k + \sum_{j=0}^N \nabla_u I^k(t^j)'(u_j - u_j^k) + \nabla_w I^k(w - w^k) + \nabla_v I^k(v - v^k) = 0, \quad (2.11)$$

$$J_j^k + \sum_{i=0}^j [\nabla_u J^k(t^i)'(u_i - u_i^k) + \nabla_w J^k(t^i)'(w - w^k) + \nabla_v J^k(t^i)'(v - v^k)] = 0,$$

$$j = \overline{0, N}. \quad (2.12)$$

**Задача (2.7) – (2.12) решается методом приведенного градиента, который в отличие от симплекс-метода применим и к задачам с нелинейной целевой функцией.**

2.2. АЛГОРИТМ СПРОЕКТИРОВАННОГО ЛАГРАНЖИАНА

Рассмотрим теперь полный алгоритм решения исходной задачи (2.1)–(2.6).

1. С заданным управлением  $u_j^k$ ,  $j = \overline{0, N}$ , интегрируется система (2.1), и в узлах заданной сетки запоминаются точки фазовой траектории  $x_j^k$ ,  $j = \overline{0, N}$ . Здесь  $k$  — номер итерации (первый раз  $k = 0$ ),  $N$  — число узлов сетки.

На полученном решении линеаризуются ограничения исходной нелинейной задачи и строится вспомогательная задача (2.10)–(2.12).

2. Методом приведенного градиента решается вспомогательная задача минимизации модифицированной функции Лагранжа (2.10) при линейных ограничениях (2.11)–(2.12).

В результате будут найдены новые приближения для управления  $u_j^{k+1}$ ,  $j = \overline{0, N}$ , параметров  $w^{k+1}$  и  $v^{k+1}$ , а также для двойственных переменных  $\lambda^{k+1}$  и  $\mu_j^{k+1}$ ,  $j = \overline{0, N}$ .

3. Проверяется критерий окончания итерационного процесса как по прямому, так и по двойственным переменным:

$$\frac{|I_i(u^{k+1}, w^{k+1}, v^{k+1})|}{(1+\alpha^{k+1})} \leq \varepsilon, i = \overline{1, m},$$

$$\frac{|J_i(u^{k+1}, w^{k+1}, v^{k+1})|}{(1+\alpha^{k+1})} \leq \varepsilon, i = \overline{1, s},$$

где  $\alpha^{k+1} = \max\{\|u_j^{k+1}\|, j = \overline{0, N}; |w_i|, i = \overline{1, p}; |v_l|, l = \overline{1, n}\}$ ;

$$\frac{|\lambda_j^k - \lambda_j^{k+1}|}{(1+\theta^{k+1})} \leq \varepsilon, j = \overline{1, m};$$

$$\frac{|\mu_{ij}^k - \mu_{ij}^{k+1}|}{(1+\theta^{k+1})} \leq \varepsilon, i = \overline{1, s}, j = \overline{0, N};$$

$$\Theta^{k+1} = \max\{|\lambda_j^{k+1}|, j = \overline{1, m}; |\mu_{ij}^{k+1}|, i = \overline{1, s}, j = \overline{0, N}\}.$$

При нарушении хотя бы одного из этих условий выполняется новая  $k + 1$ -я итерация с п. 1. Если же эти неравенства выполняются для заданного  $\varepsilon > 0$ , то итерационный процесс прекращается, а найденные  $u_j^{k+1}, j = \overline{0, N}, w^{k+1}$  и  $v^{k+1}$  выдаются в качестве приближенного решения задачи оптимального управления.

### 3. ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

#### 3.1. Возможности защиты от атакующей ракеты задней полусферы самолета вертикальным маневром

**Физическая постановка задачи состоит в следующем. Оцениваются возможности защиты самолета, атакуемого из задней полусферы ракетой класса «воздух – воздух». Исследуется модельная задача определения оптимального вертикального маневра самолета, обороняющегося от ракеты, которая движется в экспоненциальной атмосфере по заданному закону сближения под действием сил аэродинамического сопротивления и сил земного тяготения.**

Таким образом, рассматривается модельная задача атаки самолета (преследуемого) ракетой класса «воздух-воздух» (преследователь), запускаемой с самолета-носителя. Запуск ракеты производится из зоны возможных пусков (ЗВП), определяемой как область в пространстве фазовых координат взаимного расположения преследуемого и самолета-носителя и связанной с гипотезой движения преследуемого в процессе наведения на него атакующей ракетой. Пуск ракеты из ЗВП обеспечивает ее попадание в расчетную окрестность пресле-

дуемого, если его движение согласуется с гипотезой, по которой определялась эта ЗВП. Граница ЗВП характеризует максимально возможную дальность пуска ракеты  $D_{pmax}$ . Согласно гипотезе при равномерном прямолинейном движении – преследовании ЗВП будет наибольшей ( $D_{pmax}$  наибольшая). Для срыва наведения атакующей ракеты преследуемый самолет может совершать противоракетный маневр (ПРМ).

Если преследуемый совершает удачный противоракетный маневр (ПРМ), то ЗВП сокращается. Очевидно, чем меньше ЗВП, тем ситуация атаки благоприятней для преследуемого. Полученные результаты показывают возможность преследователя выбрать такой маневр, который существенно (на 20-50%) сокращает ЗВП.

Для атаки из задней полусферы ранее рассматривались только маневры в горизонтальной плоскости. Было показано, что они незначительно сокращают ЗВП. Естественно провести оценку сокращения ЗВП при использовании преследуемым самолетом вертикальных противоракетных маневров. земной атмосфере, где изменение плотности воздуха  $\rho(H)$  по высоте  $H$  описывается зависимостью  $\rho(H) = \rho_0 \exp(-\kappa H)$ , где  $\rho_0$  и  $\kappa$  – заданные константы. Движение цели по высоте  $H_{ц}$  происходит с постоянной скоростью  $V_{ц} = \text{const}$  с изменяемым углом наклона траектории  $\theta_{ц}$ :

$$\frac{dV_{ц}}{dt} = 0; \frac{dH_{ц}}{dt} = V_{ц} \sin \theta_{ц}$$

Управление цели:  $U = \sin \theta_{ц}, U_{min} \leq U \leq U_{max}$ .

Движение атакующей ракеты описывается уравнениями

$$\frac{dV_p}{dt} = -T\rho(H_p)V_p - g \sin \theta_p; V_p(0) = V_{p0},$$

$$\frac{dH_p}{dt} = V_p \sin \theta_p; H_p(0) = H_u(0).$$

Ограничимся оценкой этих возможностей, ориентируясь на модель ракеты, которая после запуска мгновенно набирает максимальную скорость полета и движется в экспоненциальной атмосфере по заданному закону сближения под действием силы земного притяжения и силы вредного аэродинамического сопротивления.

**Математическая постановка задачи.** Рассмотрим модельную задачу определения оптимального противоракетного маневра обороняющегося самолета (цели), атакованного со стороны его задней полусферы (ЗПС) ракетой класса «воздух-воздух», запущенной самолётом противника, находившимся на одном высотном эшелоне с атакованным самолётом. Управление ракетой (наведение ракеты) производится по методу параллельного сближения:

$$V_p \sin \theta_p = V_{ц} \sin \theta_{ц}.$$

Момент окончания наведения ракеты

$$t_{\kappa} = \{t: V_p(t) = V_{ц}\}.$$

Взаимное расположение атакующей ракеты и цели описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{dD}{dt} = -V_p \cos \theta_p + V_{ц} \cos \theta_{ц}.$$

Сделаем ряд эквивалентных преобразований сформулированной задачи.

Уравнение на  $H_p$  перепишем в виде:

$$\frac{d\rho_p(H_p)}{dt} = \frac{d\rho_p(H_p)}{dH_p} \frac{dH_p}{dt} = -\kappa\rho_0 \exp(-\kappa H_p) V_p \sin \theta_p,$$

или, учитывая, что  $V_p \sin \theta_p = V_{ц} \sin \theta_{ц}$ , имеем

$$\frac{d\rho_p}{dt} = -\kappa\rho_p V_{ц} \sin \theta_{ц}.$$

Введём обобщённые координаты:  $V = \kappa V_p, \rho = \rho_p T, D = \kappa D_{p-ц}, V_{\kappa} = \kappa V_{ц}$ .

Произведя замены:

$$\cos \theta_p = \sqrt{1 - \sin^2 \theta_p}, \sin \theta_p = \frac{V_{ц}}{V_p} \sin \theta_{ц},$$

$$\sin \theta_{ц} = U$$

и, учитывая, что  $\frac{dH_u}{dt} = V_u \sin \theta_u = V_p \sin \theta_p = \frac{dH_p}{dt}$ , получим следующие соотношения для математической модели задачи оптимального управления:

$$\begin{aligned} \frac{dD}{dt} &= -V \sqrt{1 - \left(\frac{V_k}{V} U\right)^2} + V_k \sqrt{1 - U^2}, \\ D(0) &= D_{p_{max}}, \quad D(t_k) = 0, \\ \frac{dV}{dt} &= -\rho V - \kappa g \frac{V_k}{V} U, \\ V(0) &= V_0, V(t_k) = V_k, \\ \frac{d\rho}{dt} &= -\rho V U, \\ \rho(0) &= \text{задано}, \rho(t_k) - \text{свободно} \\ D_{p_{max}} &\rightarrow \min. \end{aligned}$$

Теперь сформулируем стандартную задачу оптимального управления с условиями на левом и правом конце интервала времени.

Для этого управляемую систему задачи перепишем в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= -\rho V - k V_k \frac{U}{V}, \quad k = \kappa g, \quad (3.1) \\ \frac{d\rho}{dt} &= -\rho V U, \\ \frac{dD}{dt} &= -V \sqrt{1 - \left(V_k \frac{U}{V}\right)^2} + V_k \sqrt{1 - U^2}. \end{aligned}$$

Зададим условия в начальный момент (на левом конце):

$$V(0) = V_{p_{max}}, \quad \rho(0) = \rho^0, \quad D(0) - \text{неизвестно}, \quad (3.2)$$

и в конечный момент (на правом конце):

$$V(t_k) = V_k, D(t_k) = 0, \rho(t_k) - \text{свободно}, \quad (3.3)$$

при этом момент окончания процесса  $t_k$  определяется по условию

$$V(t_k) = V_k. \quad (3.4)$$

На всем отрезке времени должны выполняться ограничения на управление:

$$U_{min} \leq U \leq U_{max}. \quad (3.5)$$

Требуется найти момент времени  $t_k$  и управление  $U(t)$ ,  $t \in (0, t_k)$ , удовлетворяющее ограничениям (3.5), при которых выполняются краевые условия (3.2)-(3.4) и достигается минимум функционала

$$I(u) = D_p(0). \quad (3.6)$$

Поставленная задача (3.1)-(3.6) отличается от обычной задачи оптимального управления тем, что функционал (3.6) определен на левом конце интервала времени при  $t = 0$ . Данная постановка укла-

дывается в общую модель задачи оптимизации с параметрами, рассматриваемую пакетом оптимизации управления КОНУС [7].

В этом пакете начальные условия управляемой системы могут зависеть от параметров, по которым ведется оптимизация. Поэтому достаточно объявить  $D(0) = D_{p_{max}}$  параметром  $p_1$ , входящим в начальные условия системы (3.1), и затем минимизировать функционал (3.6). Равенство (3.4) будет краевым условием, по которому определяется момент  $t_k$ . Для этого  $t_k$  необходимо также сделать зависимым от параметра, что легко достигается заменой переменной:  $t = p\tau$ ,  $0 \leq \tau \leq 1$ .

Таким образом, введя параметры  $p$ ,  $p_1$ , задачу оптимального управления (3.1)-(3.6) переформулируем в следующую задачу оптимизации с параметрами

$$\begin{aligned} \frac{dV}{d\tau} &= p \left( -\rho V - k V_k \frac{U}{V} \right), \quad (3.7) \\ \frac{d\rho}{d\tau} &= p (-\rho V U), \end{aligned}$$

$$\frac{dD}{d\tau} = p \left( -V \sqrt{1 - \left(V_k \frac{U}{V}\right)^2} + V_k \sqrt{1 - U^2} \right),$$

с условиями в начальный момент при  $t = 0$ :

$$V(0) = V^0, \rho(0) = \rho^0, D(0) = p_1, \quad (3.8)$$

и с условиями на правом конце при  $t = t_k$ :

$$V(t_k) = V_k, D(t_k) = 0, \quad (3.9)$$

при тех же ограничениях на управление (3.5) и с функционалом следующего вида

$$I_0(U) = p_1 \rightarrow \min. \quad (3.10)$$

Теперь задача минимизации  $D_{p_{max}}$  будет заключаться в следующем: найти такие значения параметров  $p$ ,  $p_1$  и управление  $U$ , удовлетворяющее ограничениям (3.5), при которых будут выполнены условия (3.8), (3.9) и достигнет минимального значения функционал (3.10). В теории оптимального управления эта задача носит название задачи с подвижным правым и левым концом траектории. Заметим, что при решении задачи быстрогодействия сменится только функционал (3.10) на следующий:

$$I_0(U) = p \rightarrow \min.$$

Полученное решение задачи: найдено как программное управление (Рис. 2)

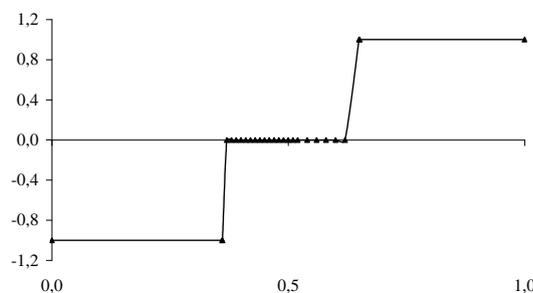


Рис.2. Программное управление маневром

- так и позиционное (Рис. 3):

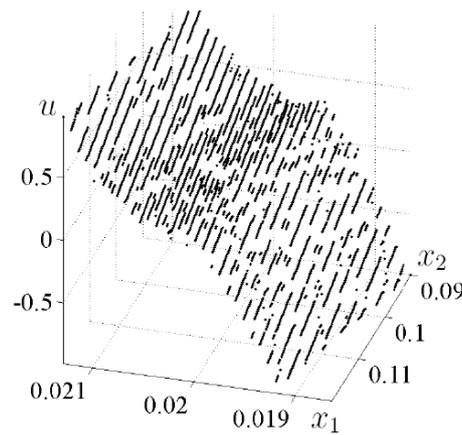


Рис.3. Позиционное управление оптимальным маневром.

3.2. Задача посадки тяжелого летательного аппарата

Задача заключается в максимизации дальности планирующего движения в вертикальной плоскости в случае, когда отношение аэродинамических сил к весу является величиной порядка единицы. Сингулярно возмущенная задача оптимального управления, в которой  $y_1$  – дальность,  $z_1$  – скорость,  $z_2$  – угол наклона траектории, а  $c(u)$  и  $u(t)$  – аэродинамический и коэффициент подъемной силы, имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = \frac{\cos z_2}{a \cdot c(u) \cdot z_1^2} \\ \varepsilon \dot{z}_1 = -\frac{1}{z_1} - \frac{\sin z_2}{a \cdot c(u) \cdot z_1^3} \\ \varepsilon \dot{z}_2 = \frac{u}{c(u) \cdot z_1^2} - \frac{\cos z_2}{a \cdot c(u) \cdot z_1^4} \end{cases},$$

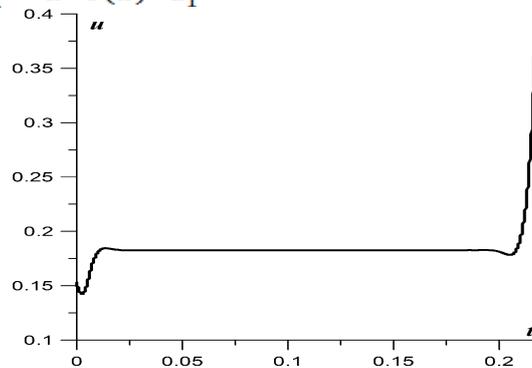


Рис. 4. Оптимальное управление посадкой тяжелого ЛА.

3.3. Задача оптимизации электроэнергетической системы (ЭЭС)

Математическая модель ЭЭС представляет собой совокупность подсистем, описывающих генерирование и потребление электроэнергии, которые объединены в единую систему уравнениями электрической сети. Рассмотрим ЭЭС, состоящую из  $m$

$$I(u) = -y_1(T) \rightarrow \min,$$

где  $\varepsilon \cong 0,01$ ,  $a = 1,6208$ ,  $c(u) = 0,01 + 0,3 \cdot u^2$ ,  $T = 0,2185$ . Начальные значения:  $y_1(0) = 0$ ,  $z_1(0) = 2,19901$ ,  $z_2(0) = 0$ , ограничения на правый конец траектории:  $z_1(T) = 1,009905$ ,  $z_2(T) = 0$ , прямые ограничения на управление:  $0,08 \leq u(t) \leq 0,417$ .

Получено:  $y_1(T) = 1,98554$ , точность выполнения ограничений порядка  $10^{-4}$ , управление, представленное на рис. 4, характеризуется переходными процессами вблизи границ и магистральным участком между ними.

синхронных генераторов и  $m$  паровых турбин. Каждая синхронная машина описывается дифференциальными уравнениями Парка-Горева (без учета переходных процессов в обмотке статора), которых после приведения их к стандартной форме принимают следующий вид:

$$\dot{x}_i = x_{m+i}, i = \overline{1, m},$$

$$\dot{x}_{m+i} = \frac{\omega_0}{(T_{ji} P_{ni})} \left[ x_{5m+i} - \frac{U_i^1}{X_{di}^1} (x_{2m+i} \sin x_i + x_{3m+i} \cos x_i) + \right]$$

$$\dot{x}_{2m+i} = \frac{1}{T_{d_{0i}}} \left[ x_{4m+i} - x_{2m+i} + \frac{(x_{d_i} - x_{d_i}^1)}{x_{d_i}^1} \times (U_i^2 \sin x_i - x_{2m+i} + U_i^1 \cos x_i) \right], i = \overline{1, m},$$

$$\dot{x}_{4m+i} = 1/TR_i \left[ E_{R_{0i}} - x_{4m+i} + K_{U_i} \left( U_{0i} - \sqrt{(U_i^1)^2 + (U_i^2)^2} + K_{I_i} / X_{d_i}^1 (-I_{0i} X_{d_i}^1 + ((x_{2m+i})^2 + (x_{3m+i})^2 + (U_i^1)^2 + (U_i^2)^2 - 2 \cos x_i (U_i^2 x_{3m+i} + U_i^1 x_{2m+i}) + 2 \sin x_i (U_i^1 x_{3m+i} - U_i^2 x_{2m+i}))^{1/2} \right) + K_{f_i} / 2\pi x_{m+i} + K_{f_i}^1 / 2\pi x_{2m+i} \right], i = \overline{1, m}.$$

Уравнения динамики паровых турбин следующее:

$$\dot{x}_{5m+i} = \frac{1}{T_{si}} \left[ -\frac{P_{ni}}{\omega_0 \sigma_{1i}} x_{m+i} + x_{6m+i} - x_{5m+i} \right], i = \overline{1, m},$$

$$\dot{x}_{6m+i} = \frac{1}{T_{p2i}} \left[ -\frac{P_{ni}}{\omega_0 \sigma_{2i} x_{m+i} + u_i} \right], i = \overline{1, m}.$$

Переменными состояниями  $x_{jm+i}$ ,  $j = \overline{0, 6}$ , являются: угол ротора генератора, скольжение, составляющие переходной ЭДС машины в продольной и поперечной осях, напряжение обмотки возбуждения соответственно для каждого  $i = \overline{1, 2, \dots, m}$ . Управление  $U_i$  изменяет уставку регулятора скорости так, чтобы обеспечить устойчивый динамический переход в заданное послеаварийное состояние при аварийных сбросах нагрузки. В правые части уравнений входят также технические параметры генераторов и турбин, смысл которых здесь приводить не будем. Число генераторов и турбин было задано равным 5. Таким

образом, при  $m = 5$  число дифференциальных уравнений равно 35, т.е.  $n = 35$ .

Модель электрической сети составляют алгебраические уравнения на узловое напряжения, в которые входят и переменные состояния. Эти уравнения обычно задаются в комплексных переменных, а при численном решении выполняется переход к действительным переменным. Так, например, для эксперимента было задано  $N = 14$  уравнений в комплексных переменных, а после перехода была получена система из 28 алгебраических уравнений:

$$C_i^1 U_i^1 - C_i^2 U_i^2 + \sum_{k=1, k \neq i}^N (-U_k^1 Y_{ik}^1 + U_k^2 Y_{ik}^2) = \frac{1}{X_{d_i}^1 (x_{2m+i} \sin x_i + x_{3m+i} \cos x_i)}, i = \overline{1, N}$$

$$C_i^1 U_i^2 + C_i^2 U_i^1 + \sum_{k=1, k \neq i}^N (-U_k^1 Y_{ik}^2 - U_k^2 Y_{ik}^1) = \frac{1}{X_{d_i}^1} (x_{2m+i} \cos x_i + x_{3m+i} \sin x_i), i = \overline{1, N}$$

$$\text{где } C_i^1 = \frac{P_{ni}}{(U_i)^2} + A_i^1, C_i^2 = A_i^2 - \frac{Q_{ni}}{(U_i)^2}, (U_i)^2 = (U_i^1)^2 + (U_i^2)^2.$$

Кроме того, заданы ограничения на фазовые координаты и управление

$$|x_i(t) - x_j(t)| \leq \delta \overline{1, m}_{\max},$$

$$x_{\min_i} \leq x_{4m+i}(t) \leq x_{\max_i}, i = \overline{1, 2, m},$$

$$U_{\min_i} \leq U_i(t) \leq U_{\max_i}, i = \overline{1, m}.$$

Целевым функционалом является функция конечного состояния (при  $t = 10c$ ), измеряющая отклонение некоторых фазовых координат от заданных величин (например, мощностей).

Методом спроектированного лагранжиана было сделано 11 внешних итераций, каждая из которых содержала около 20 внутренних итераций. Заданные равенства были выполнены с точностью

$10^{-6}$ , при этом ни одна из переменных не вышла за заданные ограничения. Полученное оптимальное управление обеспечивает вывод ЭЭС в требуемый режим работы за 10 с после резкого сброса нагрузки.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные вычислительные эксперименты подтверждают эффективность предложенной технологии при решении прикладных задач оптимального управления. Установлено, что применение многометодной технологии – нередко единственный способ получения численного решения в сложной задаче оптимального управления, так как сходимость каждого из методов в отдельности прекращалась до получения оптимального решения. Последовательность приближений многометодного алгоритма в таких задачах, как правило, состояла из приближений нескольких (3 – 5) численных методов, которые выбирались по заданному критерию автоматически в процессе оптимизации управления. Заметим, что получение численного решения при наименьших затратах вычислительных ресурсов особенно актуально в управляемых системах реального времени, например, в системах управления летательными аппаратами. Таким образом, многометодная технология, реализованная в виде параллельных итерационных процессов оптимизации с выбором лучшего приближения, находит решение задачи с автоматическим применением разных методов оптимизации и тем самым существенно повышает эффективность поиска и надежность получения численного решения в прикладных задачах оптимального управления. Развитые информационные технологии и многопроцессорная вычислительная техника допускают достаточно эффективную реализацию сложных алгоритмов, например, путем применения параллельных вычислений. Программное обеспечение, разработанное на основе данного подхода и реализующее многометодную технологию расчета оптимального управления и оптимальных параметров, успешно применяется для решения сложных прикладных задач оптимального управления из различных областей науки и техники.

Применение эффективной технологии расчета управления особенно актуально в управляемых системах реального времени, например, в системах управления летательными аппаратами, которые должны обладать высокой маневренностью. Например, при проектировании самолета пятого поколения СУ-57 (мирового лидера по маневренности) для решения серии задач оптимального маневрирования использовалось данное программное обеспечение.

### Литература

1. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Н., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. — М.: Наука, 1969.
2. Габасов Р., Кириллова Ф.М., Тятюшкин А.И. Конструктивные методы оптимизации. Ч 1: Линейные задачи. — Минск: Университетское, 1984.
3. Евтушенко Ю.Г. Методы решения экстремальных задач и их применение в системах оптимизации. — М.: Наука, 1982.
4. Федоренко Р.П. Приближенное решение задач оптимального управления. — М.: Наука, 1978.

5. Васильев О.В., Тятюшкин А.И. Об одном методе решения задач оптимального управления, основанном на принципе максимума // Журн. вычисл. матем. и мат. физики. 1981. Т. 21. № 6. С. 1376-1384.

6. Матросов В.М., Тятюшкин А.И., Абдулин Р.З. и др. Пакеты программ по численным методам анализа динамики систем и теории управления // Пакеты прикладных программ. — М.: Наука, 1986. — С. 18-34.

7. Тятюшкин А.И. ППП КОНУС для оптимизации непрерывных управляемых систем // Пакеты прикладных программ: Опыт использования. — М.: Наука, 1989. — С. 63-83.

8. Жолудев А.И., Тятюшкин А.И., Эринчек Н.М. Численные методы оптимизации управляемых систем // Изв. Ан СССР. ТК – 1989. — № 4. — С.14-31.

9. Тятюшкин А.И. Численные методы и программные средства оптимизации управляемых систем. — Новосибирск: Наука. 1992.

10. Тятюшкин А.И. Многометодная технология оптимизации управляемых систем. — Новосибирск: Наука, 2006.

11. Тятюшкин А.И., Федун Б.Е. Численное исследование свойств оптимального управления в одной задаче преследования. Изв. РАН, ТиСУ. 2005. № 3. С. 104-113.

12. Тятюшкин А.И., Федун Б.Е. Возможности защиты от атакующей ракеты задней полусферы самолета вертикальным маневром. Изв. РАН, ТиСУ. 2006. № 1. С. 111-125.

13. Тятюшкин А.И. Параллельные вычисления в задачах оптимального управления // Сиб. журн. вычисл. математики. 2000. Т. 3, № 2.

14. Тятюшкин А.И. Численные методы оптимизации управления в линейных системах // ЖВМиМФ. 2015. Т. 55, №5. С. 742-757.

15. Горнов А.Ю., Тятюшкин А.И., Финкельштейн Е.А. Численные методы для решения терминальных задач оптимального управления // Журнал вычисл. математики и матем. физики. 2016. Т. 56, №2. С. 224-237.

16. Тятюшкин А.И. Численные методы решения задач оптимального управления с параметрами // Журнал вычисл. матем. и матем. физики. 2017. Т. 57, №10. С. 1615–1630.

17. Tyatyushkin Alexander, Zarodnyuk Tatiana. Numerical Method for Solving Optimal Control Problems with Phase Constraints // Numerical Algebra, Control and Optimization. 2017. Vol. 7, №4. pp. 481–492.

18. Tyatyushkin A.I., Zarodnyuk T.S., Gornov A.Yu. Algorithms for nonlinear optimal control problems based on the first and second order necessary conditions // Journal of mathematical sciences. Vol. 239, № 2, 2019. Pp. 185 – 196.

19. Тятюшкин А.И. Многометодная оптимизация управления в сложных прикладных задачах. // ЖВМ и МФ, 2019, том 59, № 2, стр. 235-246.

## ПОВЕРХНОСТЬ ТВЕРДОГО ТЕЛА И ЕЕ РОЛЬ В ЕЕ РАЗРУШЕНИИ

**Юров В.М.**

*Карагандинский университет имени Е.А. Букетова*

**Гученко С.А.**

*Карагандинский университет имени Е.А. Букетова*

**Салькеева А.К.**

*Карагандинский технический университет*

**Кусенова А.С.**

*Карагандинский технический университет*

*Караганда, Казахстан*

## SOLID SURFACE AND ITS ROLE IN ITS DESTRUCTION

**Yurov V.**

*Karaganda University named after E.A. Buketov*

**Guchenko S.**

*Karaganda University named after E.A. Buketov*

**Salkeeva A.**

*Karaganda Technical University*

**Kusenova A.**

*Karaganda Technical University*

*Kazakhstan, Karaganda*

DOI: [10.24412/3162-2364-2021-62-1-30-33](https://doi.org/10.24412/3162-2364-2021-62-1-30-33)

### АННОТАЦИЯ

Согласно принципам физической мезомеханики центральную роль в создании напряжений в нагруженном образце играют поверхностные слои. Они являются сугубо нелинейными системами. Однако единого мнения о механизме влияния поверхностного слоя на макромеханические характеристики материала до сих пор нет.

В рамках настоящей работы мы хотим показать, что поверхностное натяжение играет большую роль в вопросе разрушения твердого тела. Для определения величины поверхностного натяжения твердого тела использовалась размерная зависимость их физического свойства.

Теоретически получен критерий разрушения в адиабатическом приближении. Энергия разрушения пропорциональна поверхностному натяжению твердого тела, для которого определена формула, по которой экспериментально можно определить ее величину.

Поверхностное натяжение является фундаментальной величиной, которая определяет толщину поверхностного слоя и все процессы, связанные с наноструктурным состоянием твердого тела, откуда и развиваются процессы разрушения твердого тела.

### ABSTRACT

According to the principles of physical mesomechanics, the surface layers play a central role in creating stresses in a loaded sample. They are purely non-linear systems. However, there is still no consensus on the mechanism of influence of the surface layer on the macromechanical characteristics of the material.

In the framework of this work, we want to show that surface tension plays a large role in the issue of fracture of a solid. To determine the surface tension of a solid, we used the size dependence of their physical properties.

Theoretically, the criterion of destruction in the adiabatic approximation is obtained. The fracture energy is proportional to the surface tension of a solid, for which a formula is determined by which it can be experimentally determined.

Surface tension is a fundamental quantity that determines the thickness of the surface layer and all processes associated with the nanostructured state of a solid, from which the processes of destruction of a solid develop.

**Ключевые слова:** поверхностное натяжение, энергия разрушения, наноструктура, размерная зависимость.

**Keywords:** surface tension, fracture energy, nanostructure, size dependence.

### Introduction

The destruction of materials is associated with the appearance of a new surface [1]. The main characteristic of the surface of a solid deformable body is the surface energy  $\gamma_c$ . In numerous works (see, for example, [2-4]) it was established that the destruction of solids, including brittle and quasi-brittle, in the field of external forces is preceded by the appearance of a certain

density of crystal structure defects (dislocations, deformation vacancies, etc.). When they are destroyed, energy is spent primarily on plastic deformation, then on elastic deformation, then on heat, and finally on the surface energy itself.

Physical mesomechanics, being the youngest of the sciences studying the strength of solids, is based on synergetic (interdisciplinary) principles and considers a

rigid body as a multilevel hierarchical system in which the processes of local loss of shear stability at the micro-, meso- and macroscale levels are organically interconnected. Only within the framework of the multilevel approach of physics and mechanics of solids is it possible to correctly describe the synergistic nature of plastic deformation and fracture of solids. In this case, the mechanics of a deformable solid plays a leading role, and the motion of dislocations at the microscale level is an accommodative process [5-7]. At the same time in works [5-7] they practice the concept of a surface layer. It was emphasized that the central role in the creation of distributed stress concentrators in a loaded sample is played by surface layers and internal interfaces. They are purely nonlinear systems, and the description of their behavior requires new approaches in the traditional theory of dislocations, which is based on the translational invariance of the equilibrium crystal lattice.

The concept of surface energy in solid state physics arises when it is required to consider the energy state of an atomic layer of a substance emerging on the free surface of a body. Some of the atomic bonds of atoms on the surface of the body is free, and this part of the energy is the free energy of the surface, and its surface density is considered as the surface energy  $\gamma$ , which plays an important role in many physicochemical processes, in particular in the destruction of solids. As is known, A. Griffiths was the first to take advantage of this, setting  $\gamma$  as a measure of energy costs during destruction [8]. In this work, we will focus on the role of surface energy in the destruction of solids.

**Model Description**

In our work [9], defects in the surface layer, coating (dislocations, pores, etc.) were considered as a system of non-interacting particles immersed in a thermostat. Quantum transitions caused by the interaction of defects with a thermostat will be dissipative (with probability P), in contrast to interaction with an external field (with probability F). Dissipative processes lead to the fact that the secondary field (system response) is always less than the primary one, which causes the formation of defects.

As a result, the following expression was obtained [9]:

$$P = \frac{2\Delta S}{k\tau} \exp\left\{-\frac{E_m - G^0/N}{kT}\right\}. \quad (1)$$

where  $\Delta S$  is the change in entropy in the dissipative process;  $E_m$  is the average value of the energy of the ground state of defects;  $\tau$  is the relaxation time,  $G^0$  is the Gibbs energy,  $N$  is the concentration of defects,  $k$  is the Boltzmann constant. On the other hand, we define the probability of dissipative processes as the ratio of the destruction energy  $E_p$  to the surface energy  $\gamma$ . Replace the numerator of the exponent with  $kT$ , and the denominator with  $kT_m$ .  $H$  is the enthalpy or latent heat of fusion -  $L_m$ .  $\Delta H/kT_m$  ( $\Delta S/k = \Delta L_{et}$  us further take into account that The relaxation time of the phonon subsystem is [10]:

$$\frac{1}{\tau} = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}, \quad (2)$$

where  $E$  is Young's modulus;  $\nu$  is Poisson's ratio;  $\rho$  - density. Our strength criterion will be expressed in the form:

$$\dot{A}_0 = \frac{2L_m \dot{A}_{e0}}{kT_m} \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \left(1 - \frac{T}{T_m}\right). \quad (3)$$

In the adiabatic approximation, equality (3) will be expressed in the form:

$$\dot{A}_0 = \frac{2L_m \gamma}{kT_m} \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}. \quad (4)$$

All quantities in formula (4), except for  $\gamma$ , are determined experimentally, and  $\gamma = \sigma S$ , where  $\sigma$  is the surface tension,  $S$  is the surface of a solid.

**Determination of surface tension**

The experimental determination of the surface tension of solids is complicated by the fact that their molecules (atoms) are unable to move freely. An exception is the plastic flow of metals at temperatures close to the melting point. Surface tension is the main characteristic of processes associated with the participation of surfaces or interfaces. Surface tension determines the free energy (work) that must be expended to form a unit of surface area or interface. The surface tension of solids is usually determined indirectly, based on intermolecular and interatomic interactions. A large amount of work on surface tension, both theoretically and experimentally, was carried out in Kabardino-Balkaria [11-14] and in Moscow [15,16] (see bibliography therein). Our methods for determining the surface tension of solids are based on the dimensional dependence of the physical properties  $A(r)$  [17-21]:

$$A(r) = A_0 \cdot \left(1 - \frac{d}{r}\right), \quad r \gg d \quad (5)$$

where  $A_0 = \text{const}$ , the physical property of a massive solid. The parameter  $d$  is related to the surface tension  $\sigma$  by the formula:

$$d = \frac{2\sigma v}{RT}, \quad (6)$$

Here  $\sigma$  is the surface tension of a massive sample ( $J/m^2$ );  $v$  - molar (atomic) volume ( $cm^3/mol$ );  $R$  - gas constant ( $J/kg K$ );  $T$  is temperature (K). The method was used to determine the surface tension of dielectric crystals doped with thallium ions as a luminescent probe. The X-ray luminescence intensity was determined by the standard photoelectric method. The grain size of the dielectric was determined using an MIM-8 metallographic microscope. The results are shown in Fig. 1. In coordinates  $I \sim 1/r$ , the experimental curve is straightened in accordance with (5), giving the value  $d = 0.02 \mu m$ . For  $KCl = 37.63 cm^3/mol$  and from (6) for the surface tension it was obtained:  $\sigma = 0.221 J/m^2$ . The

dependence of the magnetic susceptibility of a magnetic material on the particle size is also described by formulas (5) and (6). The plotted dependence in the coordinates  $\bar{\alpha} \sim 1/r$  ( $1/r$  is the reciprocal radius of the particles, magnetic material) is a straight line, the slope tangent, which determines  $d$ , and by formula (6) the

surface tension of the magnetic material ( $\sigma$ ) is calculated.

The method was used to determine the surface tension of magnetites from the Sokolovskoye and Sarbayskoye deposits. Specific magnetization was measured using a vibrating magnetometer.

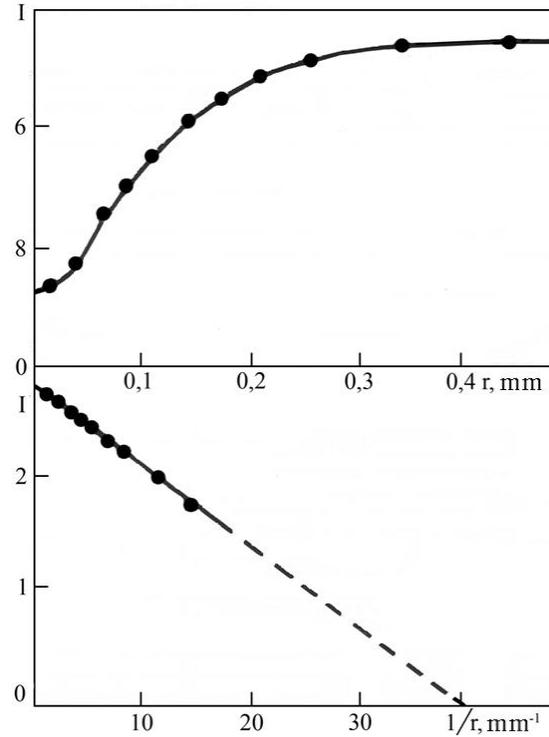


Figure 1 - Dependence of the intensity of X-ray luminescence KCl-Tl from phosphor grain size

The grain size of magnetite was determined using a metallographic microscope. The results are shown in Fig. 2. In the coordinates  $\bar{\alpha} \sim 1/r$ , the experimental curve is straightened in accordance with formula (5), giving the value  $d = 0.36 \mu\text{m}$ . For magnetite  $\nu = 44.5 \text{ cm}^3/\text{mol}$  and from relation (6) for surface tension it was obtained:  $\sigma = 10.07 \cdot 10^3 \text{ erg/cm}$ . Calculations using the formulas of the theory of magnetism using experimental values of saturation magnetization gave the

value  $\sigma = 10.1 \cdot 10^3 \text{ erg/cm}$ , which practically coincides with the above. The formulas of the theory of magnetism, however, are applicable for a limited number of materials, while the proposed method allows one to determine  $\sigma$  experimentally for any magnetic minerals. All solids (optical, magnetic, electrical, etc.) correspond to the size dependence as soon as they enter nanostructures (see, for example, [22, 23]).

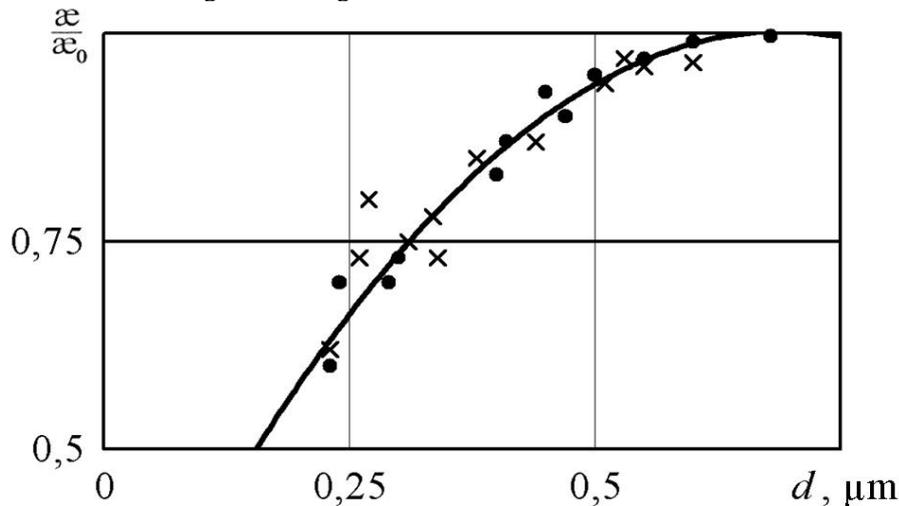


Figure 2 - Dependence of the relative magnetic susceptibility on the diameter of the magnetite grain

From formula (6) it follows that the destruction energy  $E_p$  is proportional to the surface tension  $\sigma$ , temperature  $T$  and inversely proportional to the molar volume  $v$ . This suggests a connection between our criterion (4) and the energy density of interatomic bonds, which is defined as  $p_0 \sim Q_c/V_0$  ( $Q_c$  is the sublimation energy,  $V_0$  is the molar volume at 0 K) [24].

#### Conclusions and further research prospects.

Surface tension is a fundamental quantity that determines the thickness of the surface layer and all processes associated with the nanostructural state of a solid, from where the processes of destruction of a solid develop. Further research should be carried out with an emphasis on nanostructural states, taking as a basis not only physical mesomechanics, but also nanomechanics, and most likely nanosyntheretics.

#### Thanks

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan. Grants 0118RK000063 and F.0781.

#### References

1. Yeh J.W., Chen Y.L., Lin S.J. High-entropy alloys – a new era of exploitation // *Materials Science Forum*. 2007. Vol. 560. – P. 1-9.
2. Yurchenko N.Yu. Development and research of high-entropy alloys with high specific strength based on the Al-Cr-Nb-Ti-V-Zr system. - Thesis. candid. those. sciences, Belgorod, 2019. - 187 p.
3. Ivchenko M.V. Structure, phase transformations and properties of high-entropy equiatomic metal alloys based on AlCrFeCoNiCu // *Diss. Cand. physical-mat. sciences*, Ekaterinburg, 2015. - 167 p.
4. Shaisultanov D.G. Structure and mechanical properties of high-entropy alloys of the CoCrFeNiX system (X = Mn, V, Mn and V, Al and Cu). - *Diss. Cand. those. sciences*, Belgorod, 2015. - 142 p.
5. Sanin V.N., Yukhvid V.I., Ikornikov D.N. et al. SHS metallurgy of cast high-entropy alloys based on transition metals // *DAN NAN*. 2016. Vol. 470. No. 4. - P. 421-426.
6. Gorban V.F., Krapivka N.A., Firstov S.A. High-entropy alloys - electron concentration - phase composition - lattice parameter - properties // *FMM*. 2017. Vol. 118. No. 10. - P. 1017-1029.
7. Yurov V.M., Guchenko S.A., Laurinas V.Ch. Thickness of the surface layer, surface energy and atomic volume of an element // *Physicochemical aspects of studying clusters, nanostructures and nanomaterials*, 2018, Iss.10. - P. 691-699.
8. Yurov V.M., Laurinas V.Ch., Guchenko S.A. The thickness of the surface layer of atomically smooth magnetic nanostructures // *Nano- and microsystem technology*, 2019, Vol. 21, No. 6. - P. 347-352.
9. Yurov V.M., Guchenko S.A. The thickness of the surface layer of high-entropy CrNiTiZrCu coatings // *National Association of Scientists (NAU)*, 2019, No. 44, Part 1. - P. 40-44.
10. Desjonqueres M.-C., Spanjaard D. *Concepts in Surface Physics*. - Springer Science & Business Media. 2012. – 607 p.
11. Vasilyeva D.S. - *Ferroelectric and piezoelectric properties and phase transformations in glycine crystals*. - *Diss. Cand. chem. sciences*, Ekaterinburg, 2018. - 168 p.
12. Gleiter H. *Nanostructured materials: basic concepts and microstructure* // *Acta mater*. 2000. V.48. - P. 1-29.
13. Kragelsky I.V., Vinogradova I.E. *Coefficients of friction*. - M.: Mashgiz, 1962. - 220 p.

# TECHNICAL SCIENCES

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЭЛЕМЕНТА В НОРМАЛЬНОЙ ТРЕЩИНЕ

*Азизов Т.Н.*

*докт. техн. наук, проф.*

*Уманский государственный педагогический университет имени Павла Тычины,  
г. Умань, Украина;*

## DETERMINATION OF DISPLACEMENT OF A REINFORCED CONCRETE ELEMENT IN A NORMAL CRACK

*Azizov T.*

*Professor, DSc (eng.),*

*PavloTychynaUman State Pedagogical University, Uman, Ukraine*

*DOI: [10.24412/3162-2364-2021-62-1-34-38](https://doi.org/10.24412/3162-2364-2021-62-1-34-38)*

### АННОТАЦИЯ

В статье предложена методика определения взаимного перемещения берегов нормальной трещины при кручении. При этом рассматривается один блок, отделенный нормальными трещинами. Этот блок условно зажат на длине, равной половине расстояния между трещинами. Методика основана на расчленении расчетного блока на два условных стержня, что позволяет аналитически определять крутильную жесткость таких элементов с использованием формул сопротивления материалов. Методика расчета позволяет определить перемещения в нормальной трещине без использования программных комплексов с применением объемных конечных элементов. Будучи совершенно простой, методика имеет достаточную для инженерных расчетов точность.

### ABSTRACT

The article proposes a method for calculating the mutual displacement of the sides of a normal crack during torsion. A block separated by normal cracks is considered. This block is conventionally pinched at a length equal to half the distance between the cracks. The technique is based on dividing the design block into two conventional bars. This makes it possible to analytically calculate the torsional stiffness of such elements using formulas for the strength of materials. The calculation method allows determining displacements in a normal crack without using programs using volumetric finite elements. The technique is simple, but it has sufficient accuracy for engineering calculations.

**Ключевые слова:** нормальная трещина, перемещение в трещине, кручение, ряд Фурье, крутильная жесткость.

**Keywords:** normal crack, movement in a crack, torsion, Fourier series, torsional stiffness.

### Анализ исследований и постановка задачи.

На работу статически неопределимых пространственных систем существенное влияние оказывают крутильные и изгибные жесткости их элементов [3, 4, 5]. При достаточно глубокой изученности изгибной жесткости железобетонных элементов расчетное определение их крутильной жесткости (особенно при наличии нормальных трещин) остается весьма проблематичным.

Изучению жесткости стержневых железобетонных элементов с пространственными трещинами посвящены работы [6-8]. Однако, в этих работах не рассматриваются вопросы жесткости элементов, в которых кроме пространственных имеются еще и нормальные трещины, хотя экспериментальные исследования свидетельствуют о весьма существенном влиянии этого фактора [11]. В связи с этим при расчетах в основном используются пространственные конечные элементы [10], что при решении задач с большим количеством элементов приводит к существенным сложностям в задании расчетной схемы и анализе полученных результатов.

Задаче определения крутильных жесткостей железобетонных элементов с нормальными трещинами посвящены работы автора [1, 11] и др. В этих работах показано, что наиболее сложной и важной частью этой задачи является определение взаимного перемещения берегов нормальной трещины с условно рассеченной продольной арматурой. Предложены различные методы решения этой задачи, в том числе с помощью аппроксимации данных численного эксперимента с использованием объемных конечных элементов. Приближенно эта задача решена в [1] путем условного деления элемента между двумя нормальными трещинами на два стержня. Однако, в этой работе не учтено влияние изгиба этих стержней в горизонтальном направлении. Существование изгиба можно проверить моделированием с помощью стержневых конечных элементов в существующих программных комплексах. Изгиб стержней в горизонтальном направлении влияет на точность окончательного результата.

В связи с вышесказанным **целью настоящей статьи** является совершенствование инженерного

метода определения взаимного перемещения берегов нормальной трещины с учетом изгиба составляющих расчетную схему стержней.

рим железобетонный элемент с нормальной трещиной, подверженный кручению с расстоянием между трещинами  $L$  (рис. 1).

**Изложение основного материала.** Рассмотрим

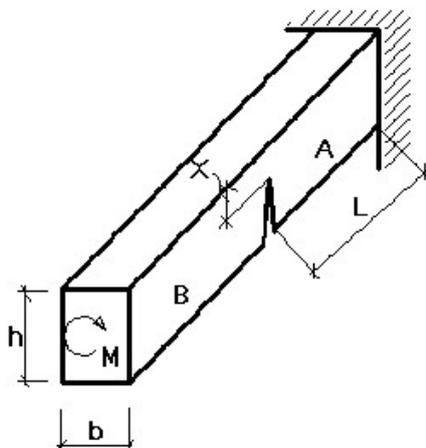


Рис. 1. Схема закручиваемого железобетонного элемента с нормальной трещиной

Если условно рассечь продольную арматуру, то крутящий момент с блока В на блок А будет передаваться через площадку шириной  $b$  и высотой  $x$ , равной высоте сжатой зоны в нормальном сечении, как показано на рис. 2.

$l$  соизмерима с размерами сечения  $b$  и  $h$ , использование формул кручения не может быть правомерным, т.к. в них предполагается, что касательные напряжения распределены по всему поперечному сечению [2], в отличие от схемы, показанной на рис. 2.

Ввиду того, что крутящий момент приложен только к части поперечного сечения, а длина блока

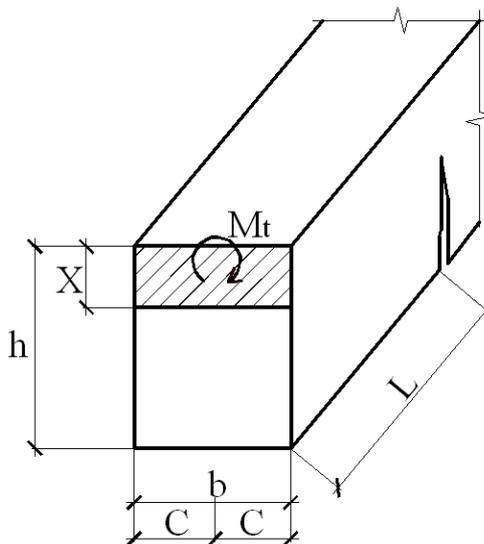


Рис. 2. Схема передачи крутящего момента с одного блока на другой через сжатую зону бетона  $X$

Для инженерного расчета совершенствуем метод, предложенный в [1]. Также, как и в [1] рассечем блок параллельными плоскостями в плоскости  $XOY$  на два стержневых элемента (рис. 3). При этом высота сечения верхнего стержня  $h_1$  равна высоте

части сечения, через который передается крутящий момент, а высота  $h_2$  – высота нормальной трещины. Длина же условной консоли  $L$  равна половине расстояния между нормальными трещинами.

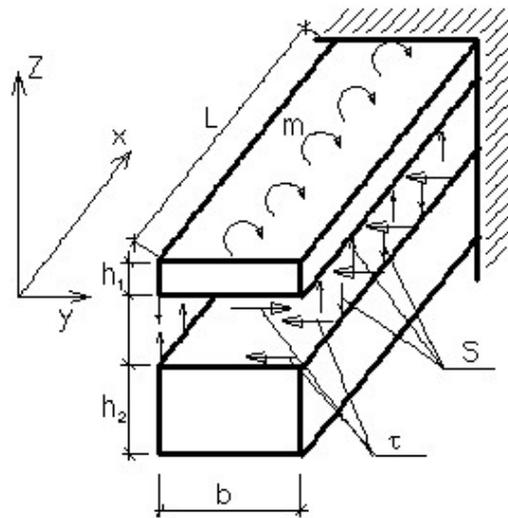


Рис. 3. Усилия, действующие по плоскости сечения консольного стержня

По плоскости сечения будут действовать неизвестные погонные касательные  $\tau$  и вертикальные  $S$  силы (см. рис. 3).

Для определения неизвестных функций  $\tau$  и  $S$  (имеется ввиду  $\tau(x)$  и  $S(x)$ ) можно использовать ра-

венство горизонтальных и вертикальных перемещений вдоль плоскости сечения для верхнего и нижнего стержней.

Рассмотрим деформации верхнего стержня от поворота (рис. 4).

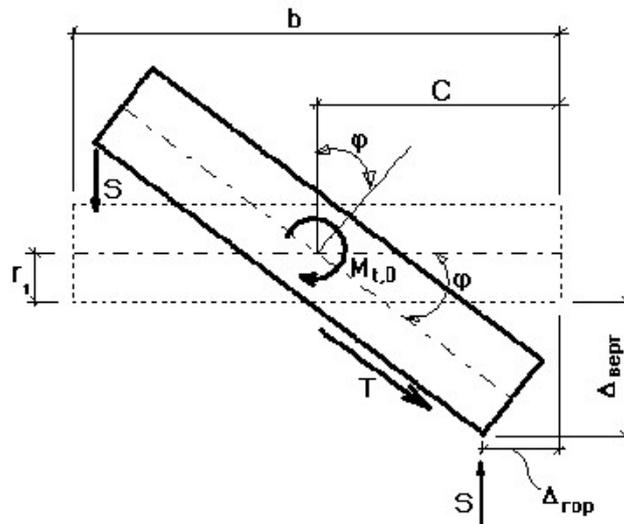


Рис. 4. Схема перемещений от поворота верхнего стержня

Из схемы на рис. 4 видно, что:

$$\Delta_{гор} = \varphi \cdot r_1; \Delta_{верт} = \varphi \cdot C \quad (1)$$

где  $\varphi$  – полный угол закручивания стержня. Дифференцируя один раз выражения (1) и учитывая, что по теории кручения относительный угол закручивания  $\theta$  равен [9]:

$$\theta = \varphi' = \frac{M_t}{GJ}, \quad (2)$$

где  $M_t = M_t(x)$  – полный крутящий момент;  $GJ$  – крутильная жесткость, получим:

$$\Delta_{гор}^I = \frac{M_{t,1}}{GJ_1} r_1 = -\frac{M_t}{GJ_1} r_1 + \frac{T \cdot r_1}{GJ_1} r_1 + \frac{QS \cdot b}{GJ_1} r_1; \quad (3)$$

$$\Delta_{верт}^I = \frac{M_{t,1}}{GJ_1} C = \frac{M_t}{GJ_1} C - \frac{T \cdot r_1}{GJ_1} C - \frac{QS \cdot b}{GJ_1} C \quad (4)$$

В выражениях (3) и (4) через  $M_t$  обозначен внешний крутящий момент, действующий на стержень, приложенный в торце верхнего стержня;  $GJ_1$  и  $GJ_2$  – крутильные жесткости соответственно

верхнего (первого) и нижнего стержней;  $r_1, r_2$  – половина толщины соответственно верхнего и нижнего стержней.;  $T = T(x)$  – суммарная касательная сила, связанная с погонными силами  $\tau(x)$  очевидной дифференциальной зависимостью  $T' = \tau$ ;  $QS = QS(x)$  – суммарная вертикальная сила, связанная с погонными вертикальными силами  $S(x)$  дифференциальной зависимостью  $QS' = S$ .

Знаки в выражениях (3) и (4) приняты из условия, что положительными являются горизонтальные перемещения вправо, а вертикальные – вниз.

Кроме перемещений от кручения будут присутствовать еще горизонтальные перемещения от сдвига полос единичной (в направлении оси  $x$ ) толщины:

$$\Delta_{гор} = \frac{\tau r_1}{G_p b} = \frac{T' r_1}{G_p b}; \text{ тогда: } \Delta_{гор}^I = \frac{T'' r_1}{G_p b} \quad (5)$$

где  $G_p$  – модуль сдвига единичных полосок.

Из рисунка 3 видно, что касательные силы  $T$  кроме кручения вызывают еще и изгиб стержней в горизонтальном направлении, что не было учтено в работе [1]. Их не трудно определить по известной формуле сопротивления материалов. Известна дифференциальная зависимость при изгибе [9]  $y''=M/EJ$ , где  $y$  – перемещение балки;  $M$  – изгибающий момент;  $EJ$  – изгибная жесткость балки. Известна также дифференциальная зависимость между изгибающим моментом  $M$  и поперечной силой  $Q$ :  $M'=Q$ . Учитывая сказанное, можно записать:

$$y^I = \frac{\int M}{EJ} = \frac{\int\int Q}{EJ} \quad (6)$$

Поэтому дополнительный член горизонтального перемещения от сил  $T$  определится из выражения (для верхнего стержня):

$$\Delta_{гор}^I = \frac{\int\int T}{EJ_1} \quad (7)$$

Для нижнего стержня будет аналогичное выражение с соответствующим знаком по рис. 3.

Наличием этого дополнительного перемещения в горизонтальном направлении усовершенствованная методика отличается от методики автора, предложенной в [1]. Причем это существенно уточняет результаты расчета.

Кроме вертикальных перемещений от кручения присутствуют перемещения от сжатия слоев в вертикальном направлении усилиями  $S(x)$ . Для упрощения расчетов будем условно считать, что верхний стержень соединен с нижним вертикальными стержнями единичной ширины с эквивалентным сечением  $A$ , при котором их вертикальные перемещения будут равны реальным перемещениям от сжатия верхнего и нижнего стержней. Длина этих стержней принимается равной для верхнего стержня  $r_1$ , для нижнего –  $r_2$ . Тогда выражение для вертикальных перемещений от действия усилий  $S$  будут имеет вид:

$$\Delta_{верт} = \frac{S \cdot r_1}{EA} = \frac{QS^I r_1}{EA}; \text{ тогда: } \Delta_{верт}^I = \frac{QS^{II} r_1}{EA} \quad (8)$$

Из аналогичных рассуждений определяются горизонтальные и вертикальные перемещения и их производные для нижнего стержня.

Условия совместности деформаций по линии рассечения будут получены приравнением горизонтальных и вертикальных перемещений верхнего стержня соответствующим горизонтальным и вертикальным перемещениям нижнего стержня. Горизонтальные перемещения складываются из суммы выражений (3), (5) и (7). Вертикальные перемещения складываются из выражений (4) и (8).

В результате получим систему интегро-дифференциальных уравнений (с учетом правила знаков и рисунка 3):

$$\left. \begin{aligned} -\frac{M_t}{GJ_1} r_1 + \frac{T \cdot r_1}{GJ_1} r_1 + \frac{QS \cdot b}{GJ_1} r_1 + \frac{T^{II} r_1}{G_p \cdot b} + \frac{\int\int T}{EJ_1} = \\ = -\frac{T \cdot r_2}{GJ_2} r_2 + \frac{QS \cdot b}{GJ_2} r_2 - \frac{T^{II} r_2}{G_p \cdot b} - \frac{\int\int T}{EJ_2} \\ \frac{M_t}{GJ_1} C - \frac{T \cdot r_1}{GJ_1} C - \frac{QS \cdot b}{GJ_1} C - \frac{QS^{II} r_1}{EA} = \\ = -\frac{T \cdot r_2}{GJ_2} C + \frac{QS \cdot b}{GJ_2} C + \frac{QS^{II} r_2}{EA} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Решение системы (9) не представляет трудностей. Применим следующий способ решения задачи. Консольный стержень длиной  $l/2$  по рис. 3 при кручении эквивалентен стержню длиной  $l$ , с противоположных сторон которого приложены одинаковые по модулю и направленные в противоположные стороны моменты  $M_t$ .

Тогда граничные условия будут иметь вид:  $T(0)=T(l)=0$ ;  $QS(0)=QS(l)=0$ . Это позволяет принять решение в виде разложения неизвестных в ряды Фурье по синусам:

$$T = \sum_{n=1}^{\infty} T_n \sin(\alpha \cdot x); QS = \sum_{n=1}^{\infty} Q_n \sin(\alpha \cdot x) \quad (10)$$

где  $\alpha = \pi \cdot n / l$ . При этом вышеупомянутые граничные условия будут автоматически удовлетворены. В выражении (10) через  $T_n$  и  $Q_n$  обозначены коэффициенты Фурье, подлежащие определению.

Раскладывая свободные члены  $M_t$  также в ряды Фурье по синусам, подставляя (10) в (9), производя дифференцирование и интегрирование, приведя подобные и сокращая на  $\sin(\alpha \cdot x)$ , получим систему уже не интегро-дифференциальных, а двух алгебраических линейных уравнений для определения неизвестных коэффициентов Фурье  $T_n$  и  $Q_n$ :

$$\left. \begin{aligned} T_n \cdot A + Q_n \cdot B = \beta \\ T_n \cdot C + Q_n \cdot D = \gamma \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где приняты обозначения:

$$\begin{aligned} A &= \frac{r_1^2}{GJ_1} + \frac{r_2^2}{GJ_2} + \frac{\alpha^2}{G_p \cdot b} (r_1 + r_2) + \frac{1}{\alpha^2} \left( \frac{1}{EJ_1} + \frac{1}{EJ_2} \right); \\ B &= \frac{b \cdot r_1}{GJ_1} - \frac{b \cdot r_2}{GJ_2}; \beta = \frac{M_t \cdot n \cdot r_1}{GJ_1}; \gamma = -\frac{M_t \cdot n \cdot C}{GJ_1} \\ C &= -\frac{C \cdot r_1}{GJ_1} + \frac{C \cdot r_2}{GJ_2}; D = -\frac{b \cdot C}{GJ_1} - \frac{\alpha^2 r_1}{EA} - \frac{b \cdot C}{GJ_2} - \frac{\alpha^2 r_2}{EA}; \end{aligned}$$

$M_{t,n}$  – коэффициент разложения внешнего момента  $M_t$  в ряд Фурье по синусам, который легко определяется известным методом.

Ряды (10) сходятся достаточно быстро и для практических расчетов вполне приемлемо принять 7-10 членов ряда (т.е. решить систему двух алгебраических уравнений (11) 7-10 раз).

После определения неизвестных  $T(x)$  и  $QS(x)$  углы поворота верхнего и нижнего стержней определяются как углы поворота от действия внешнего момента  $M_t$ , действующего непосредственно на верхний стержень, и определенных из решения задачи функций  $T(x)$  и  $QS(x)$ . Далее взаимное смещение берегов нормальной трещины определяется как разница угла поворота верхнего стержня, умноженного на расстояние от его центра тяжести до места расположения продольной арматуры и угла поворота нижнего стержня, умноженного на расстояние

от его центра тяжести до места расположения арматуры. Когда определено взаимное смещение берегов нормальной трещины жесткость железобетонного элемента с трещинами достаточно просто определяется по методике [11].

Следует отметить, что методика определения угла поворота верхнего и нижнего стержней при наличии наклонной трещины определяется из аналогичных соображений.

Выводы и перспективы исследований. Предложен новый метод определения взаимного смещения берегов нормальной трещины от действия крутящих моментов. При этом рассматривается один блок, отделенный нормальными трещинами. Блок рассматривается, условно заделанным на длине, равной половине расстояния между трещинами. Методика основана на расчленении расчетного блока на два условных стержня, что позволяет аналитически определять крутильную жесткость таких элементов с использованием формул сопротивления материалов. Метод отличается своей простотой, т.к. такая задача ранее могла быть решена только с использованием объемных конечных элементов.

Перспективой исследований является исследование жесткости  $G_p$  условных полосок единичной ширины с целью уточнения инженерного метода расчета.

#### Литература

1. Азизов Т.Н. Определение крутильной жесткости железобетонных элементов с трещинами // Дороги і мости. Збірник наукових праць. Вип. 7.

Том 1. – К.: Держдор НДІ, 2007. – С. 3-8.

2. Арутюнян Н.Х., Абрамян Б.Л. Кручение упругих тел. М.: Физматгиз, 1963. – 688 с.

3. Горнов В.Н. Исследование прочности и жесткости сборных железобетонных перекрытий из лотковых настилов // Материалы и конструкции в современной архитектуре. – М.: Стройиздат, 1950.

4. Дроздов П.Ф. Конструирование и расчёт несущих систем многоэтажных зданий и их элементов. – М.: Стройиздат, 1977. – 223 с.

5. Карабанов Б.В. Нелинейный расчет сборно-монолитных железобетонных перекрытий // Бетон и железобетон. – 2001. - №6. - С. 14-18.

6. Карпенко Н.И. общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.

7. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.

8. Коуэн, Г.Дж. Кручение в обычном и предварительно напряженном железобетоне: Пер. с англ. / Г.Дж. Коуэн; – М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. – 104 с.

9. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов., М.: Наука, 1970. – 544 с.

10. Клованич С.Ф. Расчет железобетонных конструкций методом конечных элементов при длительных воздействиях // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 62, том 1. – Київ: НДІБК, 2005. – С. 518-523.

11. Azizov T., Kochkarev D. Rigidity and Torsional Strength of Reinforced Concrete Bars with Normal Cracks // Sciences of Europe. – 2020. – Vol 1, № 47. – С. 27-36.

### БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПРОИЗВОДСТВА ГРАНАТОВОГО СОКА: ОБЗОР

**Гафизов С.Г.**

*НИИ плодоводства и чаеводства Министерства Сельского Хозяйства, Азербайджан, докторант*

**Гафизов Г.К.**

*НИИ плодоводства и чаеводства Министерства Сельского Хозяйства, Азербайджан, зав. лабораторией*

### BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL OF POMEGRANATE JUICE BY-PRODUCTS: REVIEW

**Hafizov S.**

*Research Institute of Horticulture and Tea Industry of the Ministry of Agriculture, Azerbaijan, doctoral student*

**Hafizov G.**

*Research Institute of Horticulture and Tea Industry of the Ministry of Agriculture, Azerbaijan, Head of the Laboratory*

DOI: [10.24412/3162-2364-2021-62-1-38-44](https://doi.org/10.24412/3162-2364-2021-62-1-38-44)

#### АННОТАЦИЯ

Гранат, *Punica granatum L.*, - древний, мистический, уникальный плод, который растет на небольшом, долгоживущем дереве. Гранат является одной из самых важных плодовых культур в Азербайджане из-за своей адаптивной природы, высокой рентабельности и культивируется в коммерческих масштабах в Азербайджане, а плоды являются хорошим источником питательных веществ и биологически активных соединений, главным образом антоцианов, которые проявляют сильную химиопрофилактическую активность, такую как антимуtagenность, антигипертензивный, антиоксидантный потенциал и снижение

повреждения печени. В последнее десятилетие были опубликованы многочисленные исследования, касающиеся антиоксидантных, антиканцерогенных и противовоспалительных свойств компонентов граната. Эта обзорная статья посвящена выяснению биотехнологического потенциала побочных продуктов производства гранатового сока как сырья для получения продукции с добавочной стоимостью.

#### ABSTRACT

The pomegranate, *Punica granatum* L., is an ancient, mystical, unique fruit that grows on a small, long-lived tree. Pomegranate is one of the most important fruit crops in Azerbaijan because of its adaptable nature, high profitability and being cultivated on a commercial scale in Azerbaijan and the fruits are good source of nutrients and bioactive compounds, mainly anthocyanins which exhibit strong chemo-preventive activities such as anti-mutagenicity, anti-hypertension, anti-oxidative potential and reduction of liver injury. In the last decade, numerous studies have been published regarding the antioxidant, anti-carcinogenic and anti-inflammatory properties of pomegranate components. This review article is devoted to elucidating the biotechnological potential of by-products of pomegranate juice production as a raw material for obtaining value-added products.

**Ключевые слова:** плоды граната, переработка в сок, побочные продукты, вторичное сырье, биотехнологический потенциал.

**Keywords:** pomegranate fruits, processing into juice, by-products, secondary raw materials, biotechnological potential.

Гранат - это библейский плод, ему более пяти тысяч лет. Еще древние римляне дали гранату два латинских названия - *malum punicum* и *malum granatum*. Первое буквально означало «пуническое яблоко», пунийцами римляне называли финикийцев, переселившихся из Малой Азии в Северную Африку в XII-VII веках до н. э. и основавших там ряд колоний: Карфаген, Утика, Лептис-Магна и другие. В то время считалось, что лучшие гранаты растут именно в Карфагене.

Второе название, буквально означающее «зернистое яблоко» - *malum granatum*, легло в основу названий этого плода на других языках.

Немцы называют его на своем языке *Granatapfel* (нем. *Apfel* - яблоко), эстонцы - *granaatõun* (*õun* - яблоко) итальянцы - *melograna* (итал. *mela* - яблоко), шведы - *Granatäpple*, испанцы - *Granada*, французы - *Grenade* и англичане - *pomegranate* (от латинского слова *pomum* - плод).

Русское название гранат произошло от латинского слова *granatus* (зернистый).

Гранат - *Punica granatum* L. - это типичное сочно-семенное растение семейства Гранатовые (*Punicaceae*). Это кустарник или деревце до 5 м высоты. Листья ланцетовидные, темно-зеленые, до 8 см длиной и до 2 см шириной. Цветки ярко-красные или оранжево-красные, диморфные, кувшинообразной формы, обополюе (длиннопестичные) или колокольчатой формы (короткопестичные). Плод (гранатина) ложный, ягодообразный, обычно округлой формы, до 12-15 см в диаметре. Его окраска колеблется от беловатой окраски и коричнево-красной. На верхушке плода имеются твердые лопасти остающейся чашечки. Стенка плода - корка - плотная, кожистая, сочная мякоть отсутствует. Гнезда между перепончатыми перегородками плода заполнены зернами - сочными, пурпурно-малинового цвета семенами (до 400-700 штук). Семена многочисленные округло - неправильногранистые, с сочной мясистой оболочкой - саркотестой - от белого до темно-красного цвета.

Кусты граната вступают в период плодоношения с трехлетнего возраста. С плодоносящего куста снимают до 30-40 кг плодов, максимальные урожаи

могут достигать 200 кг/куст (до 800 плодов). Средняя масса плодов чаще составляет 200-250 г. Плоды способны храниться 4-6 мес. Растения граната живут 50-70 лет и более (до 100-150 лет).

Дикорастущий гранат встречается в Южной Европе и в Западной Азии (до Гималаев). В пределах бывшего СССР дикорастущий гранат наиболее распространен в Восточном Закавказье. История возделывания граната насчитывает более 3000 лет.

В настоящее время культура граната распространена по всему земному шару в тропиках и субтропиках.

Полезные свойства гранатового сока связаны с высоким содержанием в нем антиоксидантов - полифенолов (эллаготанины, антоцианины, эллаговая кислота) и минеральных веществ, из которых в наибольших количествах представлены калий, магний, медь. Сахара гранатового сока представлены глюкозой и фруктозой приблизительно в равных концентрациях. Из органических кислот в гранатовом соке преобладают лимонная и Л-яблочная, при этом содержание лимонной кислоты, как правило, в несколько раз превышает содержание Л-яблочной. Общая кислотность гранатового сока сока: в 100 см<sup>3</sup> сока присутствует в среднем 1,1 г органических кислот. В порции гранатового сока промышленного производства в среднем содержится 15% суточной потребности человека в калии, 5% в магнии, около 10% в меди. Гранатовый сок богат полифенольными соединениями - флавоноидами и фенольными кислотами, а также дубильными веществами, представленными в основном эллаготанинами. Содержание антоцианинов в гранатовом соке промышленного производства составляет в среднем 1 мг/100 см<sup>3</sup> (большая часть приходится на цианидин-3,5-О-диглюкозид - около 40% общего содержания антоцианинов), эллаговой кислоты - в среднем 4 мг/100 см<sup>3</sup>, общая концентрация эллаготанинов (в основном, пуникалина и пуникалагина) в среднем 40 мг/100 см<sup>3</sup> [1, с. 85].

В нутриентном профиле гранатового сока более 30 пищевых и биологически активных веществ, поэтому неудивительно, что именно натуральный сок является основным продуктом переработки гранатов.

Слабым местом классической технологии является “нерадивое” отношение к побочным продуктам производства гранатового сока, которых остается почти столько же, сколько выходит и сока.

На большинстве заводов стало правилом отправлять отходы на свалку, что является весьма обременительным занятием не только по чисто экономическим соображениям, но также с учетом того, что эти отходы представляют собой влажные скоропортящиеся продукты, которые при большом скоплении на свалке начинают разлагаться с выбросом в окружающую среду вредных веществ.

Самая первая индустриальная технология переработки гранатов была освоена еще в 60-е годы прошлого столетия в Азербайджане на Геокчайском соковом заводе, который начинал свою деятельность с выработки привычных яблочных и томатных соков, в 1969 году именно он первым в Азербайджане стал использовать в качестве сокового сырья гранат и айву. Успехов пришлось ждать почти 10 лет – в 1978 году гранатовый сок этого завода получил 2 золотые медали на международных выставках Egrfruit-78 (Германия) и Plovdiv-86 (Болгария), что свидетельствовало о признании качества этого продукта за рубежом. К 1984 году продукция завода поставлялась уже во все республики необъятного Советского Союза, а также были завоеваны несколько зарубежных рынков.

На этом заводе никогда не применяли технологию прямого отжима сока из целых плодов. Здесь натуральный сок всегда получали из сочных семян, отделенных от остальной массивной его части плода с названием «кожура», которая состоит из кожистого околоплодника, светлых мясистых перегородок и выростов плаценты и семенных гнезд. Поэтому при получении сока промышленным способом первой в работу включается машина по очистке гранатов от этой самой кожуры, а точнее – по их разделению на сочные семена (зерна граната) и кожуру.

В общей массе плода граната на съедобную часть – сочные семена (зерна) приходится всего 48-52 %; 78 % от общей массы зерен граната приходится на сок [2, с. 8].

Операция по отделению зерен проводится с помощью таких мощных машин как MEGRA (фирма Bertuzzi, Италия), с производительностью

по сырью от 5 до 6 тонн в час, которая обеспечить отделение до 99 % зерен и двести до минимума количество примесей - мелких частиц кожуры и перегородок [3, с. 1].

Но большинство других машин по очистке гранатов от кожуры могут обеспечить только отделение только 95 % зерен, у некоторых из которых (3-5 %) повреждена оболочка [4, с.1].

Хотя со времени своего возникновения технология переработки гранатов постоянно совершенствовалась, технический прогресс здесь развивался однобоко, лишь в сторону совершенствования способов сока, в то же время, такие важные ее составляющие, как расширение функционала и повышение экологической остались почти нетронутыми.

По пути углубления переработки сырья идут только передовые предприятия, такие как вышеупомянутый Геокчайский соковый завод (сейчас это AZNAR), но это дело продвигается очень медленно из-за отсутствия на рынках готовых решений многофункциональных производственных линий по комплексной переработке данного специфического вида сырья.

FENCO (Италия) может выполнить заказ на двойной комплект оборудования: по переработке плодов граната с получением осветленного гранатового сока путем отстаивания и ультрафильтрации (мощностью 1000 кг /ч исходного сырья) и масла семян граната (мощностью 60 кг семян/час) [5, с. 1].

Но это, почти никак не отразится на количестве неиспользуемой части сырья, так как высушивание семян и извлечение из них 10-15 % масла приведет к образованию новых отходов в виде обезжиренного остатка.

Кроме того, эффективная переработка побочных продуктов производства гранатового сока должна предусматривать вовлечение в этот процесс в первую очередь кожуры. Это связано с тем, что доля отжатых семян в общей массе плода граната не так значительна и составляет в среднем 14.4 %, в то же время доля корки (кожистого околоплодника) и внутренних перегородок (все вместе кожура) в общей массе плода граната значительно выше и составляет в среднем 40.2 %. [6, с 36]. Соотношение между кожурой с остаточной влажностью 10 % и семенами с такой же остаточной влажностью равно 2.3:1.

Таблица 1.

Средние данные по техническому составу 25 сортов и форм граната из Геокчая (Азербайджан) [6, с. 36].

n = 25	Полная масса плода, г	Доля в общей массе плода (грамм/%):				
		корки	Перегоро-док	сочных семян	отжатых семян	сока
$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$	247.5	75.0 / 30.3	24.3 / 9.8	148.2 / 59.9	35.7 / 14.4	112.5 / 45.5

Кожура плодов граната содержит несколько групп биологически активных соединений, и в частности, гидролизуемые танины (педанкулагин, пуникалин, пуникалагин и эллаговая и галловая кислоты) в концентрациях от 27 до 172 г / кг [7, с. 215].

Из флавоноидов в ней содержатся катехины, антоцианы и др.; она также богата сложными

полисахаридами и минералами (фосфор, магний, кальций, калий и азот) [8, с. 400].

Основными полифенолами гранатовой кожуры являются галловая кислота (14.147 мг/100 г сухой массы), протокатеховая кислота (14.512 мг/100 г сухой массы), хлорогеновая кислота (2.355 мг/100 г сухой массы), ванилиновая кислота (3.851

мг/100 г сухой массы), кумарин (3.534 мг/100 г сухой массы), кофеиновая кислота (2.748 мг/100 г сухой массы), олеуропеин (0.590 мг/100 г сухой массы), феруловая кислота (1,857 мг/100 г сухой массы) и кверцетин (0,949 мг/100 г сухой массы); кожура также содержит кофеин (6.420 мг/100 г сухой массы). На «arils» (так называют зерна граната) приходится приблизительно 50 % от общего веса всего фрукта, а на семена (без окружающей их сочной оболочки) - около 10 % от общей массы зерен [9, с. 90].

По другим данным выход собственно семян составляет 40 - 100 г / 1 кг фруктов; семена являются богатыми источниками общих липидов (12 - 20 г/100 г высушенных семян), 80 % которых являются полиненасыщенными (n-3) конъюгированными октадекатриеновыми жирными кислотами,

среди которых преобладают пуниковая и др. цис, транс, цис – Δ - 9,11,13 кислоты [10, с. 135].

Содержание жирных кислот в масле семян граната достигает 95 % от полной его массы, 99 % которого представлено триацилглицерином. В масле в незначительных количествах содержатся стерин, стероиды, токоферолы и цереброзид [11, с. 679].

Поверхностная оболочка семян граната состоит из лигнина и, вероятно, некоторых антиоксидантных производных лигнина, а также гидроксibenзойных / коричневых кислот и изофлавонов [12, с. 380].

Как видно из таблицы 2, побочные продукты производства гранатового сока - это целая кладовая биоактивных соединений.

Таблица 2.

Основные фитохимические соединения гранатового сока и побочных продуктов промышленного процесса [9, 13].

Гранатовый сок	Антоцианы; глюкоза; аскорбиновая кислота; фенольные соединения, такие как эллаговая кислота, кофейная кислота, катехин, эпигаллокатехин галат, кверцетин, рутин; аминокислоты и минеральные вещества
Масло семян граната	Пуниковая кислота; эллагиновая кислота; жирные кислоты; стеролы (даукостерол, кампестерол, стигмастерин и b-ситостеролы); фенилалифатические гликозиды; изофлавоны и куместерол
Кожура плодов граната	Фенольные соединения, такие как пуникалагин, галловая кислота, катехин, эпигаллокатехин галат, кверцетин, рутин, антоцианидины и другие флавоноиды; диетические волокна; нейтральные сахара (ксилоза, арабиноза)

Был изучен аминокислотный состав белков двух порошкообразных продуктов, полученных из кожуры и семян граната с остаточной влажностью 13,7 и 5,82 г/100 г соответственно [13, с. 172]. Белок кожуры граната отличался более высоким содержанием лизина, лейцина, ароматических жирных кислот (фенилаланин и тирозин), треонина и валина, чем эталонный образец белка, а содержание в нем серосодержащих аминокислот (метионин и цистеин) и изолейцина, находилось на уровнях 95,7 и 93,2 % от требуемых уровней.

В порошках кожуры и семян граната удалось обнаружить все тестируемые минералы, за исключением Mg. Из минералов в порошке кожуры преобладали Ca, K, P и Na, содержание которых составило 338,5, 146,4, 117,9 и 66,4 мг / 100 г порошка; за ними следовали Fe, Zn, Cu и Se с концентрацией соответственно 5,93, 1,01, 0,60 и 1,02 мг / 100 г. В порошке семян из макроэлементов преобладали P, K и Ca - 481,1, 434,4 и 229,2 176 мг / 100 г порошка;

Na, Fe, Zn, Mn, Cu и Se были представлены в порошке семян в концентрациях 33,03, 10,88, 5,54, 2,26, 3,82 и 0,23 мг / 100 г.

Анализ показал, что в порошке из кожуры полифенолы представлены такими фракциями как катехины, фенол, галловая кислота, кофейная кислота, эллаговая кислота, п-кумаровая кислота и резорцинол (resocinol) в количествах, соответственно, 868,4; 242,7; 125,8; 60,46; 44,19; 17,64 и 12,50 мг / 100 г порошка. Кроме того, порошок кожуры содержал протокатехол, п-гидроксibenзойную кислоту, ванилин, феруловую кислоту и другие полифенолы в концентрациях, соответственно, 4,17; 9,02; 3,91; 5,89; 8,20 мг / 100 г. Общее содержание фенольных соединений в пересчете на галловую кислоту составило 1402, 88 мг/100 г порошка.

В таблице 3 представлены данные этих же авторов, показывающие содержание питательных веществ и суммы полифенолов в порошках кожуры и семян плодов граната.

Таблица 3.

Содержание питательных веществ и суммарного количества полифенолов в порошках кожуры и семян граната [13, с. 175].

Показатели химического состава	Кожура в порошке		Семена в порошке
	г/ 100 г воздушно-сухой массы		
Вода	13,7		5,82
Белок	3,10		13,66
Жир	1,73		29,60
Зола	3,30		1,49
Волокна	11,20		39,36
Карбогидраты	80,50		13,12
Сумма полифенолов	27,92		0,25

Как видно, влажность порошка кожуры составила 13,7 мас. %, а порошка семян - 5,82 мас. %. На долю сырого протеина, сырого жира, золы, сырых волокон и углеводов в общей массе порошка кожуры пришлось 3,10; 1,73; 3,30; 11,22 и 80,50 %, а в общей массе порошка семян - 13,66; 29,60; 1,49; 39,36 и 13,12 %.

Кожура граната отличается от его семян более высокой антиоксидантной активностью [14, с. 4728-15, с. 75].

Получены данные, которые говорят о большом потенциале плодов граната как нового источника проантоцианидинов [16].

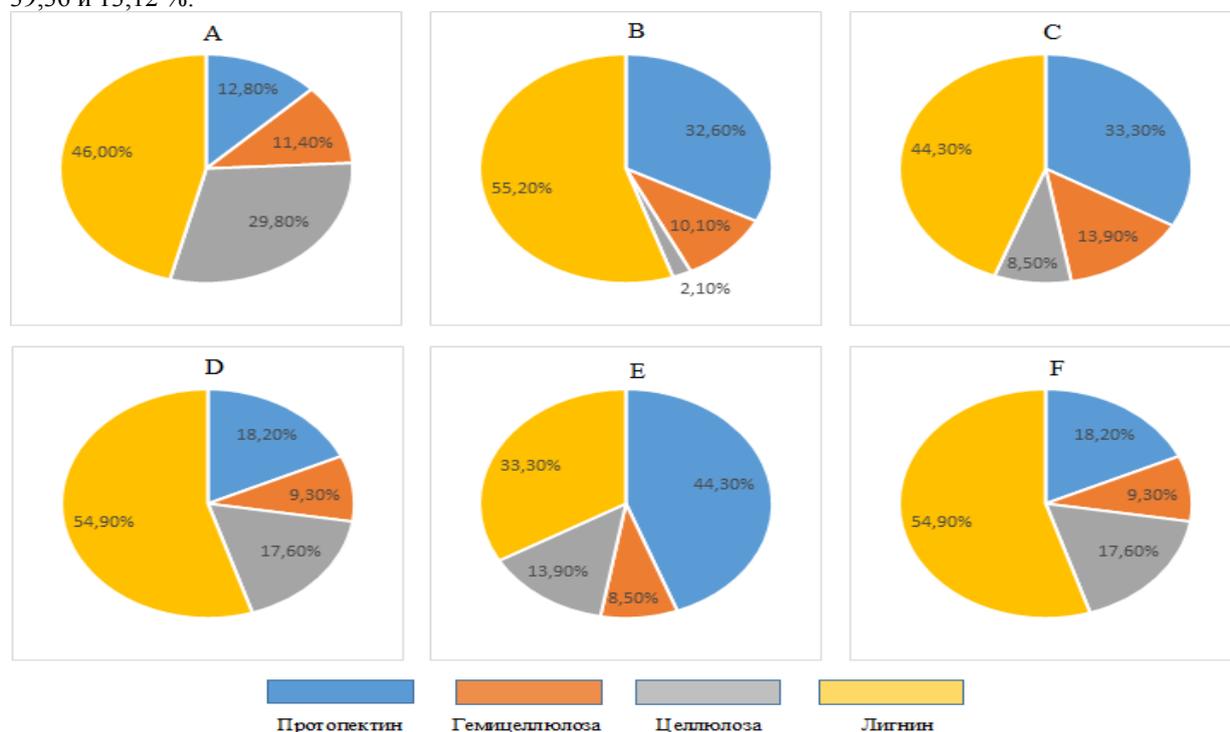


Рисунок 1. Баланс между основными компонентами пищевых волокон, выделенных из разных источников (в процентах от их суммарного количества): А) - кожура плодов хурмы ручной очистки; В) - кожура плодов граната ручной очистки; С) - кожура плодов мандарина ручной очистки; D) – кожура плодов груши; E) – семена плодов граната; F) – яблочные выжимки [17, с. 30].

В кожуре граната целлюлозы гораздо меньше, чем в его семенах; основными углеводами кожуры являются протопектин, гемицеллюлозы и лигнин (рисунок 1).

Как видно из приведенного обзора, кожура значительно опережает семена по содержанию углеводов и полифенолов, но также значительно уступает им по содержанию жира и белка. Оба порошка могут послужить источниками диетических волокон, способных снижать уровень холестерина в сыворотке крови, повышать толерантность к глюкозе и реакцию на инсулин, снижать гиперлипиде-

мию и гипертонию, оздоравливать желудочно-кишечный тракт и предотвращать некоторые виды рака, такие как рак толстой кишки. Одновременно, волокна можно рассматривать в качестве потенциальных ингредиентов мясных продуктов из-за их способности уменьшать остаточный уровень нитрита, позволяющих, тем самым, избежать возможного образования нитрозаминов и нитрозамидов. И они могут найти применение в переработке мяса в качестве заменителя жира, восстановителя абсорбции жира во время жарки, объемного усилителя, связующего, наполнителя и стабилизатора.



Рисунок 2. Преимущества, которые принесет с собой диверсификация производства.

Потребители в не меньшей мере должны быть заинтересованы и в незаменимых жирных кислотах, которые содержатся в порошке семян граната. Это конъюгированная линолевая кислота и конъюгированная линоленовая кислота, которые играют важную роль в качестве компонентов пищи, предотвращающих сердечные заболевания, защищающих организм человека от различных видов рака и растворяющих попавшие в организм человека насыщенные жирные кислоты.

Валоризация такого ценного сырья может породить развитие данного устоявшегося производства за счет его диверсификации - расширения ассортимента выпускаемой продукции и переориентации рынков сбыта, освоения новых видов производств, с целью повышения эффективности производства, получения экономической выгоды, предотвращение банкротства. Диверсификация принесет с собой ряд экономических преимуществ, что отражено в рисунке 2.

Таким образом, уникальность кожуры и семян граната состоит в том, что индивидуальная кожура и индивидуальные семена, так и смесь кожуры и семян (жом прямого отжима сока из подов граната) представляют собой весьма удобные объекты для поэтапной избирательной экстракции гидрофильных и липофильных фракций [18, с. 52]. Порошкообразная смесь кожуры и семян почти наполовину состоит из простых сахаров, органических кислот, полифенолов, жирного масла и жироподобных веществ [6, с. 38].

После избирательной экстракции из этого сырья гидрофильных и липофильных фракций образуется послеэкстракционный остаток, который в обезвоженном виде будет содержать вдвое больше минералов, белка и пищевых волокон, чем исходное сырье, что может послужить основанием для дальнейшего его преобразования в добавки для фортификации современных продуктов питания.

### Литература

1. Хомич Л.М., Перова И.Б., К. И. Эллер К.И. Нутриентный профиль гранатового сока. Вопросы питания. 2019, т. 88, № 5. - с. 80-92. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41403885>.
2. Dhinesh K.V., Ramasami D. Pomegranate Processing and Value Addition: Review. J Food Process Technol. 2016, 7(3): 1-11. DOI: 10.4172/2157-7110.1000565.
3. Bertuzzi food processing - pomegranate juice production plant. URL: <http://www.bertuzzi.it/cms/stories/pdf/> (Accessed date: 01.02. 2017).
4. Линии очистки гранатов - революционная технология. URL: [www.agro-t.de/Binder/pomegranate.html/](http://www.agro-t.de/Binder/pomegranate.html/) (Дата обращения: 15.01.2016).
5. Технологическая линия по производству осветленного фруктового сока. URL: <http://www.fenco.it/ru>. (Дата обращения: 15.01.2015).
6. Гафизов С.Г., Гафизов Г.К. Способ получения липофильных комплексов, полифенолов и пищевых добавок из побочных продуктов производства гранатового сока. RU 2712602 C1. 2020. Бюл. №4. URL: [https://patents.s3.yandex.net/RU2712602C1\\_20200129.pdf](https://patents.s3.yandex.net/RU2712602C1_20200129.pdf).
7. Fisher U.A., Jaksch A.V., Carle R., KammererD.R. Influence of origin, different fruit tissue and juice extraction methods on anthocyanin, phenolic acid, hydrolysable tannin and isolaricesinol contents of pomegranate (*Punica granatum* L) fruits and juices. Eur Food ResTech. 2013, 237(2): 209-221. DOI: 10.1007/s00217-013-1981-2.
8. Ismail T., Sestili P., Akhtar S. Pomegranate peel and fruit extracts: a review of potential anti-inflammatory and anti-infective effects. J Ethnopharmacol. 2012, 143(2): 397-405. DOI: 10.1016/j.jep.2012.07.004.
9. Farag R.S., Latif M.S.A., Emam S.S., Tawfeek L.S. Phytochemical screening and polyphenol constituents of pomegranate peels and leave juices. Agric Soil Sci. 2014, 1(6): 86-93. URL: <https://>

scholar.cu.edu.eg/sites/default/files/layla/files/landmark\_farag\_et\_al.pdf.

10. Jurenka J.S. Therapeutic Applications of Pomegranate (*Punicagranatum L.*): A Review. *Altern Med Rev.* 2008, 13: 128-144. URL: [https://www.researchgate.net/publication/5261934\\_Therapeutic\\_Applications\\_of\\_Pomegranate\\_Punica\\_granatum\\_L\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/5261934_Therapeutic_Applications_of_Pomegranate_Punica_granatum_L_A_Review).

11. Fadavi A., Barzegar M., Azizi H.M. Determination of fatty acids and total lipid content in oilseed of 25 pomegranates varieties grown in Iran. *J. Food Comp Anal.* 2006, 19(6-7): 676-680. DOI: 10.1016/j.jfca.2004.09.002.

12. Syed D.N., Afaq F., Mukhtar Y. Pomegranate derived products for cancer chemoprevention. *Semin Cancer Biolol.* 2007, Vol. 17, Issue No. 5, pp. 377-385. DOI: 10.1016/j.semcancer.2007.05.004.

13. Rowayshed G., Salama A., Fadl M.A., Hamza S.A., Emad A.M. Nutritional and chemical evaluation for pomegranate (*Punica granatum L.*) fruit peel and seeds powders by products. *Middle East J Appl Sci.* 2013, 3(4): 169-179. URL: [https://www.researchgate.net/publication/324797488\\_Nutritional\\_and\\_Chemical\\_Evaluation\\_for\\_Pomegranate\\_Punica\\_granatum\\_L\\_Fruit\\_Peel\\_and\\_Seeds\\_Powders\\_By\\_Products](https://www.researchgate.net/publication/324797488_Nutritional_and_Chemical_Evaluation_for_Pomegranate_Punica_granatum_L_Fruit_Peel_and_Seeds_Powders_By_Products).

14. Elfalleh W., Hannachi H., Tlili N., Yahia Y. et al. Total phenolic contents and antioxidant activities of pomegranate peel, seed, leaf and flower. *J. Med Plants Res.* 2012, Vol. 6. Pp. 4724-4730. URL: [https://www.researchgate.net/publication/268349306\\_Total\\_phenolic\\_contents\\_and\\_antioxidant\\_activities\\_of\\_pomegranate\\_peel\\_seed\\_leaf\\_and\\_flower](https://www.researchgate.net/publication/268349306_Total_phenolic_contents_and_antioxidant_activities_of_pomegranate_peel_seed_leaf_and_flower).

15. Zaki S.A., Abdelatif S.H., Abdelmohsen N.R., Ismail F.A. Phenolic Compounds and antioxidant activities of pomegranate peels. *Int J Food Eng.* 2015, 1(2): 73-76. DOI: 10.18178/ijfe.1.2.73-76.

16. Musina O.N., Farzaliyev E.B., Hafizov S.G., Hafizov G.K. Assessment of the level of accumulation of proanthocyanidins in certain parts of pomegranate fruits. *Scientific Collection «InterConf», (37): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Recent Scientific Investigation» (December 6-8, 2020). Oslo, Norway: Dagens naeringsliv forlag, 2020. pp. 968-970. URL: <https://www.interconf.top/documents/2020.12.6-8.pdf>.*

17. Гафизов С. Г., Мусина О. Н., Фарзалиев Э.Б., Гафизов Г. К. Комплексная переработка плодов граната: реализованные проекты и перспективные предложения. *Научные вести Азербайджанского Технологического Университета*, 2019, № 4/31, с. 24-34. URL: [http://scientific.uteca.edu.az/yuklemeler/elmi\\_xeberler\\_II\\_\(N29\)\\_2019.pdf](http://scientific.uteca.edu.az/yuklemeler/elmi_xeberler_II_(N29)_2019.pdf).

18. Hafizov S., Hafizov G. Environmentally friendly technology for processing individual peels and individual seeds or a mixture of them left after obtaining juice from pomegranate fruits. *Collection theses «1st International conference of European Academy Science».* Bonn (Germany), 2018, pp. 51-52. URL: [https://r.donnu.edu.ua/bitstream/123456789/1271/1/3\\_18First%20International%20conference%20of%20European%20Academy%20of%20Science.pdf](https://r.donnu.edu.ua/bitstream/123456789/1271/1/3_18First%20International%20conference%20of%20European%20Academy%20of%20Science.pdf).

## ТАКТИКА ГАСІННЯ ТА ПРОТИПОЖЕЖНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЛІКВІДАЦІ ПОЖЕЖ В ЕКОСИСТЕМАХ ТОРФ-ЛІС

**Сукач Р.Ю.**

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, старший викладач*  
**Ковалишин В.В.**

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, завідувач кафедри*  
**Кирилів Я.Б.**

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, старший науковий співробітник*

## EXTINGUISHING TACTICS AND FIRE-FIGHTING EQUIPMENT FOR EXTINGUISHING FIRES IN PEAT-FOREST ECOSYSTEMS

**Sukach R.**

*Lviv State University of Life Safety, Senior Lecturer*  
**Kovalyshyn V.**

*Lviv State University of Life Safety, Head of Department*  
**Kyryliv Y.**

*Lviv State University of Life Safety, Senior Researcher*  
DOI: [10.24412/3162-2364-2021-62-1-44-48](https://doi.org/10.24412/3162-2364-2021-62-1-44-48)

### АНОТАЦІЯ

В статті розглянуто причини виникнення торф'яних пожеж в екосистемах торф-ліс, а також їх негативний вплив на території, транспорт та людей. Розглянуто умови протікання таких пожеж та їх характерні

особливості. Описано тактику гасіння торф'яних пожеж в екосистемах торф-ліс різними способами, які дозволяють ліквідувати такі пожежі. Розроблено конструкцію спеціального пожежного ствола для гасіння торф'яних пожеж в екосистемах торф-ліс, що укрупчується в шар пористих речовин, землі, торфу на глибини до 5 м. Проведено попередні випробування експериментального зразка ствола спеціального пожежного, які показали його ефективність.

#### ABSTRACT

The article discusses the causes of peat fires in peat-forest ecosystems, as well as their negative impact on the territory, transport and people. The conditions of such fires and their characteristic features are considered. The tactics of extinguishing peat fires in peat-forest ecosystems by various methods are described, which allow to extinguish such fires. The design of a special fire barrel for extinguishing peat fires in peat-forest ecosystems has been developed, which is screwed into a layer of porous substances, earth, peat to a depth of 5 m. Preliminary tests of an experimental sample of a special fireman barrel have been carried out, which have shown its effectiveness.

**Ключові слова:** торф'яні пожежі, тактика гасіння, спеціальний пожежний ствол, експериментальний зразок.

**Keywords:** peat fires, extinguishing tactics, special fire barrel, experimental sample.

**Постановка проблеми.** Щороку, особливо в період літньої посухи часто трапляється, що надходить інформація про пожежі на осушених болотах. Пожежі, що виникли в лісах, як правило, завжди супроводжуються пожежами та згорянням торф'яних родючих ґрунтів низинних боліт [1]. Існує певна циклічність цього небезпечного явища. Зазвичай загроза торф'яних пожеж зростає в літні місяці. Пожежі викликають глибоку деградацію торф'яних ґрунтів або їх повне знищення, різко знижують різноманітність і чисельність біоти, погіршують екологічні умови існування людини, роблять неможливим його проживання на таких територіях. Негативний вплив згоряння торф'яних ґрунтів в результаті пожеж, як правило, не обмежується простором болотного ландшафту [2-4]. Дим від таких пожеж поширюється на значні території, що різко знижує видимість, викликає значні труднощі в роботі транспорту і погіршує самопочуття людей.

#### Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Такі явища, зокрема, мали місце в місті Львові та у Львівській області протягом тривалого періоду [5]. Таким чином, можна помітити, що проблема торф'яних пожеж є дуже актуальною для нашої країни.

Залежно від водяних та мінералогічних умов розрізняють три типи торфу: низинний, перехідний і верховий. Оцінки товщини шару торфу і вмісту в ньому вуглецю утруднені. Середня товщина шару оцінюється приблизно в 1,5 ÷ 2,3 м. Місцями потужності торф'яних покладів можуть досягати до 10 метрів.

Загоряння торфу на полях видобутку і в місцях зберігання відбуваються протягом усього року. Найбільше число загорянь припадає, як правило, на другу половину другого кварталу і першу половину третього. При цьому, торфовища можуть горіти і в зимову пору року. Торф містить в собі сполуки здатні легко окислюватися при температурі 60-70 °С. Самозаймання торфу, що відбувається під впливом взаємозалежних фізичних, біохімічних і хімічних процесів, веде до виділення великої кількості тепла. При 600 °С і більше протягом кількох днів торф перетворюється в обвуглену пористу суху масу, так званий «напівкок». Починається самозаймання торфу, причому цей процес різко прискорюється при

проникненні в нього кисню повітря [6]. В середньому при його горінні виділяється близько 13000 кДж/кг, а у напівкоксу ця величина досягає 25000 кДж/кг, в осередку температура горіння може досягати 1000 °С. Тому існуючі методи боротьби з торф'яними пожежами потребують, як вдосконалення їх самих, так і обладнання яке використовується для цього.

**Мега роботи.** Запропонувати тактику гасіння торф'яних пожеж з використанням спеціального пожежного ствола з покращеними параметрами для підвищення ефективності гасіння таких пожеж в екосистемах торф-ліс.

**Виклад основного матеріалу.** Найбільш небезпечні торф'яні пожежі виникають на осушених торфовищах – болотах, які були осушені шляхом прокладки спеціальної мережі осушувальних каналів (дренажної мережі) з метою видобутку торфу, вирощування сільськогосподарських культур або підвищення продуктивності лісів. Особливістю торф'яних пожеж є те, що торф не горить відкритим вогнем – він тліє, виділяючи велику кількість диму. Швидкість тління сильно залежить від вологості торфу і від температури. Тління торфу може тривати навіть взимку, і навіть в дуже сильні морози, оскільки осередки безпосереднього тління виявляються прикритими від холоду вище розташованими шарами торфу або торф'яної золи. Лише ретельне перемішування тліючого торфу з великою кількістю води або снігу здатне зупинити процес тління [2].

Оскільки торф тліє довго, і інтенсивність тління сильно змінюється з плином часу, для характеристики інтенсивності торф'яних пожеж використовують глибину прогорання. За середньою глибиною прогорання торф'яні пожежі діляться на слабкі (до 25 см), середні (25-50 см), і сильні (понад 50 см). Навіть при найбільш потужних і тривалих пожежах на осушених торфовищах за один сезон майже ніколи не прогорає шар торфу більше одного метра. Лише на окремих найбільш дренажних або підвищених ділянках, наприклад – в буртах торфу або на відвалах магістральних каналів, глибина прогорання за один сезон може досягати декількох метрів. Такі ділянки, як правило, дають найбільший внесок в утворення диму при торф'яній пожежі [2].

Тактика гасіння торф'яних пожеж в екосистемах торф-ліс. Засоби і способи гасіння конкретної

торф'яної пожежі залежать від багатьох факторів, пов'язаних з площею пожежі, що виникла, глибини залягання торфу, наявності поблизу водойм, під'їзних шляхів, наявності в розпорядженні техніки і засобів для гасіння, рельєфу місцевості [7, 8] і т.д. Основні технічні засоби використовуються для гасіння торф'яних пожеж:

1) Пролівання торфу водою (іноді із змочувачем).

При такому способі потрібно забезпечити витрату води в 1 тонну на 1 м<sup>2</sup> палаючої площі. Гасять торфовища подачею води з рукава за допомогою пожежних насосних станцій (ПНС) і високонапірних мотопомп, при цьому, як правило, в групі із ствольщиком потрібна робота не менше 3 осіб, які крім перенесення робочої рукавної лінії за допомогою ручного інструменту розкопують і перемішують пласти торфовища. Для забезпечення районів, де є дефіцит води, здійснюється будівництво проміжних водойм, які заповнюються водою. Для здійснення водопостачання, актуальним є використання сучасної потужної техніки для подавання води, наприклад насосно-рукавних комплексів типу «Потік» і «Шквал». Для збільшення змочувальної здатності води можуть застосовуватися змочувальні поверхнево-активні речовини (ПАР). У перелік сертифікованих складів, що володіють піноутворювачами і, в більшості випадків, змочувальними властивостями, входять близько 150 найменувань. При гасінні ґрунтових або торф'яних пожеж дозування розчину вогнегасної речовини сильно залежить від глибини (потужності) шару торфу. Так середня витрата розчинів ПАР становить близько 1 м<sup>3</sup> розчину на 4 м<sup>3</sup> торфу. У зв'язку з екологічними питаннями застосування різних ПАР для гасіння великих з багатьма осередками торф'яних пожеж не доцільно. Для гасіння торф'яних пожеж можуть застосовуватися тільки «м'які» піноутворювачі. Особливість «м'яких» піноутворювачів в тому, що вони можуть швидко і помірно розкладатися, тому їх умовно відносять до біологічно «м'яких» піноутворювачів. Їх застосування ефективніше при ліквідації невеликих загорянь торфу. Категорично не рекомендується використовувати фторвмісні піноутворювачі у зв'язку з тим, що вони не є продуктами, які біологічно розкладаються потрапляючи в ґрунт і водойми та здатні викликати екологічні проблеми.

2) Зняття торф'яного шару до ґрунту тракторами і бульдозерами.

При неглибокому заляганні торфу (до 15 см) – зняття торф'яного шару до ґрунту тракторами і бульдозерами з одночасною подачею води для зволоження покриву перед ножом, перемішування і зволоження торфу.

3) При невеликих осередках – «уколи» торф'яними стволами типу ТС-1 і ТС-2 через 30-40 см в 2 ряди навколо вогнища пожежі.

Ствол ТС-1 з закритим краном вводиться на всю глибину прогару і відкривається кран для подачі води. Час подачі 6-16 секунд в залежності від прогорання торф'яного покладу. Потім виймають ствол, відступають на 0,3-0,4 метра і знову встромляють ствол для подачі води. Для успішної локалізації пожежі необхідно пройти зі стволом другий ряд свердловин паралельно першому і розташованому від нього на 0,3-0,4 метра. При глибині прогару більше 2 метрів необхідно використовувати ствол ТС-2.

4) У ряді випадків при гасінні палаючого торфу (шаром 20-25 см) ефективним є навал на нього бульдозером мокрого або сильно вологого торфу при товщині 40-45 см з подальшим ущільненням всього шару вагою бульдозера.

Даний спосіб досить ефективний при гасінні торф'яних пожеж в зимовий період часу, проте його застосування пов'язане з високим ризиком потрапляння техніки в прогари.

5) У разі багатоосередкових торф'яних пожеж, гасіння доцільно проводити на шляху де знаходяться осередки горіння. Як правило, канали рекомендується копати шириною 0,7-1,0 м і глибиною до мінерального ґрунту або ґрунтових вод. При проведенні земляних робіт використовується спеціальна техніка: канавокопачі, екскаватори, бульдозери, грейдери, інші машини, придатні для цієї роботи. Однак цей спосіб в даний час вимагає значних витрат часу, і часто повністю локалізувати площу палаючих торфовищ не вдається. Це пов'язано з рельєфом місцевості, глибиною залягання торфу.

Провівши дослідження способом гасіння торф'яних пожеж нами розроблений ствол пожежний [9], для глибинного гасіння торф'яних пожеж (рис. 1). Ствол спеціальний пожежний глибинного гасіння складається з: ручок, сполучної головки, фланця, «кутового пристрою», гвинтової палі типу «Геошурп» з отворами. Принцип роботи даного спеціального пожежного ствола глибинного гасіння такий: потік води, що проходить через отвори діаметром 5 мм в насадці, проникає в шар горючого матеріалу в радіусі 2-3 м в залежності від пористості матеріалу і вогнегасна рідина проникає по всій глибині занурення ствола. Для приведення в дію ствола пожежного для глибинного гасіння необхідно встановити ствол у вертикальне положення до

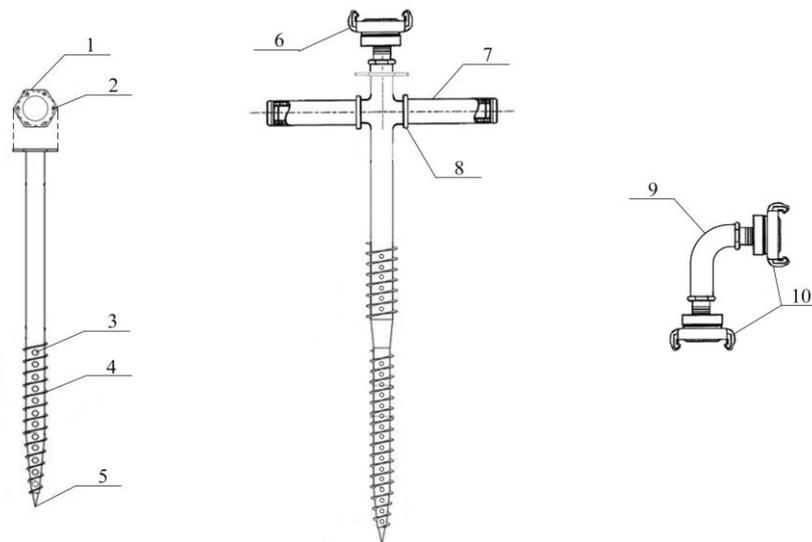


Рис. 1. Схема розміщення елементів спеціального пожежного ствола для гасіння підземних пожеж: 1 – фланець для під'єднання спеціальної машинки для закручування (викручування); 2 – отвори для болтового з'єднання з спеціальною машинкою; 3 – отвір для подавання вогнегасної речовини; 4 – припаяна суцільна спіраль; 5 – наконечник з оцинкованої гартованої сталі; 6 – з'єднувальна головка для підключення «кутового з'єднання»; 7 – ручки вентиляного типу для закручування ствола; 8 – роз'єм для вкручування ручок вентиляного типу; 9 – стальна труба зігнута під кутом 90°; 10 – дві з'єднувальні головки для підключення до пожежного ствола для гасіння підземних пожеж та рукава шару який горить, при цьому кінець гвинтової палі з отворами повинен бути вставлений в цей шар. За допомогою ручок здійснити вгвинчування ствола за годинниковою стрілкою в шар, який горить, на необхідну глибину, при цьому можна скористатися спеціальною електричною машинкою для закручування (викручування). Приєднати «кутовий пристрій» сполучної головки, прокласти робочу лінію (пожежні рукави) діаметром 71 мм від мотопомпи або пожежного автомобіля і підключити до сполучної головки «кутовий пристрій». Для нормальної роботи ствол спеціальний пожежний глибинного гасіння повинен мати тиск в робочій лінії 0,2-0,6 МПа (2-6 атм.).

Розроблений пожежний ствол призначений для глибинного гасіння пожеж в будь-яку пору року. Завдяки його конусоподібній формі що виготовлена із оцинкованої загартованої сталі з наконечником та припаяною суцільною спіраллю ми можемо подавати вогнегасні речовини на глибину понад 2 метри. Це підвищує ефективність подачі вогнегасних речовин в середок горіння завдяки укрупнюванню ствола в горючий шар, що дозволяє гасити пожежі на заданій глибині, а саме до 7-ми метрів.

Краще гасіння на глибині здійснюється завдяки подачі води (розчину піноутворювача) безпосередньо з моменту введення ствола в горючий шар. Поставлена задача вирішується тим, що ствол пожежний для глибинного гасіння встановлюється на кінці пожежної рукавної лінії. Під тиском від насоса пожежного автомобіля або мотопомпи, вода (розчин піноутворювача) подається по рукаву діаметром 77 мм. Ефект гасіння глибинних пожеж з глибиною прогорання більше 2 м стає можливим завдяки тому, що вода (розчин піноутворювача) через отвори в корпусі ствола подається не на поверхню, а в глибину джерела горіння. При цьому, завдяки гвинтовій частині шляхом обертання її ствол вкручується і викручується з осередку горіння.

Запропонований ствол пожежний для глибинного гасіння, відрізняється від стволів ТС-1 і ТС-2

[2], тим що має ручки (вентильного типу) призначені для закручування в шар пористих речовин, землі, торфу на глибину; підвищує ефективність пожежогасіння горючих речовин, сполук, матеріалів на глибині, завдяки подачі води (розчину піноутворювача) безпосередньо з моменту введення ствола в горючий шар, дозволяє здійснювати гасіння по всій глибині його розміщення більше 5 м. Також ствол може укрупнюватися на глибину більше 2-х метрів не тільки за допомогою ручної сили, а й за допомогою спеціальної електричної машинки для закручування (викручування) гвинтових паль (KR E 20 Z1). Швидке закручування (викручування) здійснюється завдяки швидкому від'єднанню сполучної головки і приєднанню машинки до фланця гвинтової палі за допомогою 6 болтів. Ствол має спеціальний «кутовий пристрій», який запобігає заломленню рукавної лінії.

Також введення ствола за допомогою електричної машинки для закручування (викручування) гвинтових паль (KR E 20 Z1) забезпечує безпечні умови праці пожежного під час поглиблення ствола на певну глибину.

Крім того, розроблений експериментальний зріз спеціального пожежного ствола (рис. 2) та проведені попередні його випробування на



Рис. 2. Випробування дослідного зразка ствола спеціального пожежного у відкритому просторі (а) та укрученого в ґрунт (б)

ефективність застосування. Під час цих випробувань він показав себе досить ефективним. В подальшому необхідно дослідити його тактико-технічні характеристики.

#### Висновки.

1. Розглянуто тактику гасіння торф'яних пожеж в екосистемах торф-ліс різними способами, які дозволяють ліквідувати такі пожежі.

2. Розроблено конструкцію спеціального пожежного ствола для гасіння торф'яних пожеж в екосистемах торф-ліс, що укручується в шар пористих речовин, землі, торфу на глибини до 5 м, що підвищує ефективність пожегогасіння горючих речовин, сполук, матеріалів завдяки подачі води (розчину піноутворювача) безпосередньо з моменту введення ствола в горючий шар.

3. Проведено попередні випробування експериментального зразка ствола спеціального пожежного у відкритому просторі та укрученого в ґрунт, де він показав свою ефективність.

4. В подальшому необхідно дослідити тактико-технічні характеристики ствола спеціального пожежного.

#### Література

1. Yu. Bogdanova *et al.* Improving of operating efficiency of fire brigades during the suppression of peat fires by introducing a unit for bioactivating drinking water into a water supply concept (an example of Tver region) 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 492 012022.
2. Сукач Р.Ю., Ковалишин В.В., Кирилів Я.Б. (2019). Зниження пожежної небезпеки торф'яників, торфорозробок та способи і протипожежне облад-

нання для підвищення ефективності їх гасіння. Пожежна безпека, 35, 75-82. <https://doi.org/10.32447/20786662.35.2019.12>

3. Мигаленко К.І. Дослідження процесу горіння торфу / К.І. Мигаленко, Є.С. Ленартович, Є.О. Тищенко // Збірник наукових праць: «Пожежна безпека: теорія і практика». – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2009. – №3. – С. 65-69.

4. Ленартович Є.С, Мигаленко К.І., Тищенко Є.О. Залежність процесу горіння та поширення підземних пожеж на торф'яниках від фізико-хімічних властивостей торфу // Пожежна безпека: Збірник наукових праць. – Львів 2008. – №12. – С. 80-84.

5. Ущипівський І.Л. Гасіння пожеж лісових та торф'яних пожеж у Львівській області / І.Л. Ущипівський, В.Б. Грицай, С.І. Пехник // Пожежна безпека: Збірник наукових праць. – Львів: ЛДУБЖД. 2005. – №6. – С. 35-42.

6. Мигаленко К.І., Семерак М.М. Проблеми розповсюдження пожеж на торф'яниках в літній період // Пожежна безпека: Збірник наукових праць. – Львів 2011. – №18. – С. 107-114.

7. Методика тушення ландшафтних пожаров (утв. МЧС России 14 сентября 2015 г. № 2-4-87-32-ЛБ)

8. Клуб пожарных спасателей – <https://fireman.club/statyi-polzovateley/sposobyi-tusheniya-torfyanyih-pozharov/>.

9. Пат. 133683 Україна, МПК А62С 3/02 (2006.01). Спеціальний пожежний ствол для гасіння підземних пожеж/ Ковалишин В.В., Сукач Р.Ю., Антонов А.В.; заявник та власник ЛДУ БЖД. – № u 2018 07685; заявл. 09.07.18; опубл. 25.04.19, Бюл. № 8.

## РОЛЬ ЧЕЛОВЕКА В ИНДУСТРИИ 4.0 И ЕЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

**Николаев И.С.**

*Магистрант кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование», ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»*

**Воронов В.В.**

*Магистрант кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование», ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»*

**Шильяев С.А.**

*Профессор кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование», ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»*

## THE ROLE OF HUMAN IN INDUSTRY 4.0 AND ITS PERSPECTIVES

**Nikolaev I.**

*Master student of the department "Automobiles and metalworking equipment", FSBEI VO "Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov"*

**Voronov V.**

*Master student of the department "Automobiles and metalworking equipment", FSBEI VO "Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov"*

**Shilyaev S.**

*Professor of the department "Automobiles and metalworking equipment", FSBEI HE "Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov"*

DOI: [10.24412/3162-2364-2021-62-1-49-56](https://doi.org/10.24412/3162-2364-2021-62-1-49-56)

### АННОТАЦИЯ

В данной статье проведен краткий обзор четвертой промышленной революции, ее история и перспективы. Рассмотрена роль человека и машины в индустрии 4.0. С помощью песчаного конуса и цикла Деминга показана важность качества рабочей силы и как человеческие навыки являются ускорителем во вселенной индустрии 4.0.

### ABSTRACT

This article provides a brief overview of the fourth industrial revolution, its history and prospects. The role of man and machine in Industry 4.0 is considered. Using the Sand Cone and the Deming Cycle, the importance of quality workforce is shown and how human skills are an accelerator in the Industry 4.0 universe.

**Ключевые слова:** Индустрия 4.0, Интернет вещей, цикл Деминга, четвертая промышленная революция, песчаный конус, инновации, киберфизические системы.

**Keywords:** Industry 4.0, Internet of Things, Deming cycle, fourth industrial revolution, sand cone, innovation, cyberphysical systems.

### 1. Введение

Определение «Индустрия 4.0» появилась в 2011 году, когда ассоциация, состоящая из бизнесменов, политиков и академических кругов, под названием «Индустрия 4.0» поддержала идею нового типа обрабатывающей промышленности.

Термин «Индустрия 4.0» описывает четвертую промышленную революцию, происходящую в эти годы. Этой революции предшествовали три других промышленных революции, указанные в таблице 1:

- Первая произошла во второй половине восемнадцатого века и возникла с появлением новых механических производственных мощностей с использованием энергии воды или пара.

- Вторая промышленная революция началась в 1870-х годах из-за системы электрификации и разделения работы Тейлора с массовым производством и использованием ленточных конвейеров.

- Третья промышленная революция может быть связана с внедрением цифровой работы, которая произошла в 1970-х годах.

Индустрия 4.0 - это новая концепция производства, включающая промышленную автоматизацию и интеграцию новых производственных технологий, с целью улучшения условий труда и повышения производительности и качества.

Таблица 1

Эволюция Индустрии 4.0 [8]

Развитие промышленности			
I промышленная революция - 1784г.	II промышленная революция - 1870г.	III промышленная революция - 1969г.	IV промышленная революция Настоящее время
Внедрение в производство оборудования приводимого в движение с помощью воды и пара	Массовое производство с использованием электрической энергии	Использование электроники и IT. Внедрение автоматизированного производства	На основе использования киберфизических систем. «Умное производство».

Индустрия 4.0 также внесла большие изменения во взаимодействие между рабочими и машинами. Термин «машина» обозначает все виды динамических технических систем, включая автоматизацию, оборудование для поддержки принятия

решений и программное обеспечение. Компоненты автоматизации технической системы обозначаются как система контроля и управления. В таблица 2 показаны этапы реализации концепции Индустрии 4.0 на промышленном предприятии [3].

Таблица 2

Этапы реализации концепции Индустрии 4.0 на промышленном предприятии

№ этапа	Наименование этапа	Внедряемое ПО	Примечание
1 этап	Внедрение систем автоматизированной разработки КД и ТД	Системы автоматизированного проектирования (CAD/CAM/CAE)	Обеспечение «сквозного» проектирования
2 этап	Внедрение систем электронного документооборота	Системы управления данными об изделии (PLM)	
3 этап	Внедрение ЦСУП на уровне цеха	Система управления производственными процессами (MES)	Обеспечение прослеживаемости, диспетчирования и оперативного планирования в производстве
4 этап	Внедрение ЦСУП на уровне предприятия	Система планирования ресурсов предприятия (ERP)	Решения принимаются руководителями на основании оперативной и достоверной информации, полученной из ЦСУП
5 этап	Интеграция оборудования и ПО в единое информационное пространство по принципам Индустрии 4.0	«Система индустриального интернета вещей» (IIoT)	Автоматизация принятия управленческих решений на основании получаемой в режиме реального времени информации о ходе производства

## 2. Основные понятия индустрии 4.0

Индустрия 4.0 - популярный термин для описания грядущих изменений в отраслевой среде, особенно в производственной и обрабатывающей промышленности. Четвертая промышленная революция - одна из самых актуальных тем как в профессиональной, так и в академической сферах. Центральным элементом этой концепции является интеллектуальное производство. Интеллектуальное производство - это развивающаяся форма производственной интеграции производственных активов с датчиками, вычислительными платформами, коммуникационными технологиями, контролем, моделированием, моделированием с интенсивным использованием данных и прогнозным проектированием [3].

Индустрия 4.0 считается новым индустриальным этапом, на котором несколько новых технологий объединяются для предоставления цифровых решений. Новая парадигма Индустрии 4.0 - это революция, которая позволяет общаться между людьми и машинами в сильно сетевой среде, используя такие технологии автоматизации, как киберфизические системы (CPS), Интернет вещей (IIoT) и облачные вычисления. CPS - это интеграция вычислительных и физических процессов. Встроенные компьютеры и сети контролируют физические

процессы, обычно с помощью контуров обратной связи. Распространение этих устройств в коммуникативно-исполнительной сети создает Интернет вещей (IIoT), в котором датчики и исполнительные механизмы органично сочетаются с окружающей нас средой, а информация распространяется между платформами. Эта революция побудила промышленность распределить свои производственные процессы на нескольких площадках или, что лучше, децентрализовать их. Эта организационная структура породила сильную виртуализацию реальности: инструментальный мониторинг производительности и удаленное управление. Итак, децентрализация и виртуализация - это парадигмы, движущиеся к Четвертой промышленной революции [3].

Индустрия 4.0 возникает и развивается благодаря новому рынку, где конкуренция требует новых концепций производства, основанных на постоянной гибкости и реконфигурируемости. Инструменты моделирования, уже используемые в различных контекстах, помогают этой новой парадигме промышленности. Фактически, для нового производственного контекста идентифицируют процессы новых подходов, в которых моделирование играет важную роль. CPS имеет определенную архитектуру 5c с 5 различными уровнями: соединение, преобразование, кибернетика, распознавание и

конфигурация. Основная характеристика этого нового типа структуры - это переход от централизованно контролируемых процессов к децентрализованным. Индустрия 4.0 основана на концепции интеллектуальных продуктов благодаря их интеллектуальности [3].

Одним из основных столпов Четвертой промышленной революции является концепция Интернета вещей. IoT - это мир, в котором датчики позволяют машинам общаться друг с другом, обеспечивая связь между устройствами для упрощения одноранговых сетей. Машины связаны как единое сообщество. Кроме того, Интернет вещей меняет правила игры и открывает огромные возможности для экономики и коммерческих организаций. Ожидается, что в Индустрии 4.0 IoT предложит многообещающие трансформационные решения для работы и роли многих существующих промышленных систем в рамках цифровых предприятий сложных промышленных экосистем завтрашнего дня.

Помимо Интернета вещей, еще одним важным компонентом Индустрии 4.0 является слияние физического и виртуального мира. Разработка CPS состоит из трех этапов реализующие архитектуру 5с: это интегрированные датчики, исполнительные механизмы и децентрализованный интеллект.

Четвертая промышленная революция основана на концепции «когнитивной автоматизации» как шага между отраслевой моделью, в которой роботы заменяют людей, и другой, где информация передается быстро и все идеально синхронизировано.

Такая крупная инновация, как Индустрия 4.0, также требует больших изменений в организации рабочего места, удовлетворенности работой сотрудников и приверженности организации [3].

3. Эволюция взаимодействия человека и машины.

Человеко-машинное взаимодействие описывается как взаимодействие и коммуникация между людьми-пользователями и машинами в динамической среде через несколько интерфейсов. С тех пор, как люди начали создавать инструменты, между людьми и машинами существовало взаимодействие. Это взаимодействие со временем развивалось. Изначально, до Второй мировой войны, людей приспособляли к машинам. Другими словами, люди были обучены пользоваться машинами. Однако во время Второй мировой войны новое оборудование было разработано так быстро, что обучить людей было трудно. Следовательно, возникла необходимость в систематическом анализе и синтезе взаимодействия человека и машины. Историю взаимодействия человека с машиной можно разделить на четыре периода. Первый, в 1940–1955 годах разработчики пытались найти пределы человеческих возможностей. Новое оборудование было спроектировано таким образом, чтобы люди-контролеры могли с ним справиться. С 1955 по 1970 год дела пошли вперед. В это время исследователи пытались моделировать людей как машины и соответственно проектировать продукты. Примерно в 1970 году развивалась электроника. Затем, с 1970

по 1985 год, эта технология использовалась для автоматизации многих задач, которые обычно выполнялись людьми. Человек перестал быть контролером и стал надзирателем. С 1985 года это значительно улучшилось. В настоящее время принимаются во внимание рабочая нагрузка, когнитивные процессы, модели эмоционального взаимодействия человека и робота [6].

Таким образом, взаимодействие человека и машины за годы сильно изменилось, и в Индустрии 4.0 произошло великое новшество, которое можно объяснить некоторыми столпами Четвертой промышленной революции:

- Большие данные и аналитика;
- Роботизированное производство;
- Беспилотные логистические автомобили;
- Дополненная реальность и аддитивное производство.

### 3.1. Большие данные и аналитика

Внедрение Индустрии 4.0 в производство привлекает более специализированного сотрудника, который будет иметь несколько обязанностей, систематически работая с устройствами связи.

Компании будут использовать алгоритмы для анализа данных в реальном времени. Хотя использование больших данных повлечет за собой сокращение числа работников, потребуется специалист по промышленным данным, обладающий навыками использования языков статистического программирования. Способность управлять большими данными дает фирмам конкурентные преимущества.

Разница между традиционным работником и работником Индустрии 4.0 заключается в нехватке компетенций и знаний. Традиционный рабочий был кем-то без опыта и навыков, новый рабочий рассматривается как тот, кто будет заниматься менеджментом, а не только производством [7].

### 3.2. Роботизированное производство

Во многих случаях роботы заменят людей. Фактически, они позволят сократить ручной труд в производственной среде.

Основным последствием внедрения роботов станет революция на рабочем месте, поскольку роботы предложат улучшения в эргономике. Для рабочего будет меньше физических усилий, потому что все рутинные работы будут выполняться машинами. Каждая работа по планированию будет предоставлена человеку, который будет контролировать производство.

Роботы будут играть фундаментальную роль в динамической среде производственного процесса из-за их когнитивных способностей, позволяющих повторно адаптировать свой статус в соответствии с гибкой ситуацией и новыми ресурсами.

Роль координатора роботов будет создана для того, чтобы контролировать роботов в цехе и реагировать на сбои или сигналы об ошибках.

Координатор роботов будет выполнять как плановые, так и аварийные работы по техническому обслуживанию и при необходимости привлекать других экспертов. В случае необходимости за-

мены робота эту ответственность несет координатор. Использование автоматизации для оказания помощи рабочим будет особенно ценно во многих развитых странах. Роботизированное устройство позволяет рабочему выполнять свою работу проще и эргономичнее, предотвращая ошибки и несчастные случаи. Гибкость процесса в Индустрии 4.0 увеличится. Эту гибкость обеспечат роботы, интеллектуальные машины и интеллектуальные продукты, которые взаимодействуют друг с другом и принимают автономные решения [7].

### 3.3. Беспилотные логистические автомобили

В современной производственной среде автоматизированные системы управления транспортными средствами (АСУ) становятся неотъемлемой частью общих производственных систем. Автоматизированная система управляемых транспортных средств представляют собой одно или несколько транспортных средств без водителя, используемые для горизонтального перемещения материалов. АСУ обычно используются на таких объектах, как производственные предприятия, распределительные центры, склады и перевалочные пункты [5].

АСУ подключается с помощью беспроводных технологий, а связь между машиной и рабочими обеспечивается с помощью простых интерфейсов. Информация может распространяться по всей системе, таким образом, каждое транспортное средство знает свой статус и статус других, так что заказ назначается транспортному средству, которое может выполнять его более эффективно. Умное автоматизированное управляемое транспортное средство позволяет легко сотрудничать между типичными рабочими и роботами, повышая эффективность производства.

### 3.4. Дополненная реальность и аддитивное производство

В «Индустрии 4.0» работнику будут помогать в его работе очки с дополненной реальностью, чтобы видеть информацию об отправке и инструкции по навигации, включая точное местоположение предмета на полке, и автоматически сканировать штрих-код. Система также предназначена для предоставления удаленной помощи при базовом обслуживании. Важно понимать, как дополненная реальность изменит работу на заводе, рабочие получают инструкции по ремонту о том, как заменить ту или иную деталь, эта информация будет отображаться через такие устройства, как очки или планшеты с дополненной реальностью [2].

Аддитивное производство позволяет разрабатывать и создавать продукты с широкими возможностями настройки. Одна из таких характеристик - уже используемый 3D-принтер, который будет распространяться во всех компаниях. Кроме того, с цифровым развитием станет возможным создавать сложные продукты небольшими партиями, в том числе потому, что при реализации на децентрализованных заводах расстояние и транспортировка больше не будут проблемой. Этот новый сценарий характеризуется полностью интегрированными потоками данных и продуктов, позволяющими настраивать производство, поскольку отличная

связь между машинами и людьми сокращает запасы незавершенного производства.

### 4. Сотрудничество человека и машины в среде безупречного качества.

Для достижения постоянного улучшения аспектов управления, связанных с новым взаимодействием человека и робота, представлена структура (Рисунок 1), в котором потенциал промышленных технологий 4.0 (киберфизические системы, Интернет вещей, интеллектуальный анализ данных и большие данные) интегрирован со стандартным циклом Деминга (PLAN - DO - CHECK - ACT), который представляет собой модель, предназначенную для постоянного улучшения качества в долгосрочной перспективе. Он способствует формированию культуры качества среди сотрудников компании и фокусируется на взаимоотношениях с потребителями, которые теперь становятся проблемой, с которой сотрудники могут столкнуться с помощью машин. Качество - один из различных стратегических инструментов конкурентной борьбы в бизнесе. Таким образом, компании заметили, что качество является важным фактором при разработке продуктов и услуг. Кроме того, технологии позволяют компаниям разрабатывать высококачественные продукты и услуги. В наше время - это очень важный фактор роста и успеха компаний на местном и международном рынках. Внедрение тотального управления качеством помогает увеличить долю компаний на рынке и, таким образом, повысить их конкурентоспособность. Поскольку клиенты требуют лучшего качества, более низких цен и быстрого реагирования, улучшение качества продукции и услуг организации имеет важное значение для достижения успеха в бизнесе. Тотальный менеджмент качества - это система менеджмента, а также интегрированная философия, повышающая конкурентоспособность фирм. На глобальных конкурентных рынках полное управление качеством и технологии стали двумя важными факторами для достижения бизнес-результатов и роста организации. Все отделы компании вынуждены действовать сообща для достижения одних и тех же целей, чтобы добиться успеха на рынке. Кроме того, они должны осознавать, что все сотрудники и деятельность влияют на других, и, в свою очередь, на них влияют другие. Чтобы повысить конкурентоспособность, компании стремятся к более высокому уровню влияния на все функции и процессы. Компании внедряют тотальный менеджмент качества и новые технологии, чтобы оставаться в бизнесе. Эти новые умные заводы характеризуются интеллектуальными системами и машинами (CPS), которые связаны между собой и обмениваются данными через сеть (Интернет вещей, IoT), так что этап планирования (PLAN) тесно связан с их проектированием. Данные, поступающие из операционных систем (DO), собираются и обрабатываются (Интеллектуальный анализ данных), что позволяет в реальном времени сравнивать реальную производительность машин и стандартные операции, гарантирующие условия безопасности для операто-

ров и всего предприятия (CHECK). Наличие мониторинга «состояния работоспособности» машин и установок в режиме реального времени позволяет своевременно вмешиваться (ACT) для восстановления «нормальной» работы тех устройств, которые отправляют данные, отклоняющиеся от стандартных рабочих параметров. «Интеллектуальные» датчики генерируют большой объем данных, которые

могут быть важными исходными данными для перепроектирования машины и установки, а также для создания истории внесенных в них вмешательств, которые становятся ценными при создании дневника машин. Эта структура помогает понять, почему методы и технологии, типичные для индустрии 4.0, почти равны такому хорошо известному и давно используемому инструменту, как цикл Деминга для повышения качества [2].

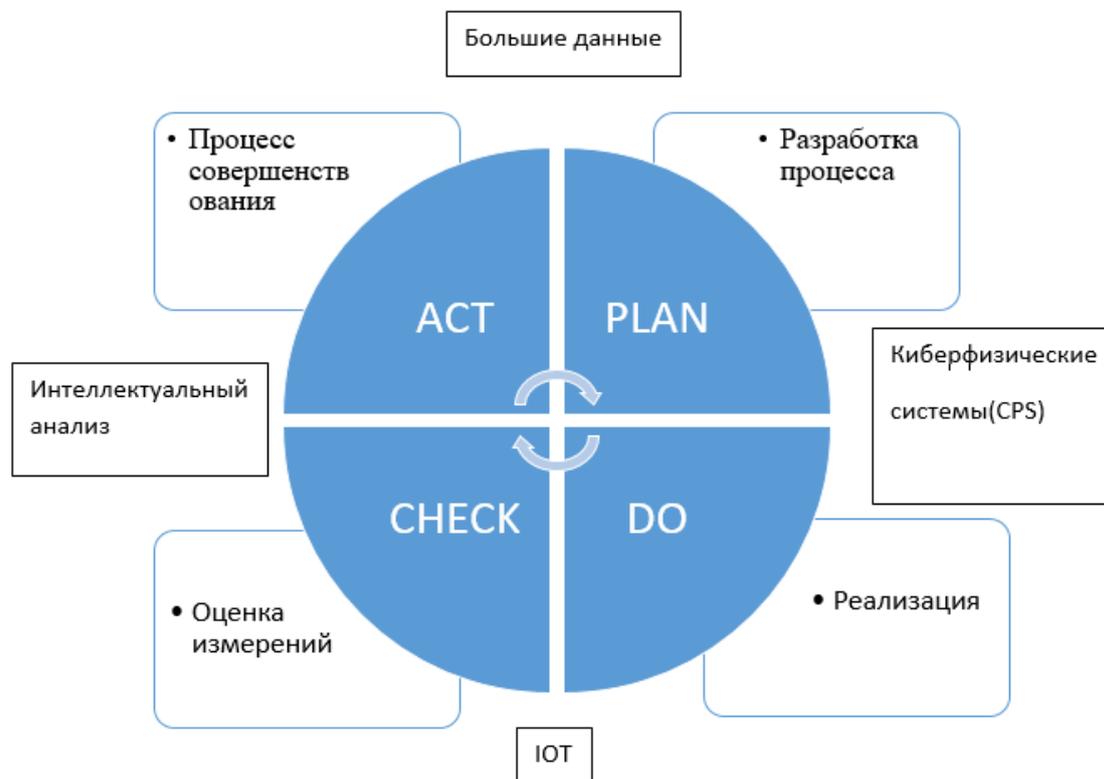


Рисунок 1

Новое взаимодействие человека и машины в Индустрии 4.0 от проектирования до управления.

5. Новая предлагаемая модель «Песчаный конус».

После того как мы проанализировали наиболее важные столпы взаимодействия человека и машины, полезно использовать модель песчаного конуса, чтобы понять роль человека в концепции Индустрии 4.0. Если автоматизация способна управлять всеми аспектами производства, теперь необходимо изучить и понять роль, которую человек берет на себя в этом взаимодействии [5].

Получить этот аспект можно благодаря предложенной модели, которая представляет собой реализацию модели песчаного конуса, рассматриваемую с новой точки зрения.

Модель песчаного конуса, показанная на рисунке 2, следует по пути типичных моделей компромисса. Это предполагает, что, хотя в краткосрочной перспективе можно найти компромисс

между возможностями, на самом деле между этими четырьмя возможностями существует иерархия.

Важно понимать, что производственный процесс основан на совокупности четырех элементов:

- Качество
- Надежность
- Гибкость
- Расходы

Чтобы создать кумулятивную и длительную производственную мощность, внимание и ресурсы следует уделять качеству. Затем промышленность должна обратить внимание на повышение надежности производственной системы, а затем на гибкость (или скорость реакции). Наконец, на вершине песчаного конуса стоит экономия денег.



*Рисунок 2 - Модель песчаного конуса*

Эта теория компромисса не может применяться во всех случаях. Различные подходы меняют видение модели, переходя к кумулятивной перспективе, то есть одна способность строится на другой, а не на ее месте.

Когда производитель накапливает навыки, он развивает первый, а затем переходит к следующему в последовательности, начиная от качества, прохождения через надежность и гибкость до стоимости.



*Рисунок 3. Новая модель песчаного конуса.*

Согласно исходной модели песчаного конуса, ранее представленной на рисунке 2, и всем исследованиям, показанным в отношении человеко-машинного взаимодействия, теперь может быть предложена новая модель песчаного конуса. В этой новой структуре можно увидеть, насколько человеческий фактор играет фундаментальную роль на рабочем месте и в отрасли в целом. Фактически, в новой модели на дне песчаного конуса, как показано на рисунке 3, можно увидеть, что качество рабочего должно быть первостепенным. Очень интересно подчеркнуть концепцию, согласно которой

качество в Индустрии 4.0 может означать качество рабочих на заводе. В этой новой концепции можно думать о надежности системы как о человеческой надежности. Таким образом, эффективность и результативность всей системы зависят от надежности каждого ее компонента в отдельности и от взаимодействия между ними при проектировании взаимодействия человека и машины в среде всеобщего качества [5].

Без сосредоточения на человеческих навыках повышение качества производственного оборудо-

вания только с технологической точки зрения может быть бесполезным для компании. Процесс цифровой трансформации, которым компании призваны заниматься, чтобы быть конкурентоспособными и действующими на рынках, - это не просто технологическая проблема, а проблема навыков. В этой новой модели решающее значение имеет укрепление основы качества рабочей силы [3].

На рисунке 4 показана новая структура. Это общая схема улучшения, ориентированная на человеческое качество, что составляет основу новой модели песчаного конуса.

Результаты этой структуры могут быть проверены, рассматривая и оценивая ключевые показатели эффективности до и после ее применения, учитывая важность наличия соответствующих навыков у персонала.

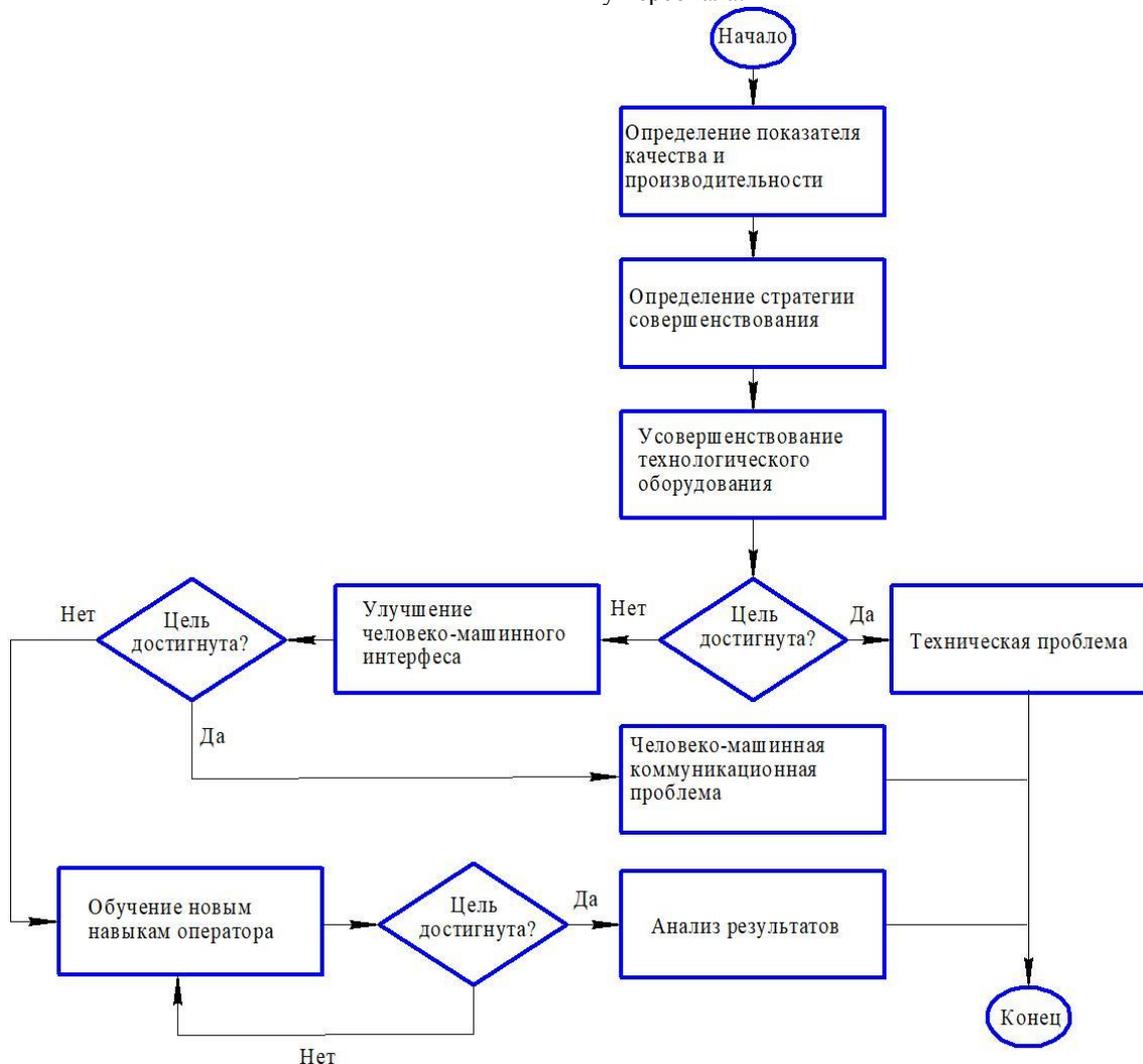


Рисунок 4. Общая схема реализации качества работников.

Современным компаниям необходимо вкладывать средства в обучение и повышение квалификации специалистов. Рабочая реальность все больше и больше становится местом личного роста. Для этого успешное управление человеческими ресурсами обязательно должно преследовать следующие цели [5]:

- Улучшение динамики внутри людей, принадлежащих к одной рабочей команде;
- Постоянное улучшение организации работы между разными командами;
- Развитие личности в целом;
- Развитие каждым оператором своих возрастающих квалификационных навыков и знаний.

#### 7. Заключение

В результате этого исследования можно сделать вывод, что одна треть навыков, требуемых от

сотрудников сегодня в ближайшем будущем не будут иметь решающей роли. В эпоху Индустрии 4.0 от компаний больше не требуется просто инвестировать в технологическую инфраструктуру, но становится важным:

Стимулирование и предвидение изменений: способность решать сложные проблемы и критическое мышление, чтобы помочь организациям быстро адаптироваться к изменениям в перспективе. Анализ баз данных должен включать специалистов по данным, чтобы превратить данные в стратегические бизнес-предложения.

Ценить человеческий фактор выше технологий: всем компаниям необходимо пересмотреть свои модели управления персоналом.

Внутреннее управление всеми новыми изменениями в цифровых технологиях может оказаться слишком дорогостоящим и трудоемким.

Таким образом, основное внимание в данной статье уделяется качеству работников. Знания, навыки и опыт работников облегчают понимание человеко-машинного интерфейса, так что эффективность всей анализируемой системы повышается. Человеческий капитал останется основным ресурсом для решения проблемы цифровизации на всех уровнях.

#### Литература

1. Юдина М.А. Индустрия 4.0: перспективы и вызовы для общества // Государственное управление. Электронный вестник. 2017. № 60.
2. Липкин Е. ИНДУСТРИЯ 4.0: Умные технологии – ключевой элемент в промышленной конкуренции. ООО «Остек-СМТ» Москва 2017г. 225с.

3. Рот. А. Внедрение и развитие Индустрии 4.0. Основы, моделирование и примеры из практики. Изд. Editorial URSS. 2017г.

4. Грингард С. Интернет вещей. Будущее уже здесь. Изд. Альпина Паблишер. 2019г.

5. Шваб К. Четвертая промышленная революция. Изд. Эксмо 2016г.

6. Блуммарт Тью, Ван ден Брук Стефан. Четвертая промышленная революция и бизнес. Как конкурировать и развиваться в эпоху сингулярности. Изд. Альпина Паблишер. 2019г.

7. Питер Вайл, Стефани Ворнер. Цифровая трансформация бизнеса: Изменение бизнес-модели для организации нового поколения. Изд. Альпина Паблишер. 2019г.

8. Тарасов И.В. Индустрия 4. 0: понятие, концепции, тенденции развития. Научная статья по экономике и бизнесу. 2018г. <https://cyberleninka.ru/article/n/industriya-4-0-ponyatie-kontseptsii-tendentsii-razvitiya/viewer>

### МНОГОФАКТОРНОЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЖИМНОГО ПАТРОНА

**Ящук И.Р.**

*аспирант, КПИ им. Игоря Сикорского, Киев, Украина*

**Литвин А.В.**

*к.т.н., доцент, КПИ им. Игоря Сикорского, Киев, Украина*

**Кравец А.М.**

*к.т.н., доцент, КПИ им. Игоря Сикорского, Киев, Украина*

**Паньков С.Б.**

*аспирант, КПИ им. Игоря Сикорского, Киев, Украина*

### MULTI-FACTOR EXPERIMENTAL RESEARCH OF FORCE CHARACTERISTICS A CLAMPING CHUCKS

**Yashchuk I.**

*PhD Student*

**Lytvyn O.**

*PhD in Technical Science, Associate Professor*

**Kravets O.**

*PhD in Technical Science, Associate Professor*

**Pankov S.**

*PhD Student*

DOI: [10.24412/3162-2364-2021-62-1-56-64](https://doi.org/10.24412/3162-2364-2021-62-1-56-64)

#### АННОТАЦИЯ

В данной статье уделено внимание разработке математической модели и методики экспериментального исследования силовых характеристик многокулачкового самоцентрирующегося зажимного патрона. Данное исследование имеет практическую ценность, поскольку его результаты могут быть использованы при решении комплексной проблемы возникновения систематических и случайных погрешностей геометрической формы обрабатываемых поверхностей. Для решения данной проблемы возникает актуальная задача исследования структурно-кинематических параметров зажимных патронов, которые непосредственно влияют на функциональность станочной оснастки и точность обработки. Разработка методики экспериментального исследования и анализа полученных результатов составляют научную основу данной статьи. Результаты данного исследования будут использованы для совершенствования конструкции исследуемого плунжерного зажимного патрона. Материалы данной статьи являются результатами теоретико-экспериментальной части комплексного исследования и будут служить вектором для дальнейших экспериментов, по определению особенностей и закономерностей силовых характеристик системы «патрон - деталь».

#### ABSTRACT

This article focuses on the development of a mathematical model and methods of experimental study of the force characteristics of a self-centering multi-jawed chuck. This research has practical value, because its results can be used to solve the complex problem of systematic and random errors of the geometric shape of the treated

surfaces. To solve this problem, an urgent problem arises of studying the structural and kinematic parameters of clamping chucks, which directly affect the functionality of machine tooling and processing accuracy. The development of a methodology for experimental research and analysis of the results obtained form the scientific basis of this article. The results of this research will be used to improve the design of the investigated plunger clamping chuck. The materials of this article are the results of the theoretical and experimental part of a comprehensive research and serve as a vector for further experiments to determine the features and laws of the power characteristics of the "chuck - detail" system.

**Ключевые слова:** машиностроение, станок, кулачковый патрон, конструкция, эксперимент, методика расчета, структурно-параметрические характеристики.

**Keywords:** engineering, machine tool, jawed chucks, design, research, calculation method, structural and kinematic characteristics.

**Введение и постановка проблемы.** Научно-технический прогресс дает толчок развитию машиностроительных предприятий и совершенствованию технического парка станочной оснастки, поскольку растет потребность в более технологичных изделиях. Именно работа с новыми материалами и более сложными конструкциями стимулирует повышение требований к станочной оснастке, что в свою очередь приведет к улучшению точности обработки деталей, которая является таким важным критерием современного производства.

Одним из основных элементов станочной оснастки является зажимной патрон, который обеспечивает точное крепление на станке заготовки, детали или режущего инструмента. Благодаря совершенствованию его конструкций, существенно увеличивается функциональность самого станка, поскольку появляется возможность обработки трудно-профильных деталей на высоких скоростях вращения, обеспечивается высокая точность установки и необходимое усилие зажима. Изучением данного вопроса уделено значительное количество

научных работ [1-4]. Но, вопрос исследования силовых та кинематических характеристик патрона, в системе «патрон-деталь», которые непосредственно влияют на точность обработки, и, как правило, определяются экспериментальными методами (при нагрузке шпинделя и зажимного патрона) остается актуальным и сегодня.

**Целью исследования** является разработка математической модели и методики экспериментального исследования силовых характеристик зажимного патрона.

**Изложение основного материала исследования.** Принцип работы любого зажимного патрона (рис.1) состоит в том, чтобы выработать и приложить к заготовке необходимую силу закрепления, величина которой была заранее определена по результатам расчетов его силовых характеристик. Зажимные механизмы могут использоваться в компоновках с различными механизированными приводами (силовыми узлами), которые производят исходную силу закрепления.



Рис.1. Структурная схема процесса зажима

Передаточный механизм предназначен для изменения направления и увеличения начальной силы  $N$ , то есть для превращения ее в зажимное усилие  $Q$ , а также для создания наиболее компактной конструкции зажимного патрона [5].

Для исследования силовых характеристик был выбран многокулачковый самоцентрирующийся патрон [6], у которого силовой узел выполнен в виде плунжерного механизма. Его основными элементами являются тяга, которая используется для осуществления поступательного перемещения элементов патрона от привода, и плунжеры - для радиального перемещения зажимных элементов.

В общем виде расчетная схема для определения силовых характеристик такого типа зажимного оснащение приведена на рис.2 [7].

В данном зажимном патроне упругий элемент обеспечивает самоустановку и стабилизацию зажимных кулачков в процессе «отжим - зажим» с целью устранения углового перекоса зажимных кулачков в разжатом состоянии, что позволяет бесперебойное установление заготовки к патрону. Самоустановка и стабилизация зажимных кулачков достигается за счет того, что в задней части каждого кулачка выполнена цилиндрическая проточка с двумя гранями, которая снабжена несколькими пружинными кольцами. В проточке на кулачке выполнена лыска, разделяющая проточку на два участка, которые и взаимодействуют с пружиной.

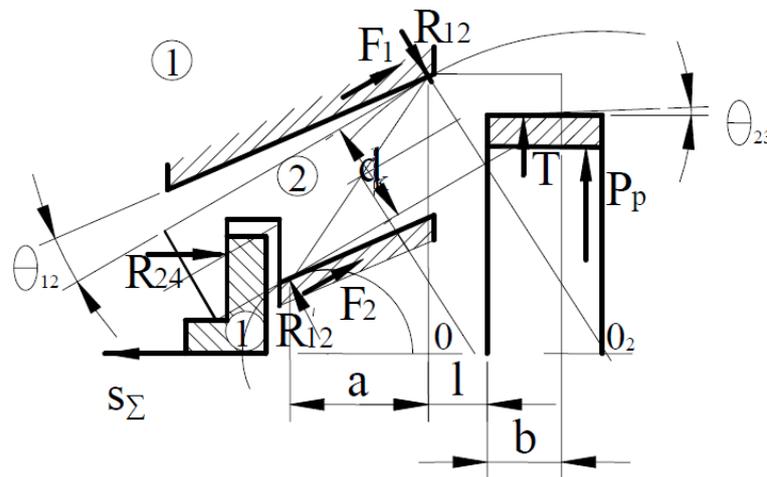


Рис.2. Расчетная схема для определения силовых характеристик плунжерного патрона

Основным требованием является то, чтобы момент самоустановки  $M_c$  зажимных кулачков должен соответствовать соотношению (2):

$$M_c \geq M_{np} + M_{тр} \quad (2)$$

где  $M_{тр}$  - момент трения зажимного кулачка в отверстии корпуса патрона;

$M_{np}$  - крутящий момент от сил упругости элемента, вектор силы которого перпендикулярно оси пружины.

В большинстве пружин угол подъема витков небольшой, не превышает  $\alpha < 10..12^\circ$ . Поэтому, расчет можно вести по крутящему моменту, пренебрегая моментом изгиба через его малость [1].

Таким образом, при отжиме кулачки патрона всегда занимают одно и то же самое угловое положение по отношению к корпусу. Технический результат, достигаемый в результате использования такого патрона, заключается в обеспечении загрузки-разгрузки заготовок манипулятором или промышленным роботом, который всегда однозначно будет устанавливать заготовку на упоры и перекокс кулачков мешать этому не будет [6].

**Методика исследования.** Разработан экспериментальный стенд [8] для проведения исследования (рис.3) структурно состоит из рабочего поля, подсистемы нагружения образца и контрольно-измерительной аппаратуры, предназначенной для снятия показателей реакции образца зажимного патрона на нагрузку.

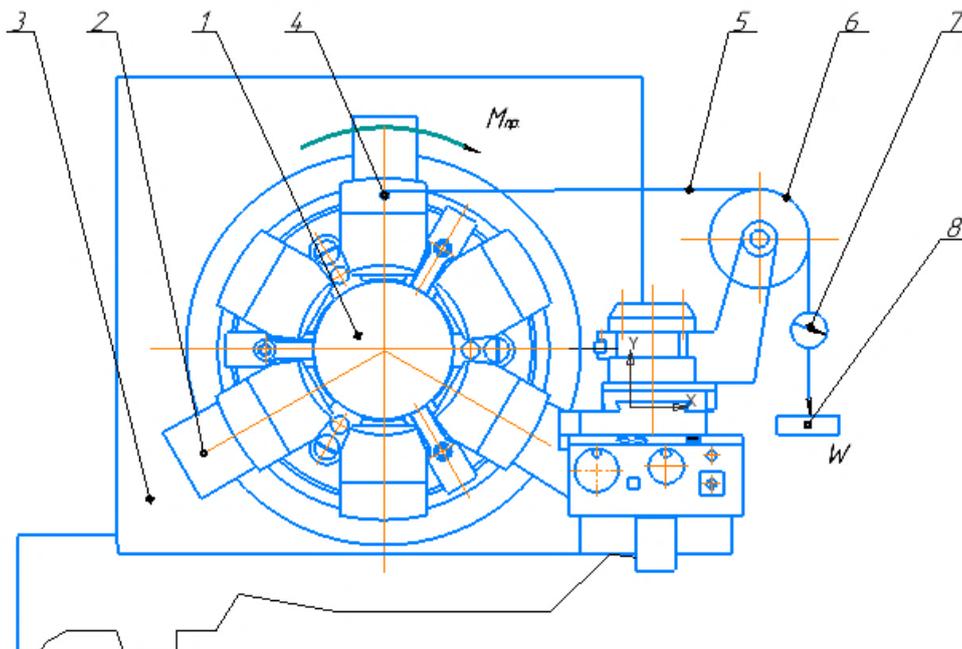


Рис.3. Блок-схема экспериментального стенда

1- зажимной патрон, 2 - зажимной кулачок, 3 - станок, 4 - винт, 5 - гибкий трос, 6 - блок, 7 - динамометр, 8 - погрузчик

Однорядный блок обеспечивает постоянное направление приложения усилия к каждому кулачку. Усилие определяется по тарированному графику. При нагрузке динамометра грузом при достижении порогового значения происходит проворачивание кулака зажимного патрона. Это значение фиксируется цифровым динамометром. Для каж-

дого кулачка выполняется соответствующее количество нагрузок. После чего патрон в шпинделе станка поворачивается на  $60^\circ$  и фиксируется.

При испытаниях комбинированного передаточно-усиливающего звена в качестве упругого элемента использовались: кольцевая пружина  $\varnothing 80$  мм (рис.4), пружинное кольцо  $\varnothing 80$  мм (рис.5) и фигурное пружинное кольцо  $\varnothing 80$  мм (рис.6).



Рис.4. Кольцевая пружина



Рис.5. Пружинное кольцо



Рис.6. Фигурное пружинное кольцо

При создании математической модели для исследования возникновения момента проворачивания зажимных элементов, было выбрано аппроксимирующую математическую модель в виде функциональной зависимости (3):

$$M = f_M(x_1, x_2, x_3) \quad (3)$$

Были выбраны следующие независимые переменные факторы (рис.7), которые влияют на процесс формирования момента проворачивания зажимных элементов  $M_{np}$  .:

- диаметр заготовки  $d$ , который кодировали индексом -  $x_1$ ;
- угол контакта рабочей поверхности зажимных элементов с заготовкой  $\alpha$  - индекс  $x_2$ ;
- сила зажима на приводе зажимного патрона  $T_\Sigma$  - индекс  $x_3$ .

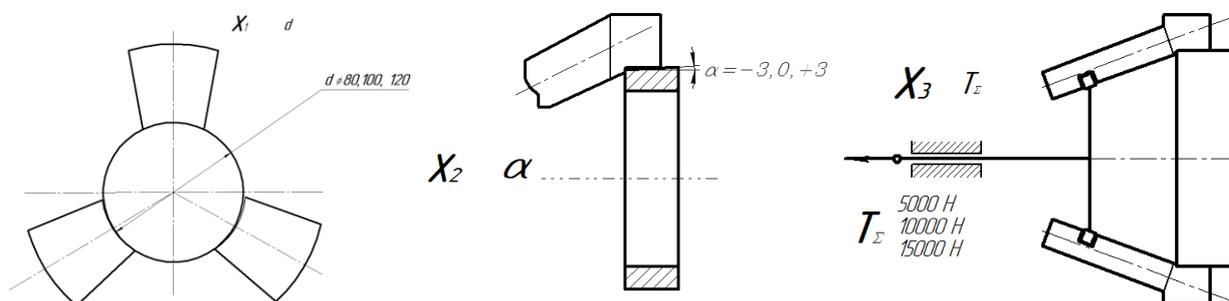


Рис.7. Независимые переменные факторы и их уровни варьирования

Экспериментальное исследование функциональных зависимостей выполнялось по следующему алгоритму (рис.8).



Рис.8. Алгоритм проведения экспериментального исследования

Обработка результатов проводилась с равномерным дублированием опытов в следующей последовательности по схеме (рис.9).



Рис.9. Блок-схема обработки результатов

Формулы для проведения расчетов [9]:

$$\bar{y} = \frac{\sum_i^n y_{ju}}{n} \quad (4)$$

По результатам параллельных опытов исчисляется дисперсия каждого опыта матрицы планирования, то есть воспроизводимости, что характеризует разброс значений отклика при проведении  $n$  параллельных опытов в одной точке факторного пространства (5):

$$S_i^2 = \frac{\sum_i^n (y_{iq} - \bar{y}_i)^2}{n(n-1)}; \quad (5)$$

Определение восстанавливаемости результатов опытов проверяется по критерию Кохрена (6) [10]:

$$G_p = \frac{S_{i_{max}}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2} \leq G(q; f_y; f_n) \quad (6)$$

где,  $S_{i_{max}}^2$  -наибольшая за числовым значением дисперсия одного из опытов.

Она определяется (как и все другие дисперсии опытов) по формуле (7) [11]:

$$S_{\{\bar{y}\}}^2 = \frac{\sum_1^N \sum_1^n (y_{iq} - \bar{y}_i)^2}{Nn(n-1)} \quad (7)$$

По результатам эксперимента вычисляют коэффициенты модели. Свободный член  $B_0$  определяется по формуле (8):

$$B_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{y}_j \quad (8)$$

Коэффициенты регрессии, что характеризуют линейные эффекты, вычисляют по зависимости (9):

$$B_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} \bar{y}_j \quad (9)$$

Числовые значения рассчитанных коэффициентов уравнения регрессии показывают величину влияния того или иного фактора, или взаимодействия факторов на выходной параметр.

Проверка уравнения регрессии на адекватность осуществляется с помощью критерия Фишера (10-12):

$$F_{\text{розр}} < F_{\text{табл}}(0,05, f_1, f_2) \quad (10)$$

$$f_1 = f_{\text{ад}} = N - P \quad (11)$$

$$f_2 = f_y = N(n - 1) \quad (12)$$

где  $F_{\text{табл}}$  – табличное значение критерия Фишера, что выбирается в зависимости от  $f_1$  – числа степеней свободы дисперсии адекватности и  $f_2$  – числа степеней свободы дисперсии восстановления,  $F_{\text{расч}}$  – расчетное значение критерия Фишера, и определяется по формуле (13):

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{Ад}}^2}{S_{\{\bar{y}\}}^2} \quad (13)$$

где,  $S_{\text{ад}}^2$  – дисперсия адекватности, которая в свою очередь определяется по формуле (14):

$$S_{\text{Ад}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - y_i)}{f} \quad (14)$$

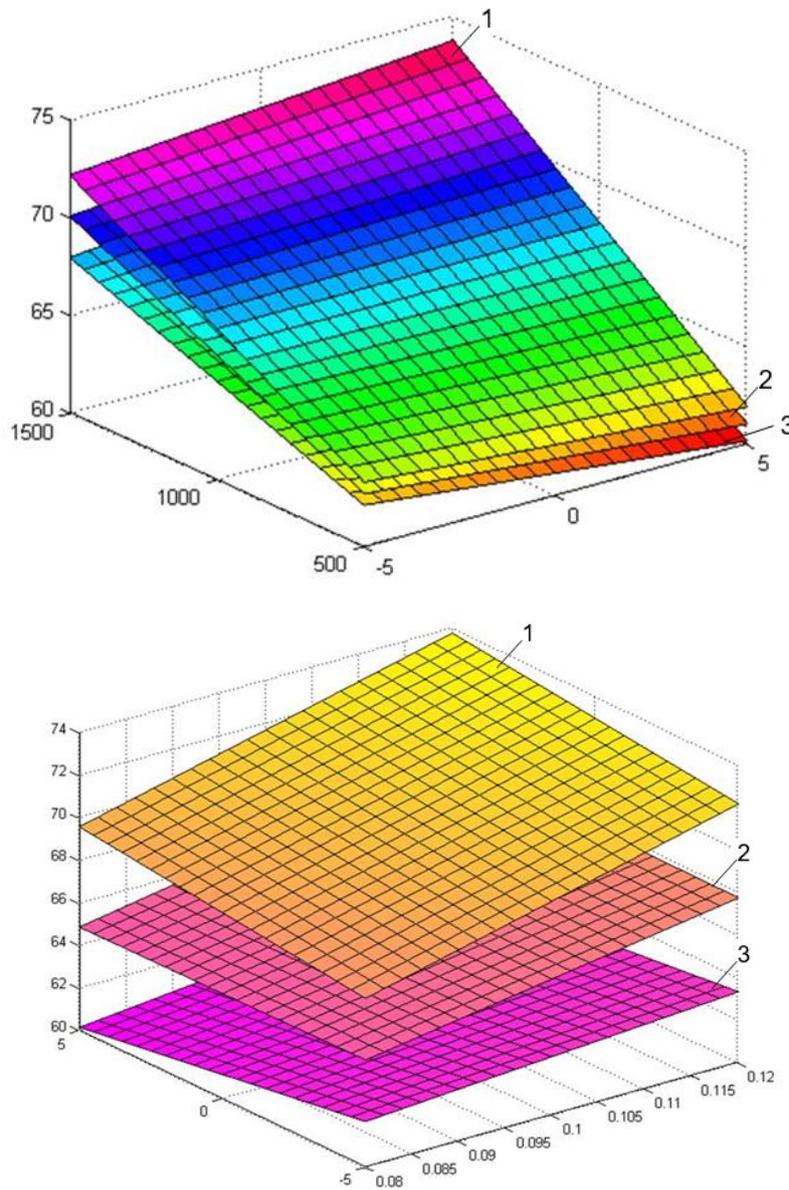
**Результаты исследования.** Для расчета и определения влияния конструктивно-кинематических параметров (независимых факторов  $x_i$ ) многокулачкового самоцентрирующегося патрона с учетом силы зажима, угла расточки зажимных элементов, диаметра закрепленной заготовки (параметр оптимизации Р) проведено два отдельных полнофакторных эксперимента с целью определения зависимости момента прокрутки зажимных элементов от изменения трех основных факторов.

Для проверки адекватности теоретических исследований (математической модели) момента прокрутки зажимных элементов, проведены экспериментальные исследования с помощью лабораторного стенда, конструкция которого приведена на рис.10.



Рис.10. Общий вид стенда

Результат многофакторного эксперимента графически можно представить в виде поверхности отклика (рис.11-12).



*Рис.11. Поверхность отклика взаимозависимостей расчетных значений момента прокрутки зажимных кулачков от силы зажима и угла расточки при различных диаметрах расточки: 1-80 мм; 2-100 мм; 3 - 120 мм.*

Если все факторы проявляют нелинейное влияние на исходную величину и процесс описывается уравнением второго порядка, то поверхность при-

обретает криволинейную форму и тем более сложную, чем больше факторов оказывают нелинейный характер влияния на величину параметра оценки опыта.

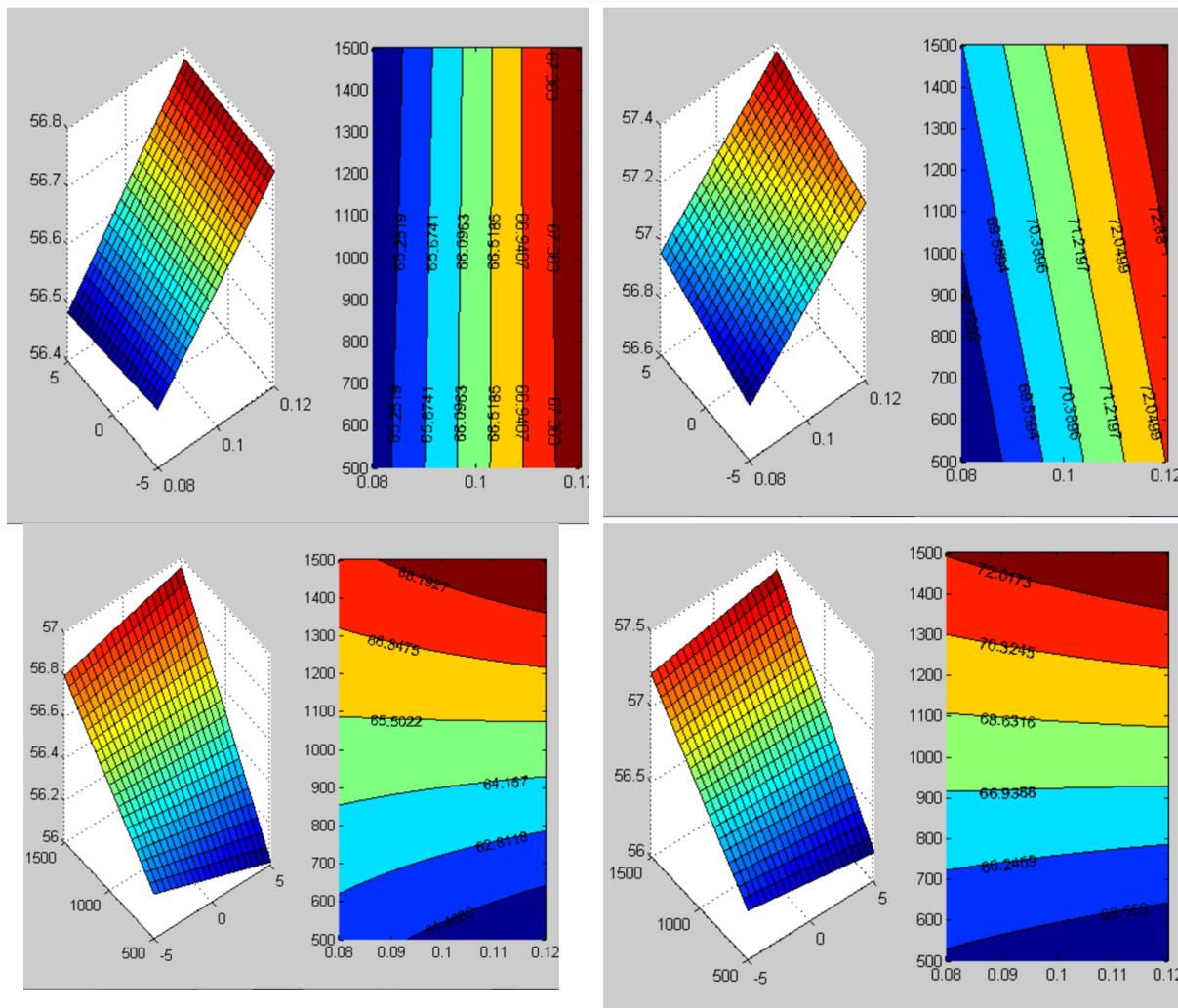


Рис.12. Линейный характер поверхности отклика взаимозависимостей расчетных значений зависимости момента прокрутки зажимных кулачков

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** Исследования структурно-кинематических параметров зажимных патронов, которые непосредственно влияют на функциональность станочной оснастки и точность обработки, могут быть использованы при решении комплексной проблемы возникновения систематических и случайных погрешностей геометрической формы обрабатываемых поверхностей.

Полученная математическая модель и результаты экспериментального исследования могут быть основной для совершенствования конструкции исследуемого плунжерного зажимного патрона, и использоваться для рационального управления процессами обработки.

Сформулирована методика расчета силовых характеристик будет служить вектором для дальнейших экспериментов, по определению особенностей, функциональных зависимостей и закономерностей силовых характеристик системы «патрон - деталь», а также для обеспечения зажимного патрона минимальным значением момента прокрутки зажимных элементов.

## Литература

1. Кузнецов Ю.Н. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием: монография (в 2-х частях) / Ю.Н. Кузнецов, В.Н. Волошин, П.М. Неделчева, Ф.В. Эль-Дахаби — К.: ООО «ГНОЗИС». — Ч.1, 2009. — 270 с.; Ч. 2, 2010. — 466 с.
2. Литвин О.В. Вплив характеристик затискного патрону токарного верстата на обробку нежорстких деталей / Захист металургійних машин від поломок. Міжвузівський тематичний збірник наукових праць. – Маріуполь, випуск 11, 2009, с. 42-47.
3. Feng P.F. (2003). Berechnungsmodell zur Ermittlung von Spannkraeften bei Backenfuttern. Technische Universität Berlin, Berlin.
4. Byun J, Liu C.R. (2012) Methods for improving chucking accuracy. J Manuf Sci Eng Trans ASME 134(5) (10 pages):051004.
5. Боровик А.І. Технологічна оснастка механо-складального виробництва: Підручник. – К.: «Кондор», 2008. 726 с.
6. Литвин О.В., Яшук І.Р., Паньков С.Б. Багатокулачковий самоцентруючий патрон. Патент на корисну модель UA № 132525, МПК В23В 31/02 опубл. 25.02.2019, Бюл. №4, 2019 р.

7. Литвин О. В., Яшук І. Р., Раус С. С. Приведення жорсткості системи патрон–деталь токарного верстата. Наукові нотатки. 2018. №. 64. С. 99-104.

8. Литвин О. В., Яшук І. Р. Стенд для проведення експериментальних досліджень конструктивно-кінематичних параметрів багатокучакового самоцентруючого патрона. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2020): матеріали тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 29–30 квітня 2020 р.): у 2-х т. – Чернігів: ЧНТУ, 2020. – Т. 1. – С. 110–112.

9. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / Под ред. Э.К.Лецкого. - М.: Мир, 1977.

10. Методологія наукових досліджень: [навч. посіб.] / В. С. Антонюк, Л. Г. Полонський, В. І. Аверченков, Ю. А. Малахов. – К.: НТУУ „КПІ”, 2015. – 274 с.

11. Методика та організація наукових досліджень: Навч. посіб. / С. Е. Важинський, Т. І. Щербак. – Суми: СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. – 260 с.

## **РЕНОВАЦИЯ СТРУКТУРНОЙ ЦЕЛОСТНОСТИ И РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ МОДУЛЕЙ**

*Султанов Д.А.*

*студент 2 курса магистратуры СПбГАСУ*

*г. Санкт-Петербург, РФ*

*Нагманова А.Н.*

*к.э.н., доцент каф. ТСП СПбГАСУ*

*г. Санкт-Петербург, РФ*

## **RENOVATION OF STRUCTURAL INTEGRITY AND OPERATIONAL CAPABILITIES OF INTERCEPTOR SEWERS ON THE BASIS OF IMPLEMENTING THE TECHNOLOGY OF POLYETHYLENE FITTINGS**

*Sultanov D.*

*Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*

*Master Degree students*

*Nagmanova A.*

*Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*

*docent*

DOI: [10.24412/3162-2364-2021-62-1-64-71](https://doi.org/10.24412/3162-2364-2021-62-1-64-71)

### **АННОТАЦИЯ**

Метод бестраншейного восстановления канализационных и водоотводящих коллекторов различных сечений на основе применения технологии полиэтиленовых вставок является прогрессивным методом реновации канализационных сетей. В данной статье рассмотрены основные этапы технологии производства работ, преимущества и недостатки метода, а также применение технологии при капитальном ремонте канализационного коллектора в городе Белгород.

### **ABSTRACT**

Method of trenchless repair of sanitary sewers and storm sewers of different cross sections on the basis of implementing the technology of polyethylene fittings is a progressive method of renovation of sewer systems. In this article we review the main stages of working practices, advantages and disadvantages of the method, and the implementation of the technology for major overhaul of interceptor sewer in the city of Belgorod.

**Ключевые слова:** Ремонт и восстановление канализационных коллекторов, технология ремонта коллекторов, полиэтиленовые модули.

**Keywords:** Repair and improvement of interceptor sewers, technology of sewers repair, polyethylene fittings.

Практичность и актуальность метода бестраншейного восстановления (капитального ремонта) канализационных и водоотводящих коллекторов различных диаметров, делают данный метод одним из наиболее востребованных. Ремонт канализационных коммуникаций из года в год не только остается актуальной, но и все более важной проблемой для многих российских городов.

Необходимость увеличения объемов ремонта самотечных трубопроводов диаметром 500–3500

мм стремительно возрастает. Тенденция объясняется крайне ветхим состоянием коллекторов, выполненных в основном из железобетонных элементов. Повреждения и аварии на этих сооружениях приводят к негативным последствиям для социальной и производственной инфраструктуры, наносят ущерб окружающей среде. Изношенность железобетонных коллекторов объясняется многими причинами, среди которых основное место занимают

физико-химическое воздействие агрессивных веществ, с образованием на своде коллектора кислотного конденсата, газовая коррозия. «Мокрая» часть коллектора подвержена абразивному износу, выщелачиванию и биообрастанию.

Существенным преимуществом бестраншейных методов ремонта являются:

- относительно небольшие затраты времени на разработку грунта, разборку и восстановление дорожного полотна;
- отсутствие необходимости согласования работ с техническими службами (чем меньше вмешательство в подземную инфраструктуру городской территории, тем меньше количество согласований);
- вероятность повреждения существующих коммуникаций, проходящих под землей в непосредственной близости от ремонтируемого трубопровода, сводится к нулю.

Существующая практика ремонта данным методом в России показывает, что трудовые и финансовые затраты на ремонт трубопроводов в большинстве случаев меньше или равны издержкам при использовании обычных методов. Тем не менее, существует разница между более дорогими и более дешевыми вариантами бестраншейного ремонта.

Стоимость работ пропорциональна сложности работ и технике, применяемой на строительной площадке. Для одних методов требуется более дорогостоящее оборудование, для других - необходимо меньшее количество техники и инструментов. Следовательно, существуют различия в стоимости работ. Таким образом, бестраншейные способы ремонта являются наиболее предпочтительными и более целесообразными, по сравнению с остальными.

Проводя анализ современных методов бестраншейного ремонта, можно сделать вывод, что целесообразные способы восстановления должны основываться на необходимом применении отделки (внешних стен) с высокой химической стойкостью и необходимой несущей способностью.

Последний пункт является достаточно важным, так как в России остаточный ресурс коллекторов большого диаметра не более 30%. Обеспечение только герметичности коллекторов («рукавные» технологии, нанесение цементно-песчаных или полимерных покрытий, использование тонкостенных полиэтиленовых труб-оболочек или эластичных лент) может оказаться недостаточно эффективным. Выбор неподходящего метода восстановления не ликвидирует начавшуюся коррозию и структурные

разрушения, и, соответственно, не обеспечит расчетного срока эксплуатации трубопровода.

Целесообразным и эффективным способом является реновация структурной целостности и рабочих характеристик трубопроводов с использованием полиэтиленовых модулей.

Главными преимуществами данной технологии являются:

- высокая химическая стойкость и несущая способность элементов;
- относительно невысокая стоимость;
- удобство и простота монтажа;
- отсутствие необходимости в сложном технологическом оборудовании;
- возможность осуществления работ без вывода трубопровода из эксплуатации (в потоке рабочей жидкости).

К минусам относятся значительные затраты на доставку крупногабаритных модулей к участку ремонта трубопровода.

Монтажные работы производятся в несколько этапов.

На первом этапе производится обследование трубопровода для определения его фактического технического состояния. К этому процессу относится диагностика колодцев, камер, трассы прохождения трубопровода, видеоинспекция внутренней поверхности, ультразвуковая диагностика, определение планово-высотного положения участков трубопровода. По результатам обследования подводятся итоги, выполняется оценка обнаруженных изъянов, готовится заключение, разрабатываются технические решения.

Производится выбор резьбовых элементов необходимого размера, длины и кольцевой жесткости, отмечаются участки разработки технологических котлованов, подготавливается план производства работ (ППР).

На следующем этапе производятся подготовительные работы – согласования и получение разрешений, вскрытие колодцев и камер, раскопка дополнительных технологических котлованов, при необходимости, доставка и складирование материалов, расстановка техники. Осуществляется очистка и повторная инспекция трубопровода.

На третьем этапе резьбовые элементы по одному подаются в трубопровод через камеру или небольшой стартовый котлован, свинчиваются и, при помощи лебедки, протягиваются в потоке рабочей жидкости (обычно по направлению потока). На рисунке 1 показана подача нарезных элементов трубопроводов.



Рис. 1 Подача нарезных элементов трубопроводов

При этом стоки выполняют роль лубриканта, защищая наружную поверхность трубы от повреждений, а выталкивающая сила потока снижает усилия, необходимые для протяжки. По завершении процесса протяжки труба фиксируется, пространство между трубой и старым коллектором заполняется специальным забутовочным раствором, образуя прочную трехслойную конструкцию. Осуществляется проверка качества выполненных работ, восстановление камер, благоустройство и сдача трубопровода в эксплуатацию.

Рассмотрим бестраншейное восстановление участка канализационной сети методом вставок с использованием коротких полиэтиленовых труб на примере ремонта и восстановления канализационного коллектора диаметром 1500 мм по ул. Южной в Белгороде.

#### 1. Подача трубы во временную шахту



На рисунке 2 показано:

- опускание модулей в существующий коллектор через стартовые котлованы. Модули соединены между собой с помощью резьбы;
- введение трубы в разрушенный трубопровод;
- сварка коротких труб между собой.

С помощью крана и петлевого соединения осуществляется проворачивание нового трубопровода для сварки стыков. Операция проворачивания нового трубопровода не вызывает сложности ввиду наличия в существующем коллекторе воды.

#### 2. Введение трубы в разрушенный трубопровод



## 3. Сварка коротких труб между собой

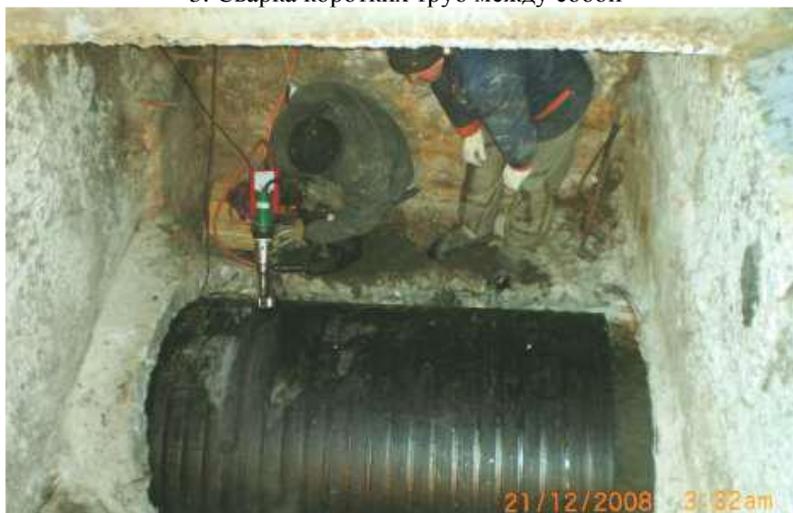


Рис. 2. Бестраншейное восстановление участка канализационной сети методом вставок с использованием коротких полиэтиленовых труб

Протягивание выполняется от стартовой шахты в целевую, на которой предварительно установлено используемое для вовлечения оборудование. После окончания протягивания и сварки модулей осуществляется инъектирование межтрубного пространства цементно-песчаным раствором. На последнем этапе выполняется демонтаж стальных и

деревянных креплений в котлованах, обратная засыпка и благоустройство территории.

В декабре 2018 г. произошло обрушение канализационного тоннеля вблизи восстановленного участка сети (рис. 3). На поверхности, в районе прохождения коллектора, была обнаружена просадка грунта глубиной до 11 м на расстоянии 6-8 м от восстановленного участка сети.

## 1. Первичная стадия проседания почвы в зоне повреждения тоннеля



## 2. Обрушение в зоне повреждения тоннеля



Рис. 3. Обрушение канализационного тоннеля вблизи восстановленного участка сети

Тоннель построен методом щитовой проходки в 1969 году. Глубина его залегания около 14 м. В ходе анализа проектной документации сделан вывод, что основным конструктивом туннеля являются сборные железобетонные тубинги размером  $1370 \times 770 \times 200$  мм и  $1210 \times 770 \times 200$  мм. Армированные тубинги изготовлены в заводских условиях из бетона марки 300. Внутренняя поверхность туннеля имеет внутреннюю бетонную обработку толщиной 160 мм из бетона марки 200. Предоставленная проектная документация не дает возможно-

сти установить, какая в проекте была заложена водонепроницаемость конструкций тоннеля. Объем блока составляет около 0,183 м<sup>3</sup> при весе 455 кг.

На рисунке 4 представлен узел стыковки тубингов с устройством внутренней армированной обработки. При введении в эксплуатацию внутренний диаметр тоннеля составлял 1840 мм, внешний - 2520 мм. Отверстия в тубингах служат для инъектирования заблочного пространства цементно-песчаным раствором.

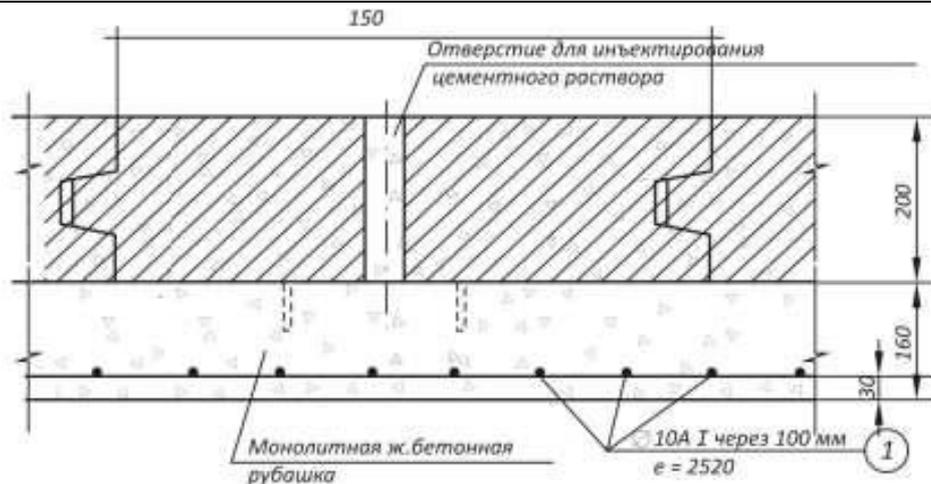


Рис. 4. Схема стыковки тубингов с устройством внутренней армированной обработки

Как показало обследование конструкций тоннеля, в результате действия коррозионных процессов обработка тоннеля вблизи шахтного ствола полностью пришла в негодность. В результате коррозии был разрушен один из блоков, который обрушился внутрь коллектора. Его крупные обломки оказались на дне тоннеля напротив места обрушения. Кроме этих обломков на дне тоннеля обнаружены грунтовые отложения, которые попали туда с надколлекторного пространства после падения блока.

В месте обрушения образовались отложения, препятствующие транспортировке сточных вод.

Принимая во внимание общую протяженность тоннеля между шахтами, равной 440 м, было рассмотрено несколько вариантов его восстановления с учетом степени разрушения конструкций - как обработки, так и основных несущих блоков крепления. В таблице 1 представлены варианты восстановления тоннеля.

При использовании метода вставок рассматриваются два варианта труб. Один из них - полиэтиленовые трубы ПЭ 100 типа SPIRO длиной 3 м.

Таблица 1

Способы восстановления работоспособности тоннеля

Способ восстановления	Основные требования к методу восстановления			
	Санация с целью защиты от коррозии	Применение для усиления конструкций крепления	Максимальный диаметр после восстановления	Применение на участках с высокими скоростями течения стоков
Санация полиэтиленовыми трубами с последующим заполнением межтрубного пространства бетоном	+	±	-	-
Санация стеклопластиковыми трубами с последующим заполнением межтрубного пространства бетоном	+	±	-	±
Внутренняя отделка из фибробетона и торкретбетона, армированного стеклопластиковой арматурой	+	+	+	+

Условные обозначения:

- + способ используется и эффективный;
- ± ограниченное применение способа;
- способ не используется или неэффективен.

Согласно разработанной технологии (рис. 5), полиэтиленовые трубы длиной 3 м соединяются в шахте, или в туннеле под временным креплением

(рис. 6-7). Лебедка для протягивания устанавливается над стартовой шахтой. После устройства вертикального крепления (рис. 7) конструкция удаляется и дополнительно демонтируются несколько тубингов, что позволяет обеспечить доступ в тоннель.

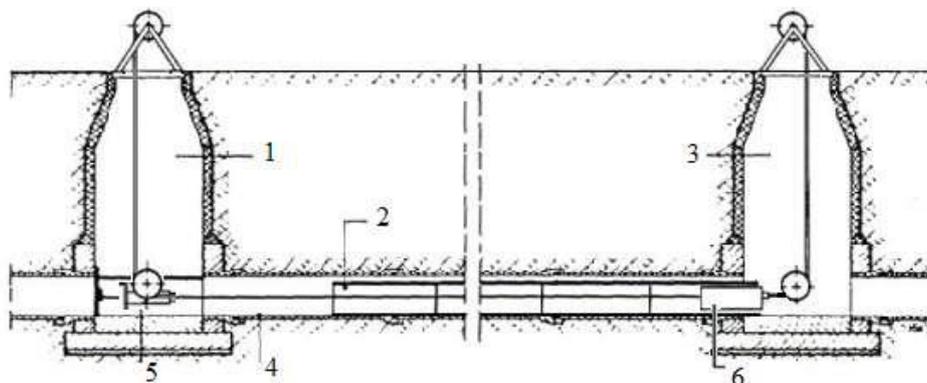


Рис. 5. Монтаж нового трубопровода без растягивающих усилий:  
 1 - целевая шахта; 2 - новые трубы; 3 - стартовая шахта; 4 - поврежденный трубопровод; 5 - фиксация трубопровода; 6 – вводная труба

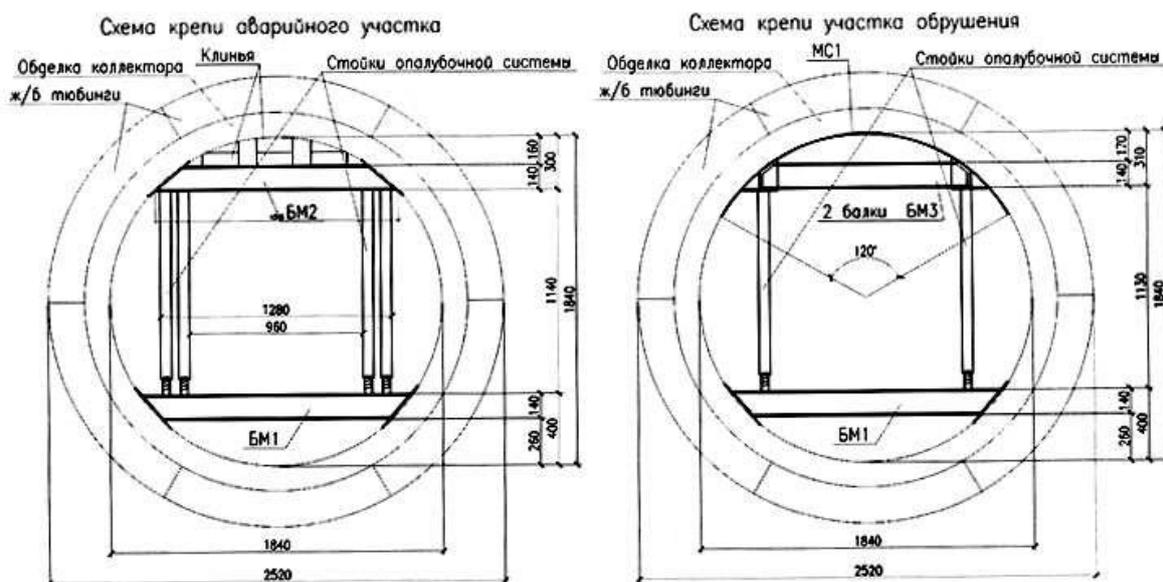


Рис. 6. Проектное решение закрепления свода



Рис. 7. Фотофиксация вертикального закрепления конструкций канализационного тоннеля

Необходимо отметить, что при использовании данного метода, растягивающих усилий между новыми трубами не возникает. Тяговый канат, находящийся внутри нового трубопровода, крепят к опорной траверсе, а ее - к торцу каждой новой трубы, устанавливаемой для наращивания. Поскольку трубы работают только на сжатие, испытывать их на растяжение нет необходимости. Протягивание осуществляется с помощью лебедки.

Недостатком метода является то, что в процессе протягивания может произойти перекося трубы, ее смещение, образование трещин. Такая вероятность возрастает, если внешняя поверхность возобновляемой трубы неровная. В таких случаях проводят дополнительные мероприятия: на внутренней трубе устанавливают специальные фиксаторы или передвижные транспортные зажимы с легкими ползьями или роликами.

При незначительном разрушении отделки коллектора эффективным является метод восстановления путем нанесения покрытий с использованием различных материалов. При выборе тех или иных методов нанесения покрытий в каждом конкретном случае необходим тщательный анализ состояния коллектора, в том числе наличие на конструкциях влаги вследствие проникновения грунтовых вод, химический состав грунтовых вод, возможность тщательной очистки стен от продуктов коррозии.

Методы нанесения используются для нанесения покрытий на внутренние стены для восстановления или повышения сопротивления физическим,

биологическим, химическим и биохимическим воздействиям изнутри, для устранения новых образований инкрустаций, для восстановления и / или повышения статистической несущей способности и водонепроницаемости коллекторов.

На рисунке 8 представлены варианты нанесения покрытий коллекторов. Нанесение покрытия может осуществляться как по всей поверхности, так и частично, в лотковой или сводчатой части коллектора.

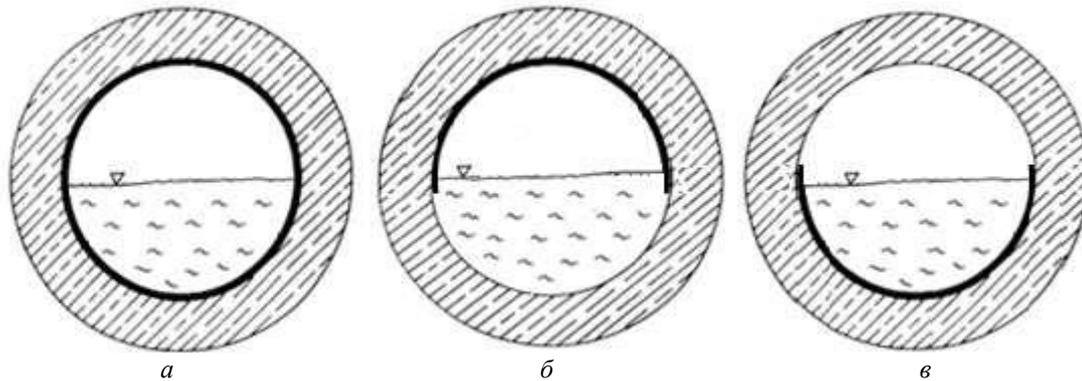


Рис. 8. Варианты нанесения покрытий коллекторов:  
а - сплошная облицовка; б - частичная облицовка свода; в - частичная облицовка лотка

Принимая во внимание тот факт, что в рассматриваемом коллекторе разрушения произошло в сводчатой части, то был выбран вариант нанесения покрытия с частичной облицовкой свода, представленный на рисунке 8 б).

Восстановление сводчатой части коллектора предусматривается из бетона класса С25 / 30 (марка М400). Рабочая кольцевая арматура – композитная стеклопластиковая периодического профиля диаметром 8 мм, с временным сопротивлением на разрыв  $\sigma_c = 520$  Мпа.

Расчетное сопротивление стеклопластиковой арматуры  $R_s = 520 / 1,4 = 370$  Мпа, что эквивалентно по прочности класса стальной арматуры А400С. Защитный слой,  $a = 3$  см. Шаг арматуры 100 мм. Расчет произведен на 1 м длины коллектора. Рассчитана эпюра изгибающих моментов и по ней принята схема армирования, приведена на рисунке 9.

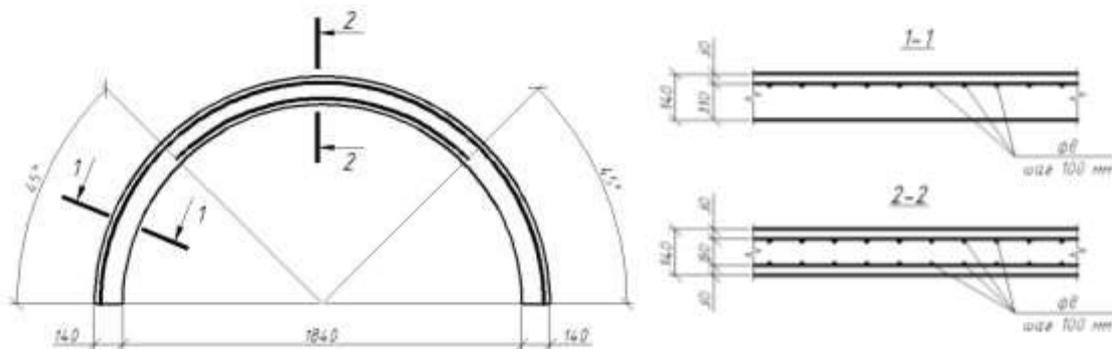


Рис. 9. Схема армирования монолитной железобетонной отделки

На рисунках 10-11 показано крепление арматурной сетки к поверхности коллектора после ее очистки от продуктов коррозии. После оценки стоимостных показателей вариантов ремонта сделан

вывод, что вариант с фибробетонированием дешевле по сравнению с другими вариантами.

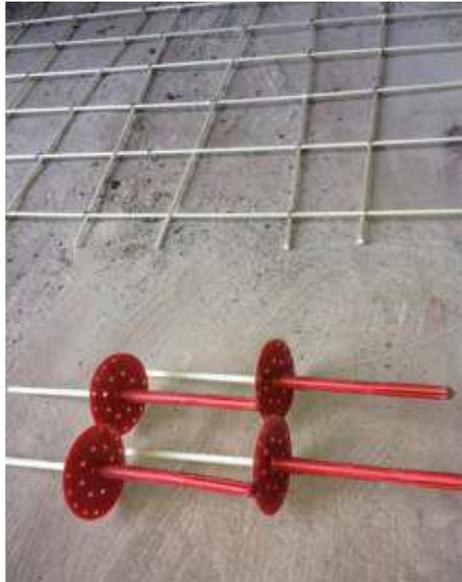


Рис. 10. Сетка из стеклопластиковой арматуры и анкеры для крепления к сводчатой части коллектора



Рис. 11. Армирование стеклопластиковой арматурой сводчатой части коллектора

#### **Вывод:**

Технология полиэтиленовых модулей является эффективным методом реновации канализационных коллекторов благодаря высокой химической стойкости и несущей способности элементов; относительно невысокой стоимости; удобству и простоте монтажа; отсутствию необходимости в сложном технологическом оборудовании; возможности осуществления работ без вывода трубопровода из эксплуатации (в потоке рабочей жидкости).

#### **Литература**

1. Орлов В.А. Разработка стратегии восстановления городских водоотводящих сетей: [текст] / В.А. Орлов, В.А. Харькин // РОСТ. – 2001. – Вып. 3. – С. 20–27.
2. Продоус О.А. Совершенствование методов использования бестраншейных технологий для ремонта городских канализационных сетей: Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук / О.А. Продоус. – М.: МАИ, 1999. – 41 с.
3. Раганович А. Кристическое техническое состояние бетонных коллекторов: [текст] / А. Раганович, Е. Неверова-Дзиопак // Вода и экология: проблемы и решения. – СПб.: ЗПО «Водопроект-Гипрооомунводоканал Санкт-Петербург», 2014. – Вып. 4 (60). – С. 49-58.

**VOL 1, No 62 (2021)**

**Sciences of Europe**  
(Praha, Czech Republic)

**ISSN 3162-2364**

The journal is registered and published in Czech Republic.  
Articles in all spheres of sciences are published in the journal.

Journal is published in Czech, English, Polish, Russian, Chinese, German and French.

Articles are accepted each month.

Frequency: 24 issues per year.

Format - A4

All articles are reviewed

Free access to the electronic version of journal

All manuscripts are peer reviewed by experts in the respective field. Authors of the manuscripts bear responsibility for their content, credibility and reliability.

Editorial board doesn't expect the manuscripts' authors to always agree with its opinion.

**Chief editor:** Petr Bohacek

**Managing editor:** Michal Hudecek

- Jiří Pospíšil (Organic and Medicinal Chemistry) Zentiva
- Jaroslav Fährnich (Organic Chemistry) Institute of Organic Chemistry and Biochemistry Academy of Sciences of the Czech Republic
- Smirnova Oksana K., Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Department of History (Moscow, Russia);
- Rasa Boháček – Ph.D. člen Česká zemědělská univerzita v Praze
- Naumov Jaroslav S., MD, Ph.D., assistant professor of history of medicine and the social sciences and humanities. (Kiev, Ukraine)
- Viktor Pour – Ph.D. člen Univerzita Pardubice
- Petrenko Svyatoslav, PhD in geography, lecturer in social and economic geography. (Kharkov, Ukraine)
- Karel Schwaninger – Ph.D. člen Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
- Kozachenko Artem Leonidovich, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Department of History (Moscow, Russia);
- Václav Pittner -Ph.D. člen Technická univerzita v Liberci
- Dudnik Oleg Arturovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Physical and Mathematical management methods. (Chernivtsi, Ukraine)
- Konovalov Artem Nikolaevich, Doctor of Psychology, Professor, Chair of General Psychology and Pedagogy. (Minsk, Belarus)

«Sciences of Europe» -

Editorial office: Křižíkova 384/101 Karlín, 186 00 Praha

E-mail: [info@european-science.org](mailto:info@european-science.org)

Web: [www.european-science.org](http://www.european-science.org)