



NORWEGIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT OF THE INTERNATIONAL SCIENCE

№39/2020

Norwegian Journal of development of the International Science

ISSN 3453-9875

VOL.1

It was established in November 2016 with support from the Norwegian Academy of Science.

DESCRIPTION

The Scientific journal “Norwegian Journal of development of the International Science” is issued 12 times a year and is a scientific publication on topical problems of science.

Editor in chief – Karin Kristiansen (University of Oslo, Norway)

The assistant of the editor in chief – Olof Hansen

- James Smith (University of Birmingham, UK)
 - Kristian Nilsen (University Centre in Svalbard, Norway)
 - Arne Jensen (Norwegian University of Science and Technology, Norway)
 - Sander Svein (University of Tromsø, Norway)
 - Lena Meyer (University of Gothenburg, Sweden)
 - Hans Rasmussen (University of Southern Denmark, Denmark)
 - Chantal Girard (ESC Rennes School of Business, France)
 - Ann Claes (University of Groningen, Netherlands)
 - Ingrid Karlsen (University of Oslo, Norway)
 - Terje Gruterson (Norwegian Institute of Public Health, Norway)
 - Sander Langfjord (University Hospital, Norway)
 - Fredrik Mardosas (Oslo and Akershus University College, Norway)
 - Emil Berger (Ministry of Agriculture and Food, Norway)
 - Sofie Olsen (BioFokus, Norway)
 - Rolf Ulrich Becker (University of Duisburg-Essen, Germany)
 - Lutz Jäncke (University of Zürich, Switzerland)
 - Elizabeth Davies (University of Glasgow, UK)
 - Chan Jiang (Peking University, China)
- and other independent experts

1000 copies

Norwegian Journal of development of the International Science

Iduns gate 4A, 0178, Oslo, Norway

email: publish@njd-iscience.com

site: <http://www.njd-iscience.com>

CONTENT

BIOLOGICAL SCIENCES

Malenkov A., Radkevich L.

ABOUT THE PHENOMENON OF NON-RECOGNITION OF
CARDINAL SCIENTIFIC DISCOVERIES BY A WIDE
SCIENTIFIC PUBLIC AND ABOUT HOW AND WHY THE
FIGHT AGAINST FALSE SCIENCE WAS TRANSFERRED
INTO "HUNT FOR THE WITCHES" 3

MATHEMATICAL SCIENCES

Kuralbayev Z.

THE APPROXIMATING FUNCTION OF THE OUTER
BOUNDARY OF THE DIAPHRAGM 9

Seitmuratov A., Mukeyeva G., Nurgaliyeva A.

DETERMINATION OF NATURAL OSCILLATION
FREQUENCIES OF A HOMOGENEOUS VISCOELASTIC
PLATE BY THE METHOD OF G. I. PSHENICHNOV 14

PHYSICAL SCIENCES

Yurov V., Makhanov K.

DETERMINATION OF TEMPERATURE DEPENDENCE OF
REFRACTION INDICATOR OF EPOXYPOLYMERS 18

TECHNICAL SCIENCES

Kuzmina N.

THE INFORMATIONAL MODEL OF BAYESIAN NETWORKS
CLUSTERING METHODS IN GROUP DECISION MAKING
SUPPORT SYSTEMS..... 22

Bogdan A., Sidorenko A., Goncharov A.

FEATURES OF APPLICATION OF ENERGY-SAVING
LAMPS 26

Sidorenko A., Goncharov A.

RENEWABLE ENERGY RESOURCES OF THE BLACK SEA
COAST OF RASNODAR REGION 29

Karandashov O., Avramenko V., Pidhorna L.

TECHNOLOGICAL PARAMETERS STUDY OF A CROSS-
FIBRED LONGITUDINAL-TRANSVERSE WINDING BY THE
PERIODIC METHOD FOR THE PRODUCTION OF GLASS-
PLASTIC PRODUCTS WITH HIGHER PERFORMANCE
CHARACTERISTICS 32

Kopeikin I.

IMPROVING INDICATORS OF OPERATING EFFICIENCY
OF RUBBER CUPS OF PACKER SYSTEM APPLICABLE
UNDER CONDITIONS OF REPEATED REPEATED
LANDING..... 38

Nazarov S.

PARALLEL CALCULATIONS IN THE SYSTEMS OF REAL
TIME AND BATCH OPERATION 42

Sadigov I.

STABILITY OF SHELLS OF VARIOUS SHAPES OF VARIABLE
THICKNESS FROM A NONLINEAR ELASTIC MATERIAL
DURING CREEP 55

BIOLOGICAL SCIENCES

ABOUT THE PHENOMENON OF NON-RECOGNITION OF CARDINAL SCIENTIFIC DISCOVERIES BY A WIDE SCIENTIFIC PUBLIC AND ABOUT HOW AND WHY THE FIGHT AGAINST FALSE SCIENCE WAS TRANSFERRED INTO "HUNT FOR THE WITCHES"

Malenkov A.

*Doctor of Biological Sciences, Professor,
Scientific Director - Majerikmedfarm Medical Center*

Radkevich L.

*Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Scientist
Center for Theoretical Problems of Physical and Chemical Pharmacology of the
Russian Academy of Sciences*

О ФЕНОМЕНЕ НЕПРИЗНАНИЯ КАРДИНАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ОТКРЫТИЙ ШИРОКОЙ НАУЧНОЙ ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ И О ТОМ, КАК И ПОЧЕМУ БОРЬБА С ЛЖЕНАУКОЙ ПРЕВРАТИЛАСЬ В «ОХОТУ ЗА ВЕДЬМАМИ»

Маленков А.Г.

*доктор биологических наук, профессор,
научный руководитель – Медицинский центр «Маджерикмедфарм»*

Радкевич Л.А.

*доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник
ФГБУ Центр теоретических проблем физико-химической фармакологии Российской академии наук*

Abstract

The authors call on the scientific community to develop more effective for the development of science and "humane" rules for assessing controversial results, and regardless of the "absurd" nature of the data proposed for publication, to create conditions for the possibility of publishing controversial data, assigning responsibility to the authors

The work outlines several cases from the experimental life of some researchers, whose scientific results were categorically not accepted by journal editors, or colleagues. 1 case - results of studies of portal liver ischemia in rats. 2 case is the fate of cold nuclear fusion (HNC). 3 case is "water memory" and numerous experimental evidence.

By their article, the authors call on the scientific community to develop more effective rules for the development of science and "humane" evaluation of disputed results, and despite the "absurd" nature of the data proposed for publication, to create conditions for the possibility of publishing disputed data, assigning responsibility to the authors, under any suitable heading, but accessible to readers.

Аннотация

Авторы призывают научное сообщество разработать более эффективные для развития науки и "гуманные" правила оценки спорных результатов, и не взирая на «абсурдность» предлагаемых к публикации данных, создать условия для возможности опубликования спорных данных, возложив ответственность на авторов

В работе изложены несколько случаев из экспериментальной жизни некоторых исследователей, научные результаты которых, категорически не принимались редакциями журналов, либо коллегами. 1 случай – результаты исследований портальной ишемии печени у крыс. 2 случай - судьба холодного ядерного синтеза (ХЯС). 3 случай - «память воды» и многочисленные экспериментальные доказательства.

Своей статьей авторы призывают научное сообщество разработать более эффективные для развития науки и "гуманные" правила оценки спорных результатов, и не взирая на «абсурдность» предлагаемых к публикации данных, создать условия для возможности опубликования спорных данных, возложив ответственность на авторов, под какой-либо подходящей рубрикой, но доступной для читателей.

Keywords: liver regeneration, portal ischemia, apoptosis, CNC, "water memory."

Ключевые слова: регенерация печени, портальная ишемия, апоптоз, ХЯС, «память воды».

«Вся история науки на каждом шагу показывает, отдельные личности были более правы в своих утверждениях, чем целые корпорации учёных и сотни и тысячи исследователей, придерживающихся господствующих взглядов.»
В.И. Вернадский (1908 год).

Непризнание кардинальных научных открытий широкой научной общественностью – остаётся весьма актуальной и злободневной темой. Это явление, особенно в том случае, когда оно поддерживается властью имущими, превращается в мощный

тормоз прогресса, на десятилетия задерживая внедрение в практику столь необходимых человечеству технологий.

В интернете не трудно найти обстоятельную и взвешенную статью В.А. Жигалова: «Уничтожение торсионных исследований в России. (2009)». Владислав Анатольевич приводит обширный материал, иллюстрирующий деятельность комиссии по борьбе с лженаукой при президиуме РАН. Особенно ярко в этих материалах выглядят выступления бывшего её председателя академика Э.П. Круглякова, теперешнего её председателя академика Е.Б. Александрова и некой личности, скрывающейся под псевдонимом «проф. А. Конкретный». Эти высказывания великолепно раскрывают и уровень невежества этих титулованных борцов с лженаукой в тех областях знания, о которых они взялись рассуждать и осуждать, и их недобросовестность при приведении конкретных фактов, по их мнению, свидетельствующих об огромных тратах государственных средств исследователями, обвиняемых ими в занятии лженаукой и, наконец, об их крайне низкой этической культуре.

Статья Жигалова избавляет нас от необходимости опускаться до полемики с комиссией по лженауке и вообще рассматривать её не приглядную деятельность.

Наш анализ начнём с рассмотрения конкретных историй неприятия открытий. Первый рассказ о наших собственных исследованиях и мытарствах.

В начале 70 годов (72-74) мы исследовали зависимость инициации синтеза ДНК от длительности стимула *in vivo* [1]. Как известно, *in vitro* запуск синтеза ДНК и деления клеток носит пусковой характер, т.е. достаточно кратковременного стимула – а как *in vivo*? В то время это не было известно.

Мы выбрали хорошо известную модель, имитирующую регенерацию печени грызунов после частичной гепатэктомии. В те годы исследования механизмов регенерации печени были популярны как в мире, так и в СССР. Для этого использовали стандартную модель частичной и необратимой гепатэктомии у крыс, или мышей.

Мы предложили несколько видоизмененную модель стимуляции регенерации печени. А именно, вместо необратимой гепатэктомии доли печени, мы накладывали временную ишемию (лигатуру) на ветвь воротной вены отдельной доли печени, которая в стандартной модели подвергается эктомии. Длительность наложения лигатуры можно было варьировать в широком диапазоне от 2 мин до нескольких часов. Интенсивность синтеза ДНК в контрлатеральных долях печени, куда поступал увеличенный портальный кровоток, определяли методом автордиографии с НЗ тимидином на 24 часу после начала ишемии ветви воротной вены печени. Через 96 часов определяли массу долей печени и изучали их морфологию, гистологию и проводили морфометрию клеток паренхимы ишемизированных и не ишемизированных долей печени.

В этих экспериментах было установлено, что *in vivo* запуск синтеза ДНК носит не пусковой ха-

рактер и, что популяция гепатоцитов состоит из нескольких субпопуляций, каждая из которых имеет своё характерное «пусковое» время наложения лигатуры, после которого запуск синтеза ДНК становится необратимым.

Но наиболее интересным оказалось следующее: те доли печени, в которые портальный кровоток не поступал, через 96 часов после наложения лигатуры, уменьшались по массе в 8-10 раз. При этом, никакого некроза гепатоцитов не наблюдалось, а происходила физиологическая элиминация гепатоцитов, в связи с отсутствием питания и функциональной нагрузки. Сейчас этот процесс называют апоптозом [2]. Цитоархитектоника ткани печени была полностью сохранена: на гистопрепаратах были хорошо видны триады, ацинусы, тельца Каунсильмена и мелкие клетки с небольшим ободком цитоплазмы и сохранным ядром (стволовые клетки?). Некоторые несколько помутневшие гепатоциты, были окружены плазматическими клетками, по-видимому, фагоцитирующими их.

После нескольких неудачных попыток опубликовать эти результаты в профильных журналах, например, в ж. «Онтогенез» и др., отзывы рецензентов были не просто отрицательными, но прямо-таки оскорбительными – а всё это из-за физиологической гибели клеток без некроза и предположении о стволовых клетках в печени. Нам в рецензиях писали: «при таком ишемическом повреждении печени, как портальная ишемия, может наблюдаться только желтая дистрофия и массовые некрозы гепатоцитов». Мы предлагали рецензентам поставить эксперименты в их лабораториях, обучить их сотрудников методу портальной ишемии. Но никто не согласился, нам говорили - зачем умножать артефакты?

Тогда мы стали обращаться к знакомым специалистам гистологам, морфологам, электронным микроскопистам: кафедра гистологии 2 - ого Московского Медицинского Института; Институт гастроэнтерологии АМН- профессор Аруин Леонид Иосифович – зав. лпб. Патоморфологии;

Профессор Тамара Ивановна Бонашевская – зав. отделом морфологии, гистохимии и электронной микроскопии - Институт коммунальной гигиены АМН.; Институт морфологии человека АМН – зав. лабораторией роста и развития профессор Лев Давидович Лиознер - один из основоположников теории регенерации; ВНИЦХ АМН – отделение Портальной гипертензии – зав. Отделением, дмн, профессор Александр Константинович Ерамишанцев; и др. Наша работа вызывала интерес, удивление и доброжелательное обсуждение. Однако мы не встретили ни одного гистолога, который бы сталкивался с физиологической элиминацией гепатоцитов и стволовыми клетками в печени.

Надо отметить, что это весьма странно: в 1972 году в Британском онкологическом журнале уже появились итоговые статьи Kerr J.F с соавторами под названием – «апоптоз: фундаментальное биологическое явление, широко распространенное как регулятор клеточной кинетики» (2, 3). Работа Kerr JF была выполнена на модели портальной ишемии

печени у крыс. Наши результаты и модель были аналогичны работе Kerr J.F [2]. Но рецензенты и слышать не хотели о физиологической гибели клеток и наличии стволовых клеток в печени. Только в 1978 году статью удалось депонировать, а в 1980 – опубликовать в ж. «Биофизика» и «Физиологический журнал», но сокращенный вариант, в котором не делался акцент на физиологическую гибель клеток и не упоминались стволовые клетки печени [4-6].

Несмотря на все эти перипетии, один из нас (Л.А.Р.) решила продолжать исследования и выяснить, будет ли происходить регенерация редуцированной доли печени после снятия лигатуры с ветви воротной вены, то есть в тех долях печени, которые длительное время были лишены портального притока, но снабжались исключительно артериальной кровью через ветвь печеночной артерии, и в которых сохранились клетки, похожие на стволовые. На продолжение работы натолкнуло следующее наблюдение: «Однажды вскрывая крысу, с ишемизированной и уже редуцированной левой долей печени, я (Л.А.Р.) обнаружила, что брыжейка окутала эту 10-кратно уменьшенную долю, снабжаемую только артериальным кровотоком, и сосуды брыжейки - ветви воротной вены, стали прорастать через поверхность доли и в этих местах возникали регенераты». Возникла идея о возможности восстановления (обновления) ишемизированной доли печени, например, пораженной гепатотоксинами, вызывающими острые и хронические поражения печени вплоть до цирроза печени (Д-галактозамин, аминазин, парацетамол, этанол, тетрациклин, тетрахлорметан и др.).

Для осуществления этой идеи пришлось разработать специальный способ и особый инструментарий для наложения лигатуры, чтобы после её снятия, портальный кровоток полностью восстанавливался. Были разработаны нихромовые скобки с разным по величине просветом, не врастающие в портальный сосуд. В результате в этих условиях после снятия скобок, восстановления портального кровотока, происходила полноценная регенерация ишемизированной доли печени и НЗ-тимидиновая метка включалась в делящиеся гепатоциты на 24 часу после снятия скобок. Это доказывало наличие в печени стволовых клеток и возможность органо-типической регенерации у млекопитающих (?). Оба эти положения противоречили принятым тогда представлениям. Поэтому о публикации не могло быть речи. Тем временем мы получили хорошие результаты по восстановлению печени на модели цирроза у крыс.

Завершив эти исследования в 1986 году один из нас (Л.А. Р.) решила всё-таки сделать попытку опубликовать статью с результатами регенерации печени у интактных и циррозированных крыс. Статья была направлена в журнал «Архив патологии». Рецензент профессор Галаланкин Владимир Николаевич, редактор журнала «Архив патологии», дал отрицательный отзыв. Но он пожелал встретиться с «чужаком» автором! В.Н. Галанкин посвятил целый

день изучению наших гистологических и гистохимических препаратов и беседе о моделях, методах и результатах экспериментов. В заключение он сказал буквально следующее: «я вижу, что это не артефакты, работа интересная, надо продолжать исследования, которые могут быть важными для практики. Но её публикация вызовет скандал – общепринято - у млекопитающих в печени не может быть физиологической элиминации гепатоцитов, не может быть стволовых клеток, и тем более, обратимой портальной ишемии. Поэтому я настою на её депонировании, ну а дальше боритесь». Так работа была депонирована в ж. «Архив патологии» 1986 [7]. В Отделении портальной гипертензии ВНИЦХ в этот период проводились наши совместные исследования по изучению межклеточных контактов гепатоцитов прижизненных биопсий и другие исследования. Поэтому было не трудно предложить хирургам обсудить наши результаты, полученные по «обновлению» долей печени при циррозе у крыс. Но оказалось, что для того, чтобы провести какие-либо новые исследования в клинике на пациентах, необходимо подтверждение результатов на собаках, либо на обезьянах. Вскоре проф. А.К. Ерамишанцев предложил нам аспиранта хирурга в Ереванском Центре хирургии Налбальдяна С.М. В 1987 г Л.А.Р. отправилась в Ереван для освоения совместно с аспирантом Налбальдяном С.М. нашего метода на собаках, которых нам выделил Центр хирургии. Но работу в Ереванском Центре хирургии вскоре пришлось прервать, по независимым от нас причинам – хирурги потребовались в другом месте. И мы переключившись на другие исследования. В этот период были опубликованы наши материалы, полученные на крысах, в 1990 г в Ереванском журнале «Кровообращение» [8]. Прошло еще почти 10 лет.

В 2002 году Бренер Сидней, Хортвиц Г. Роберт и Салстон Джон Э. получили Нобелевскую премию за открытие: «генетической регуляции развития органов и механизмов апоптоза». Исследования были проведены в основном на красивой и наглядной модели: маленьком прозрачном черве – *Caenorhabditis elegans*, в котором при развитии из одной клетки возникает 1090, при этом 131 клетка элиминируется по механизму апоптоза [9].

Таким образом, через тридцать с лишним лет явление апоптоза было официально признано. Kerr J.F Нобелевскую премию не получил, но был награжден премией имени Эрлиха. В 2002 году Kerr J.F опубликовал статью об истории своего открытия [10]. В этой статье он рассказал, что идея назвать явление элиминации гепатоцитов при портальной ишемии апоптозом (опавшие листья) пришла ему во время отдыха на Австралийском побережье.

Апоптоз – опадение листьев при сокращении светового периода у растений в результате образования восковой пластинки между черешком листа и стволом растения. Вода перестает поступать от корневой системы в лист и прекращается фотосинтез. Весной все начинается сначала. Прекрасная аналогия с временной портальной ишемией. А мы так и

не знаем, когда же в России гистологам и морфологам стало известно об апоптозе? Когда вышли первые публикации об апоптозе? В 2002 и 2004 годах мы очень сжато опубликовали нашу работу в ДАН [11, 12].

Наличие стволовых клеток в различных органах млекопитающих, в том числе в печени, сейчас не вызывает сомнений. Но пока мы не видели публикаций, аналогичных нашей работе, по восстановлению долей печени путем предварительной портовой ишемии, хотя регенеративная медицина успешно развивается.

Хорошо ли выглядят на этом фоне наши рецензенты, которые дружно называли наши исследования лженаукой и закрывали дорогу для публикаций экспериментальных данных, свидетельствующих о таких явлениях?

Теперь рассмотрим судьбу второго кардинального открытия – холодного ядерного синтеза (ХЯС).

Физики имеют веские основания полагать, что ХЯС не возможен: преодоление кулоновского барьера требует больших энергий, достигаемых при температурах порядка 10 миллионов градусов. Правда учёт явления экранировки электростатического поля ядер электронами может значительно снизить кулоновский барьер и что ещё существеннее уменьшить его ширину. Тогда можно думать о возможности «подбарьерного просачивания» и слияния ядер. Но таких условий в простых моделях это явление, если и возникает, то устойчивых, хорошо воспроизводимых результатов получить не удаётся и, однако, ХЯС существует. Бактерии оказались умнее академиков – борцов с лженаукой.

В 1993 году А.А. Корнилова провела очень красивый эксперимент. Культура микробов ... в среде обедненной по железу, но с добавленными солями марганца и тяжёлой водой произвела заметные количества редкого изотопа железа - Fe57.

Эффективность процесса этой трансмутации – одно ядро марганца в ядро железа 10 в минус восьмой за секунду.

Всего в различных лабораториях с того времени было проведено более 500 успешных экспериментов по ХЯС, осуществляемому бактериями. 16.06 2016 года на общеполитическом семинаре в институте общей физики РАН имени академика А.М. Прохорова директор научно-технологического отдела института неорганических материалов В. Кашеев сообщил об успешном промышленном эксперименте по превращению радиоактивного изотопа цезий-137 в стабильный изотоп бария-138. Осуществили это бактерии, оказавшиеся в среде бедной калием. Барий имеет ионный радиус близкий таковому калию и может потому частично его заменить. Процесс этой трансмутации весьма эффективен: за 2 недели бактерии перевели в барий половину цезия-137.

В 2008 вышла итоговая монография А.А. Корниловой в соавторстве с физиком В.И. Высоцким: «Ядерный синтез и трансмутация изотопов в биологических системах» (13). В 6-ой главе этой заме-

чательной книги обсуждается это явление с физической точки зрения. Основополагающий вывод, сформулированный кратко гласит: «для протона полости ферментов могут служить потенциальными ямами с динамически изменяемыми стенками, формирующие когерентные коррелированные состояния квантовых частиц». И именно в таких не стационарных условиях, обеспечивающих синхронизацию колебаний ядер, экранировка электронами кулоновских сил отталкивания создаёт благоприятные условия для подбарьерного просачивания и слияния ядер. Создать эквивалентные условия в простых кристаллических структурах не просто. Возможно, что именно в этом причина, почему до сих пор не удалось получить хорошо воспроизводимый и высокоэффективный процесс ХЯС в инженерных системах, хотя наблюдение ХЯС в них безусловно было и не раз. Но существование ХЯС в биологических системах строго доказано и уже практически используется. Как же жалко и ничтожно выглядит на этом фоне яростное отрицание осуществимости ХЯС борцами с лженаукой!

Третий пример – «память воды». Опять же с позиций официальной науки такого явления быть не может. Вода в обычных условиях при температуре выше нуля – жидкость. В ней нет сколько-нибудь постоянных структур, т.е., если бы они были, то выявлялись бы рентгенологическими и нейтрографическими методами. Время жизни возникающих конфигураций молекул воды – пикосекунды. Уверенность «классиков науки» в невозможности памяти воды столь велика, что они поддерживали выпуск официального бюллетеня патентного бюро не рассматривать изобретения, в которых используется понятие – память воды (14).

Масару Ямото (15) в течение 20 лет исследует влияние на форму, формирующихся из воды снежинок, в зависимости от воздействия на воду различных жанров музыки, настроения человека и произнесённых или записанных на бумагу высказываний («добрых» или «злых»). В замечательной книге этого автора: «Послание воды. Тайные коды кристаллов льда» приведено много удивительно красивых картинок снежинок, образовавшихся из воды, подвергнувшейся перед замерзанием воздействию классической музыки или добрых мыслей, записанных или высказанных вслух. И, напротив, агармоничная музыка, злые мысли и слова порождают уродливые, бесформенные снежинки (15). Более яркого и убедительного доказательства существования памяти воды и придумать трудно! Но бывший председатель комиссии по борьбе с лженаукой академик Э.П. Кругляков отмахнулся от этой работы с тем «веским аргументом», что Масару Ямото не профессиональный учёный. А то, что он сделал крупнейшее открытие на рубеже 20 и 21 веков, по мнению этого чиновника от науки – не существенно!

Можно привести ещё много других доказательств существования у воды памяти. Вот некоторые примеры.

Современный метод исследования – динамика светорассеяния позволяет выявить в воде наличие

ассоциатов, содержащих несколько миллионов молекул и имеющих на границе раздела дзета потенциал – двойной электрический слой (16). Растворение в воде даже не больших количеств вещества меняет распределение ассоциатов по размерам и дзета потенциалу. Эти распределения очень чувствительны к конкретной природе вещества – мы брали несколько разновидностей виоргонов (строго органоспецифических адгезионных факторов, по природе своей являющихся S-100 белками) в концентрации 10 в минус 12 моль и каждый из них имел своё распределение ассоциатов по размерам и потенциалу поверхности. Можно не добавлять вещество в воду, а приблизить к сосуду с водой спинорную матрицу, с записанной на ней веществом – эффект на свойства ассоциатов тот же как, если бы мы ввели само вещество (17). После удаления матрицы распределение остаётся таким же многие часы.

Метод, описанный в ссылке, позволяет получить электромагнитный (частотный) «портрет любого вещества (18). Даже такие близкие по своей природе вещества, как тканевоспецифические адгезионные факторы (АФ) – все они S-100 белки примерно одинакового молекулярного веса (но имеющие строгую органо – тканевую специфичность адгезионного действия) имеют различающийся «портрет» в водном растворе. Можно не вводить в раствор само вещество, а перенести на воду его информационный образ (спинорной матрицей или «лучом» экстрасенса). Вода длительно хранит этот образ, характерный для данного АФ.

Каковы же глубинные причины феномена неприятия кардинальных открытий широкой научной общественностью? Нам представляется целесообразным акцентировать внимание на двух причинах.

Первая причина – занятие наукой с начала 20 века стало массовой профессией. Между тем, психология истинного исследователя встречается довольно редко. Большинство людей, занимающихся наукой – учёные, но не исследователи. Психологическое различие весьма существенно: исследователь неодолимо стремится к познанию нового, лежащего за рамками известного и понятного. Учёный хорошо освоил известное и, в глубине души уверен, что всё основное наука уже открыла. При такой психологии очень важным становится положение в корпорации, мнение коллег, устойчивость социального положения. По сути, это психология чиновника.

Именно этот психологический комплекс объясняет первый из приводимых нами примеров «неприятия». Фраза профессора Галаланкина Н.В., приведённая в начале этой статьи, ярко его выражает.

Второй пример несколько сложнее. Там, кроме отмеченной выше базовой причины явно проглядывает корпоративная, «шкурная» заинтересованность. Критики ХЯСа, такие как академики Александров и Кругляков сделали научную карьеру и «кормятся» занимаясь высокотемпературным термоядерным синтезом, на осуществление которого

вот уже более 60 лет государства выделяют огромные суммы.

Вторая базовая причина неприятия кардинальных открытий, точнее – обстоятельство в значительной степени усугубляющее их не восприятие широкой научной общественностью коренится в особенностях переживаемого нами периода. Мы живём в эпоху перехода на ноосферный путь развития (18,19). Основные условия для этого уже созданы: сформирована информосфера, разработаны базовые технологии – хомобиотического оборота веществ (20,21), энергетики на возобновимых источниках, продления творческого долголетия и устранения хронических болезней, новой педагогики и т.д. Предстоит реализовать всё это. Мы живём в эпоху третьего синтеза знаний (22) и, одновременно, начала нового витка спирали развития естествознания (первый виток начался примерно 400 лет тому назад). Важным элементом при этом является синтез теологической и естественно-научной картин мира (23) Вот к этому-то значительная часть научной общественности, воспитанная в атеистическом духе не готова, воспринять ей это нелегко.

Только широчайшее распространение явления неприятия кардинальных открытий позволяет понять почему гениальные работы, опубликованные давно, до сих пор не восприняты и не поняты. Книга Б.Н. Чичерина "Наука и религия" вышла в свет в 1871 году. В ней дан анализ динамики системы знания и приведён прогноз третьего синтеза, задача осуществления которого сейчас и является главной задачей человечества. Кто знает об этой работе?

В 1974 году в издательстве "Мысль" большим тиражом опубликована монография Б.Ф. Поршнева - "О начале человеческой истории (проблемы палеопсихологии). В этой исключительно глубокой работе автор даёт ключ к разгадке тайны появления языка. Учёнейшие лингвисты занятые этой темой до сих пор "жуют" какую-то чепуху, даже не упоминая эту работу, но приводя в эпиграфе высказывание Поршнева о плодотворности вторжения исследователя в соседние области знания (в качестве примера можно привести обзор С.А. Бурлак). В 1986-8 году опубликована изумительно красивая работа С.В. Петухова - "Геометрия живой природы и алгоритмы самоорганизации" (М. Из-во "Знание"), в которой автор показывает, что любой морфогенез может быть описан двумя итерационными дифференциальными уравнениями первого порядка с постоянными коэффициентами в одном из пространств - Эвклидовом, аффинном, проективном или Мёбиуса. В 2006 году переведена на русский язык и издана книга Г. Мензиса - "1421 год, когда китайцы открыли мир (Эскмо). Книга совершенно меняет взгляд на эпоху великих географических открытий. И молчок. В следующем, 2007 году, выходит поистине эпохальная книга В.П. Тимофеева - "Другое слово о полку Игорева". В этой книге впервые за более чем 200 -летний период её изучения сотнями исследователей даётся убедительный

перевод примерно четверти всего текста, что коренным образом меняет весь взгляд на эту великую поэму, делая её гораздо более глубокой и поэтичной. И что же - по-прежнему восхищение и славословие академику Д.С. Лихачёву, признанному знатоку "Слова", давшего изумительный по нелепости перевод самого начала этой поэмы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Malenkov, A.G., Ionnyi gomeostaz i avtonomnoe povedenie opukholi (Ionic Homeostasis and Autonomous Behavior of Tumors), Moscow: Nauka, 1976. Google Scholar
2. Kerr JF. Shrinkage necrosis: a distinct mode of cellular death. *J Pathol.* 1971 Sep; 105(1):13-20. No abstract available. PMID: 5114188
3. Kerr JFR, AH Wyllie, AR Currie - Apoptosis: a basic biological phenomenon with wideranging implications in tissue kinetics *Brit. J. Canc.*, 1972, vol. 26, pp. 239–257 Google Scholar
4. Malenkov, A.G. and Radkevich, L.A., Available from VINITI, 1978, Moscow, no. 2452-V 78. Google Scholar
5. Malenkov AG, Radkevich LA. [Trigger mechanisms for cell division in vivo]. *Biofizika.* 1980. Nov-Dec; 25(6):1034-7. Russian. PMID: 7448214
6. Radkevich LA. [Membrane potential of liver cells during certain hemodynamic changes]. *Fiziol Zh SSSR Im I M Sechenova.* 1980 Oct; 66(10):1566-70. PMID: 7439447
7. Radkevich, L.A., *Arkh. Patol.*, 1986, vol. 48, no. 2, pp. 94–95. Google Scholar
8. Radkevich, L.A. and Nalbandyan, S.M., *Krovoobrashchenie*, 1990, vol. 23, no. 6, pp. 43–47 Google Scholar
9. Роберт Хорвитц, Сидней Бреннер, Джон Салстон лауреаты Нобелевской премии по физиологии или медицине 2002 года. allrefrs.ru/2-38848.html Нобелевская премия по медицине 2002 г <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
10. Kerr JF. History of the events leading to the formulation of the apoptosis concept. *Toxicology.* 2002 Dec 27; 181-182:471-4.
11. Radkevich, L.A., *Dokl. Akad. Nauk*, 2002, vol. 385, no. 3, pp. 422–425. <https://doi.org/10.1023/B:DOBI.0000025550.94567.89>
12. Piruzyan, L.A., Malenkov, A.G. & Radkevich, L.A. *Doklady Biochemistry and Biophysics* (2004) 395: 75. <https://doi.org/10.1023/B:DOBI.0000025550.94567.89> DOI <https://doi.org/10.1023/B:DOBI.0000025550.94567.89>
13. Корнилова А.А., Высоцкий В.И. (2008) Ядерный синтез и трансмутация изотопов в биологических системах. Из-во Мир.
14. Ломакина Т., Полищук Р. (2002) ИС Промышленная собственность №3.
15. Мисару Эмото Послания воды: Тайные коды кристаллов льда / Перев. С англ. -М.: ООО Издательский дом «София», 2005. -96 с, ил. ISBN 5-9550-0828-4
16. Дзета потенциал - Двойной электрический слой Википедия https://ru.wikipedia.org/wiki/Двойной_электрический_слой
17. Шовкопляс Ю.А., Жевнеров В.А., Гукасов В.М. (2016). Медицина и высокие технологии. №2 с. 45-54.
18. Маленков А.Г. (2009) Ноосфера и человек ноосферы. М. Маджерик.
19. Шапиро В. А. «Земледелие и Здоровье» - 2003 и 2005 гг. MAGERIC, агроконсалтинг 2003 <https://www.livelib.ru/publisher/2527/books-veles>
20. Шапиро В. А. «Драмы жизни - единая история жизни и разума» Москва 1999 издательство «Велес» <https://www.livelib.ru/publisher/2527/books-veles>
21. Маленков А.Г. (2015) Формирующиеся направления науки и третий синтез знания *Науки*, Выпуск №7
22. Чичерин Б.Н. Наука и религия. М.: «Республика», 1999. https://platona.net/load/knigi_po_filosofii/istoriya_russkaja/chicherin_b_n_nauka_i_religiya/15-1-0-2868
23. Жигалов В.А. Уничтожение торсионных исследований в России Независимое расследование Проект “Вторая физика” www.second-physics.ru. 2009 <https://www.litmir.me/br/?b=609758&p=1>

MATHEMATICAL SCIENCES

УДК 517.946+681.3

THE APPROXIMATING FUNCTION OF THE OUTER BOUNDARY OF THE DIAPIR

Kuralbayev Z.*professor, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
Kazakhstan, Almaty*

АППРОКСИМИРУЮЩАЯ ФУНКЦИЯ ВНЕШНЕЙ ГРАНИЦЫ ДИАПИРА

Куралбаев З.*профессор Алматинского университета энергетики и связи
Казахстан, Алматы*

Abstract

The article discusses the problem of determining the approximating function of the data available in the scientific literature on the external border of a diapir (dome). According to geological studies, diapirs are often found in the upper regions of the earth's crust and play an important role in the formation and development of terrestrial structures. A function is proposed that is in good agreement with geological data and laboratory results. A study of the obtained function is given; a partial differential equation is shown that describes hydrodynamic instability, and whose solution is this function.

Аннотация

В статье рассматривается проблема об определении аппроксимирующей функции имеющихся в научной литературе данных о внешней границе диапира (купола). По данным геологических исследований диапиры часто встречаются на верхних областях земной коры и играют важную роль в формировании и развитии земных структур. Предложена функция, которая достаточно хорошо согласуется с геологическими данными и результатами лабораторных исследований. Приведено исследование полученной функции; показано дифференциальное уравнение в частных производных, которое описывает гидродинамическую неустойчивость, и решением которого является данная функция.

Keywords: salt domes, igneous substances, diapir, approximation, hydrodynamic instability, partial differential equations.

Ключевые слова: соляные купола, магматические вещества, диапир, аппроксимация, гидродинамическая неустойчивость, дифференциальные уравнения в частных производных.

Введение. Диапиры, куполовидные структуры, образующиеся при выдавливании пластичных горных пород в вышележащие более жёсткие толщи. Результаты многочисленных исследований [1-17] показывают, что причиной появления диапиров могут быть как тектонические силы, возникающие из-за разности плотностей горных пород, составляющих верхние слои Земли, или другие эндогенные процессы. В геологической литературе, посвященной исследованию куполовидных структур, рассматривают, в основном, три вида диапиризма: соляной, магматический (мантийный) и песчаный [5-7].

Соляной диапиризм. Было доказано, что образование соляных куполов (диапиров), вызвано ползучестью, которая обусловлена относительно низкой плотностью соли (от 1.6 до 2.2 г/см³). Если нижележащий пласт соли, перекрытый более плотными толщами горных пород, способен к пластическому течению, то он начнёт подниматься, деформируя окружающие породы [1,7,10,11].

По данным геологических исследований [1,4,7,11], накопление солей в высыхающих водных бассейнах формируют мощные соленосные толщи, и наблюдается их выход на поверхность земной коры. Причем этот процесс считается достаточно

широко распространенным в природе явлением. Структурные движения такого происхождения были установлены на территориях Германии, Казахстана, Таджикистана, Северной Америки и в других регионах Земли. Это явление получило название «соляная тектоника» или «соляной диапиризм».

Оказывается, что движение соли вверх происходит не равномерно по всей массе [1,4], а в нескольких отдельных зонах. Внутренняя структура даёт возможность представить себе механизм поднятия соляного купола. Окружающие купол осадочные толщи приподнимаются вверх и изгибаются под действием движения соли.

Магматический диапиризм. В качестве одной из главных причин тектонических процессов, происходящих в недрах Земли, считается движение расплавленных магматических веществ [2-4,8,12-14]. Перемещения гранитоидных расплавов и контактирующих с ними вмещающих горных пород, которые приводят к движению веществ в астеносферном и литосферном слоях Земли, включая ранее затвердевшие образования. Известно также, что плотность гранитоидных расплавов (2.2 г/см³) меньше средней плотности вышележащих горных пород (2.6–2.8 г/см³) [8,9].

Следовательно, в результате возникновения расплавов в верхних слоях земной коры возникает обстановка инверсии плотностей, т. е. будет создано условие гидродинамической неустойчивости, которое приводит к тектоническим движениям. Известно, что в результате этих движений возникают различные процессы и структурные образования на поверхности земной коры. В частности, над восходящими тектоническими движениями наблюдается вертикальные поднятия земной поверхности, а над нисходящими – ее опускания [11-14].

Мантийный диапиризм. В исследованиях, связанных с изучением глубинных недр Земли существует утверждение о том, что многие тектонические процессы возникают из-за подъема мантийных плюмов [5-9]. Эти процессы выражаются в виде гравитационной неустойчивости на границе астеносферы и литосферы. Поднимающиеся вещества астеносферы и связанные с ними потоки тепла являются причиной таких процессов как движения земной коры, формирования и эволюции ее структур, а также происхождения вулканизма, землетрясений и многих других проявлений [3-8].

Из данных исследований за перемещениями магматических расплавов следует, что они могут иметь достаточно большие значения. Они могут подниматься на такую высоту, при которой гидродинамическое давление столба расплава может быть значительным. Оно может быть соизмеримо с давлением, создаваемым толщами вышележащих горных пород. Отсюда следует, что расплавы мантийных веществ могут прорвать ограничивающие их движения вверх мощные пласты, и образовать на них вулканические возвышенности значительной высоты [3-8].

Из такого краткого обзора о диапиризме и их причинах, можно сделать некоторые предположения о механизме их возникновения и формах внешней границ куполов (диапиров). Согласно распространенного среди геологов мнения [2-7] о появлении соляных куполов в верхней части земной коры, механизм поднятия соли, плотность которой меньше чем плотность горных пород, окружающих ее, аналогичен поднятию мантийному диапиризму, когда расплавленные относительно легкие мантийные вещества поднимаются вверх из-за гидродинамической неустойчивости. Здесь может быть поставлена задача о гидродинамической неустойчивости, которая может быть приведена к решению

дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка [15-21].

Очевидно, механизм процесса возникновения диапиров (куполов) объясняется как движение вверх веществ нижележащего пласта соли или магматических веществ, перекрытый более плотными толщами горных пород. В результате этого движения происходит деформация окружающих пород. Актуальность исследования этих процессов связана с важностью для жизнедеятельности человека. Поэтому что многие процессы, происходящие на поверхности Земли, связаны с проявлением различных тектонических процессов: вертикальных и горизонтальных движений земной коры, сейсмических и вулканических явлений и т.д. Кроме этого, по данным геологов [1-4], соляные купола являются «ловушкой» для легких веществ как нефть или газ, что важно для разведки и эксплуатации месторождений углеводородного сырья.

Из вышесказанных следует, что любые исследования, связанные с исследованием возникновения и развития подобных куполов, являются актуальными. Они имеют как теоретический интерес для познания окружающей среды, а также практический интерес для разведки месторождений полезных ископаемых в регионах и эксплуатации их.

Имеются экспериментальные исследования возникновения куполов в лабораторных условиях, в частности, Рамберга [10], где получена форма верхней границы поднимающихся веществ. В книге [11] приведены результаты исследования Ховарда, которые были получены с помощью моделирования на ЭВМ наблюдений за поднятием соляных толщ. Им предложен графический вид внешней границы купола; этот график представлен на рисунке 1. Сравнительный анализ этих результатов показывает, что график функции, приведенный на рисунке 1, достаточно хорошо согласуется с результатами лабораторных исследований Рамберга.

Однако этот график показывает только общую форму внешней границы купола, по которой нельзя определить динамику происходящего процесса, т.е. изменение искомой функции по времени t . В данной статье предлагается один из вариантов аппроксимации верхней границы диапира, для чего использованы имеющиеся геологические данные. Предложена математическая формула, которая может быть использована для описания процесса возникновения и эволюции диапира.

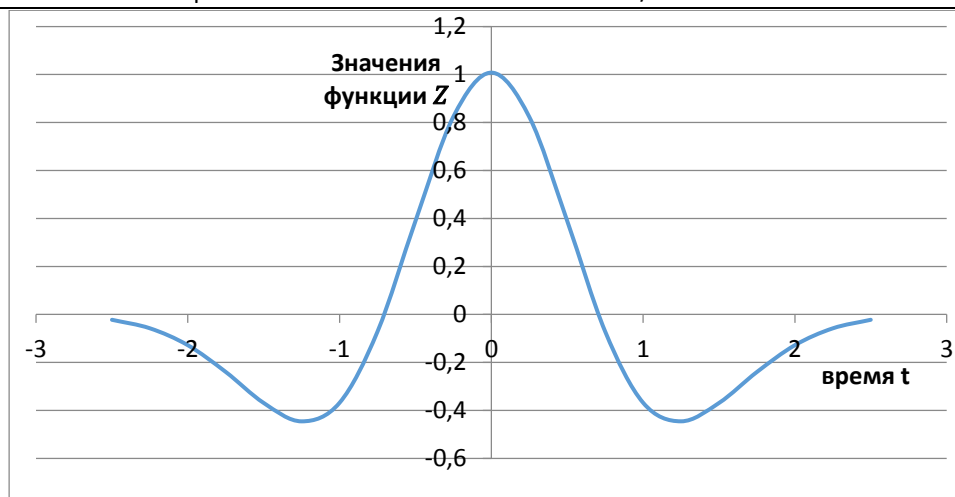


Рисунок 1 Форма купола

Постановка задачи. Движение относительно легких веществ (соли или магмы) вверх происходит не равномерно по всей массе, а в нескольких отдельных зонах. Поэтому в данном случае рассматривается процесс, связанный с отдельно возникающим куполом. Гидродинамическая неустойчивость из-за разности плотностей определяет механизм поднятия купола. Окружающие купол осадочные толщи приподнимаются вверх и изгибаются под действием этого движения. Деформации развиты лишь вокруг внешней границы купола, масштаб и форма их обусловлены размерами купола.

Поэтому в данном случае рассматривается отдельный купол; пренебрегается существованием других куполов, и ставится задача об определении его внешней границы.

Решение задачи. Для решения поставленной здесь задачи вначале необходимо привести имеющиеся данные о форме купола, приведенные в вышеуказанных литературных источниках. Исходя из этих данных, можно сформулировать известные свойства графика внешней границы купола.

Вначале следует вводить обозначения:

x – горизонтальная координатная переменная;

z – вертикальная координатная переменная; ось Oz направлена вверх, обратно направлению вектора $\vec{g}$;

$Z_k = Z_k(x, t)$ – функция, аппроксимирующая внешнюю границу купола;

t – время.

В данном случае функция $Z_k(x, t)$ является неизвестной; требуется определить ее аналитическую формулу. Пока нельзя установить зависимость этой функции от времени t , так как отсутствуют какие-либо данные динамические характеристики, т.е. сведения об изменении внешней границы купола. Поэтому переменная t рассматривается пока как некоторый параметр.

Из литературных источников известны следующие свойства функции, описывающей внешнюю границу купола:

1⁰. Функция $Z_k(x, t)$ должна иметь некоторую точку максимума; не ограничивая общность,

можно предположить, что такой точкой является $x = 0$, т.е. начало координат. Пусть она называется центром поднятия купола.

2⁰. Функция $Z_k(x, t)$ должна быть определена и непрерывна везде, т.е. $-\infty < x < +\infty$.

3⁰. Функция $Z_k(x, t)$ должна быть четной и ее график симметричен относительно вертикальной оси z , т.е. $Z_k(-x, t) = Z_k(x, t)$.

4⁰. В точках, достаточно удаленных от центра поднятия ($x = 0$), функция $Z_k(x, t)$ имеет очень малые значения, т.е. $\lim_{x \rightarrow \infty} Z_k = 0$ и $\lim_{x \rightarrow -\infty} Z_k = 0$.

5⁰. Из условия сохранения массы (объема) веществ, составляющих купол и окружающих его осадочных горных пород, при условии их несжимаемости, следует равенства нулю следующих интегралов:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} Z_k(x, t) dx = \int_0^{+\infty} Z_k(x, t) dx = \int_{-\infty}^0 Z_k(x, t) dx = 0.$$

6⁰. Площадь области поднятия купола равна сумме площадей его опущенных областей:

$$\int_{-x_0}^{+x_0} Z_k(x, t) dx = \int_{-\infty}^{-x_0} Z_k(x, t) dx + \int_{x_0}^{+\infty} Z_k(x, t) dx,$$

где x_0 и $-x_0$ – точки пересечения графика функции $Z_k(x, t)$ с осью x .

Результат решения задачи. Общий вид функции $Z_k(x, t)$, удовлетворяющий вышеперечисленным условиям (1⁰ – 6⁰) может быть представлен в следующем виде:

$$Z_k(x, t) = \alpha(t) \cdot e^{-\varphi(t)x^2} [1 - \beta(t) \cdot x^{2n}] \quad (1)$$

В этой формуле: $\alpha(t)$, $\beta(t)$, $\varphi(t)$ – неизвестные пока функции; n – натуральное число. При этом предполагается, что $\alpha(t) > 0$, $\varphi(t) > 0$.

Из условия равенства интегралов (из условия 6⁰) следует следующая взаимозависимость между неизвестными функциями $\beta(t)$, $\varphi(t)$ и числом n :

$$\beta(t) = \frac{[2 \cdot \varphi(t)]^n}{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2n-1)} \quad (2)$$

Тогда формула (1) может быть записана в следующем виде:

$$Z_k(x, t) = \alpha(t) \cdot e^{-\varphi(t)x^2} \left\{ 1 - \frac{[2 \cdot \varphi(t) \cdot x^2]^n}{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2n-1)} \right\} \quad (3)$$

и искомая функция будет зависеть от двух функций $\alpha(t)$ и $\varphi(t)$, а также от числа n .

В данной статье, для определенности принято, что параметр $n = 1$. Исследование функции (3) для других значений параметра n могут быть темой других (будущих) работ. В дальнейшем будет исследована функция (3), представленная в более упрощенном виде:

$$Z_k(x, t) = \alpha(t) \cdot e^{-\varphi(t)x^2} [1 - 2\varphi(t) \cdot x^2] \quad (4)$$

Пусть теперь рассматриваются свойства функции (4).

Свойство 1. В точке $x = 0$ достигается максимальное значение функции $Z_k(x, t)$, и она имеет следующее значение:

$$Z_k(x, t) = \alpha(t).$$

На самом деле, из равенства нулю первой производной этой функции по переменной x

$$\frac{\partial Z_k}{\partial x} = 2\alpha(t) \cdot \varphi(t) \cdot e^{-\varphi(t)x^2} \cdot [2\varphi(t)x^3 - 3x] = 0$$

следует, что $x_0 = 0$ является точкой экстремума, и отрицательное значение второй производной данной функции в этой точке доказывает этого утверждения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 Z_k}{\partial x^2} &= 2\alpha(t) \cdot \varphi(t) \cdot e^{-\varphi(t)x^2} \cdot [-4 \cdot \varphi^2(t) \cdot x^4 + 12\varphi(t)x^2 - 3]; \\ \frac{\partial^2 Z_k(0)}{\partial x^2} &= -6\alpha(t) \cdot \varphi(t) < 0, \quad \text{при} \quad \alpha(t) > 0, \varphi(t) > 0. \end{aligned}$$

Свойство 2. Из этого же равенства следует, что в точках $x_1 = \sqrt{\frac{3}{2\varphi(t)}}$ и $x_2 = -\sqrt{\frac{3}{2\varphi(t)}}$ также достигаются экстремальные значения данной функции; здесь имеется ее одинаковое минимальное значение:

$$Z_k(x_1) = Z_k(x_2) = -2\frac{\alpha(t)}{\sqrt{e^3}} \approx -0,431 \cdot \alpha(t).$$

Свойство 3. Нули функции $Z_k(x, t)$ достигаются в двух точках:

$$x_3 = \frac{1}{\sqrt{2\varphi(t)}} \text{ и } x_4 = -\frac{1}{\sqrt{2\varphi(t)}}.$$

Свойство 4. Из равенства нулю второй производной функции по переменной x следует, что график функции имеет четыре точки перегиба:

$$\begin{aligned} x_5 &= \sqrt{\frac{3+\sqrt{6}}{2\varphi(t)}}, \quad x_6 = -\sqrt{\frac{3+\sqrt{6}}{2\varphi(t)}}, \\ x_7 &= \sqrt{\frac{3-\sqrt{6}}{2\varphi(t)}}, \quad x_8 = -\sqrt{\frac{3-\sqrt{6}}{2\varphi(t)}}. \end{aligned}$$

Итак, исследуемая функция $Z_k(x, t)$ характеризуется такими девятью точками; причем координаты этих точек зависят от функции $\varphi(t)$, следовательно, от значений параметра t .

Свойство 5. Функция $Z_k(x, t)$ удовлетворяет дифференциальному уравнению в частных производных второго порядка следующего вида:

$$\frac{\partial Z_k}{\partial t} = -c^2 \cdot \frac{\partial^2 Z_k}{\partial x^2} \quad (5)$$

где c^2 — некоторый заданный параметр для конкретного случая.

Следует заметить, что уравнение (5) отличается от обычного уравнения параболического типа отрицательным знаком в правой части. Доказательство этого утверждения не представляет особого труда. Для этого достаточно подставить в уравнение (5) формулы: для второй производной функции

$\frac{\partial^2 Z_k}{\partial x^2}$ по переменной x и для первой производной этой же функции по переменной t :

$$\frac{\partial Z_k}{\partial t} = e^{-\varphi(t)x^2} \left\{ \left[\frac{d\alpha}{dt} - \alpha(t) \frac{d\varphi}{dt} x^2 \right] \cdot [1 - 2\varphi(t)x^2] - 2\alpha(t) \frac{d\varphi}{dt} x^2 \right\} \quad (6)$$

В результате этих подстановок будет получено уравнение, из которого сравнением коэффициенты при различных степенях переменной x можно получить следующие три уравнения:

$$\begin{aligned} \frac{d\alpha}{dt} &= 6c^2 \cdot \alpha(t) \cdot \varphi(t); \\ 3\alpha(t) \frac{d\varphi}{dt} &= 24 \cdot c^2 \alpha(t) \varphi^2(t) - 2 \cdot \varphi(t) \frac{d\alpha}{dt} \\ \frac{d\varphi}{dt} &= 4c^2 \cdot \varphi^2(t). \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь предполагалось, что $\alpha(t) \neq 0$ и $\varphi(t) \neq 0$; в противном случае рассматриваемая функция $Z_k(x, t)$ была бы равной нулю, что не имеет никакого смысла. Подставляя первую и третью формулу первых производных функций $\frac{d\alpha}{dt}$ и $\frac{d\varphi}{dt}$ во второе уравнение системы (7), можно убедиться, что оно обращается в тождество. Следовательно, будет получена система двух дифференциальных уравнений первого порядка относительно неизвестных функций $\alpha(t)$ и $\varphi(t)$.

Решение полученных дифференциальных не представляет труда; после простых преобразований можно записать общее решение дифференциального уравнения (5) в следующем виде:

$$Z_k(x, t) = A \cdot [\varphi(t)]^{-\frac{3}{2}} \cdot e^{-\frac{x^2}{\varphi(t)}} \cdot \left[1 - \frac{2x^2}{\varphi(t)} \right] \quad (8)$$

где $\varphi(t) = B - 4 \cdot c^2 t$, A и B — неизвестные постоянные интегрирования; причем должно выполняться условие $B > 4 \cdot c^2 t$.

Нетрудно убедиться в том, что функция (8) удовлетворяет уравнению (5) и граничным условиям на удаленных от центра координат ($x = 0$) точках.

Итак, получен общий вид функции, которая может быть использована для аппроксимации имеющих в геологической литературе данных [10, 11] о внешней границе диапира (Рисунок 1).

Примечание. Формула (8) может быть написана для трехмерного случая, когда рассматривается система координат (x, y, z) .

В работе [21], в результате математического моделирования процессов, происходящих в периферийных слоях Земли, когда расплавленные магматические вещества (облегченные) поднимаются вверх, а вышележащие горные породы, имеющие сравнительно большую плотность, стремятся вниз, была рассмотрена задача о гидродинамической неустойчивости. Для моделирования такого процесса была поставлена и решена задача о ползущих движениях двух сильновязких слоев, когда плотность вышележащего больше чем плотность нижнего слоя. В результате получено квазилинейное дифференциальное уравнение следующего вида [21]:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = -a^2 \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\xi^3 \cdot \frac{\partial \xi}{\partial x} \right) \quad (9)$$

Здесь: $z = \xi(x, t)$ — функция, определяющая границу между вязкими слоями; коэффициент a^2

зависит от физических и геометрических характеристик рассматриваемых вязких слоев.

Уравнение (9) было получено в предположении, что наибольшие значения функции $\xi(x, t)$ сравнимы с вертикальными размерами слоев. Если рассматривать начальные этапы возникновения процесса диапира (купола), то для определения функции, описывающей внешнюю его границу можно использовать «линеаризованное» уравнение. Тогда линеаризованное уравнение будет иметь такой же вид, который был получен при аппроксимации геологических данных (5), а коэффициент c^2 будет определен также из физических и геометрических характеристик материалов купола и окружающих его горных пород.

Заключение. В результате анализа существующих данных в геологической литературе о происхождении диапиров (куполов), а также исследования, проведенные для изучения такого феномена, существующего во многих регионах планеты, позволили получить определенную информацию о причинах их возникновения. Решена задача об аппроксимации данных о внешней границе диапира, имеющихся в геологической литературе, и был получен общий вид аппроксимирующей функции. Имеется надежда, что она может быть использована для описания, хотя бы приближенно, начальные этапы возникновения процесса диапиризма. Для описания следующего этапа этого процесса может быть использовано квазилинейное уравнение (9). Очевидно, что предложенная здесь функция (8) для описания внешней границы купола, в определенной мере может показать тенденцию происходящего процесса.

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Получена функция, которая может быть использована для аппроксимации геологических данных о процессах, являющихся причиной возникновения диапиров (куполов), встречающихся во многих регионах. Следует отметить, что график полученной аппроксимирующей функции $Z_k(x, t)$ имеет полное сходство с формой внешней границы, имеющейся в геологической литературе, полученной в результате наблюдений, лабораторного эксперимента и моделирования на ЭВМ [10,11].

2. Полученная функция $Z_k(x, t)$, с другой стороны, оказалась решением уравнения, описывающего границу между двумя сильновязкими слоями, в задаче о начальной стадии возникновения процесса гидродинамической неустойчивости на границе, когда плотность нижнего слоя меньше чем плотность верхнего слоя. При любом начальном нарушении равновесного состояния границы между слоями приводит к возникновению движения материалов нижнего слоя вверх, а материалов верхнего слоя - вниз. В случае, когда динамические коэффициенты вязкости рассматриваемых слоев очень большие, то происходящий процесс будет медленным, безынерционным. Данная задача о гидродинамической неустойчивости может быть моделью процесса возникновения и развития диапиризма.

3. Для различных моментов времени значения функции $Z_k(x, t)$ могут быть представлены в виде следующих графиков, показывающих процесс диапиризма, т.е. подъем вверх материалов нижнего слоя и опускание материалов верхнего слоя. Графики одного из вариантов такой функции представлены на следующем рисунке:

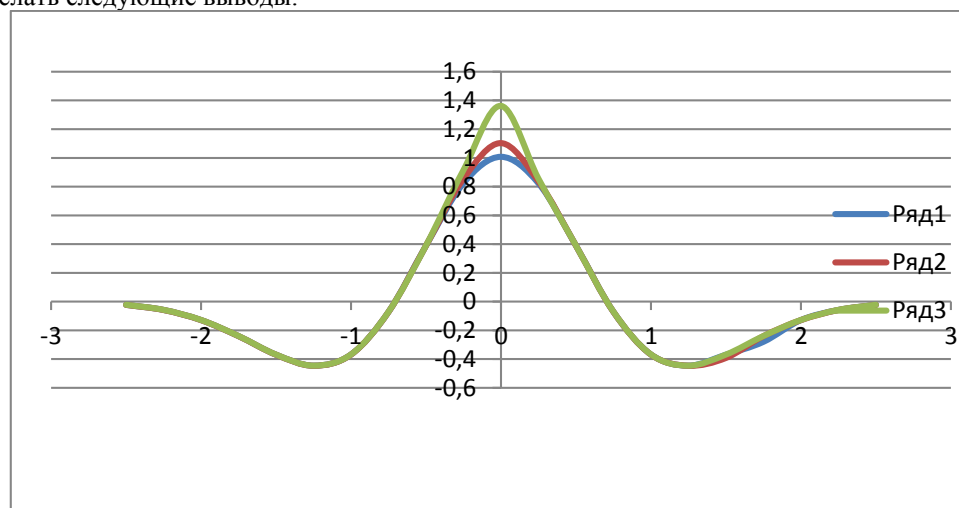


Рисунок 2 Графики функции $Z_k(x, t)$ для $c^2 = 0,0125$:

На этом рисунке 2 представлены графики функции $Z_k(x, t)$ для различных моментов времени: при $t = 0,1$ – ряд 1; при $t = 1,0$ – ряд 2; при $t = 2,0$ – ряд 3. Здесь приведены данные для одного случая, когда коэффициент $c^2 = 0,0125$. Эти графики демонстрируют в определенной мере эволюцию процесса диапиризма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дедеев В.А., Куликов П.К. Происхождение структур земной коры. - Л.: Наука, 1988. – 266с.
2. Полянский О.П., Коробейников С.Н., Бабичев А.В., Ревердатто В.В., Свердлов В.Г. Компьютерное моделирование диапиризма гранитной магмы в земной коре. // Доклады Академии Наук, 2009, том 429, № 1. – С. 101-105.

3. Свалова В.Б. Механико-математическое моделирование формирования и эволюции геологических структур в связи с глубинным мантийным диапиризмом // Мониторинг. Наука и технологии. – М.: 2014, Выпуск № 3. –С. 38-52.
4. Павленкова Н.И. Структура земной коры и верхней мантии и механизм движения глубинного вещества. // Электронный научный журнал «Вестник ОГПТГН РАН», № 4(19), 2001. – 17 с.
5. Lopez David E. Mantle plumes // Tectonophysics. – 1991. – Vol. 187, N 4. – P. 373-384.
6. Nakado Masao, Takeda Yoshitaka. Roles of mantle diapir and ductile lower crust on island-arc tectonics // Tectonophysics – 1995. – Vol. 246. – P. 1-3.
7. Nalpas T., Brem J.P. Salt flowered diapirism related to extension at crystalscale // Tectonophysics. – 1993. – Vol. 228. – P.3-4.
8. Walcott R.J. Flexural rigidity, thickness, and viscosity of the lithosphere. // Journal of Geophysical Research, 1970, 75.-p. 3941-3954.
9. Ranalli G. Viscosity of the asthenosphere // Nature (Gr.Br.), 1993, Vol 361, 6409, P 231.
10. Рамберг Х. Моделирование деформации в земной коре с применением центрифуги. – М.: «Мир», 1970. – 453 с.
11. Харбух Дж., Бонэм-Картер Г. Моделирование на ЭВМ в геологии. – М.: Мир, 1974. – 319с.
12. Аргюшков Е.В. Геодинамика. – М.: «Наука», 1970. – 375 с.
13. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2003. – 420с.
14. Кирдяшкин А.А., Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Гладков И.Н., Сурков Н.В. Гидродинамические процессы при подъеме мантийного плюма и условия формирования канала излияния. // Геология и геофизика, 2005, т.46, №9, с. 891-907.
15. Гершуни Г.З. Гидродинамическая неустойчивость. Изотермическое течение. // Соросовский образовательный журнал, 1997, № 2. С. 99-106.
16. Criminale W.O. , Jackson T.L., Josin R.D. Theory and computation of hydrodynamic stability. – Cambridge: Cambridge University Press, 2003. – P.453. – ISBN 0 521 63200 5.
17. Drazin P.G. Introduction to Hydrodynamic Stability. – Cambridge: Cambridge University Press, 2002. P. 276. - ISBN 0 521 80427 2.
18. Бицадзе А.В. Уравнения математической физики. – М.: Альянс, 2016. -312 с.
19. Захаров Е.В. Уравнения математической физики. – М.: Academia, 2017. – 400 с.
20. Полянин А.Д., Зайцев В.Ф., Журов А.И. Методы решения нелинейных уравнений математической физики и механики. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 256 с.
21. Куралбаев З.К. Модельное исследование влияния локального поднятия мантийных веществ на тектоносферу. // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета, 2005. - № 1(19). – С. 37-49.

DETERMINATION OF NATURAL OSCILLATION FREQUENCIES OF A HOMOGENEOUS VISCOELASTIC PLATE BY THE METHOD OF G. I. PSHENICHNOV

Seitmuratov A.

Doctor of Philosophy, Professor of Korkyt Ata KSU

Mukeyeva G.

doctoral student of KSU named after Korkyt Ata

Nurgaliyeva A.

Master student of KSU named after Korkyt Ata

Abstract

When solving applied problems of oscillation of rectangular planar elements, a wide class of oscillation problems arises related to various boundary value problems: approximate equations of oscillation, various boundary conditions at the edges of a plane element, and initial conditions. In the theory of oscillations, an important point is the determination of the natural oscillations frequencies, the solution of problem-induced oscillations of a plane element, and the study of the propagation of harmonic waves. Depending on the particular types of planar element under consideration, in the general solutions of the three-dimensional problem, the main unknown functions are selected: displacements or deformations at points of a fixed plane of the planar element, in particular, in the median plane of a plate of constant thickness. Displacements and stresses at an arbitrary point of a plane element are expressed in terms of the basic unknown functions, which are determined from the boundary conditions on the surfaces of the plane element. The obtained equations for the basic unknown functions are the general equations of oscillation of a plane element, containing derivatives of functions with respect to coordinates and time of any arbitrarily large order.

Keywords: Displacement, stress, oscillations, frequency oscillations,, viscoelastic plate.

General solutions are given as power series according to flat element thickness. The general solution relates to an equation of hyperbolic type, which describes the oscillatory and wave process in a flat element. When defining a finite number of first members

of sum in series of general equation, we obtain approximate equations of oscillation of one or another plane element.

Turn to the problem of natural vibrations of a rectangular plate of elastic material based on an approximate sixth-order equation. The problem is limited by a conditions when all four edges of the plate is rigidly fixed. If all four edges are arbitrarily fixed, then it is not possible to obtain exact frequency equations.

For such problems, one can successfully apply the approximate method of obtaining frequency equations

based on the decomposition method developed in the works of Professor G.I. Pshenichnyi [1.2] for static problems.

The problem includes solution of the approximate equation of a homogeneous isotropic viscoelastic plate [3-5]

$$P_0(W) + \frac{h^2}{120} \left[P^3(N^{-2} + 10N^{-1} + 5M^{-2}) \frac{\partial^6 W}{\partial t^6} - 4P^2(3N^{-1} + 9M^{-1} - 4MN^{-2}) \times \right. \\ \left. \times \Delta \frac{\partial^4 W}{\partial t^4} + 16P(4 + 3MN^{-1} - M^2 N^{-2}) \Delta^2 \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} - 32M(1 - MN^{-1}) \Delta^3 W \right] = \Phi(\varphi_z, f_{tz}) \quad (1)$$

(1) with the right-hand side equal to zero, with that, the viscoelastic operators are replaced by elastic constants. The problem solution is as follows:

$$W(x, y, t) = \exp\left(i \frac{b}{h} \xi t\right) W_0(x, y) \quad (2)$$

To define the constant W_0 see the equation:

$$\Delta^3 W_0 + D_0 \Delta^2 W_0 + D_1 \Delta W_0 + D_2 W_0 = 0 \quad (3)$$

Where factors D_0, D_1, D_2 equal to:

$$D_0 = \frac{24v^2 - 46v + 21}{4h^2(1-v)} \xi^2 - \frac{5}{h^2}; \\ D_1 = \frac{(14v^2 - 37v + 19)}{8h^4(1-v)} \xi^4 - \frac{5(2-v)}{h^4} \xi^2; \\ D_2 = \frac{(64v^2 - 104v + 41)}{64h^6(1-v)} \xi^6 - \frac{5(7-8v)}{8h^6} \xi^4 + \frac{15(1-v)}{2h^6} \xi^2; \quad (4)$$

ν - Poisson's constant is determined by formula [6]

$$\frac{\mu}{\lambda + 2\mu} = \frac{b^2}{a^2} = \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \quad (5)$$

Boundary data of the problem with rigid fixing are as follows:

$$\nu = \frac{\partial \nu}{\partial r} = \frac{\partial^2 \nu}{\partial r^2} = 0; (\eta = x, y; x = 0) \\ \left[\frac{\partial^6 \nu}{\partial a^6} + 3\lambda^2 \frac{\partial^6 \nu}{\partial a^4 \partial \beta^2} + 3\lambda^4 \frac{\partial^6 \nu}{\partial a^2 \partial \beta^4} + \lambda^6 \frac{\partial^6 \nu}{\partial \beta^6} \right] + Q_0 \lambda_1^2 \left[\frac{\partial^4 \nu}{\partial a^4} + 2\lambda^2 \frac{\partial^4 \nu}{\partial a^2 \partial \beta^2} + \lambda^4 \frac{\partial^4 \nu}{\partial \beta^4} \right] + \\ + Q_1 \lambda_1^4 \left[\frac{\partial^2 \nu}{\partial a^2} + \lambda^2 \frac{\partial^2 \nu}{\partial \beta^2} \right] + Q_2 \lambda_1^6 \nu = 0 \quad (6)$$

Where factors Q_0, Q_1, Q_2 are equal to

$$Q_0 = D_0 h^2; \\ Q_1 = D_1 h^4; \\ Q_2 = D_2 h^6. \quad (7)$$

Following the decomposition method, let's formulate auxiliary problems: [7]

to determine V_1 , that satisfies the equation and boundary conditions

$$\frac{\partial^6 v_1}{\partial a^6} = f^{(1)}(a, \beta); v_1 = \frac{\partial v_1}{\partial a} = \frac{\partial^2 v_1}{\partial a^2} = 0$$

$$(a = 0; \pi); \quad (8)$$

define V_2 , that satisfies the conditions

$$\lambda^6 \frac{\partial^6 v_2}{\partial \beta^6} + f^{(2)}(a, \beta); v_2 = \frac{\partial v_2}{\partial \beta} = \frac{\partial^2 v_2}{\partial \beta^2} = 0$$

$$(\beta = 0; \pi) \quad (9)$$

In the rest of equation (6) let's use unknown data V_3 , that satisfies the conditions

$$3\lambda^2 \left[\frac{\partial^6 v_3}{\partial a^4 \partial \beta^2} + \lambda^2 \frac{\partial^6 v_3}{\partial a^2 \partial \beta^4} \right] + Q_0 \lambda_1^2 \left[\frac{\partial^4 v_3}{\partial a^4} + 2\lambda^2 \frac{\partial^4 v_3}{\partial a^2 \partial \beta^2} + \lambda^2 \frac{\partial^4 v_3}{\partial \beta^4} \right] +$$

$$+ Q_1 \lambda_1^4 \left[\frac{\partial^2 v_3}{\partial a^2} + \lambda^2 \frac{\partial^2 v_3}{\partial \beta^2} \right] + Q_2 \lambda_1^6 v_3 + f^{(1)}(a, \beta) + f^{(2)}(a, \beta) = 0;$$

$$f^{(j)}(a, \beta) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} a_{n,m}^{(j)} \sin(na) \sin(m\beta).$$

General solutions of the auxiliary problems (8) and (9) are as follows

$$v_1 = f_1(a, \beta) + \frac{a^5}{5!} \varphi_1(\beta) + \frac{a^3}{3!} \varphi(\beta) + \frac{a^2}{2!} \varphi_4(\beta) + a \varphi_5(\beta) + \varphi_6(\beta); \quad (11)$$

$$\lambda^6 v_2 = f_2(a, \beta) + \frac{\beta^5}{5!} \psi_1(\beta) + \frac{\beta^4}{4!} \psi_2(\beta) + \frac{\beta^3}{3!} \psi_3(\beta) + \frac{\beta^2}{2!} \psi_4(\beta) + \beta \psi_5(\beta) + \psi_6(\beta);$$

Where functions $f_j(a, \beta)$ are [8]

$$f_1(a, \beta) = - \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(1)}}{n^6} \sin(na) \sin(m\beta);$$

$$f_2(a, \beta) = - \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(2)}}{m^6} \sin(na) \sin(m\beta); \quad (12)$$

Based of boundary conditions [9] to define $\psi_j(\beta)$, $\psi_j(a)$ and expressions (12), we find the following

$$\varphi_1 = \frac{360}{\pi^4} \left[\frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=0} + \frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=\pi} \right];$$

$$\varphi_2 = \frac{24}{\pi^3} \left[8 \frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=0} + 7 \frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=\pi} \right]; \quad (13)$$

$$\varphi_3 = \frac{12}{\pi^2} \left[\frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=0} + 2 \frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=\pi} \right];$$

$$\varphi_4 = 0; \varphi_5 = \frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=0}; \varphi_6 = 0$$

And

$$\psi_1 = \frac{360}{\pi^4} \left[\frac{\partial f_1}{\partial \beta} \Big|_{\beta=0} + \frac{\partial f_1}{\partial \beta} \Big|_{\beta=\pi} \right];$$

$$\psi_2 = - \frac{24}{\pi^3} \left[8 \frac{\partial f_1}{\partial \beta} \Big|_{\beta=0} + 7 \frac{\partial f_1}{\partial \beta} \Big|_{\beta=\pi} \right];$$

$$\psi_3 = \frac{12}{\pi^2} \left[3 \frac{\partial f_1}{\partial \beta} \Big|_{\beta=0} + 2 \frac{\partial f_1}{\partial \beta} \Big|_{\beta=\pi} \right];$$

$$\psi_4 = 0; \psi_5 = - \frac{\partial f_1}{\partial \beta} \Big|_{\beta=0}; \psi_6 = 0 \quad (14)$$

With that

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \beta_1}{\partial a} \Big|_{a=0} &= - \sum_{b=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(1)}}{n^5} \sin(\beta m); \\
 \frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=\pi} &= - \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} (-1)^n \frac{a_{n,m}^{(1)}}{n^5} \sin(\beta m); \\
 \frac{\partial f_1}{\partial \beta} \Big|_{\beta=0} &= - \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(2)}}{m^5} \sin(an); \\
 \frac{\partial f_1}{\partial a} \Big|_{a=0} &= - \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} (-1)^m \frac{a_{n,m}^{(2)}}{m^5} \sin(an);
 \end{aligned} \tag{15}$$

If in series (12) we are limited only by first sum members, [10] then under condition $V_1 = V_2$ at $(a, \beta) = -\frac{\pi}{2}$ receive $a_{1,1}^{(1)} = \lambda^{-6} a_{1,1}^{(2)}$.

Using condition (9) and equation (10) regarding v_3 and set

$$v_3 = \frac{1}{2} [v_1 + v_2]$$

We receive characteristic equation $\left(a, \beta = \frac{\pi}{2}\right)$

$$\begin{aligned}
 &2\lambda_1^6 \left(1 - \frac{5\pi}{16}\right) Q_2 - \lambda_1^4 \left(1 + \lambda^2\right) \left(2 - \frac{3}{\pi} - \frac{5\pi}{16}\right) Q_1 + \lambda_1^2 \left[\left(1 + \lambda^4\right) \left(2 - \frac{24}{\pi^3} - \frac{5\pi}{16}\right) + 4\lambda^2 \left(1 - \frac{3}{\pi}\right) \right] Q_0 - \\
 &- \left[2(1 + \lambda^6) + 3\lambda^2 \left(1 + \lambda^2\right) \left(2 - \frac{3}{\pi} - \frac{24}{\pi^3}\right) \right] = 0
 \end{aligned} \tag{16}$$

Related to frequency ξ of the 6th series, that approximately describes the first three frequencies of natural vibrations. [11]

Thus, the approximate decomposition method allows one to find the natural frequencies of flat elements. The problems for the viscoelastic material of flat element are solved in a similar way.

REFERENCES:

1. Pshenichnov G.I. The decomposition method of the solution. – M. DAN USSR, 1985, V.182, № 4, p.792-794.
2. Fillippov I.G. Cheban V.G. The mathematical theory of oscillations of elastic and viscoelastic plates and rods. -Kishinev: Shtiintsa, 1988,-p.190
3. Pshenichnov G.I. Solutions for some problems of structural mechanics using the decomposition

method. / - Structural mechanics and estimation for buildings, 1986, № 4, p.12-17.

4. Fillippov I.G. Egorychev O.A. Wave processes in linear viscoelastic medium. – M: Mechanical engineering, 1983. – p. 272

5. Fillippov I.G. An approximate method for solution of dynamic problems for viscoelastic medium. – PMM, V.43, № 1, 1979, p.133-137.

6. Fillippov I.G. Regarding nonlinear theory of viscoelastic isotropic medium. Kiev: Applied Mechanics, 1983, V.19, № 3, p.3-8.

7. Seitmuratov A., ZharmenovaB., DautbayevaA., Bekmuratova A. K., TulegenovaE., Ussenova G. Numerical analysis of the solution of some oscillation problems by the decomposition method //News of NAS RK. Series of physico-mathematical.2019(323): 28 – 37. ISSN 2518-1726 <https://doi.org/10.32014/2019.2518-1726.4>

PHYSICAL SCIENCES

DETERMINATION OF TEMPERATURE DEPENDENCE OF REFRACTION INDICATOR OF EPOXYPOLIMERS

Yurov V.

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Karaganda State University named after E.A. Buketova, Karaganda, Kazakhstan*

Makhanov K.

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Karaganda State University named after E.A. Buketova, Karaganda, Kazakhstan*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЭПОКСИПОЛИМЕРОВ

Юров В.М.

*кандидат физико-математических наук, доцент,
Казахстанский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан*

Маханов К.М.

*кандидат физико-математических наук, доцент,
Казахстанский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан*

Abstract

The value of the temperature coefficients of refraction of the epoxides of amine and anhydride cures is investigated. As a result, we come to the following conclusions:

- epoxy polymers of anhydride curing have the highest temperature stability of optical properties. Polymethylmethacrylate, respectively, is the smallest;
- the introduction of organic dyes into the polymer matrix leads to a change in the refractive index, which is explained by a violation of optical uniformity and a difference in the polarizability of the dye and polymer molecules. In this case, the temperature coefficients of the refractive index are practically unchanged, which allows us to judge that the structural organization of the polymer has not undergone significant changes, i.e. dye molecules are embedded in the polymer network in amorphous regions or in the interstices of the polymer.

Аннотация

В работе исследована величина температурных коэффициентов преломления эпоксидов аминного и ангидридного отверждений. В результате приходим к следующим выводам:

- эпоксиполимеры ангидридного отверждения обладают наибольшей температурной устойчивостью оптических свойств. Полиметилметакрилат, соответственно, - наименьшей;
- введение в полимерную матрицу органических красителей приводит к изменению показателя преломления, что объясняется нарушением оптической однородности и различием в поляризуемости молекул красителя и полимера. Температурные коэффициенты показателя преломления при этом практически не изменяются, что позволяет судить о том, что структурная организация полимера не претерпела существенных изменений, т.е. молекулы красителя встраиваются в полимерную сетку в аморфных областях, либо в междоузлиях полимера.

Keywords: polymer, polymethyl methacrylate, refractive index, dye molecule

Ключевые слова: полимер, полиметилметакрилат, показатель преломления, молекула красителя.

Введение. Наиболее распространенным способом исследования температурной зависимости показателя преломления является иммерсионный метод, заключающийся в том, что исследуемое вещество в мелкоизмельченном виде погружают в жидкость с известным показателем преломления и наблюдают полученные таким образом препараты под микроскопом, подбирая жидкость наиболее близкую по показателю преломления к исследуемому материалу [1-3]. Для этого необходимо знать температурную зависимость показателя преломления используемых иммерсионных жидкостей.

Недостатком этого метода является сложность в подборе иммерсионных жидкостей, свойства которых должны отвечать ряду требований: жидкость

должна быть химически инертна по отношению к исследуемому веществу; достаточно стойкой, т.е. не разлагаться под действием света, воздуха, загрязнений, а, следовательно, в течение длительного времени сохранять свой состав и оптические свойства; иммерсионная жидкость не должна быть летучей, т.к. летучая жидкость часто испаряется из препарата прежде чем измерение закончится. Особенно трудно удовлетворить перечисленным требованиям при повышенных температурах. Кроме того, использование иммерсионных жидкостей ограничено точками замерзания и кипения.

Надо заметить, что иммерсионные жидкости почти всегда применяются при рефрактометриче-

ских исследованиях твердых тел [4] и, следовательно, всем этим методам присущи перечисленные выше недостатки.

Методика и результаты эксперимента.

Самым старым и, в то же время, наиболее точным методом измерения показателя преломления является метод призмы (иначе, гониометрический метод) [1], который заключается в определении угла наименьшего отклонения φ призмы, вырезанной из исследуемого материала, угла при вершине α и последующем расчете показателя преломления по формуле:

$$n = \frac{\sin \frac{\alpha + \varphi}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}.$$

При измерении показателя преломления методом призмы необходимо пользоваться монохроматическим светом, который получают от монохроматора или натриевой лампы.

Для измерения угла наименьшего отклонения призму устанавливают так, чтобы свет падал под углом, приблизительно равным 50° к боковой грани призмы. Поворачивая зрительную трубу, находят изображение щели коллиматора, отклоненное призмой. Закрепив трубу, слегка поворачивают столик гониометра с призмой, наблюдая, в какую сторону при этом смещается изображение щели.

Так как в расчёте показателя преломления используется угол наименьшего отклонения, то окно для наблюдения преломленного луча расположено под углом, близким к углу наименьшего отклонения, относительно оси, на которой расположены другие два окна (входное и для наблюдения непреломленного луча), рисунок 1.

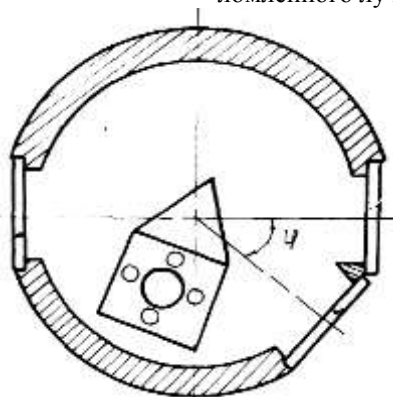


Рисунок 1. Термостабилизируемая измерительная ячейка

Конструкция держателя предусматривает крепление исследуемого образца, вырезанного в виде равносторонней трёхгранной призмы, таким образом, чтобы открытыми оставались только смежные полированные грани, и при этом устанавливается минимальный градиент температуры по

объёму образца. Система термостабилизации обеспечивает поддержание заданной температуры сколь угодно длительное время, что приводит к полному исчезновению температурного градиента (рисунок 2.)

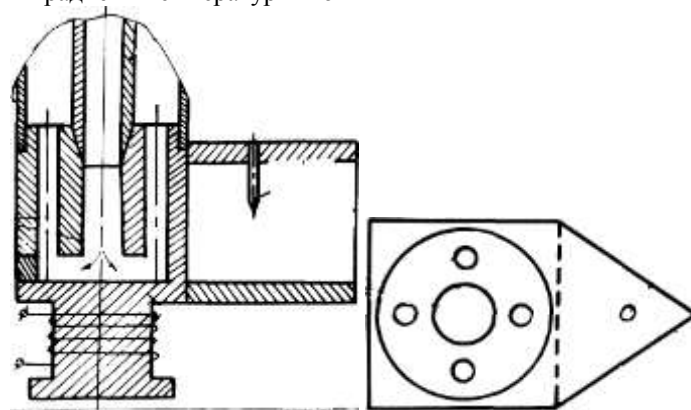


Рисунок 2. Держатель образца

В теле держателя имеются каналы для прокачки через него хладагента. На держателе размещается также и нагреватель. Теплоизоляция образца обеспечивается вакуумированием измерительной ячейки. Система термостабилизации предусматривает увеличение или снижение скорости прокачки хладагента через держатель образца и уменьшение или увеличение тока через нагреватель

в зависимости от того, в какую сторону (уменьшения или увеличения) необходимо изменение температуры. Система термостабилизации управляется сигналами с термопары, рабочий спай которой вводится непосредственно в тело измеряемой призмы (по центру, в точку пересечения медиан), для чего в держателе предусмотрено отверстие.

Форма образца в виде равнобедренной призмы гарантирует сохранение постоянного значения преломляющего угла при температурном расширении (сжатии), поэтому нет необходимости измерять угол при вершине призмы каждый раз при изменении температуры.

Размеры призмы: длина граней - 20 мм, ширина граней - 8 мм.

Принятые в настоящее время два температурных интервала исследования оптических характеристик стекол от минус 60 °С до 20 °С и от 20 °С до 120 °С [5, 6] были дополнены нами еще двумя: от температур жидкого азота минус 190 °С до минус 60 °С и от минус 120 °С до 240 °С. Затем вращают призму, чтобы изображение смещалось в сторону ребра призмы. Пройдя некоторое расстояние в поле зрения до положения наименьшего отклонения, изображение щели начинает двигаться в обратном направлении. Установив призму в положение наименьшего отклонения, поворачивают трубу и, совместив крест нитей с изображением щели, производят отсчет. Затем, поворачивая трубу при закреплённом отсчетном круге, совмещают крест нитей с изображением, даваемым неотклонёнными лучами, и вторично производят отсчет. Разность этих отсчетов равна искомому углу наименьшего отклонения φ для данной длины волны. Для уточнения измерения рекомендуется затем установить призму в положение, симметричное первому относительно коллиматора, и измерить таким же способом угол наименьшего отклонения в другом направлении. Из двух полученных таким образом значений угла наименьшего отклонения берут среднее значение.

Преломляющий угол призмы α измеряют методом отражения от двух смежных граней по известной методике.

Точность измерений методом призмы зависит от точности юстировки прибора, установки призмы, её размеров и качества рабочих граней отсчетов по кругу гониометра. Точность отсчета у современных гониометров составляет от 2" до 5". Ошибка, равная 5", при измерении углов α и φ даже в неблагоприятных случаях не ведет к ошибке в измеряемом показателе преломления более чем 0,0001.

Нами исследована температурная зависимость показателя преломления эпоксиполимеров и модифицированного ПММА неокрашенных и окрашенных родамином 6Ж. Измерялись следующие спектрально-оптические характеристики (таблица 1): показатель преломления при температуре 20 °С на длине волны 589 нм - n_D^{20} , среднее значения температурного коэффициента показателя преломления -

$$\beta_i = \frac{\Delta n}{\Delta T}.$$

Измерения проводились для четырех температурных интервалов:

от -190 °С до -60 °С; от -60 °С до 20 °С;

от 20 °С до 120 °С; от 120 °С и выше (до температуры плавления или деструкции исследуемого полимера).

Так как показатель преломления среды зависит от оптической плотности, рефрактометрические измерения обычно проводят вдали от полосы поглощения. Однако для активных лазерных сред на основе органических красителей характерно взаимодействие со светом именно в пределах полосы поглощения красителя и вблизи от нее. В этом плане исследование спектрально-оптических характеристик окрашенных полимеров, предлагаемых для использования в качестве лазерных сред, представляет практический интерес.

Таблица 1

Спектрально-оптические характеристики эпоксидных полимеров

Образец	n_D	$\beta \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$			
		(-190)–(-60)	(-60)–20	20–120	120–240
1919 - ЭП	1,5225	64	25	12	7
1927	1,5167	57	21	10	5
ПММА	1,4917	78	33	16	9

Были исследованы следующие полимеры: модифицированный ПММА окрашенный родамином 6Ж и родамином С, эпоксиполимеры окрашенные

родамином 6Ж (№ образцов 1924/1, 1929, 1931) и родамином С (1925), полученные значения приведены в таблице 2

Таблица 2

Спектрально-оптические характеристики окрашенных полимеров

Образец	n_D	$\beta \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$			
		(-190)–(-60)	(-60)–20	20–120	120–240
ПММА-П6Ж	1,4944	81	35	16	9
ПММА-РС	1,4941	81	35	16	9
1924/1-Р6Ж	1,5090	58	23	11	5
1931-Р6Ж	1,5079	58	21	10	5
1929-П6Ж	1,5071	60	23	10	4
1925-РС	1,5082	59	22	11	5

Значение температурного коэффициента показателя преломления позволяет судить об устойчивости оптических свойств среды при колебаниях температуры. Это особенно важно знать при использовании окрашенных полимеров в качестве лазерных сред, где локальный нагрев приводит к образованию тепловой линзы и рассеиванию энергии. Таким образом, наиболее предпочтительнее будет использование полимеров с большой температурной устойчивостью показателя преломления, то есть с наименьшим (по абсолютной величине) его температурным коэффициентом.

Обсуждение результатов эксперимента.

Анализируя величину температурных коэффициентов ПММА, эпоксидов аминного (образец 1919) и ангидридного (образцы 1924, 1931) отверждений, приходим к следующим выводам:

- эпоксиполимеры ангидридного отверждения обладают наибольшей температурной устойчивостью оптических свойств. Полиметилметакрилат, соответственно, - наименьшей. Здесь мы наблюдаем прямую корреляцию с механическими свойствами исследованных полимеров, такими как твердость, упругость. Объяснение этого следует из особенностей структуры данных полимеров. Пространственная сетка эпоксидных полимеров гораздо более густосшита, чем у полиметилметакрилата, и, следовательно, более устойчива к внешним воздействиям. И, наоборот, по вязкоупругим характеристикам ПММА превышает эпоксидные, так как его пространственная сетка легче поддается конформационным изменениям;

- введение в полимерную матрицу органических красителей приводит к изменению показателя преломления, что объясняется нарушением оптической однородности и различием в поляризуемости молекул красителя и полимера. Температурные коэффициенты показателя преломления при этом

практически не изменяются, что позволяет судить о том, что структурная организация полимера не претерпела существенных изменений, т.е. молекулы красителя встраиваются в полимерную сетку в аморфных областях, либо в междоузлиях полимера.

Заключение.

Таким образом, исследования температурной зависимости показателя преломления позволяют не только прогнозировать изменения оптических свойств твердых тел с изменением температуры, но и судить также об их структурной организации и ее превращениях.

Работа выполнена по программе Министерства образования и науки Республики Казахстан. Гранты №0118РК000063 и №Ф.0781.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ефимов А.М. Оптические свойства материалов и механизмы их формирования. - СПб.: Изд-во СПбГУИТМО, 2008. - 182 с.
2. Немилов С.В. Оптическое материаловедение: оптические стекла. - СПб.: Изд-во СПбГУИТМО, 2011. - 216 с.
3. Постников В.С. Оптическое материаловедение. - Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. - 280 с.
4. Сидоров А.И., Никоноров Н.В. Материалы и технологии интегральной оптики. - СПб.: Изд-во СПбГУИТМО, 2009. - 234 с.
5. ГОСТ 13659-78. Стекло оптическое бесцветное. Физико-химические характеристики. Основные параметры. М.: Стандарты, 1985. 45 с.
6. ГОСТ 3514-94. Стекло оптическое бесцветное. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск, 1994. - 36 с.

TECHNICAL SCIENCES

THE INFORMATIONAL MODEL OF BAYESIAN NETWORKS CLUSTERING METHODS IN GROUP DECISION MAKING SUPPORT SYSTEMS

Kuzmina N.

applicant at the Department of AIIT Vinnitsa National Technical University

Abstract

The main clustering methods for building and calculating Bayesian Networks are explored. The structural scheme of an informational model for group decision making support with Bayesian network is provided. The implementation for defining and calculating Bayesian network probability of test software code modules in a group decision making system for teaching and evaluating Computer science students' knowledge is provided.

Keywords: bayesian networks, group decision making support systems, clustering methods

Introduction

Bayesian networks are commonly used in modern group decision support systems, as they are represented as graphics to help reflect probabilistic relationships between the variables and make probabilistic conclusions based on the variables [1-4]. There are two main group of methods to calculate Bayesian networks: precise and approximate methods. The precise methods for Bayesian network calculation are mostly used for the subtasks solving, when an event occurrence probability preciseness is important. The approximate methods allow to calculate Bayesian networks within the margin of error, when used in complex and sophisticated tasks [2, 5].

The Clustering Algorithms

Bayesian network calculation requires computation of probabilities for the whole network and marginalization to define the probabilities of each node states [6]. The clustering methods transform Bayesian network with a lot of connections into a click tree by the triangulated moral graph clustering and the distribution of messages in click tree [5]. Shafer-Shenoy, Hugin and Lazy propagation are the main precise clustering methods for Bayesian network calculation [2, 7]. There is still no optimal algorithm for calculating probabilities in Bayesian networks which makes the research in this field very important.

Lazy propagation and Shafer-Shenoy algorithms

are similar, since during the implementation of both algorithms initialized clicks of potentials are not renewed even though the representation of the clicks differs. Lazy propagation's unique feature is that it presents potentials in decomposed view, and the elimination of the variable from the subset corresponds to the interactive mode of secondary computational structure binary form [7]. Given that the distribution of messages between clicks in both Lazy Propagation and Shafer-Shenoy algorithms are passed by so called "mail boxes", let's concentrate on Hugin and Shafer-Shenoy algorithms as main clustering algorithms for the Bayesian network calculation [7].

Hugin

The main feature of the Hugin algorithm is that it is using so called "connected tree" instead of the Bayesian network. The connected tree is a cluster (click) variable tree. Every click retains variable configuration table and Hugin algorithm consists of a series of the table operations. The main disadvantage of Hugin algorithm is that in the worst-case scenario it will require too much time for execution and will become ineffective, even though it provides precise probability adjustment. The detailed cluster tree algorithm can be found in [6]. Figure 1 gives an example of a cluster tree, where $\underline{N}_1$ and $\underline{N}_2$ are adjacent Bayesian network nodes and $\underline{S}_1$ is a separator between them.

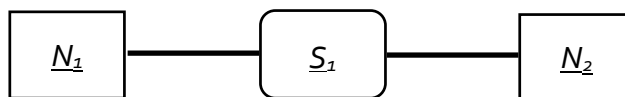


Figure 1 The cluster tree

The distribution of messages in Hugin algorithm consists of the two steps: the distribution of evidence and the collection of evidence [6]. During the distribution of evidence, node $\underline{N}_1$ collects evidence and passes it to all the adjacent nodes, each one of them in turn passes it to all adjacent nodes except of the one that passed them the message.

During the collection of evidence step node $\underline{N}_2$ requests all the adjacent nodes to pass it a message, and if they cannot do it, they request the same from all the

adjacent nodes except of the one that requested the message.

Shafer-Shenoy

Shafer-Shenoy algorithm consists of an introduction of evidence into the connected tree (Figure 2), the selection of a cluster as a root and the distribution of messages to the root and from the root. The clusters pass messages to each other only after they received messages from all the adjacent nodes.

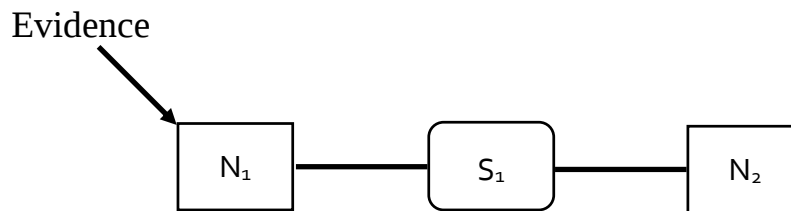


Figure 2 The cluster tree evidence introduction

Hugin algorithm is more effective when used in random connected trees since it avoids extra calculations of Shafer-Shenoy, but it also limits the amount of questions Hugin can answer [8]. Shafer-Shenoy architecture is computationally more effective, since as opposed to Hugin it does not use addition operations and the input potentials remain the same during the distribution process [9]. Another important difference between Shafer-Shenoy and Hugin algorithms is that in Shafer-Shenoy the flow of the messages is not controlled by the identification of the connected tree root. The click passes the messages to one of the adjacent nodes asynchronously after it received messages from all the rest of the adjacent nodes [7].

The experimental research of clustering methods showed that all of them are effective for defining network topology and size [10]. All the clustering methods for Bayesian networks calculation are using cluster tree advantages, however, there is still no optimal clustering method for the general case of Bayesian network.

Every method allows the calculation of only limited structure range of Bayesian network and it significantly limits the possibilities of utilization of such methods in practice and requires further research and modification of clustering methods.

The informational model of group decision making system with Bayesian network

The main feature of an informational model is a possibility of user's knowledge interaction by the introduction of new evidences while using Bayesian network for decision making and network knowledge [11, 12]. The goal for the Bayesian network utilization in a group decision making support system is to avoid deficiencies of the majority concepts, by means of elimination of conflict situations when repeated decision-making process is needed, in case the majority is not formed. It also allows to take into consideration the decision of each user from the group without creation of a conflict situation while also teaching users.

Let's define the main components of an informational model of group decision support system and the relationships between them (Table 1).

Table 1

The main components of an informational model of group decision support system

Informational model components	Description
$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$	an array of users' computer network
$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$	an array of active connections
$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$	an array of users
$M = \{m_1, m_2\}$	an array of users' group decision making modes, where m_1 is a majority mode and m_2 is a Bayesian network mode
$D_a = \{d_{a1}, d_{a2}, \dots, d_{an}\}$	an array of all available decision options
$L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$	an array of cause and effect relationship between decision options
$T_u = \{t_{u1}, t_{u2}, \dots, t_{un}\}$	an array of time for users' decision making
$T_d = \{t_{d1}, t_{d2}, \dots, t_{dn}\}$	an array of users' actions system delay time
$T_s = \{t_{s1}, t_{s2}, \dots, t_{sn}\}$	an array of time for implementation of users' group decision selection
$T_g = \{T_u, T_d, T_s\}$	an array of collective time of system work for complex decision making
$D_g = \{d_{g1}, d_{g2}, \dots, d_{gn}\}$	an array of all decisions made by the users

Let's define C , A and U as input parameters and D_g as an output parameter and describe the structural scheme of informational model for group decision support system with Bayesian networks in Figure 3.

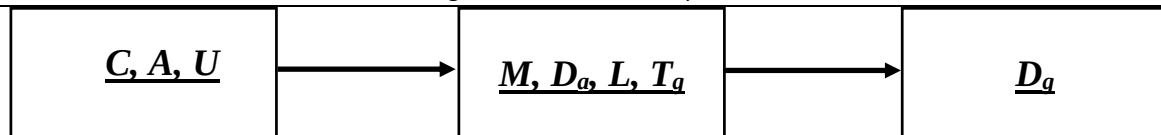


Figure 3 The structural scheme of an informational model for group decision support system with Bayesian networks

The defined input and output parameters of the model, their components and the relationships between them can be implemented in a group decision support system.

The implementation for defining and calculating Bayesian network probability of test software code modules

As an example of the informational model of group decision support system implementation author suggests Bayesian network utilization for defining test software code modules occurrence probability while teaching and evaluating Computer Science students [4, 13].

During the proposed software implementation execution an array of files with software codes undergoes syntax analysis to define the a-priori probabilities of software code modules occurrence. Bayesian network is then built, based on the results of the syntax analysis. The nodes of the Bayesian networks are represented by software code logical modules and links between the nodes are represented by the a-priori probabilities of software code modules occurrence. Based on the Bayesian network the most probable sequence of options is displayed for the users to make a choice. Users' decisions are then recorded and introduced back to the

Bayesian network as evidences. Based on the recorded evidences probabilities of options are recalculated. Group decision support system is then making a decision about the next sequence of the most probable options based on the users' preferences and the a-priori probabilities of options [14].

The suggested implementation allows significantly reduce time for users' decision making as it does not require the provision of the majority threshold while taking into consideration individual preferences of each user and teaching users software development techniques by displaying the most probable elements of the software code on each step of the decision-making process.

After all the available options are used, the analysis of users' decisions made on each step is performed. After the analysis is performed, the system displays the amount of correct and incorrect decisions made during the session. The results can be used to evaluate each individual user's performance and group performance [14, 15].

Bayesian network example for defining test software code modules occurrence probability is shown in Figure 4.

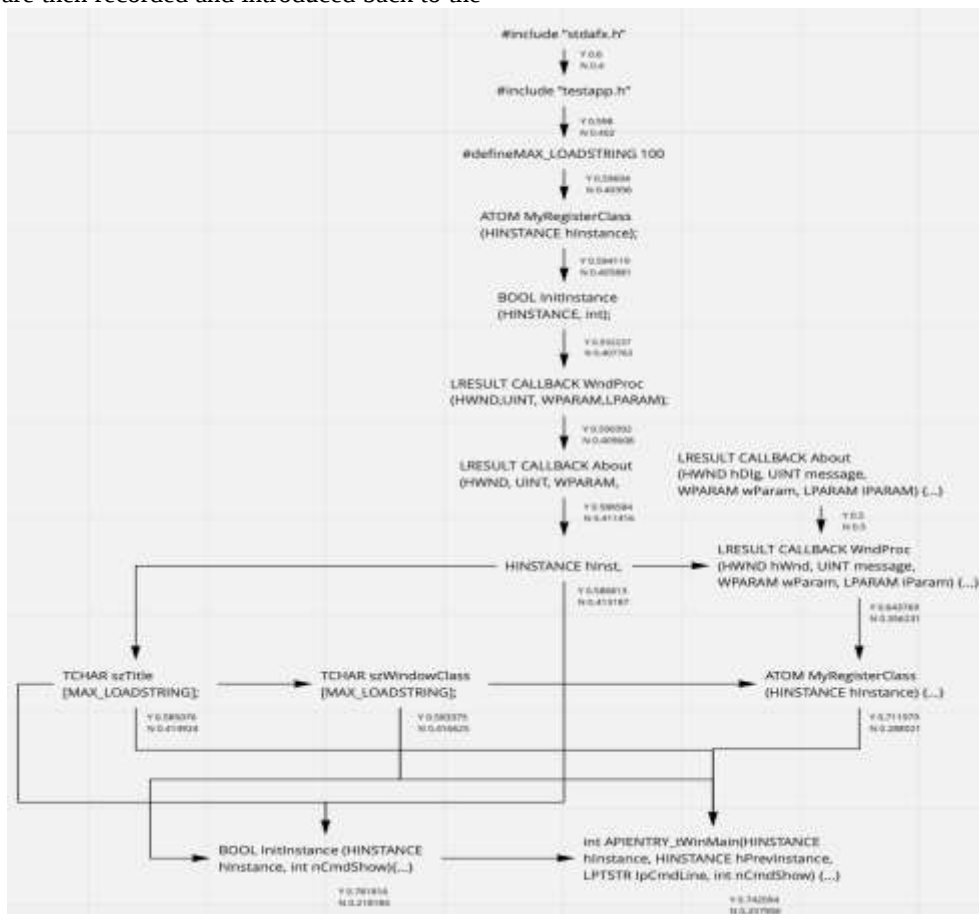


Figure 4 Bayesian Network for test software code modules sequence probability

Figure 4 gives an overview of test software code divided into structural logic modules (functions) and a-priori probabilities of their occurrence defined by the syntax analysis of software code.

Conclusions

The main clustering methods for building and calculating Bayesian Networks were explored. The structural scheme of informational model for group decision making and the implementation for defining Bayesian network probability of test software code modules in teaching-testing systems for improved effectiveness were provided.

REFERENCES:

1. Тулупьев А. Л. Байесовские сети: Логико-вероятностный подход / А. Л. Тулупьев, С. И. Ниженко, А. В. Сироткин – СПб. Наука, 2006. – 607с.
2. Кузьміна Н. Ф. Огляд методів обчислення Байесових мереж / Н. Ф. Кузьміна, А. М. Петух // Вісник Сумського державного університету. Сер.: Технічні науки. - 2012. - №1. С. 112-117.
3. Петух А. М. Методи прийняття рішень і прогнозування подій в інтерактивних системах / А. М. Петух, Н. Ф. Кузьміна, Є. В. Кузьмін, В. В. Войтко // Збірник матеріалів третьої науково-практичної конференції «Матеріали електронної техніки та сучасні інформаційні технології (МЕТІТ-3)» / Кременчук. – 2008. – С. 228.
4. «Комп'ютерна програма підтримки прийняття групових рішень на основі Байєсової мережі» / Є. В. Кузьмін, Н. Ф. Кузьміна. – Свідectvo про реєстрацію авторського права на твір №25844 від 25.09.2008 р.
5. Haipeng Guo. A survey of algorithms for real-time Bayesian network inference / Haipeng Guo, William Hsu // In the joint AAAI-02/KDD-02/UAI-02 workshop / Canada. – 2002. – С. 1–12.
6. Finn V. Jensen. An introduction to Bayesian networks / Finn V. Jensen. – Aalborg. University Denmark. Springer, 1996. – 179 p.
7. Anders L. Madsen. Lazy propagation in junction trees / Anders L. Madsen, Finn V. Jensen // In proc. 14th conference on uncertainty in artificial intelligence / USA. – 1998. – С. 362–369.
8. James D. Park. Morphing the Hugin and Shenoy-Shafer architectures / James D. Park, Adnan Darwiche // In Proc. ECSQARU // Springer. – 2003. P. 149–160.
9. Vasilica Lepar. A Comparison of Lauritzen-Spiegelhalter, Hugin, and Shenoy-Shafer Architectures for Computing Marginals of Probability Distributions / Vasilica Lepar and Prakash P. Shenoy // In Proceedings of the 14th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI-98) // Morgan Kaufmann. – 1998. P. 328–337.
10. Anders L. Madsen. Lazy propagation in junction trees / Anders L. Madsen, Finn V. Jensen // In Proc. 14th Conf. on Uncertainty in Artificial Intelligence // Morgan Kaufmann Publishers. – 1998. P. 362–369.
11. Петух А. М. Принципи реалізації групового вибору в інтерактивних системах колективної взаємодії / А. М. Петух, В. В. Войтко, Є. В. Кузьмін, Н. Ф. Кузьміна // Нові технології. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління. – 2008. – №1 (19). – С. 160–166.
12. Петух А. М. Моделі режимів групового вибору користувачів в інтерактивній системі колективної взаємодії / А. М. Петух, В. В. Войтко, Є. В. Кузьмін, Н. Ф. Кополовець, С. В. Бевз // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – Вінниця: УНІВЕРСУМ. – 2007. – №1(13). – С. 80–86.
13. Петух А. М. Автоматизована система підтримки групових рішень / А. М. Петух, В. В. Войтко, Є. В. Кузьмін, Н. Ф. Кузьміна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – №1. С. 76-79.
14. Петух А. М. Інтерфейсні елементи системи колективного тестуючого навчання / А. М. Петух, В. В. Войтко, Д. І. Катєльніков, Н. Ф. Кополовець // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2007. – №1. – С. 98–106.
15. Петух А. М. Методи групового вибору в інтерактивних системах колективної взаємодії / А. М. Петух, В. В. Войтко, Є. В. Кузьмін, Н. Ф. Кополовець, С. М. Бурбело // Збірник матеріалів міжвузівської науково-практичної конференції «Прогресивні інформаційні технології в науці та освіті» / Вінниця. – 2007. – С. 188–195.

FEATURES OF APPLICATION OF ENERGY-SAVING LAMPS

Bogdan A.*Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Kuban State Agrarian University, Russia, Krasnodar***Sidorenko A.***Bachelor Kuban State Agrarian University, Russia, Krasnodar***Goncharov A.***Bachelor Kuban State Agrarian University, Russia, Krasnodar*

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ЛАМП

Богдан А.В.*Доктор технических наук, доцент
Кубанского государственного аграрного университета,
Россия, г. Краснодар***Сидоренко А.Д.***Бакалавр Кубанского государственного аграрного университета,
Россия, г. Краснодар***Гончаров А.А.***Бакалавр Кубанского государственного аграрного университета,
Россия, г. Краснодар***Abstract**

The task of the work is to find out which light source will rationally reduce energy consumption without reducing its quality and without harming human health. To solve this problem, laboratory tests of an incandescent lamp, a compact fluorescent lamp and an LED lamp were carried out. The energy and lighting characteristics are obtained. The analysis of the harmonic current composition of the LED lamp is carried out.

Аннотация

Задача работы выяснить, какой источник света позволит рациональным образом уменьшить потребление электроэнергии, не снизив ее качество и не принеся вреда здоровью человека. Для решения этой задачи были проведены лабораторные испытания лампы накаливания, компактной люминесцентной лампы и светодиодной лампы. Получены энергетические и светотехнические характеристики. Проведен анализ гармонического состава тока светодиодной лампы.

Keywords: lamp, characteristic, power, voltage, current, harmonics**Ключевые слова:** лампа, характеристика, мощность, напряжение, ток, гармоники

Источник света позволит рациональным образом уменьшить потребление электроэнергии, не снизив ее качество [1]. Самую низкую освещенность при номинальном напряжении сети обеспечивает лампа накаливания. Это объясняется ее низким световым КПД, который находится на уровне всего около 5%. Если напряжение увеличить на 10% освещенность резко возрастает, однако также резко снижается и срок службы лампы. Освещенность, обеспечиваемая светодиодной лампой немного выше, чем при использовании лампы накаливания при напряжении 220 В. На современных производствах повсеместно используются промышленные светодиодные светильники. Связано это с рядом причин:

- мгновенное включение без вреда для светодиодов, что позволяет использовать их для целей эвакуационного освещения зон повышенной опасности, а также для резервного освещения;

- низкое энергопотребление, способствующее быстрой окупаемости и возможности использования их с аккумуляторными батареями;

- возможность работы в широком диапазоне температур;

- отсутствие вреда для окружающей среды при утилизации.

Интерес представляет сравнение характеристик различных видов ламп, так как их паспортные значения могут значительно отличаться от экспериментальных. Для снижения погрешности измерений на результаты исследований, опыты проводились для наборов одинаковых ламп, для которых мощности наборов отличались друг от друга не более чем в 3 раза. В качестве наборов были приняты - одна лампа накаливания (ЛН) мощностью 60 Вт, три компактных люминесцентных лампы (КЛЛ) мощностью 23 Вт каждая и три светодиодных лампы (СД) мощностью по 9 Вт.

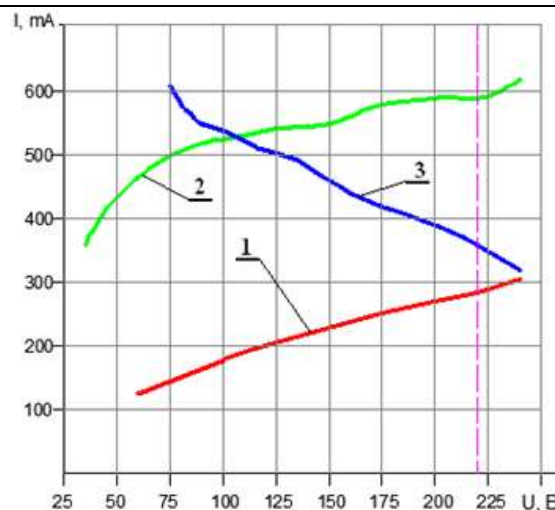


Рисунок 1 Вольтамперные характеристики ламп ЛН (1), КЛЛ (2), СДЛ (3)

Приведенные на рисунке 1 вольт-амперные характеристики показывают, что ЛН, как чисто активная нагрузка, имеет почти линейную, возрастающую ВАХ. Для КЛЛ характеристика также растет при росте подаваемого напряжения на всем участке

изменения напряжения. Но этот рост не равномерный, что объясняется присутствием электронного блока с нелинейными элементами. В отличие от КЛЛ исследуемая СДЛ имеет падающую характеристику, что можно объяснить присутствием в электронном блоке стабилизатора тока.

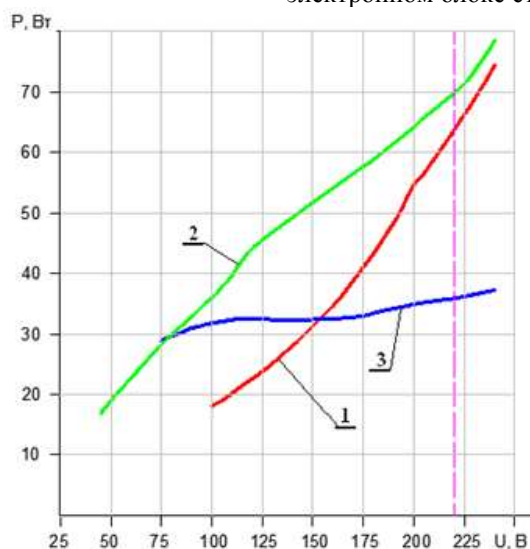


Рисунок 2 Зависимости мощности ламп от напряжения: ЛН (1), КЛЛ (2), СДЛ (3)

Характеристика, изображенная на рисунке 2, говорит о том, что благодаря стабилизатору тока, примененному в СДЛ, ее мощность мало зависит от приложенного напряжения, что говорит её высокой

устойчивости к уменьшению напряжения сети. У других ламп наблюдается большая зависимость их мощности от напряжения.

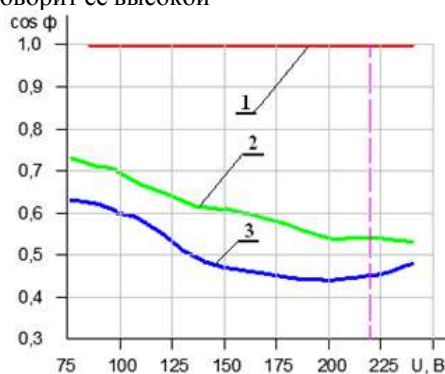


Рисунок 3 Зависимость коэффициента мощности от приложенного напряжения: ЛН (1), КЛЛ (2), СДЛ (3).

Коэффициенты мощности СДЛ и КЛЛ низки и при номинальном уровне сетевого напряжения составляют всего 0,45 и 0,54 соответственно. Величина Коэффициента мощности этих ламп обусловлена наличием гармоник в их токе.

Известно, что КЛЛ и СДЛ генерируют в сеть высшие гармоники тока, снижая качество электроэнергии. Причиной этого является двухполупери-

одный выпрямитель (диодный мост) со сглаживающей емкостью на входе в схему питания лампы. Импульс тока лампы возникает в те моменты времени, когда мгновенное значение входного напряжения становится больше остаточного напряжения в емкости. Во время, когда напряжение на емкости больше входного, диоды моста заперты обратным напряжением емкости и потребление тока отсутствует.

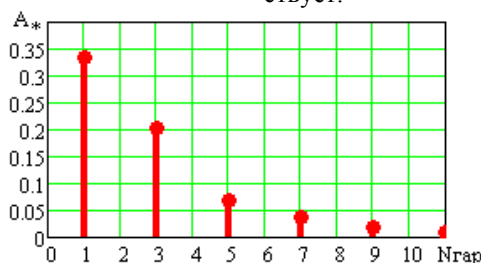


Рисунок 4 Относительные значения гармоник тока СДЛ

Нечетные высшие гармоники тока, третья и ей кратные, (т.е. 3, 9, 15, 21 и т. д.), определяющие высокое значение коэффициента амплитуды и генерируемые нелинейными нагрузками осветительных ламп, имеют специфическое воздействие в трехфазных системах. В сбалансированной (симметричной) трехфазной системе не возникает тока и падения напряжения на проводнике нейтрали.

Это не относится к гармоникам, кратным третьей:

$$N_{\text{гар}} = 3(2k + 1), \quad (1)$$

где $k = 0, 1, 2, \dots$

Гармоники, третья и ей кратные, суммируются в нулевом проводнике. Так как, они могут составлять значительную долю в действующем значении токов фаз, то ток в нулевом проводе I_N может превысить токи фаз.

$$I_N = 3\sqrt{I_3^2 + I_9^2 + I_{15}^2 + \dots} \quad (2)$$

Так, например, при токах фаз равных 10 А, ток нулевого провода составляет 16,3 А. Неправильно выбранные четырехпроводные кабели трехфазных сетей могут перегружаться. Это приводит к необходимости увеличения сечения проводников нулевого провода кабелей сети [2]. Гармоники, третья и ей кратные, приводят к падениям напряжения как в нулевом проводе, так и в фазных проводниках, создавая искажения формы синусоидального напряжения на нагрузках, которые подключены к этой сети.

Кроме этого, в линейных напряжениях трехфазной сети будут отсутствовать третья и ей кратные гармоники, в связи с чем отношение между фазным и линейным напряжением при токах отличных от синусоиды становится меньше, чем $\sqrt{3}$.

В цепях освещения с КЛЛ и СДЛ токи в нулевой проводе в течение продолжительного времени могут быть больше токов в фазных проводниках. При этом в соответствии с требованиями нормативных документов для обеспечения безопасности людей запрещается устанавливать автоматический выключатель в нулевом проводнике. С учетом того,

что состав электроприемников потребителя изменяется без реконструкции электрической сети, можно ожидать перегорания нулевых проводников из-за протекания токов, кратных третьей гармонике. Обрыв нулевого провода, как известно, может приводить к смещению нейтрали, когда напряжение несимметрично, что обуславливает выход из строя электроприемников.

К последствиям гармоник тока для электроустановок 0,4 кВ можно отнести:

- перегрев нулевых рабочих проводников кабелей;
- ложное срабатывание защитных аппаратов;
- дополнительные потери в силовых трансформаторах;
- преждевременный износ конденсаторов установок компенсации реактивной мощности;
- быстрое изменение и старение изоляции кабелей и проводников.

Это факты, показывающие, какие проблемы могут возникнуть, если гармоники не устранять, либо в устройстве, их генерирующем, или в сети питания освещения. Наличие в современных светодиодных светильниках фильтра высших гармоник, позволяет увеличить их коэффициент мощности до 0,98[3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. С.22.
2. Козюков Д.А., Цыганков Б.К., Богдан А.В. Разработка и исследование фотоэлектрических установок для автономного и резервного электроснабжения фермерских хозяйств [Текст] / Д.А.Козюков Б.К.Цыганков, А.В.Богдан // Инновации в сельском хозяйстве . 2016. № 5(20), С.458-462.
3. Григорьев, О. Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ [Текст] / О. Григорьев, В. Петухов, В. Соколов, И. Красилов // Новости электротехники. – 2002. - №6(18). - С. 54-57.

Sidorenko A.*Bachelor Kuban State Agrarian University,
Russia, Krasnodar***Goncharov A.***Bachelor Kuban State Agrarian University,
Russia, Krasnodar***РЕСУРСЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ
КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ****Сидоренко А.Д.***Бакалавр Кубанского государственного аграрного университета,
Россия, г. Краснодар***Гончаров А.А.***Бакалавр Кубанского государственного аграрного университета,
Россия, г. Краснодар***Abstract**

The article considers the resources of renewable energy sources (wind, solar, and small hydropower) on the territory of the Krasnodar region for its use in power supply systems.

Аннотация

В статье рассматриваются ресурсы возобновляемых источников энергии (ветровой, солнечной и малой гидроэнергетики) на территории Краснодарского края для ее использования в системах электроснабжения.

Keywords: Renewable energy sources, wind energy, solar energy, hydroelectric power.

Ключевые слова: Возобновляемые источники энергии, ветровая энергетика, солнечная энергетика, гидроэлектростанция.

Интенсивное развитие процессов переработки углеводородного сырья - нефти, природных ипутных газов и газоконденсатов, твердого топлива поставило перед человечеством глобальные социально-экологические проблемы, связанные с промышленной безопасностью, защитой окружающей среды и, в первую очередь, самого человека как субъекта экосистемы, взаимодействующего с природой. Состояние природной среды, обеспеченность ее ресурсами становятся неотъемлемыми показателями уровня жизни; необходима сбалансированная политика добычи углеводородного сырья, его переработки и потребления.

В настоящее время основой энергетики России являются тепловые электростанции, работающие на органическом топливе (мазут, уголь, газ). Их доля в общем производстве электроэнергии составляет 67,7 %. Остальное приходится на крупные гидроэлектростанции, атомную энергетику и возобновляемые источники энергии (ВИЭ), из которых доля солнечной и ветровой энергетики составляет около 0,4 %.

По данным Российской ассоциации ветроиндустрии установленная мощность ветровых электростанций (ВЭС) в мире составляет 539 ГВт, из которых на российские ВЭС приходится только 0,184 ГВт. Что касается солнечной энергетики, то в Единой энергосистеме России насчитывается порядка 0,83 ГВт мощностей на основе энергии солнца, в то время, когда установленная мощность в мире превысила 400 ГВт. То есть проблемы развития возобновляемой энергетики в России очевидны.

На сегодняшний день в Краснодарском крае ведется активная застройка новых территорий. Однако край имеет огромный дефицит электрической энергии. По данным Росстата только порядка 52 % электроэнергии производится в крае, остальные 48 % закупаются в соседних регионах. Потребление электроэнергии в год составляет порядка 24 млрд кВт·ч (рисунок 1).

Краснодарский край по своим природно-климатическим особенностям является одним из наиболее привлекательных регионов в России для развития возобновляемой энергетики. Запасы ВИЭ в регионе превышают запасы традиционных источников энергии.

Данная территория относится к регионам с высокой интенсивностью солнечной радиации – продолжительность солнечного сияния здесь свыше 2000 часов в год. На побережье Черного и Азовского морей количество солнечных дней достигает 260-280 в году. Так Анапа является рекордсменом России по количеству солнечных дней в году, число которых здесь составляет 286, а показатель среднегодового числа часов солнечного сияния доходит до 2494, что выше показателя для Сочи (2154 часа), Геленджика (2374 часа), а также побережья соседнего Крыма, где для Ялты и Евпатории данный показатель составляет 2250 и 2450 часов соответственно. Из 47 дней без солнца в среднем в год, 37 (78%) приходится на период между поздней осенью и ранней весной, т.е. на холодный сезон. [4]

Величина суммарной солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность в течение года, в среднем по региону составляет 1000-1300 кВт·ч на квадратный метр.



Рисунок 1 Общий объем потребляемой электроэнергии в Краснодарском крае (энергобаланс)

Валовый, технический и экономический ресурс возобновляемых источников энергии Краснодарского края представлен в таблице 1. [1]

Таблица 1

Потенциал Краснодарского края по ВИЭ

Виды энергии	Валовый потенциал	Технический потенциал	Экономический потенциал
Ветровая	5017 млрд кВт·ч 1703 млн т у.т.	116,12 млрд кВт·ч 39,6 млн т у.т.	0,56 млрд кВт·ч 0,195 млн т у.т.
Малых рек	8,2 млрд кВт·ч 2,76 млн т у.т.	2,51 млрд кВт·ч 0,84 млн т у.т.	1,42 млрд кВт·ч 0,47 млн т у.т.
Солнечная	14,1 млрд т у.т.	5,7 млн т у.т.	2,61 тыс т у.т.

Также большую долю занимают водные ресурсы. Бассейн реки Кубань может обеспечить во многих местах региона потребителей до 30 МВт энергии частно, в акватории содержится много горных рек с большим потоком воды, подходящих для установки турбин для малых гидроэлектростанций (таблица 2). [2]

Таблица 2

Реки Краснодарского края, подходящие для строительства малых ГЭС

Наименование	Площадь водосбора, км ²	Среднегодовой расход, м ³ /с
р. Кубань	57910	425
р. Уруп	3215	16,4
р. Лаба	12510	95,8
р. Белая	5995	90,7
р. Мзымта	880	45,5
р. Пшиш	1840	25
Реки Закубанского массива	2075	22,7
р. Псекупс	1431	20,1
р. Пшада	259	9,8
р. Афипс	1385	4
р. Ея	8654	2,51
р. Челбас	4589	2,42

По высоте бассейн реки Кубань можно разделить на 4 основные зоны:

- высокогорную, свыше 1000 м над уровнем моря;
- горную, 500 – 1000 м;
- предгорную, 200 – 500 м;
- равнинную, до 200 м.

Водными ресурсами, в виде притоков реки Кубань, являются: Афипс, Псекупс, Белая, Лаба, Пшиш и их притоки: Мара, Джегута и Горькая, образуют речную сеть протяженностью около 9,5 тысяч километров. Всего же в Кубань впадает более 14 тысяч больших и малых притоков (рисунок 2).

Одним из представителей малой энергетики является Малая Краснополянская ГЭС. Она построена на реке Бешенка, в эксплуатацию введена в декабре 2005 года. Данная ГЭС включает в себя головной узел с водозабором, напорный трубопровод длиной более 2 км, здание ГЭС и отводящий трубопровод. Также в Адыгее действуют две малые ГЭС: Майкопская, мощностью 9,4 МВт, и малая ГЭС на Майкопском питьевом водозаводе, мощностью 0,2 МВт.



Рисунок 2 Акватория в Краснодарском крае

Краснодарский край является лидирующим регионом по запасам ветровой энергии (не считая побережья Северного Ледовитого океана). Основными ветряными районами являются Черноморское и Азовское побережья. Здесь можно выделить зоны повышенной ветровой активности (Новороссийск, Тамань, Анапа, Ейск, Темрюк). В этих районах есть главное преимущество – постоянная среднегодовая скорость ветра ориентировочно 4-5 м/с [3]. Скорость ветра имеет зависимость от времени года и от рельефа местности. В Тамани, Анапе, Ейске и Темрюке наибольшее значение ветра достигает 9-13 м/с, а в Новороссийске 15 м/с. Максимальные значения достигаются в период ноябрь-март.

Так же наблюдаются ветра, имеющие ураганную силу, превышающую 25 м/с, но длительность таких ветров мала.

Таким образом, можно сделать вывод, что Краснодарский край обладает ресурсами основных видов ВИЭ. В самом регионе наиболее перспективными для использования ВИЭ являются предгорные и горные районы (малая гидроэнергетика) и побережье Азовского и Черного морей (солнечная и ветровая энергетика). Причем, учитывая противоположную сезонность поступления энергии от различных источников («солнце» летом – «ветер» зимой), наиболее целесообразным представляется использование ветро-солнечных электростанций.

Таблица 3

Оценка ветроэнергетических ресурсов Краснодарского края

Место вероятной установки ВЭС	Допустимая мощность ВЭС, МВт
Таманский полуостров	90-140
Коса Чушка	40-80
Бугазская коса	90-140
Район г. Темрюка	90-140
Район г. Анапы	90-140
Побережье от г. Новороссийска до г. Геленджика	140-280
Район г. Приморско-Ахтарска	90-140
Район г. Ейска	90-140
Итого	720-1200

В настоящее время технический потенциал ВИЭ почти в 5 раз превышает потребляемое на данный момент количество электроэнергии в регионе. Однако ввиду пока еще относительно низкой стоимости на ископаемое топливо в стране, ВИЭ развивается крайне малыми темпами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Григораш О.В. Ресурсы возобновляемых источников энергии Краснодарского края / О.В. Григораш, А.А. Хамула, А.В. Квитко // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2013. – № 92 (08). С. 630 – 641.
2. Григораш О.В. Перспективы малых гидроэлектростанций в предгорных и горных реках /

О.В. Григораш, А.В. Квитко, М.А. Попучиева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №08 (112). С. 955 – 967.

3. Квитко А.В., Григораш О. В., Попов А.Ю., Ивановский О.Я., Туаев А.С. Ветроэнергетические станции: монография. – Краснодар: КубГАУ, 2017. -193 с.

4. Квитко А.В. Перспективы и особенности работы солнечных фотоэлектрических станций / А.В. Квитко, Г.С. Отмахов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2017. – №07 (131). С. 56 – 68.

TECHNOLOGICAL PARAMETERS STUDY OF A CROSS-FIBRED LONGITUDINAL-TRANSVERSE WINDING BY THE PERIODIC METHOD FOR THE PRODUCTION OF GLASS-PLASTIC PRODUCTS WITH HIGHER PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Karandashov O.

*Graduate student of the department
"Technology of plastic masses and biologically active materials"
National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute"
Kharkiv, Ukraine*

Avramenko V.

*Candidate of technical sciences, professor Head of the department
"Technology of plastic masses and biologically active materials"
National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute"
Kharkiv, Ukraine*

Pidhorna L.

*Candidate of technical sciences, associate professor of the department
"Technology of plastic masses and biologically active materials"
National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute"
Kharkiv, Ukraine*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОСОСЛОЙНОЙ ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНОЙ НАМОТКИ ПЕРИОДИЧЕСКИМ СПОСОБОМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Карандашов О.Г.

*Аспирант кафедры «Технология пластических масс и биологически активных материалов»
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
Харьков, Украина*

Авраменко В.Л.

*Кандидат технических наук, профессор
Зав. кафедры «Технология пластических масс и биологически активных материалов»
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
Харьков, Украина*

Подгорная Л.Ф.

*Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Технология пластических масс и биологически активных материалов»
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
Харьков, Украина*

Abstract

The aim of the work is to increase the basic operational characteristics of structural fiberglass products manufactured by the periodic method of cross-fibred longitudinal-transverse winding, namely their physical and mechanical characteristics, by improving the quality of impregnation of the reinforcing filler with a polymer compound. The main technological parameters that affect the quality of impregnation of the filler with a polymer compound, and, therefore, the strength characteristics of the products, their contribution and optimal values are established.

Аннотация

Целью работы является повышение основных эксплуатационных характеристик конструкционных стеклопластиковых изделий изготовленных периодическим методом косослойной продольно-поперечной намотки, а именно их физико-механических характеристик, путем улучшения качества пропитки армирующего наполнителя полимерным компаундом. Выявлены основные технологические параметры, влияющие на качество пропитки наполнителя полимерным компаундом, а, следовательно, прочностные характеристики изделий, установлен их вклад и оптимальные значения.

Keywords: failing stress, epoxy oligomer, impregnation, cross-fibred longitudinal-transverse winding, structuring

Ключевые слова: разрушающее напряжение, эпоксидный олигомер, пропитка, косослойная продольно-поперечная намотка, структурирование

Введение. Эпоксидные полимеры имеют такой комплекс свойств (адгезионных, механических, электрических и др.), что во многих случаях делают их незаменимыми в качестве основы клеев, лакокрасочных покрытий, компаундов для армированных пластиков. Благодаря этому стеклопластиковые изделия на основе эпоксидных олигомеров заняли важное место в ряду промышленных отраслей, среди которых электро и радиотехника, авто-, судо- и авиастроение, изделия конструкционного назначения, химическое и нефтехимическое аппаратостроение, изготовление химически стойких напорных транспортировочных систем [1].

Одним из ведущих методов получения стеклопластиковых изделий является косослойно продольно-поперечная намотка (КППН), главным преимуществом которого является возможность производства стеклопластиковых изделий с различной трансверсально-изотропной структурой. Это позволяет регулировать эксплуатационные свойства изделий в продольном и поперечном направлениях, в широком интервале, как по отдельности, так и комбинационно [2].

Косослойно продольно-поперечная намотка может быть осуществлена как в непрерывном, так и в периодическом процессе. На сегодняшний день широкое распространение получил лишь непрерывный способ, благодаря своей высокой продуктивности, которая позволяет получить изделия довольно высокого качества [3]. Однако технологические особенности метода ограничивают во времени процессы, протекающие во время переработки, что влияет на полноту их протекания и как следствие устанавливает границы возможных эксплуатационных характеристик получаемых изделий. Применение периодического способа, благодаря возможности неограниченного по времени протекания процессов, в особенности процессов пропитки и отверждения, позволяет получить изделия с большими эксплуатационными свойствами. Несмотря на это данный способ до недавнего времени является малоизученным, а именно не установлено влияние различных технологических факторов на характеристики готового изделия.

В данной работе исследовано влияние различных температурных параметров процесса намотки, которые представляют большой интерес, а именно температуры подогрева исходных компонентов стеклопластиковых изделий, температурные режимы на стадии пропитки и структурирования изделий, на технологические и эксплуатационные свойства изделий полученных косослойно продольно поперечной намоткой периодическим способом.

Объекты и методы исследования. В работе исследовались стеклопластиковые изделия, полученные методом косослойной продольно-поперечной намотки. КППН относится к специфическим методам формирования изделий из стеклопластиков, которые характеризуются анизотропной или трансверсально-изотропной структурой. Его относят к методам «мокрой» намотки, сущность кото-

рого заключается в намотке непрерывного наполнителя, который пропитывается в ванне с полимерным компаундом, на вращающуюся оправку [4].

Особенностью этого метода является ограниченная подвижность наполнителя на стадии совмещения его с полимерным компаундом, вследствие чего определяющей является операция пропитывания волокнистого наполнителя. Второй особенностью этого процесса является формирование макроструктуры волокнистого наполнителя в изделии с целью достижения заданных физико-механических и эксплуатационных свойств изделий. Ориентация наполнителя определяется соотношением скоростей вращения оправки и перемещения укладчика. Содержание полимерного компаунда при этом регулируется относительной вязкостью.

Стеклопластиковые изделия изготавливались на оправке внешним диаметром 130 мм, толщина стенки 5 мм. Полимерный компаунд, на основе которого получались изделия, состоит из эпоксидного олигомера марки BE-188, отвердитель ангидридного типа, метилтетрагидрофталевого ангидрида (МТНРА) и ускорителя 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол марки DMP-30 в соотношении 100:81:2,5. Перед подачей полимерного компаунда в ванну для пропитки каждый компонент подогревается, его температура регулируется от 20 до 80 °C.

Поступательное перемещение укладчика параллельно оси оправки при периодическом способе намотки задается в соответствии с оборотами оправки, оборотами укладчика и контролем заданной толщины стенки стеклопластикового изделия. Стекланный ровинг, который укладывается в продольном направлении, подается на оправку через узел укладчика продольного наполнителя. Перед попаданием в укладчик наполнитель подогревается в специальной термокамере, температура воздуха в которой варьируется от 20 до 100 °C. Наполнитель, который укладывается в поперечном направлении, поступает на оправку через узлы подогрева и пропитки наполнителя. Температура контактной поверхности для подогрева поперечного наполнителя, которая также выполняет функцию выжигания избыточного количества замазливателя, контролируется в пределах от 80 до 150 °C. Температура полимерного компаунда в ванне для пропитки контролируется в пределах от 30 до 70 °C. Скорость прохождения наполнителя через узел пропитки зависит от скорости вращения оправки и ее внешнего диаметра.

Процесс дополнительной пропитки поперечного и продольного наполнителя происходит на оправке за счет температуры первоначального разогрева оправки. Обогрев оправки производится инфракрасными нагревателями, способными автоматически с учетом потерь разогревать оправку до 70 °C.

Процесс структурирования полимерного компаунда происходит в специальной камере, оборудованной инфракрасными излучателями и способных поддерживать температуру в интервале 100-160 °C.

Испытания проводились с использованием образцов из изделий не ранее, чем через 24 часа с момента их изготовления. Хранение осуществляли в условиях комнатной среды по ДСН 3.3.6.042-99.

Качество пропитывания стеклянного наполнителя полимерным компаундом в готовых изделиях оценивались косвенно, определяя содержание полимерного компаунда в стеклопластике и степень его структурирования. Содержание полимерного компаунда в стеклопластиковых образцах определено с использованием метода выжигания органической части композиции при 400 °С с сохранением минерального (стеклянного) наполнителя [5]. Степень структурирования полимерного компаунда в готовых изделиях определялась как среднее значение степени отверждения полученных параллельно методами экстракции с использованием аппарата Сокслета и инфракрасной спектроскопией. Спектры образцов регистрировали на SpectrumOne spectrophotometer (PerkinElmer) в KBr в диапазоне 4000-400 см⁻¹ [6].

В данном исследовании рассматривалось влияние технологических параметров намотки стеклопластиков, используемых в качестве конструктивных элементов, корпусов и т.д., где основными эксплуатационными свойствами являются физико-механические характеристики, а именно разрушающее напряжение при растяжении в продольном и поперечном (кольцевом) направлениях. Все экспериментальные исследования проводились на сертифицированной сервогидравлической универсальной машине для испытаний на растяжение-сжатие модели BISS Vi-00-701. Установка позволяет осуществлять сложное деформирование с максимальным растягивающим усилием 100 кН, она укомплектована соответствующей измерительной аппаратурой.

Экспериментальная часть. В ходе выполнения работы рассмотрено влияние различных технологических факторов на конечные технологические и эксплуатационные свойства готовых изделий. Наибольшее влияние среди технологических факторов имеет температурный режим на разных участках процесса получения стеклопластиковых изделий. Среди них выделены следующие:

- подогрев полимерного компаунда в ванне для пропитки поперечного наполнителя (Т_{ВП})
- подогрев компонентов полимерного компаунда на этапе его приготовления, перед попаданием в ванну для пропитки (Т_{ПК})
- предварительный нагрев оправки (Т_О)
- подогрев сформированного изделия в камере отверждения с целью окончательного структурирования изделия (Т_{КО}).

Для выделения влияния каждого технологического фактора друг от друга образцы получались при изменении только одного из выше перечисленных параметров, при этом другие оставались неизменными и имели первоначальные значения: Т_{ВП} = 20 °С; Т_{ПК} = 20 °С; Т_О при = 20 °С; Т_{КО} = 120 °С. После установления оптимального значения для каждого последующего параметра, в дальнейшем при производстве образцов первоначальные значения параметров заменялись оптимальными.

Известно, что основной технологический параметр, который определяет качество готовых стеклопластиковых изделий, является качество пропитки наполнителя полимерным компаундом. Процесс пропитки протекает в нескольких узлах оборудования – в ванне для пропитывания и на формирующей оправке. Сперва, было рассмотрено влияние температуры подогрева полимерного компаунда в ванне для пропитывания на эксплуатационные и технологические параметры изделий. Полученные результаты приведены в таблице 1

Таблица 1

Влияние температуры подогрева полимерного компаунда в ванне для пропитки на свойства изделия

Температура нагрева, °С	Содержание полимерного компаунда, %	Степень структурирования, %	Разрушающее напряжение, МПа	
			В поперечном направлении	В продольном направлении
20	42,3	92,8	120	50
30	35,1	93,1	200	70
40	32,3	94,4	320	110
50	30,0	94,0	350	120
60	29,8	94,9	355	120

Результаты исследования показывает, что увеличение температуры полимерного компаунда в пропитывающей ванне с 20 до 50 °С значительно уменьшает содержание полимерного компаунда в изделии (с 42,3 до 30,0 %). Данный процесс происходит за счет уменьшения вязкости полимерного компаунда при повышении температуры. Однако отдельное рассмотрение не свидетельствует об улучшении процесса пропитывания, а больше описывает облегчение процесса удаления излишнего количества пропитывающего компаунда. Но параллельное увеличение показателя разрушающего

напряжения в обоих направлениях свидетельствуют о лучшей работе композиции.

При 20 °С полимерный компаунд в большинстве лишь обволакивал наполнитель без значительного проникновения в его тело. При механической нагрузке происходит разрушение слоя полимерного компаунда между наполнителем, что приводит к расслаиванию структуры без разрушения наполнителя. При большей температуре, несмотря на меньшее общее количество компаунда, он более тщательно проникает в структуру наполнителя, уменьшая его количество между слоями наполни-

теля и увеличивая количество в каждом слое наполнителя. Разрушение данных изделий происходит равномерно, с разрушением изделия по всему сечению включая наполнитель, а не только полимерный компаунд.

Увеличение температуры полимерного компаунда в ванне для пропитки выше 50 °C не приводит к качественным изменениям готовых изделий, что объясняется последующим незначительным уменьшением его вязкости. К тому же большая температура в пропитывающей ванне при длительном изготовлении изделий может привести к началу структурирования полимерного компаунда в ванне, а не на оправке.

Увеличение степени отверждения компаунда объясняется его меньшим количеством в составе изделия при более высокой температуре в ванне. Тот температурный режим, который первоначально установлен для структурирования компаунда, достаточен для изделий с содержанием последнего 30%, но недостаточен для изделий с 40% компаунда и выше. К тому же, местные скопления компаунда,

приводят к местным перегревам, а соответственно деструктивным процессам с образованием низкомолекулярных веществ.

Как было сказано раньше, эксплуатационные и технологические характеристики стеклопластиковых изделий в большой степени зависят от температуры, установленной в ванне для пропитывания. Однако полученные показатели являются усредненными и их значения отличаются в зависимости от времени процесс намотки. Это является следствием того, что полимерный компаунд попадает в пропиточную ванну с температурой меньшей, чем необходимая установленная оптимальная температура. Таким образом, полимерный компаунд в начале намотки не имеет достаточную температуру и приобретает ее со временем, которое зависит от контактной площади подогрева пропиточной ванны и объема перерабатываемого компаунда. Для избежания этого эффекта исследовано влияние температуры полимерного компаунда перед поступлением в пропиточную ванну. Полученные результаты приведены в таблице 2

Таблица 2

Влияние температуры полимерного компаунда перед попаданием в пропиточную ванну на свойства изделий

Температура нагревания, °C	Содержание полимерного компаунда, %		Степень структурирования, %		Разрушающее напряжение, МПа			
					В поперечном направлении		В продольном направлении	
	min	max	min	max	min	max	min	max
20	29,6	34,2	94,7	95,2	300	390	100	130
30	29,5	33,1	94,7	95,3	330	390	110	130
40	29,5	32,0	94,8	95,4	355	390	105	125
50	29,5	30,2	94,7	95,3	380	395	110	130
60	29,4	29,9	94,8	95,8	380	385	110	130

Из таблицы 2 видно, что с увеличением температуры подаваемого в пропиточную ванну полимерного компаунда, технологические и эксплуатационные свойства изделий становятся более стабильными. Стоит заметить, что подогрев исходных веществ до температуры выше 60 °C приводит к началу процесса структурирования компаунда в пропиточной ванне. Таким образом, через продолжительное время намотки вязкость полимерного компаунда в пропиточной ванне увеличивается, что приводит к снижению качества пропитки, увеличению содержания полимерного компаунда в готовом изделии, снижению стабильности свойств изделия и, в крайних случаях, невозможности дальнейшего процесса переработки ПКМ.

Стоит обратить внимание, что минимальное количество полимерного компаунда в зависимости от температуры предварительного нагрева компаунда является практически неизменной и соответствует образцам, полученным из части стеклопластикового изделия с устоявшимся режимом. В то же время максимальное количество полимерного компаунда содержится в образцах, которые были изготовлены из стеклопластиковых изделий соответствующих началу намотки. И чем ближе температура предварительного нагрева полимерного компаунда к его температуре в пропиточной

ванне, тем меньше разница между минимальным и максимальным показателем

Степень структурирования полимерного компаунда при этом остается практически неизменной, что объясняется отсутствием процесса отверждения в пропиточном тракте. Прочностные характеристики же, в зависимости от предварительного нагрева полимерного компаунда, проявили себя двойственно. С одной стороны разрушающее напряжение при разрыве в поперечном направлении из образцов, полученных походу направления движения укладки слоев изделия снизили разность показателей с 25 до 2%, тогда как разрушающее напряжение при разрыве в продольном направлении осталось практически неизменным.

Поведение прочностных характеристик в поперечном направлении, объясняется увеличением качества пропитки в начальный момент процесса намотки, так как полимерный компаунд попадает в пропиточную ванну в оптимальном температурном режиме, и отсутствием индукционного периода его нагревания. В продольном направлении данная зависимость не действует, что свидетельствует о влиянии других механизмов, протекающих во время намотки изделия, а также на отсутствие стабильности показателей.

Причиной вышеописанного явления является то, что пропитка продольного наполнителя происходит не в пропиточной ванне, а непосредственно на формирующей оправке за счет полимерного компаунда, с избытком привнесенного пропитанным поперечным наполнителем. В связи этим существенную роль играет температура поверхности оправки, на которой происходит процесс формирования изделия. Полимерный компаунд, попадая на

оправку с меньшей температурой, быстро понижает свою температуру, а соответственно увеличивает вязкость и ухудшает процесс пропитывания, в первую очередь продольного наполнителя. Для выявления зависимости температуры оправки на конечные свойства изделия проведены исследования, результаты которых отражены в таблице 3.

Таблица 3

Влияние температуры оправки на свойства изделий

Температура оправки, °C	Содержание полимерного компаунда, %		Степень структурирования, %		Разрушающее напряжение, МПа			
					В поперечном направлении		В продольном направлении	
	min	max	min	max	min	max	min	max
20	29,4	29,9	94,8	95,8	380	385	110	130
30	29,4	29,8	95,5	96,4	380	390	115	130
40	29,2	29,6	95,8	96,5	385	390	120	130
50	28,6	28,7	96,4	96,8	390	400	130	140
60	28,4	28,6	96,3	96,7	400	405	140	140

Результаты исследований показывают, что прочностные характеристики стеклопластиковых изделий за счет подогрева оправки увеличились не только в продольном, но и в поперечном направлении пропорционально, что свидетельствует об улучшении качества пропитки наполнителя, в момент формирования изделия. Кроме того, предварительный нагрев оправки привел к стабилизации прочностных показателей изделий в продольном направлении, снизив их разность с 20% до 1-2%.

Стоит заметить, что в поперечном направлении разность значений разрушающего напряжения при разрыве зависела от места, где был отобран образец. Так образцы, которые соответствовали началу процесса намотки, имели минимальные показатели, а каждые последующие приближались к максимальному значению. В продольном же направлении такая зависимость отсутствовала, и минимальные и максимальные значения были получены хаотически. Причиной это является то, что изменение качества пропитки продольного наполнителя происходило, не вдоль оси намотки, а в его сечении. Наполнитель, который укладывался на поверхность «холодной» оправки имел менее качественное пропитывание, чем тот, который укладывался ближе к поверхности изделия, так как чем ближе слой ПКМ к оправке, тем больше температурные потери в полимерном компаунде. При повышении температуры предварительного подогрева оправки полимерный компаунд, поступающий на формирование вместе с поперечным наполнителем, практически не теряет температуру,

вне зависимости от слоя ПКМ, и обеспечивает, таким образом, равномерное пропитывание продольного наполнителя по всему сечению изделия и соответственно стабильность прочностных свойств в продольном направлении.

Улучшение качества пропитывания стеклянного наполнителя также косвенно видно по уменьшению содержания полимерного компаунда в стеклопластиковом изделии, его степени структурирования, а также разницы показателей данных технологических характеристик в зависимости от места отбора образцов, аналогично прочностным характеристикам описанным выше.

Помимо процесса пропитки большую роль в получении высоких эксплуатационных характеристик стеклопластика играет протекание процесса структурирования полимерного компаунда. Известно, что более плавный процесс структурирования, а именно плавное поднятие температуры, длительная выдержка при оптимальной температуре отверждения и затем плавное охлаждения изделия приводит к возникновению минимального количества внутренних напряжений, микродефектов, что позволяет получить изделия со стабильными и высокими эксплуатационными показателями. Для определения оптимального режима структурирования проведен ряд экспериментов, в ходе которых были произведены изделия, полимерный компаунд которых структурировался при различных температурах в течение длительного времени, а именно 8 часов, и в течение времени соответствующего технологическому циклу (80 минут). Полученные результаты приведены в таблице 4.

Влияние температуры структурирования на свойства изделия

Температура структурирования, °C	Содержание полимерного компаунда, %		Степень структурирования, %		Разрушающее напряжение, МПа			
					В поперечном направлении		В продольном направлении	
	80 мин	480 мин	80 мин	480 мин	80 мин	480 мин	80 мин	480 мин
100	28,5	28,4	94,3	96,1	370	405	130	140
110	28,4	28,3	95,5	96,7	390	415	130	145
120	28,4	28,4	96,3	97,6	400	410	140	145
130	28,4	28,3	96,6	97,6	410	410	140	140
140	28,6	28,5	97,1	98,0	410	410	135	140
150	28,4	28,4	97,0	97,9	410	405	140	130
160	28,5	28,4	96,3	97,2	395	395	135	130

Как видно из приведенных результатов, в данном конкретном случае, а именно внутреннем диаметре 130 мм и толщине стенки 5 мм, режим отверждения не оказывает значительного влияния на характеристики изделия, тогда как при большем отношении толщины стенки к внутреннему диаметру режим отверждения увеличивает свое влияние. Содержания связующего в ряде полученных изделий остается практически неизменным, так как его значение закладывается во время пропитывания и не изменяется во время процесса структурирования. Разница в показателях обусловлена точностью эксперимента.

Полученные данные свидетельствуют, что с увеличением температуры и продолжительности процесса термической обработки увеличивается степень структурирования полимерного компаунда. Максимальные значения достигаются при структурировании при температуре 140-150 °C в течение 80 минут и 120-150 °C в течение 480 минут соответственно.

При большей температуре степень структурирования уменьшается, что связано с чрезвычайно высокой скоростью протекания химической реакции, вызывающей местные перегревы и как следствие деструктивные процессы с образованием низкомолекулярных веществ и образование микродефектов. Этому свидетельствует и падения прочностных характеристик стеклопластиков, компаунды которых структурировались при температуре 160 °C.

Использование более длительного режима структурирования у данного типа изделий приводит к увеличению значения разрушающего напряжения при разрыве в пределах 2-3 %, что не является целесообразным учитывая энергетические затраты, однако данное влияние необходимо уточнять каждого отдельного типоразмера стеклопластиковых изделий.

Вывод. Результаты исследований подтвердили теорию, что на качество эксплуатационных характеристик, в данном случае физико-механических, полимерного композиционного материала, в частном случае стеклопластиковых изделий на основе эпоксидного полимерного компаунда, который структурируется ангидридным отвердителем, значительно влияет качество пропитки наполнителя полимерным компаундом. Каждый из исследуемых технологических параметров, а именно подогрев полимерного компаунда в ванне для пропитки

поперечного наполнителя, подогрев компонентов компаунда на этапе его приготовления (перед попаданием в ванну для пропитки), предварительный нагрев оправки, оказывает значительное влияние на пропитку наполнителя полимерным компаундом, что заключается в уменьшении его содержания в готовых изделиях и увеличении их прочностных характеристик. Так внедрение оптимальных значений, полученных в ходе исследования, данных технологических параметров привело к уменьшению содержания полимерного компаунда на 50%, а прочностные характеристики увеличились в три раза.

Изменение температурного режима процесса структурирования полимерного компаунда не имело значительного влияния на конечные свойства готовых изделий, однако был выявлен температурный интервал при различной продолжительности термической обработки соответствующий максимальным значениям прочности, а также предел допустимой температуры, превышение которой приводит к деструктивным процессам и снижению эксплуатационных характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Батаев А.А., Батаев В.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учеб. пособие. – М.: Университетская книга. ЛОГОС. – 2006. – 400 с.
2. Карандашов О.Г., Данильцев В.В., Авраменко В.Л., Підгорна Л.П.. UA 114679, Публ. 10.07.2017
3. Русских Г.И., Башара В.А., Блазнов А.Н.. Технология непрерывного формования стеклопластиков: монография // Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2016. – 178 с
4. Аношкин А.Н. Теория и технология намотки конструкций из полимерных композиционных материалов // учеб. Пособие Пермь. гос. ун-т, 2013, 118 с
5. Тарнопольский Ю., Кинцин, Т.. Методы статистических испытаний армированных пластиков. Химия. Москва, 1981
6. Karandashov O.H., Avramenko V.L., Vashchenko O.V., Podhornaya L.F.. Study of influence of structurizing regims on the properties of structural glass-fiber plastics // Functional materials. 2018, Vol.25, №4, p.818-822

IMPROVING INDICATORS OF OPERATING EFFICIENCY OF RUBBER CUPS OF PACKER SYSTEM APPLICABLE UNDER CONDITIONS OF REPEATED REPEATED LANDING**Kopeikin I.***Assistant of the Department "Machinery and equipment for oil and gas industry",
Ufa State Petroleum Technical University***ПОВЫШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЗИНОВЫХ МАНЖЕТ ПАКЕРНОЙ СИСТЕМЫ ПРИМЕНЯЕМОЙ В УСЛОВИЯХ МНОГОКРАТНО-ПОВТОРЯЮЩИХСЯ ПОСАДОК****Копейкин И.С.***Ассистент кафедры «Машины и оборудования нефтегазового промысла»,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»***Abstract**

A review of existing packer systems used in the oil industry showed that the possibility of multiple repetitive landings affects the functional and technical efficiency of packer systems, especially for mechanically removable systems used in geological and technical measures (hereinafter - geological and technical measures) aimed at combating drilling fluid absorption in one round trip operation (hereinafter referred to as STR) to obtain airtight isolation of high-pressure well intervals from low-pressure intervals. In addition, it should be noted that the amount of insulation obtained determines the reliability of the use of packer systems and affects the level of risk of complications. For technical objects, these indicators are called operational [1, p.10]. Thus, we can conclude that in order to increase the above indicators of the operational efficiency of the packer system, it is necessary to set goals aimed at research, modernization and development of equipment providing the possibility of reliable repetitive landings in one STR, while the risk level during the operation of such a well system should be minimized. The engineering experience in the oil and gas industry has shown that these indicators of functionality are affected by the basic nodes of the packer systems responsible for maintaining the functional ability of the rubber cuffs, and the nodes responsible for the landing (activation) of the packer and its transfer to the transport position (repeatedly repeated landings). Accordingly, the following conclusions can be drawn that the modernization and development of new designs of the above base units will increase the operational efficiency of the packer system as a whole.

Аннотация

Обзор существующих пакерных систем используемых в нефтяной промышленности показал, что на функциональную и техническую эффективность пакерных систем, в особенности для механически извлекаемых систем применяемых в геолого-технических мероприятиях (далее – ГТМ) направленных на борьбу с поглощением бурового раствора, влияет возможность многократно-повторяющихся посадок за одну спуско-подъемную операцию (далее – СПО) с получением герметичной изоляции интервалов скважины с высоким давлением от интервалов с низким давлением. Кроме того необходимо отметить, что количество получаемых изоляций определяет надежность применения пакерных систем и оказывает воздействие на уровень рисков возникновения осложнений. Для технических объектов эти показатели принято называть эксплуатационными [1, с. 99]. Таким образом можно заключить, что для повышения вышеуказанных показателей эксплуатационной эффективности пакерной системы необходимо ставить задачи направленные на исследование, модернизацию и разработку оборудования обеспечивающего возможность надежных повторяющихся посадок за одну СПО, при этом уровень рисков при работе такой скважинной системы должен быть минимизирован. Опыт машиностроения в нефтегазовой отрасли показал, что на данные показатели функциональности влияют базовые узлы пакерных систем отвечающие за сохранение функциональной способности резиновых манжет, и узлы отвечающие за посадку (активацию) пакера и перевод его в транспортное положение (многократно-повторяющиеся посадки). Соответственно можно сделать следующие выводы, что модернизация и разработка новых конструкций вышеуказанных базовых узлов обеспечит повышение эксплуатационной эффективности пакерной системы в целом.

Keywords: Packer, round-trip operations, open-cut operations, geological and technical measures of geological and technical measures, elastic hysteresis, hysteresis loop, collet element, well, repeatedly repeated landings, activation unit, open hole.

Ключевые слова: Пакер, спуско-подъемные операции СПО, геолого-технические мероприятия ГТМ, упругий гистерезис, петля гистерезиса, цанговый элемент, скважина, многократно-повторяющиеся посадки, узел активации, необсаженный ствол скважины, резиновая манжета, пакерная система, раздвижные опоры, эксплуатационная эффективность, функциональные показатели.

На текущий период с целью сохранения эксплуатационных показателей резиновых манжет в пакерных системах применяются базовые узлы, которые принято называть узлами раздвижных опор. Такие узлы препятствуют выдавливанию резиновых уплотнительных элементов в межтрубный зазор, что повышает надежность герметизации и облегчает срыв пакеров. [2, с. 277]. Но существующие конструкции раздвижных опор допускают эксцентричное расположение пакерной системы в необсаженном стволе скважины (Рисунок 1). В связи с этим выдавливание (затекание) резиновых манжет в межтрубное пространство может происходить

при возникновении перепада давлений между подпакерным и надпакерным пространством (Рисунок 2).

Эксцентричное расположение пакерной системы способствует увеличению межтрубного пространства с одной стороны и отсутствию этого пространства с другой стороны, что приводит к неравномерному распределению эластомера резиновых манжет при посадки и выдавливанию (затеканию) этого эластомера в межтрубное пространство с увеличенным зазором при возникновении перепада давлений в подпакерном или надпакерном пространстве (Рисунок 2).



Рисунок 1 Эксцентричное расположение пакерной системы в стволе скважины



Рисунок 2 Выдавливание резиновых манжет в межтрубное пространство при возникновении перепада давлений

Срыв пакерных систем при подобных явлениях затруднителен и приводит к потере эксплуатационной эффективности резиновых манжет при многократно повторяющихся посадках за одну СПО (Рисунок 3).



Рисунок 3 Разрушение резиновой манжеты пакерной системы

В целях сохранить эксплуатационных показатели резиновых манжет предложен узел раздвижных опор обеспечивающий центрирование пакерной системы перед посадкой [3, с. 1]. Узел состоит из секторов шарнирно закрепленных на стволе пакера с помощью специальной опор (Рисунок 4).

Каждый сектор узла самостоятельно взаимодействует с конусом пакерной системы, что позволяет им перемещаться в радиальном направлении до стенок скважины. Таким образом происходит центрирование пакерной системы до уплотнения кольцевого пространства скважины резиновыми манжетами (Рисунок 5).



Рисунок 4 Сектор узла раздвижных опор.



Рисунок 5 Посадка пакера с узлом раздвижных опор обеспечивающего центрирование в скважине

Исследование работы подобного узла раздвижных опор показал, что все сектора равнопрочные, таким образом в прочностных расчетах достаточно использовать только один сектор [4, с 70]. Например при помощи системы автоматизации инженерных расчётов было получено напряженно-деформированное состояние узла сектора раздвижных опор для пакерной системы используемой для геолого-технических мероприятий при борьбе с по-

глощением в скважинах пробуренных долотом габарита 220,7 мм (Рисунок 6). При анализе полученных результатов было выявлено, что максимальные напряжения в секторе составляют $\sigma_{\max} = 114$ МПа, в то время как допустимые напряжения для стали 45ХН равняются $[\sigma] = 360$ МПа, таким образом $\sigma_{\max} < [\sigma]$ – удовлетворяет условию не разрушения материала.

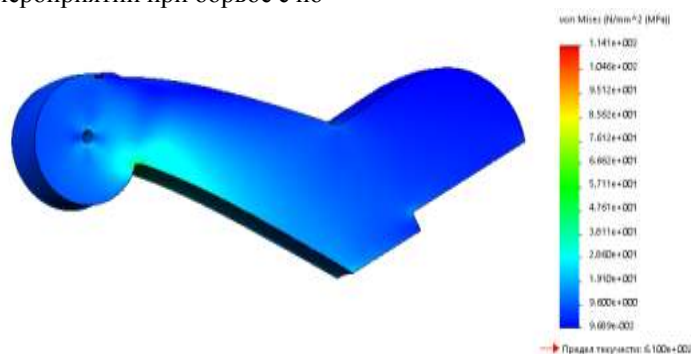


Рисунок 6 Напряженно-деформированное состояние сектора раздвижных опор.

В заключение можно отметить, что применение существующих конструкций раздвижных опор не обеспечивает в достаточной степени сохранность эксплуатационных характеристик резиновых манжет пакерных систем применяемых в необсаженном стволе скважины при условиях необходимости многократно-повторяющихся посадок, в связи с чем увеличивается риски возникновения. С целью решения вышеуказанной технической задачи предлагается использовать раздвижные опоры секторного исполнения, которые центрируют пакерную систему перед посадкой и исключают выдавливание эластомера в кольцевое пространство скважины при возникновении перепада давлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Копейкин И.С. Исследование эффективности применения пакерно-якорных систем при селективных работах в необсаженном стволе нефтяных и газовых скважин // 75 лет нефтяному образованию в республике Башкортостан: тез. докл. Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 70-летию УГНТУ. – Уфа: Изд-во ООО "РН-БашНИПИнефть". – 2018. – С. 99.
2. Копейкин И.С. Способы диагностики технического состояния пакера для необсаженного ствола скважины / Р.С. Миргородский Опыт, проблемы и перспективы развития неразрушающих методов контроля и диагностики машин и агрегатов: сборник научных трудов Международной

научно-технической конференции «Вибродиагностика машин и агрегатов нефтяной промышленности» / отв. ред. Р.Н. Сулейманов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2017. С. 276-283.

3. Патент на полезную модель 182823 Российская Федерация, МПК E21B 33/12. Пакерный модуль для автономной изоляции интервалов негерметичности в необсаженной скважине /И.С Копейкин, А.В. Лягов, Ф.З. Булюкова. – Заяв. 26.06.2018; опубл. 04.09.2018, Бюл. №25.

4. Копейкин И.С. Использование математических методов для расчетов напряженно деформированного состояния базовых узлов пакерно-якорного комплекса, работающего в открытых стволах скважины / А.В. Лягов // Роль математики в становлении специалиста: материалы Всероссийской научно-методической конференции / редкол.: Р.А. Исмаков и др. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015. – 70 с.

5. Копейкин И.С., Савельев А.В. Пакер-подвеска хвостовика для многостадийного гидроразрыва пласта // Материалы 69-й науч.-техн. конф. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2018. С.254-283

6. Копейкин И.С., Савельев А.В., Черкасов И.А. Применение пакера-подвески хвостовика с использованием гидравлического инструмента активации // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2018: сборник трудов международной научно-технической конференции: в 2-х томах. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2018. С.63-67.

Nazarov S.

*Dr.Sci.Tech., professor, chief specialist of the Moscow research television institute***ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И ПАКЕТНОЙ ОБРАБОТКИ**

Назаров С.

*Д-р техн. наук, профессор, главный специалист**Московского научно-исследовательского телевизионного института***Abstract**

The Onboard Computing Systems (OCS) find broad application in the aircraft and space equipment and also in land and water mobile objects. Development of the onboard equipment is characterized by continuous increase in number of solvable tasks, increase in their complexity, expansion of intellectual and adaptive opportunities. For the period of the solution of the tasks assigned to OCS tight temporary restrictions are imposed. Performance of these of the requirement results in need of the organization of parallel computation processes. The similar situation develops at the organization of computation process supercomputers. Even at their high performance the tasks intended for them, can take considerable time and be carried out, as a rule, repeatedly. In this regard even within the most powerful supercomputers optimization of computation process for the purpose of rational expenditure of computing resources at the simultaneous requirement of performance of a certain set of tasks (package) in the set temporary restrictions is required. In article the approach to the organization of computation process based on methods of network planning and management, the theory of counts and schedules is offered.

Аннотация

Бортовые вычислительные системы (БВС) находят широкое применение в авиационной и космической технике, а также в наземных и водных подвижных объектах. Развитие бортового оборудования характеризуется постоянным увеличением числа решаемых задач, повышением их сложности, расширением интеллектуальных и адаптивных возможностей. На время решения задач, возлагаемых на БВС, накладываются жесткие временные ограничения. Выполнение этих требования приводит к необходимости организации параллельных вычислительных процессов. Подобная ситуация складывается при организации вычислительного процесса суперкомпьютерах. Даже при высокой их производительности предназначенные для них задачи, могут занимать значительное время и выполняться, как правило, неоднократно. В связи с этим даже в рамках мощнейших суперкомпьютеров требуется оптимизация вычислительного процесса с целью рационального расходования вычислительных ресурсов при одновременном требовании выполнения определенного набора задач (пакета) в заданные временные ограничения. В статье предлагается подход к организации вычислительного процесса, основанный на методах сетевого планирования и управления, теории графов и расписаний.

Keywords: multiprocessor system, information and connected tasks, tier-parallel form, parallel computation process.

Ключевые слова: многопроцессорная система, информационно-связанные задачи, ярусно-параллельная форма, параллельный вычислительный процесс.

1. Параллельные вычислительные процессы в системах реального времени**1.1. Постановка задачи**

Пусть задана структура приложения, состоящего из некоторого множества информационно-связанных частей (задач) с известным (ожидаемым) временем выполнения каждой задачи. Предполагается, что это время определяется элементарным вычислителем (процессором или ядром) многопроцессорной бортовой вычислительной системы. Структуру подлежащего выполнению приложения

удобно представить графом, например, как это показано на рис. 1.1, который будем далее использовать для иллюстрации решения поставленной задачи:

$G = \{ \langle z_i, t_i \rangle \mid i = 1, \dots, M \}$, где z_i – номер задачи (вершины) в графе (первая цифра), t_i – время решения задачи (вторая цифра в вершине графа), M – количество задач в пакете G .

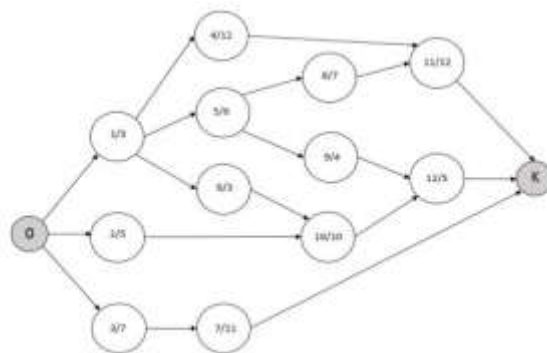


Рис. 1.1. Граф решаемых задач

В нашем примере вычисления начинаются в вершине О и завершаются в вершине К (здесь вершины О и К – фиктивные, используются как исходная и завершающая точки процесса выполнения задач). Дуги графа представляют собой передачу результатов вычислений от задачи z_i к задаче z_j . Длительность передачи является весом дуги, обозначим ее соответственно t_{ij} . Поскольку предполагается, что решение набора задач производится на мультипроцессоре и оперативная память является общей для всех процессоров, будем считать, что $t_{ij} = 0$.

Требуется организовать вычислительный процесс многопроцессорной (многоядерной) бортовой вычислительной системы таким образом, чтобы выполнить все задачи набора за минимально возможное в данной системе время, т.е. найти такое расписание выполнения задач по процессорам:

$Schedule_Z = \{z_i, t_{n(i)}, t_{3(i)}, n_i\}$, которое обеспечивает $\min T_Z$ при заданном количестве вычислителей, где $t_{n(i)}$ – время начала выполнения задачи z_i , $t_{3(i)}$ – время завершения выполнения задачи z_i , n_i – номер процессора, выделенного для выполнения задачи z_i .

1.2. Решение задачи

1.2.1. Проверка возможности организации параллельного вычислительного процесса

Известно, что существующий в графе задач G критический путь определяет минимальный срок выполнения всех работ, т.е. в нашем случае минимальное время выполнения заданного набора задач. Для нахождения перечня вершин, образующих критический путь, и его длины можно использовать различные методы, в том числе метод линейного программирования.

Потенциальную параллельность выполнения заданного набора задач можно определить, преобразовав граф задач в ярусно-параллельную форму. Ярусно-параллельная форма графа (ЯПФ) – деление вершин ориентированного ациклического графа на перенумерованные подмножества V_j такие, что, если дуга идет от вершины $v_l \in V_j$, к вершине $v_m \in V_k$, то обязательно $j < k$.

Каждое из множеств V_j называется ярусом ЯПФ, j – его номером, количество вершин $|V_j|$ в ярусе – его шириной. Количество ярусов в ЯПФ называется её высотой, а максимальная ширина её ярусов – шириной ЯПФ. Для ЯПФ графа алго-

ритма важным является тот факт, что операции, которым соответствуют вершины одного яруса, не зависят друг от друга (не находятся в отношении связи), и поэтому заведомо существует параллельная реализация алгоритма, в которой они могут быть выполнены параллельно на разных устройствах вычислительной системы. Поэтому ЯПФ графа алгоритма может быть использована для подготовки такой параллельной реализации алгоритма.

Минимальной высотой всех возможных ЯПФ графа является его критический путь. Построение ЯПФ с высотой, меньшей критического пути, невозможно. Если в составе яруса могут быть вершины, находящиеся в различных отношениях (например, параллельности или альтернативы, что типично для граф-схем параллельных алгоритмов), ярус называется сечением, а ЯПФ – множеством сечений. Наличие более одного отношения между вершинами сечения существенно усложняет большинство алгоритмов обработки.

Для получения ЯПФ предварительно необходимо построить матрицу смежности исходного графа. Матрица смежности – это квадратная матрица размерностью $(M+1) \times (M+1)$, (где M – число вершин графа), однозначно представляющая его структуру. Обозначим ее как $A = [a_{ij}]$, где каждый элемент матрицы определяется следующим образом: $a_{ij} = 1$, если есть дуга (i, j) , $a_{ij} = 0$, если нет дуги (i, j) . В нашем примере матрица смежности будет иметь следующий вид, приведенный на рис. 1.2.

Алгоритм распределения модулей системы по уровням:

1. Находим в матрице нулевые строки. В нашем случае это только одна строка с номером 13.
2. Вершина с этим номером образует нулевой уровень ЯПФ.
3. Вычеркиваем столбцы с номерами найденных вершин. В нашем случае – столбец 13.
4. Находим в матрице нулевые строки (7, 11, 12). Это вершины 1-го уровня.
5. Вычеркиваем столбцы с номерами 7, 11, 12.
6. Находим в матрице нулевые строки (3, 4, 8, 9 и 10). Это вершины 2-го уровня.
7. Вычеркиваем столбцы с номерами найденных вершин.
8. Находим в матрице нулевые строки (2, 5, 6). Это вершины 3-го уровня.
9. Вычеркиваем столбцы с номерами 5, 6.
10. Вершина с номером 1 образует 4-й уровень.

номер вершины	номер вершины													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 1.2. Матрица смежности

Полученная таким образом ЯПФ заданного набора задач представлена на рис. 1.3. Алгоритм определения критического пути в ЯПФ графа приведен в [1]. В нашем случае это довольно просто сделать перебором всех возможных путей. Такой путь длиной в 28 единиц процессорного времени образует последовательность вершин $W_{кр} = \{1, 5, 8, 11\}$. Из рисунка следует, что высота ЯПФ равна четырем, минимальная ширина – $B_{мин} = 1$, а максимальная – $B_{макс} = 5$. Таким образом граф задач далеко не прямоугольный, что неудобно для организации параллельного вычислительного процесса. Визуально из рис. 1.3 понятно, что граф можно легко переформатировать, не меняя связей между вершинами, например, можно переместить вершину 3 на 4-й уровень. Что же касается вершины 2, то для ее перемещения на уровень 4, нужно проверить, не приведет ли этот шаг к задержке выполнения вершины 10. А если и задержит, то это не

должно привести к увеличению длины критического пути.

Действительно, начало времени выполнения вершины 10 зависит от времени завершения вершин 2 и 6. Однако пока неизвестно, какая вычислительная производительность будет выделена на каждый ярус, ответить на этот вопрос невозможно. Поэтому окончательное расписание вычислительного процесса можно составить только после решения вопроса о количестве процессоров, выделенных для решения задач, представленных графом G .

Далее будем считать, что можно использовать некоторое количество процессоров в заданном диапазоне. Предварительно целесообразно определить минимальную вычислительную мощность $T_{мин}$, которая позволит реализовать заданный набор задач. Ее легко найти, просуммировав времена реализации всего набора задач:

$$T_{мин} = \sum_{i=1}^{M-1} t_i.$$

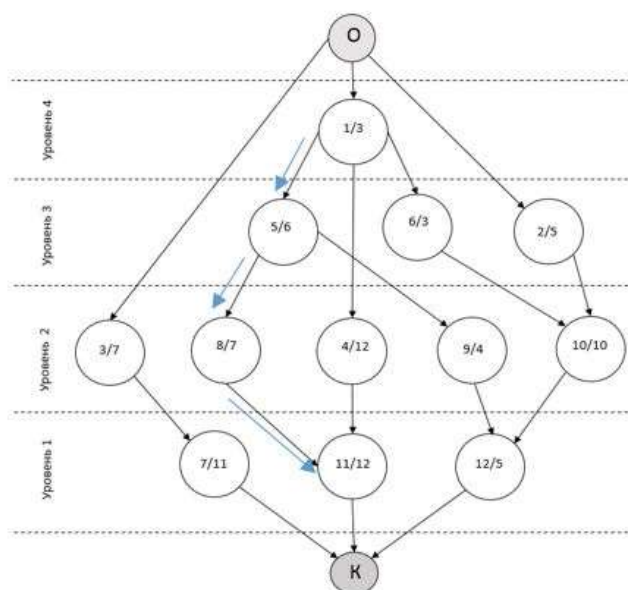


Рис. 1.3. Граф задач в ЯПФ

1.2.2. Выбор количества процессоров для параллельного вычислительного процесса

В нашем примере $T_{\min} = 85$. При этом вычислительная нагрузка по ярусам не равномерна и составляет следующие значения:

$$T_1 = 28, T_2 = 40, T_3 = 14, T_4 = 3 \quad (1.1)$$

Также неравномерна и ширина ярусов графа G :

$$B_1 = 3, B_2 = 5, B_3 = 3, B_4 = 1 \quad (1.2)$$

Очевидной является необходимость перестройки ЯПФ графа решаемых задач. Однако, как следует из рис. 1.3, вершины 2 и 3 можно передвинуть в четвертый ярус, а вершину 4 – в третий ярус, получив тем самым более прямоугольную ЯПФ (рис. 1.4). После такой реорганизации графа вычислительная нагрузка по ярусам составит следующие значения:

$$T_1 = 28, T_2 = 21, T_3 = 21, T_4 = 15 \quad (1.3)$$

Ширина ярусов становится одинаковой и равна трем. Для дальнейшего упрощения задачи можно поступить следующим образом. Выделим отдельный процессор на реализацию критического пути в графе. Его загрузка составит 28 единиц. Для выполнения оставшейся вычислительной работы, равной 57 единицам, потребуется как минимум 2 процессора. Однако при этом неизбежно превышение времени выполнения всего набора задач по сравнению с найденным временем критического пути. Кроме того, встает вопрос о том, какие из оставшихся задач (кроме входящих в критический путь) на какой процессор необходимо назначить. При этом желательно обеспечить равномерность загрузки процессоров.

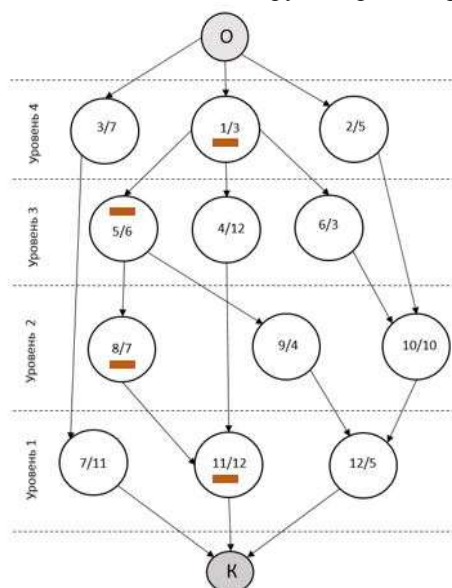


Рис. 1.4. Преобразованная ЯПФ

Рассмотрим возможную постановку задачи в данной ситуации. Размещение задач по процессорам удобно представить двудольным графом вида $G = (Z, P, E)$, где E – множество дуг, отображающих размещение множества задач. Требуется так распределить множество задач $Z' = \{z_2, z_3, z_4, z_6, z_7, z_9, z_{10}, z_{12}\}$ по процессорам P (второй и третий), чтобы разница в загрузке процессоров была минимальной и все задачи Z были выполнены. Если ограничений на размещение задач по процессорам нет, то в таком графе каждая вершина $z_i \in Z'$ соединена дугами со всеми вершинами P

(рис. 1.5). Поставим в соответствие дугам E графа G множество переменных $X = \{x_{ij} | i \in I, j = 2, 3\}$. Каждая переменная x_{ij} образуется по правилу $x_{ij} = 1$, если будет принято решение выполнять задачу z_i на втором процессоре p_2 (первый процессор выделен на задачи критического пути). В противном случае $x_{ij} = 0$ и задача выполняется на третьем процессоре.

Применительно к графовой интерпретации задача сводится к отысканию частичного графа $G_o = (Z, P, E_o)$, где $E_o \subseteq E$. При этом множество найденных дуг E_o определит значение булевых переменных $X_o = \{x_{ij} | i \in I, j = 2, 3\}$.

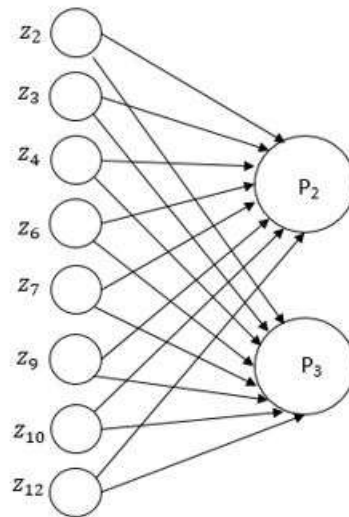


Рис. 1.5. Графовая интерпретация задачи о назначениях

$$C = \left(\sum_{i \in I} \sum_{j=2} t_{ij} * x_{i2} - \sum_{i \in I} \sum_{j=3} t_{ij} * x_{i3} \rightarrow \min \right) \quad (1.4)$$

Определим ограничения задачи. Первая группа ограничений связана с тем фактом, что каждая задача в результате решения должна быть назначена только на один вычислитель. Это условие записывается следующим соотношением:

$$\forall i \sum_{j=2}^{j=3} x_{ij} = 1. \quad (1.5)$$

Вторая группа ограничений должна обеспечить равномерную нагрузку процессоров. Поскольку общая загрузка второго и третьего процессоров составляет 57 единиц, целесообразно задач

следующие ограничения по загрузке каждого процессора:

$$\sum_{i \in I} t_{ij} * x_{ij} \leq 28, j = 2, 3. \quad (1.6)$$

Поскольку все переменные задачи – двоичные, вторая группа ограничений имеет следующий вид:

$$\forall x_{ij} \in \{0,1\} \quad (1.7)$$

Решение легко получить в электронных таблицах. По полученному решению распределение задач по процессорам представлено на рис. 1.6.

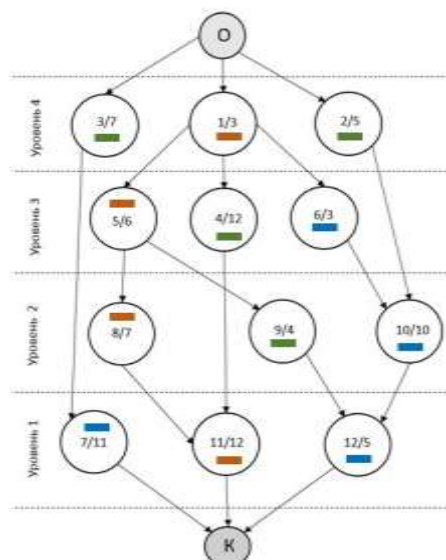


Рис. 1.6. Распределение задач по процессорам (– 1-й процессор, – 2-й процессор, – 3-й процессор)

1.2.3. Разработка расписания

Согласно полученному решению загрузка процессоров распределяется следующим образом: процессор 1 – 28; процессор 2 – 26; процессор 3 – 29. Однако анализируя граф, представленный на рис. 8, легко видеть, что на первом и четвертом уровнях

занято не три, а два процессора. Кроме того, такое распределение задач по процессорам не учитывает их информационной связности. Поэтому при разработке расписания необходимо учитывать следующие два обстоятельства:

1. Задержка в завершении задач, не лежащих на критическом пути, до определенного момента может не влиять на срок завершения всего набора задач. Такие задачи обладают резервом времени – таким промежутком времени, на который может быть отсрочено завершение задачи без нарушения сроков завершения критического пути.

2. При составлении расписания с целью сокращения возможных простоев можно переносить выполнение запланированной к выполнению задачи с одного процессора на другой, если при этом не меняется последовательность выполнения, обусловленная информационными связями задач. Такая возможность связана с тем, что процессоры имеют общую память.

Резерв времени показывает, сколько имеется в запасе времени для выполнения данной задачи, на которое можно увеличить продолжительность данной задачи, не изменяя при этом продолжительности пути, которому принадлежит задача. Резерв времени задачи z_i определяется как разность между наиболее поздним t_i^p и ранним t_i^r сроками выполнения задачи и временем выполнения самой задачи: $R_i = t_i^p - t_i^r - t_i$. Поздний срок t_i^p – это такой срок завершения задачи, превышение которого вызовет задержку в реализации задач, лежащих на критическом пути. Определим резервы времени, исходя из условия, что время завершения задачи не должно увеличивать величину критического пути. Для этого вначале определяем наиболее ранние сроки начала выполнения задач, рассматривая вычислительный процесс, начиная с вершины O:

1) Для задач уровня 4:

$$t_1^p = 0; t_2^p = 0; t_3^p = 0.$$

2) Для задач уровня 3 (здесь надо учитывать наиболее раннее выполнение задач предшествующего уровня):

$$t_4^p = 3; t_5^p = 3; t_6^p = 3.$$

3) Для задач уровня 2:

$$t_8^p = 9; t_9^p = 9; t_{10}^p = 6.$$

4) Для задач уровня 1:

$$t_7^p = 7; t_{11}^p = 16; t_{12}^p = 16.$$

После этого определяем наиболее поздние сроки завершения задач, начиная с вершины K:

1) Для задач уровня 1:

$$t_7^p = 28; t_{11}^p = 28; t_{12}^p = 28.$$

2) Для задач уровня 2:

$$t_8^p = 16; t_9^p = 23; t_{10}^p = 23.$$

3) Для задач уровня 3:

$$t_4^p = 16; t_5^p = 9; t_6^p = 13.$$

4) Для задач уровня 4:

$$t_1^p = 3; t_2^p = 13; t_3^p = 17.$$

Определяем резервы времени для выполняемых задач, которые могут быть использованы для снижения возможных простоев процессоров:

1) Для задач уровня 4:

$$R_1 = 3 - 0 - 3 = 1; R_2 = 13 - 0 - 5 = 8; R_3 = 17 - 0 - 7 = 10.$$

2) Для задач уровня 3:

$$R_4 = 16 - 3 - 12 = 1; R_5 = 9 - 3 - 6 = 0; R_6 = 13 - 3 - 3 = 7.$$

3) Для задач уровня 2:

$$R_7 = 16 - 9 - 7 = 0; R_9 = 23 - 9 - 4 = 10; R_{10} = 23 - 6 - 10 = 7.$$

4) Для задач уровня 1:

$$R_7 = 28 - 7 - 11 = 10; R_{11} = 28 - 16 - 12 = 0; R_{12} = 28 - 16 - 5 = 7.$$

Построим диаграмму загрузки процессоров, исходя из поярусной последовательности выполнения задач. Очевидно, что задачи с нулевым значением резерва времени принадлежат критическому пути и должны выполняться без задержек. Следующими должны выполняться задачи с минимально возможными резервами времени и т.д. При этом следует учитывать наличие информационной связи между задачами. Построить оптимальный план распределения задач по процессорам с учетом этих условий достаточно сложно, поскольку данная задача относится к классу NP-полных. Поэтому целесообразно использовать эвристические алгоритмы, дающие достаточно хорошее решение.

Пример эвристического алгоритма:

1. Рассматриваем задачи высшего уровня N. Назначаем на процессоры задачи, готовые к выполнению.

2. Переходим к следующему уровню N = N-1 (уровень 3). Если N=0, конец.

3. На процессор с минимальным временем освобождения назначаем задачу яруса, имеющую минимальный резерв времени на выполнение.

4. Если не все задачи текущего уровня назначены на процессоры, переходим к п.3 алгоритма. Если все задачи текущего уровня назначены на процессоры, переходим к п. 2.

Построим расписание, используя этот алгоритм.

1. Рассматриваем задачи высшего уровня N=4. Назначаем на процессоры задачи, готовые к выполнению. В нашем случае это задачи z_1, z_2, z_3 .

2. Переходим к следующему уровню N = N-1 (уровень 3).

3. На процессор с минимальным временем освобождения (в нашем случае процессор 1, красный цвет на диаграмме) назначаем задачу яруса, имеющую минимальный резерв времени на выполнение. Это задача z_5 .

4. На процессор с минимальным временем освобождения (в нашем случае процессор 1, красный цвет на диаграмме) назначаем задачу яруса, имеющую минимальный резерв времени на выполнение. Это задача z_5 .

5. Так как не все задачи уровня 3 назначены на процессоры выбираем задачу текущего уровня с минимальным резервом времени. Это задача z_4 . Назначаем ее на процессор с минимальным временем освобождения (процессор 3).

6. Оставшуюся задачу уровня 3 z_6 назначаем на процессор 2. Все задачи текущего уровня назначены. Переходим к п. 2 алгоритма, N= 3 - 1. Переход на уровень 2.

7. На процессор 1 назначаем задачу z_8 , имеющую нулевой резерв времени. На процессоры 2 и 3 назначаем задачи z_{10} и z_9 . Все задачи уровня 2 назначены. Переходим к п. 2 алгоритма, N= 2 - 1. Переход на уровень 1.

8. На процессор 1 назначаем задачу z_{11} , имеющую нулевой резерв времени. На процессоры 2 и 3 назначаем оставшиеся задачи.

9. Все задачи уровня 1 назначены. Переходим к п. 2 алгоритма, $N = 1 - 1 = 0$. Конец.

Как видно из диаграммы (рис. 1.8), время реализации заданного пакета задач составляет 31 единицу времени при длине критического пути 28 единиц.

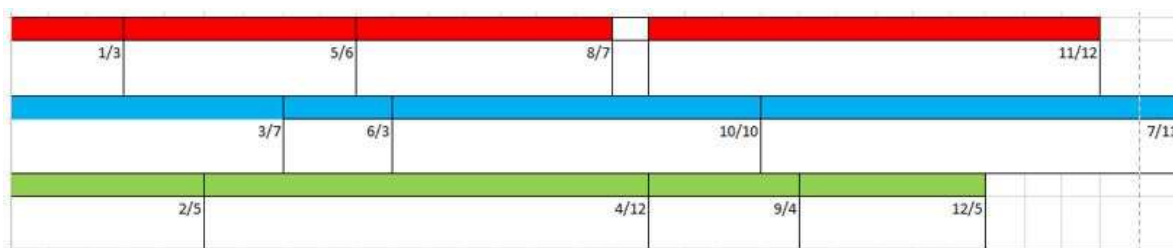


Рис. 1.8. Диаграмма загрузки процессоров для попарного выполнения задач

Дальнейшее улучшение расписания можно получить, учитывая тот факт, что в полученном расписании загрузка процессоров неравномерная и, следовательно, имеется возможность улучшения плана за счет увеличения загрузки третьего процессора. Это можно получить, если вместо задач 9 и 12 на этом процессоре выполнять задачу 7, а задачи 9 и 12 выполнять на втором процессоре. Для проверки возможности такой замены нужно пересчитать времена наиболее позднего завершения этих

задач, исходя из реально возможного значения критического пути, который в нашем примере равен 29. Такая проверка показывает, что перестановка возможна. Скорректированный план загрузки процессоров представлен на рис. 1.9. Заметим, что еще одну возможность оптимизации плана дает допустимость прерывания задачи и продолжение ее решения на другом процессоре.



Рис. 1.9. Итоговая диаграмма загрузки процессоров

2. Параллельные вычислительные процессы в системах пакетной обработки

2.1. Представление структуры приложения и постановка задачи

Будем считать, что выполнение приложения производится на суперкомпьютере IBM типа Power или z. Известна структура приложения, состоящего из некоторого множества информационно-связанных частей (задач) с известным (ожидаемым) временем выполнения каждой задачи. Предполагаем, что каждая задача выполняется отдельным логическим (виртуальным сервером) в логическом разделе LPAR, в который устанавливается гостевая операционная система. Считаем, что это время определяется элементарным вычислителем (процессором) многопроцессорного компьютера. Взаимодействие LPAR внутри физического сервера обеспечивается общей оперативной памятью или

использованием виртуальной сети – HyperSocket [2]. Структуру подлежащего выполнению приложения удобно представить взвешенным ориентированным графом, как это показано на рис. 2.1, который будем далее использовать в качестве иллюстративного примера решения поставленной задачи (общность предлагаемого решения задачи от этого не изменится):

$G = \{ \langle s_i, s_j \rangle, t_{ij} \mid j > i, i = 0, 1, \dots, M-2, j = 1, 2, \dots, M-1 \}$, где s_i, s_j – номера событий (вершины) в графе, t_{ij} – время решения задачи (вес соответствующей дуги), M – количество задач в пакете G . Считаем, что временные характеристики приложения известны по результатам его разработки и определены из условия выполнения каждой задачи приложения на одном процессоре (в одном LPAR) суперкомпьютера, выбранного для реализации этого приложения.

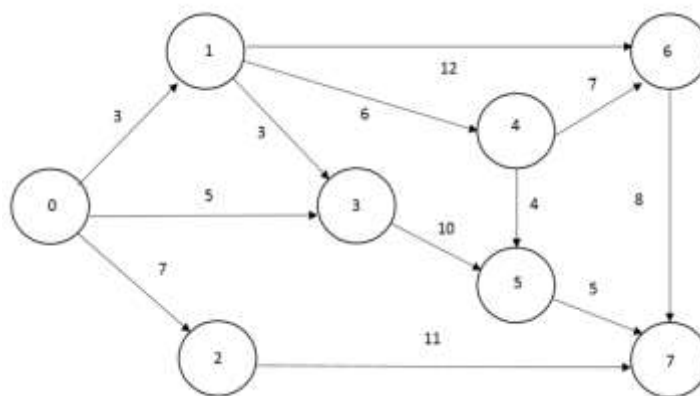


Рис. 2.1. Структура приложения

Требуется разработать план $P_{opt}(G)$ реализации заданного набора задач (ЗНЗ), обеспечивающий выполнение этих задач за время $T(G)$, не превышающее требуемого директивного значения T_d при условии минимизации ресурсов $Rs(G)$, занятых в процессе выполнения ЗНЗ. Таким образом, требуется найти такой план

$$P_{opt}(G) \in \{P(G) | T(G) \leq T_d\} \quad (2.1)$$

при котором обеспечивается

$$\min Rs(G) = Rs(G) | P_{opt}(G) \quad (2.2)$$

Здесь правая часть выражения (2.1) означает множество возможных планов организации вычислительного процесса, которые обеспечивают завершение ЗНЗ за требуемое время. Оптимальным из этого множества будет план, для которого выполняется условие (2.2). Правая часть выражения (2.2) означает, что оптимальный план реализуется с минимальными затратами ресурсов системы.

Заметим, что решению задачи в постановке (2.1) – (2.2) или несколько иной форме посвящено достаточно много публикаций. Например, в [3] дана схема планирования работы параллельного суперкомпьютера, в фундаментальной монографии [4] даются методы статического планирования и балансировки нагрузки в параллельных и распределенных системах. Здесь содержится обзор и подробное обсуждение широкого спектра тем: от теоретических основ до практических методов планирования и распределения нагрузки. Значительное количество публикаций посвящено распараллеливанию алгоритмов и программ (например, [5]) а также методам параллельных вычислений при решении ряда задач оптимизации, методам организации оптимальных параллельных вычислительных процессов управления и информационного обслуживания, методам диспетчирования и синхронизации, применением методов параллельного

программирования при разработке GRID-технологий [6]. В отличие от подобных публикаций, целью настоящей статьи является организация вычислительного процесса в суперкомпьютерах с динамически управляемыми разделами. При этом задача в постановке (2.1) – (2.2) заключается в минимизации требуемого числа разделов (т.е. минимизация требуемых ресурсов) при условии выполнения ЗНЗ в требуемое директивное время.

Для дальнейшей формализации задачи будем использовать понятия сетевого планирования и управления. В нашем случае работы представляются дугами графа $\langle s_i, s_j \rangle$, или просто (i, j) , причем для любой дуги $j > i$. Обмен информацией между задачами инициируется событиями, например, событие s_1 инициирует завершение работы $\langle s_0, s_1 \rangle$, длительностью t_{01} , возможность запуска вычислений $\langle s_1, s_4 \rangle$, $\langle s_1, s_6 \rangle$, и $\langle s_1, s_{31} \rangle$. Организация вычислительного процесса при выполнении данного приложения сводится к определению временных параметров сетевого графика и к его оптимизации по длительности выполнения всего комплекса задач и затратам вычислительных ресурсов в соответствии с заданными требованиями. Следует иметь в виду, что, как правило, на суперкомпьютере выполняется в пакетном режиме несколько различных приложений, и вычислительные ресурсы для реализации каждого из них ограничены.

2.2. Решение задачи

2.2.1. Определение величины критического пути и резервов времени по отдельным вычислительным работам.

Результаты расчета сетевой модели выполнения пакета задач, представленного на рис. 2.1, приведены в табл. 2.1. Работы, не имеющие резерва времени и выделенные жирным шрифтом, образуют критический путь $T_{kr} = 24$.

Таблица расчетов параметров сетевого графика

Работа (ij)	Продолжи- тельность работы t_{ij}	Ранее начало работы $t_{ij}^{p.n}$	Ранее окончание работы $t_{ij}^{p.o}$	Позднее начало работы $t_{ij}^{п.н}$	Позднее окончание работы $t_{ij}^{п.o}$	Общий резерв работы R_{ij}	Частный резерв работы r_{ij}
(01)	3,00	0,00	3,00	0,00	3,00	0,00	0,00
(02)	7,00	0,00	7,00	6,00	13,00	6,00	0,00
(03)	5,00	0,00	5,00	4,00	9,00	4,00	0,00
(13)	3,00	3,00	6,00	6,00	9,00	3,00	0,00
(14)	6,00	3,00	9,00	3,00	9,00	0,00	0,00
(16)	12,00	3,00	15,00	4,00	16,00	1,00	0,00
(27)	11,00	7,00	18,00	13,00	24,00	6,00	0,00
(35)	10,00	6,00	16,00	9,00	19,00	3,00	3,00
(45)	4,00	9,00	13,00	15,00	19,00	6,00	0,00
(46)	7,00	9,00	16,00	9,00	16,00	0,00	0,00
(57)	5,00	16,00	21,00	19,00	24,00	3,00	3,00
(67)	8,00	16,00	24,00	16,00	24,00	0,00	0,00

2.2.2. Минимизация длины критического пути

Имеющийся резерв времени по работам, не лежащим на критическом пути, свидетельствует о том, что имеется возможность изъятия ресурсов, выделенных на некоторые работы, с целью добавления ресурсов на работы, лежащие на критическом пути. Это приведет к уменьшению длины критического пути, т.е. к сокращению всего цикла выполняемых вычислений. В нашем примере суммарный резерв времени составляет значение

$$R = \sum_{i=0}^{M-2} \sum_{j=1}^{M-1} R_{ij} = 32.$$

Передача ресурса от какой-либо работы означает увеличение ее выполнения на величину изъятых ресурсов, добавление ресурса к другой работе, лежащей на критическом пути, означает уменьшение ее выполнения на величину добавленного ресурса. Например, изъятие половины резерва, т.е. трех единиц ресурса от работы (02) означает ее удлинение до 10 единиц времени. Это означает, что для ее выполнения нужен будет виртуальный процессор со следующим значением доли физического процессора

$$V_{02} = \frac{t_{02}}{t_{02} + 0,5 * R_{02}} = \frac{7}{7 + 0,5 * 6} = 0,7.$$

Изъятый ресурс можно добавить с целью сокращения критического пути, например, к работе (67). При этом время выполнения этой работы уменьшится с 8 до 5 единиц времени, но для выполнения этой работы потребуется виртуальный процессор со следующим значением доли физического процессора

$$V_{67} = \frac{t_{67}}{t_{67} - 0,5 * R_{02}} = \frac{8}{8 - 0,5 * 6} = 1,6.$$

Для решения задачи минимизации критического пути необходимо построить модель линейного программирования с целью определения значений T_{kr} для различных вариантов перераспределения ресурсов. Удобно это сделать в электронных таблицах, например, Excel. Воспользуемся для этого формализацией задачи поиска критического пути, предложенной в [7]. Исходные данные удобно представить в форме таблицы (табл. 2).

Таблица 2.2

Исходные данные для решения задачи поиска критического пути

	Переменные	X ₀₁	X ₀₂	X ₀₃	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₆	X ₂₇	X ₃₅	X ₄₅	X ₄₆	X ₅₇	X ₆₇	Огранич. функция	Ограниче- ние
	Значения переменных	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Номера узлов	0	1	1	1										3	1
	1	-1			1	1	1							2	0
	2		-1					1						0	0
	3			-1	-1				1					-1	0
	4					-1				1	1			1	0
	5								-1	-1		1		-1	0
	6						-1				-1		1	-1	0
	t_{ij}	3	7	5	3	6	12	11	10	4	7	5	8		

Задача поиска критического пути на основе табл. 2 заключается в определении значения функции

$$T_{kr} = \sum_{i=0}^{i=6} \sum_{j=1}^{j=7} t_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \max \quad (2.3)$$

при следующих ограничениях:

$$1 \cdot x_{01} + 1 \cdot x_{02} + 1 \cdot x_{03} = 1; \quad (2.4)$$

$$-1 \cdot x_{01} + 1 \cdot x_{13} + 1 \cdot x_{14} + 1 \cdot x_{16} = 0 \quad (2.5)$$

$$-1 \cdot x_{02} + 1 \cdot x_{27} = 0; \quad (2.6)$$

$$-1 \cdot x_{03} - 1 \cdot x_{13} + 1 \cdot x_{35} = 0; \quad (2.7)$$

$$-1 \cdot x_{14} + 1 \cdot x_{45} + 1 \cdot x_{46} = 0; \quad (2.8)$$

$$-1 \cdot x_{35} - 1 \cdot x_{45} + 1 \cdot x_{57} = 0; \quad (2.9)$$

$$-1 \cdot x_{16} - 1 \cdot x_{46} + 1 \cdot x_{67} = 0; \quad (2.10)$$

$$\forall x_{ij} \in \{0, 1\} | i = 0, 1, \dots, 6; j = 1, 2, \dots, 7. \quad (2.11)$$

Решение задачи (2.3) – (2.11) для исходного графа сетевой модели показано на рис. 2.2.

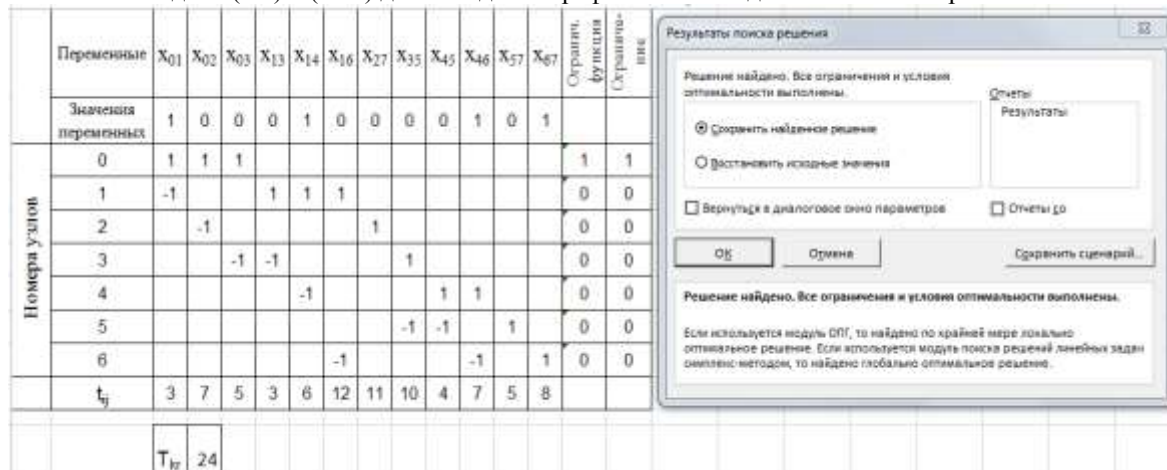


Рис. 2.2 Критический путь исходного графа сетевой модели

Определим теперь, как изменится величина критического пути, если 4 единицы резерва изъять у работы (45) и передать их для выполнения работе (67). При этом задача (45) будет выполняться 8 единиц времени, а задача (67) – 4 единицы времени. Решение задачи в этом случае показано на рис. 3 и дает значение критического пути, равное 22. Если рассчитанное значение критического пути окажется больше директивного, можно рассмотреть другие варианты использования резервов других работ, пока не будет полученное требуемое значение критического пути. Если этого не удастся сделать за счет резервов в выполнении работ, необходимо увеличить количество ресурсов для их выполнения (в рассматриваемой задаче мы исходили из предположения, что каждой задаче выделяется один процессор).

2.2.3. Минимизация количества ресурсов выполнения пакета без увеличения длины критического пути

Будем считать, определенный выше критический путь, равный 24 единицам времени, соответствует директивному времени решения заданного пакета задач, т.е. $T_{kr} = T_d$. В этом случае становится актуальной задача минимизации ресурсов (в нашем случае количества процессоров), необходимых для реализации всех задач при условии невышшения длины критического пути. Другими словами, длительности выполнения всех работ пакета нужно изменить так, чтобы длина любого пути в графе была в идеале равна длине критического

пути. Практически все вычислительные работы будут увеличены с учетом возможных резервов времени для их выполнения.

Для формализации задачи введем дополнительные обозначения:

t_{ij}^x – время выполнения работы (ij) после минимизации количества выделяемых ресурсов;

T_i^x – время свершения событий в графе работ (события отождествляются с вершинами графа);

N – исходное число процессоров, которое позволяет выполнить все работы по принципу: один процессор на одну работу;

N_m – минимальное количество процессоров, которое будет получено в результате решения оптимизационной задачи (пока еще без учета возможности их параллельной работы). Значение минимального количества процессоров определяется как сумма долей физических процессоров в виртуальных единичных процессорах логических разделах LPAR, т.е.

$$N_m = \sum_{i=0}^{i=6} \sum_{j=1}^{j=7} d_{ij},$$

где d_{ij} – доля физического процессора соответствующего виртуального процессора LPAR, необходимая для выполнения работы (ij) после минимизации количества выделяемых ресурсов,

$$d_{ij} = 1 - \frac{(t_{ij}^x - t_{ij})}{t_{ij}^x}.$$

В качестве целевой функции задачи выбираем время занятости процессоров (полное машинное время) на решение пакета задач – его нужно минимизировать за счет использования имеющихся резервов времени на выполнение отдельных задач. Таким образом, целевая функция имеет следующий вид:

$$\sum_{i=0}^{i=6} \sum_{j=1}^{j=7} t_{ij} - \sum_{i=0}^{i=6} \sum_{j=1}^{j=7} (t_{ij}^x - t_{ij}) \rightarrow \min \quad (2.12)$$

Первое слагаемое этой функции представляет собой полные затраты машинного времени на решение всего пакета задач. Второе – экономии машинного времени при условии того, что можно увеличить время решения некоторых задач за счет имеющегося резерва времени на их выполнение (здесь $(t_{ij}^x - t_{ij}) \geq 0$). Рассмотрим ограничения, которые должны учитываться при решении этой задачи.

Первый вид ограничений связан с принятым условием использования для решения задачи

только имеющихся резервов для выполнения задач пакета. Отсюда следует система ограничений для продолжительности выполнения работ следующего вида:

$$t_{ij} + R_{ij} \geq t_{ij}^x \geq t_{ij}. \quad (2.13)$$

Второй вид ограничений должен обеспечить такое изменение длительности выполнения всех работ пакета, чтобы длина любого пути в графе была в идеале равна длине критического пути. В рассматриваемом примере таких путей шесть (перечислим их последовательностями вершин графа): $P_1: 0-2-7$; $P_2: 0-3-5-7$; $P_3: 0-1-6-7$; $P_4: 0-1-3-5-7$; $P_5: 0-1-4-5-7$; $P_6: 0-1-4-6-7$. Ограничения на длину этих путей имеют следующий вид:

$$L_i(P_i) \leq T_{kr} | 1 = 1, 2, \dots, M-1 \quad (2.14)$$

Решение задачи (2.12) – (2.14) показано на рис. 2.4 и 2.5.

Операция	Продолжительность работы t_{ij}	R_{ij}	$t_{ij} + R_{ij}$	t_{ij}^x	$t_{ij}^x - t_{ij}$	Исходное число процессоров N	Минимальное число процессоров $N_{\min}$	Путь	Сумма работ по пути
(01)	3	0	3	3	0	1	1,00	0-2-7	24
(02)	7	6	13	13	6	1	0,54	0-3-5-7	24
(03)	5	4	9	9	4	1	0,56	0-1-6-7	24
(13)	3	3	6	6	3	1	0,50	0-1-3-5-7	24
(14)	6	0	6	6	0	1	1,00	0-1-4-5-7	24
(16)	12	1	13	13	1	1	0,92	0-1-4-6-7	24
(27)	11	6	17	11	0	1	1,00		
(35)	10	3	13	10	0	1	1,00		
(45)	4	6	10	10	6	1	0,40		
(46)	7	0	7	7	0	1	1,00		
(57)	5	3	8	5	0	1	1,00		
(67)	8	0	8	8	0	1	1,00		
	81			101	20	12	9,92		
Итого		61							

Рис. 2.4. Представление задачи (2.12) – (2.14) в электронных таблицах

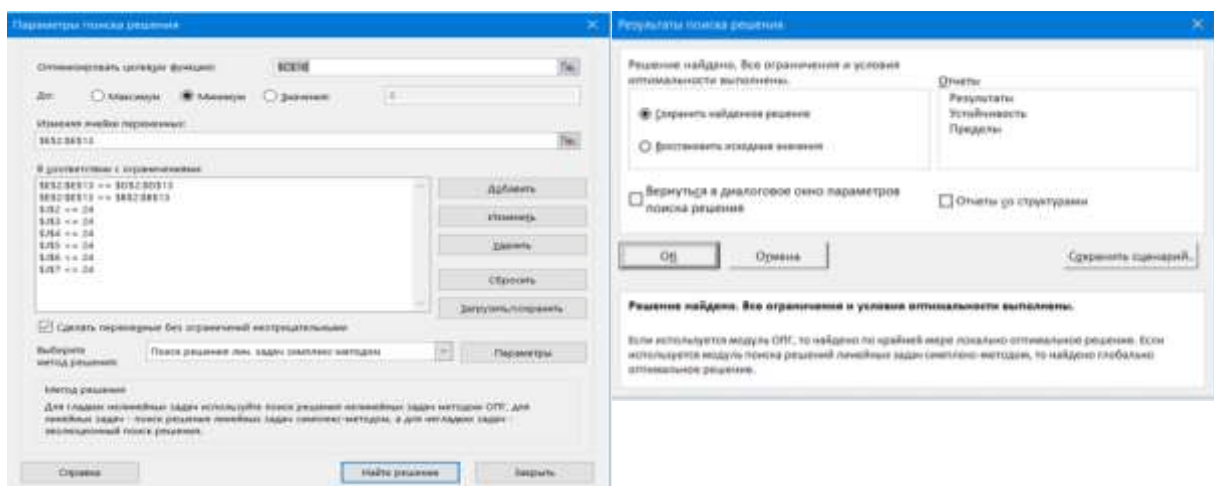


Рис. 2.5. Решение задачи (10) – (12) в электронных таблицах

Как видно из результата решения задачи минимизации использования ресурсов, число процессоров для реализации пакета задач без увеличения длины критического пути можно сократить с 12 до 10. Однако структура пакета свидетельствует о возможной параллельности работы этих процессоров при выполнении задач пакета.

2.2.4. *Возможности организации мультипроцессорного выполнения пакета задач, представленного сетевой моделью*

Потенциальную параллельность выполнения заданного набора задач можно определить, преобразовав граф задач в ярусно-параллельную форму.

Для получения ЯПФ пакета задач, представленного в форме сетевой модели, как показано на рис. 1, его предварительно необходимо преобразовать, заменив дуги графа (работы) вершинами. В преобразованном графе (рис. 2.6) номера вершин соответствуют работам, длительность которых пересчитана в соответствии с решением задачи (2.12) – (2.14) по рис. 2.4.

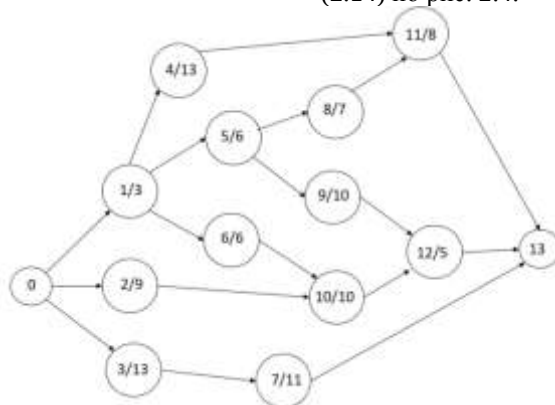


Рис. 2.6. Преобразованный граф пакета задач приложения

Получить ЯПФ можно, построив матрицу смежности графа. В нашем примере матрица смежности будет иметь следующий вид, приведенный на рис. 2.7.

Алгоритм распределения модулей системы по уровням:

1. Находим в матрице нулевые строки. В нашем случае это только одна строка с номером 13.

2. Вершина с этим номером образует нулевой (низший) уровень ЯПФ.

3. Вычеркиваем столбцы с номерами найденных вершин. В нашем случае – столбец 13.

4. Находим в матрице нулевые строки (7, 11, 12). Это вершины 1-го уровня.

5. Вычеркиваем столбцы с номерами 7, 11, 12.

6. Находим в матрице нулевые строки (3, 4, 8, 9 и 10). Это вершины 2-го уровня.

7. Вычеркиваем столбцы с номерами найденных вершин.

8. Находим в матрице нулевые строки (2, 5, 6). Это вершины 3-го уровня.

9. Вычеркиваем столбцы с номерами 5, 6.

10. Вершина с номером 1 образует 4-й уровень.

ЯПФ графа задач пакета, полученная на основе матрицы смежности представлена на рис. 2.8.

		номер вершины													
номер вершины		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 2.7. Матрица смежности

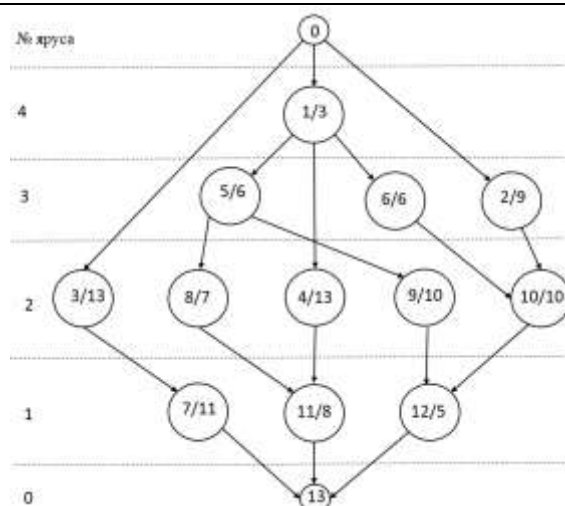


Рис. 2.8. ЯПФ графа пакета задач приложения

Построенный граф задач в ЯПФ далеко не прямоугольный, что неудобно для организации параллельного вычислительного процесса. Визуально из рис. 2.8 понятно, что граф можно легко перестроить, не меняя связей между вершинами, например, можно переместить вершины 2 и 3 на 4-й уровень, а вершину 4 – на 3-й. После таких преобразований

граф примет вид, показанный на рис. 2.9. Здесь у каждой вершины курсивом дано число долей физического процессора, которое необходимо разделу LPAR выполнения задачи в соответствии с решением, минимизирующим количество ресурса процессоров для выполнения всего пакета задач (рис. 2.4).

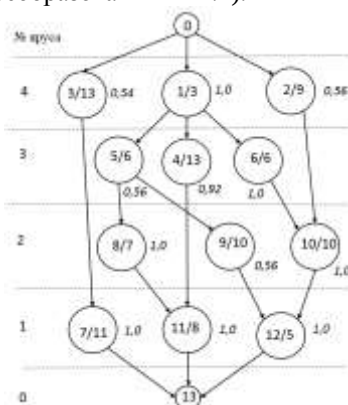


Рис. 2.9. ЯПФ пакета задач приложения

По ЯПФ (рис. 2.9) легко построить план реализации вычислительного процесса во времени. На рис. 2.10 сверху показана шкала времени (равная длине критического пути), под которой обозначены временные промежутки реализации задач пакета. В нижней части диаграммы приведены сведения о необходимом количестве логических разделов LPAR и количестве долей физических процессорных модулей (здесь необходимо округление с учетом дис-

кретности выделения 0,1), образующих виртуальные процессоры разделов. Вертикальными стрелками показаны передачи данных между разделами. Конкретное представление найденного плана выполнения вычислительных работ по реализации ЗНЗ $P_{opt}(G)$ зависит от особенностей диспетчера вычислительной системы и в статье не рассматривается.



Рис. 2.10. Диаграмма выполнения вычислительных работ пакета

Заключение

Несмотря на принципиальные различия систем реального времени и пакетной обработки в данной работе дан достаточно общий подход к организации вычислительного процесса в подобных системах. Представлена совокупность математических моделей, формулировок задач и подходов к их решению, позволяющих построить расписание параллельного вычислительного процесса для реализации информационно-связанных задач на многопроцессорных вычислительных системах. Даны модели наборов решаемых задач в форме нагруженного графа и в ярусно-параллельной форме, решение задач о назначениях задач на процессоры и алгоритм составления расписания параллельного вычислительного процесса. Показано, что методы сетевого планирования и управления, методы организации мультипроцессорного планирования и управления могут быть успешно использованы в достаточно широком классе вычислительных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Назаров С.В. Операционные системы специализированных вычислительных комплексов: теория построения и системного проектирования. – М.: Машиностроение, 1989. – 400 с.
2. Руководство по внедрению IBM HyperSockets. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.redbooks.ibm.com/abstracts/sg246816.html>
3. Polychronopoulos C.D. and Kuck D.J. Guided Self-Scheduling: A Practical Scheduling Scheme for Parallel Supercomputers. IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTERS, VOL. C-36, NO 12, pp. 1425–1439 (Dec 1987).
4. Shirazi B., Hurson A., Krishna M. Scheduling and Load Balancing in Parallel and Distributed Systems. 1995, Wiley-IEEE Computer Society Pr. 520 P.
5. Карпов В. Е. Введение в распараллеливание алгоритмов и программ. Компьютерные исследования и моделирование 2010. Т. 2 № 3 С. 231–272.
6. Барский А.Б. Параллельное программирование. 2-е изд. – М.: Интуит, 2016. – 345 с.
7. Вагнер Г. Основы исследования операций. Том 1. Пер. с англ. Изд. «МИР». – М.: 1972. – 336 с.

STABILITY OF SHELLS OF VARIOUS SHAPES OF VARIABLE THICKNESS FROM A NONLINEAR ELASTIC MATERIAL DURING CREEP

Sadigov I.

УСТОЙЧИВОСТЬ ОБОЛОЧЕК РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ ИЗ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ

Садыгов И.Р.

Abstract

Shells of various shapes are now widely used in various sectors of construction and industry as the most optimal designs with high load-bearing capacity, which can be equipped with stiffening ribs, and significantly increase their strength characteristics.

The paper considers the stability issues of shells having a variable thickness and made of nonlinear elastic material. In the case of taking into account physical nonlinearity and the manifestation of creep, the functional of the total energy of the calculated shell is determined.

Аннотация

Оболочки различной формы в настоящее время нашли широкое применение в различных отраслях строительства и промышленности как наиболее оптимальные конструкции, обладающие высокой несущей способностью, которые могут снабжены рёбрами жёсткости, и в значительной степени повышают свои прочностные характеристики.

В работе рассмотрены вопросы устойчивости оболочек, имеющих переменную толщину и изготовленных из нелинейно – упругого материала. В случае учёта физической нелинейности и проявления ползучести определяется функционал полной энергии рассчитываемой оболочки.

Keywords: shell, stability, stiffening ribs, nonlinear elastic material, functional, creep, critical load, variable thickness, unit columnar functions, strain rate, program complexes, allowable stress.

Ключевые слова. Оболочка, устойчивость, рёбра жёсткости, нелинейно–упругий материал, функционал, ползучесть, критическая нагрузка, переменная толщина, единичные столбчатые функции, интенсивность деформаций, программные комплексы, допускаемое напряжение.

Оболочка – это тело, обладающее такими свойствами, при которых у него один из размеров значительно меньше остальных размеров. Как правило, оболочка ограничена двумя или более криволинейными поверхностями.

Оболочка может быть изготовлена из различных материалов: дерева, полиэтилена, стали, кожи, бетона, органического стекла, ткани, полимеров и

многих других. Наиболее часто применяются оболочки в авиастроении и аэрокосмической отрасли, в которых они используются как корпуса ракет, самолетов, баки с горючим, ёмкости для технологических жидкостей и т.п.

На рис. 1 представлены различные виды оболочек.



Здание в Пекине.

Часть фюзеляжа самолета «Боинг»

Шаровой резервуар.

Рис. 1. Примеры оболочек в различных областях промышленности.

Как видно из приведенных выше рисунков, оболочки могут быть как цельными, так и составными, состоящими из нескольких соединенных друг с другом листов, секций, сеток, стержней или более мелких оболочек.

Оболочки могут иметь различные формы: цилиндрические, конические, тороидальные, сферические, пирамидальные и сложные, состоящие из нескольких оболочек простой формы.

Также существуют стрелчатые, крестовые, парусные оболочки, форма которых, однако, является производной от цилиндрической оболочки.

В настоящее время большое внимание инженеров, ученых, механиков уделяется уникальным свойствам цилиндрических и сферических оболочек. Это объясняется тем, что они, образованные из стержней, пластин, отдельных листов, обладают высокой несущей способностью, легкостью, технологичностью при изготовлении и высокую ремонтопригодность. При использовании оболочек в строительстве, они позволяют максимально использовать строительный объем без применения внутренних опор и перекрытий. Оболочки дают возможность перекрывать большие проемы, с учетом опирания их только по периметру перекрываемой площади. Примерами таких уникальных оболочек являются купола церквей и соборов.

В конце XIX начале XX века российские инженеры предложили выполнять протяженные по площади оболочки крыш зданий с применением гнутого свода, выполняемого из сетчатых конструкций.

Оболочки могут обладать переменной толщиной, иметь различные по направлениям плотность, упругость, то есть обладать анизотропией свойств. Кроме того, оболочки могут быть снабжены ребрами жесткости, которые в значительной степени меняют их прочностные характеристики. При эксплуатации оболочки, применяют несколько видов их крепления: шарнирное, шарнирно-неподвижное, с опиранием на боковые элементы, с закреплением по опорному контуру, с внутренним опиранием или комбинированные.

Если оболочка изготовлена из мягких материалов, то требуется вести учет изменения ее физико-

механических свойств, которые обусловлены старением, ползучестью и усталостью.

Ползучесть – это медленное увеличение деформаций конструкции вследствие длительных нагрузок.

Ползучесть влияет на устойчивость оболочки, снижая ее с течением времени. Причем деформации оболочки, которые вызывает ползучесть, проявляются не сразу. Нагрузки, обусловленные ползучестью, проявляют себя различным образом на линейно-упругой, многослойной, нелинейно-упругой оболочке. В результате решения задач по ползучести оболочки определяют критическую нагрузку, при которой оболочка начинает терять устойчивость, а также критическое время, после которого оболочка потеряет устойчивость.

Таким образом, необходимо учитывать не только пространственные изменения оболочки по координатным осям x, y, z , но и четвертый параметр – время, так как нагрузки от ползучести имеют зависимость от времени. Зависимость деформации оболочки от времени не является линейной функцией и описывается кривой ползучести, которая строится при постоянной температуре изучаемого образца.

Рассмотрим вопросы устойчивости оболочек, имеющих переменную толщину и изготовленных из нелинейно-упругого материала при ползучести.

Изучение ползучести в процессе эксперимента производят при следующих напряженных состояниях:

- одноосном растяжении;
- сжатии;
- чистом сдвиге.

Изучение ползучести при сложном деформированном состоянии проводят, как правило, на тонкостенных оболочках, либо на образцах, представляющих собой трубу.

В случае применения оболочек, имеющих переменную толщину $h(x, y)$, происходит увеличение величины нагрузки, которую можно приложить к оболочке без потери ее устойчивости. Данное свойство оболочек проявляется при одинаковых объемах оболочек, имеющих переменную толщину.

В качестве такой оболочки рассмотрим оболочку с ребрами жесткости (см. рис. 2).

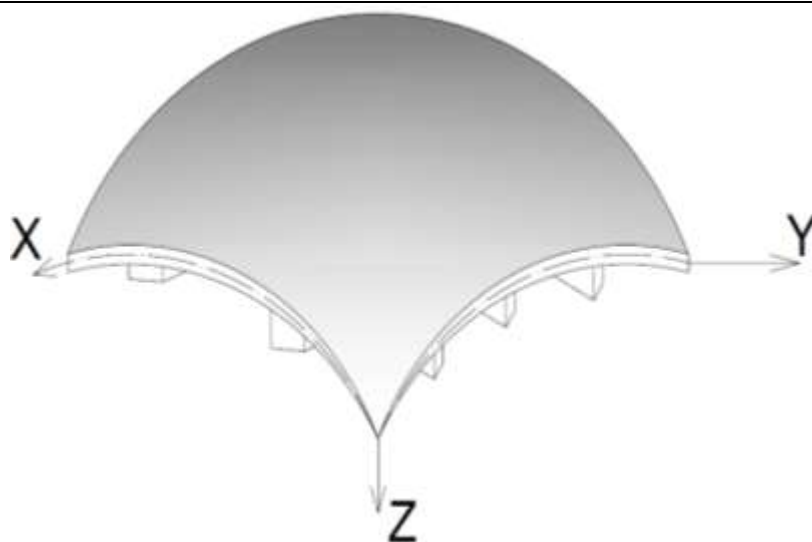


Рис. 2. Схема оболочки с ребрами жесткости.

Математическая модель рассматриваемой оболочки включает:

- связь деформаций и перемещений;
- связь напряжений и деформаций;
- уравнения равновесия или функционала полной энергии деформации оболочки.

Рассмотрим уравнения, учитывающие эти начальные условия.

Для системы координат, к которой привязана оболочка на рис. 2, соответствуют следующие геометрические соотношения:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} - K_x w \quad (1)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial u}{\partial y} - K_y w \quad (2)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \quad (3)$$

где $u(x, y)$; $v(x, y)$; $w(x, y)$ – функции перемещения точек, расположенных на координатной поверхности оболочки вдоль соответственно осей x , y , z ;

K_x , K_y – главные кривизны оболочки, расположенные вдоль осей x и y .

Высота расположения ребер на оболочке описывается уравнением:

$$H(x, y) = \sum_{j=1}^m h^j \bar{\delta}(x - x_j) + \sum_{i=1}^n h^i \bar{\delta}(y - y_i) - \sum_{i=1}^n h^{ij} \bar{\delta}(x - x_j) \bar{\delta}(y - y_i), \quad (4)$$

где h^i , h^j – высота, ширина ребра, которое параллельно оси y ;

m – число ребер, расположенных в этом направлении;

h^i , h^j – высота и ширина ребра, которое параллельно оси x ;

n – число ребер, расположенных параллельно оси x ;

$h^{ij} = \min\{h^i, h^j\}$; $\bar{\delta}(x - x_j)$; $\bar{\delta}(y - y_i)$ – единичные столбчатые функции для переменных x и y . Функции равны 1,0 в тех местах, где ребро присоединяется к оболочке.

Выражения нормальных и касательных напряжений, действующих на оболочку при нелинейно-упругом деформировании материала, будут иметь вид:

$$\sigma_x = \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot [(1 - \omega(\varepsilon_i)) \cdot (\varepsilon_x^2 + \mu \varepsilon_y^2)], \quad (5)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot [(1 - \omega(\varepsilon_i)) \cdot (\varepsilon_y^2 + \mu \varepsilon_x^2)], \quad (6)$$

$$\tau_{xy} = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)} \cdot [1 - \omega(\varepsilon_i)] \cdot \gamma_{xy}^2 \quad (7)$$

В случае учета физической нелинейности оболочки и проявления ползучести определяют функционал полной энергии рассматриваемой оболочки, который имеет вид:

$$\mathfrak{A} = \mathfrak{A}_y - \mathfrak{A}_c, \quad (8)$$

где $\mathfrak{A}_y$ – функционал для ребристой нелинейно-упругой оболочки;

$\mathfrak{A}_c$ – функционал, учитывающий ползучесть материала оболочки.

Указанные выше величины определяются по формулам:

$$\begin{aligned} \mathfrak{A}_y = & \frac{E}{2(1 - \mu^2)} \cdot \int_0^a \int_0^b \{ (h + \bar{F}) \cdot (\varepsilon_x^2 + 2\mu \cdot \varepsilon_x \varepsilon_y + \varepsilon_y^2 + \mu_1 \cdot \gamma_{xy}^2) + \\ & + 2\bar{S} \cdot [\varepsilon_x \chi_1 + \mu \varepsilon_x \chi_2 + \varepsilon_y \chi_2 + \mu \varepsilon_y \chi_1 + 2\mu_1 \gamma_{xy} \chi_{12}] + \\ & + \left(\frac{h^3}{12} + J \right) \cdot [\chi_1^2 + 2\mu_1 \gamma_{12} \chi_2 + \chi_2^2 + 4\mu \chi_{12}^2] \\ & - \frac{2(1 - \mu^2)}{E} q \cdot w \} dx dy, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{где } \mu_1 = 0,5 \cdot (1 - \mu)$$

$$\begin{aligned} \Theta_c = & \frac{E}{2(1-\mu^2)} \cdot \int_0^a \int_0^b \int_0^t \{ (h + \bar{F}) \cdot (\varepsilon_x^2 + 2\mu\varepsilon_x\varepsilon_y + \varepsilon_y^2) + \\ & + 2\bar{S}[\varepsilon_x\chi_1 + \mu\varepsilon_x\chi_2 + \varepsilon_y\chi_2 + \mu\varepsilon_y\chi_1] + \left(\frac{h^3}{12} + J\right) [\chi_1^2 + \\ & + 2\mu_1\chi_1\chi_2 + \chi_2^2] \} \times \\ & \times R_1(t, \tau) + [(h + \bar{F}) \cdot \mu_1\gamma_{xy}^2 + 2\bar{S}(2\mu_1\gamma_{xy}\chi_{12}) + \\ & + \left(\frac{h^3}{12} + J\right) 4\mu_1\chi_{12}^2] R_2(t, \tau) \} dx dy d\tau \end{aligned} \quad (10)$$

Функционал имеет сложную зависимость от геометрических размеров оболочки, интенсивности деформаций, а также функций перемещения точек, расположенных на координатной поверхности оболочки вдоль соответственно осей x, y, z .

При рассмотрении бетонной оболочки с учетом указанных выше расчетных зависимостей применяется условие прочности теории Кулона – Мора. Оно наиболее приемлемо для проведения расчетов в специализированных программных комплексах:

$$\sigma_1 - \frac{R_{bl}}{R_b} \cdot \sigma_3 \leq \sigma_{доп}, \quad (9)$$

где σ_1, σ_3 – главные напряжения, которые определяются для точки с координатой:

$$z = -\frac{h}{2} \quad (10)$$

Данная точка расположена на верхней поверхности оболочки, показанной на рис. 2. Допускаемое напряжение на оболочку, с учетом коэффициента запаса прочности $k=2$, вычисляется по формуле:

$$\sigma_{доп} = \frac{R_{bl}}{k} \quad (11)$$

Применяя формулу перехода к безразмерному параметру для расчета напряжения:

$$\bar{\sigma} = \frac{a^2 \sigma}{E} \quad (12)$$

можно определить значения допускаемых напряжений $\sigma_{доп}$ для нескольких вариантов рассматриваемых оболочек с учетом класса бетона.

Допускаемая нагрузка на оболочку с применением формулы перехода к безразмерным параметрам определяется по формуле:

$$\sigma_{доп} = \frac{E \cdot P_{доп}}{a^{-4}} \quad (12)$$

В таблице 1 приведены результаты расчета допускаемой нагрузки на бетонную оболочку.

Таблица 1

Допускаемые нагрузки на бетонную оболочку с ребрами

Число ребер оболочки	Допускаемая нагрузка $q_{доп} \cdot 10^3$, МПа	
	класс бетона В55	класс бетона В30
6	2,72	2,33
18	3,89	3,34

Как видно, с увеличением количества ребер на оболочке значительно повышается величина допускаемой нагрузки на оболочку.

Деформации оболочки с учетом явления ползучести и потери устойчивости в результате ее влияния показали следующее. Для бетона с развитием во времени деформации ползучести возникает интенсивный рост прогибов оболочки, который в 10-15 раз начинает превышать прогиб в момент времени $t=0$. Время, за которое происходит превышение прогиба в 10 раз от прогиба в начальный момент времени, называется $t_{кр}$.

С учетом ползучести для оболочки без ребер при безразмерном значении нагрузки $\bar{P}=40000$ $t_{кр}=55$ суток. При безразмерном значении нагрузки $\bar{P}=50000$ для оболочки с ребрами $t_{кр}=128$ суток.

Заключение. Расчет напряженно – деформированного состояния оболочки с учетом явления ползучести и потери устойчивости показал, что наличие ребер на оболочке, выполненной из нелинейно – упругого материала, позволяет увеличить нагрузки на оболочку, и продлить время работы оболочки без потери прочности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Киселёв В.В., Долгих Д.В. Нелинейно-упругие узоры из вмятин на поверхностях нагруженных пластин и оболочек. М., Физматлит, 2012, 164с.
2. Немировский Ю.В. Ползучесть однородных композитных оболочек // Актуальные проблемы механики оболочек: Тр. международной конференции. 2000. С 42-49.
3. Пшеничников Г.И. Теория тонких упругих сетчатых оболочек и пластинок. – М.: Наука. Главная редакция физико – математической литературы, 1982, 352 с.
4. Рикардс Р.Б., Тетерс Г.А. Устойчивость оболочек из композитных материалов. – Рига, изд – во «Зинатне», 1974.
5. Садигов И.Р. Физически нелинейные осесимметричные деформации двухслойных ребристых цилиндрических оболочек. Вестник Азербайджанской Инженерной Академии, том 1, № 1, 2009.
6. Сухов М.Ф., Кожанов Д.А. Нелинейные задачи строительной механики. Учебное пособие. Нижний Новгород, 2017. 66 с.

№39/2020

Norwegian Journal of development of the International Science

ISSN 3453-9875

VOL.1

It was established in November 2016 with support from the Norwegian Academy of Science.

DESCRIPTION

The Scientific journal “Norwegian Journal of development of the International Science” is issued 12 times a year and is a scientific publication on topical problems of science.

Editor in chief – Karin Kristiansen (University of Oslo, Norway)

The assistant of the editor in chief – Olof Hansen

- James Smith (University of Birmingham, UK)
 - Kristian Nilsen (University Centre in Svalbard, Norway)
 - Arne Jensen (Norwegian University of Science and Technology, Norway)
 - Sander Svein (University of Tromsø, Norway)
 - Lena Meyer (University of Gothenburg, Sweden)
 - Hans Rasmussen (University of Southern Denmark, Denmark)
 - Chantal Girard (ESC Rennes School of Business, France)
 - Ann Claes (University of Groningen, Netherlands)
 - Ingrid Karlsen (University of Oslo, Norway)
 - Terje Gruterson (Norwegian Institute of Public Health, Norway)
 - Sander Langfjord (University Hospital, Norway)
 - Fredrik Mardosas (Oslo and Akershus University College, Norway)
 - Emil Berger (Ministry of Agriculture and Food, Norway)
 - Sofie Olsen (BioFokus, Norway)
 - Rolf Ulrich Becker (University of Duisburg-Essen, Germany)
 - Lutz Jäncke (University of Zürich, Switzerland)
 - Elizabeth Davies (University of Glasgow, UK)
 - Chan Jiang (Peking University, China)
- and other independent experts

1000 copies

Norwegian Journal of development of the International Science

Iduns gate 4A, 0178, Oslo, Norway

email: publish@njd-iscience.com

site: <http://www.njd-iscience.com>