

ISSN 2077-3153

# НАУЧНАЯ ПЕРСПЕКТИВА

Научно-аналитический журнал



## В номере

Влияние эмоционально-личностных нарушений на внутреннюю картину болезни и качество жизни при болезни Паркинсона

Расчетные варианты строения гидроокиси титанила

Комбинированный цикл АЭС с ВТГР

Некомпактные бифуркации слоёв Лиувилля фазового пространства одной гамильтоновой системы вращения

1/2022

# Научная перспектива

## Научно-аналитический журнал

Периодичность – один раз в месяц

№ 1 (143) / 2022

### Учредитель и издатель

Издательство «Инфинити»

### Главный редактор

к.э.н. Хисматуллин Дамир Равильевич

### Редакционный совет:

*Алиев Шафа Тифлис оглы — доктор экономических наук. Профессор кафедры «Мировая экономика и маркетинг» Сумгайтского Государственного Университета Азербайджанской Республики, член Совета-научный секретарь Экспертного совета по экономическим наукам Высшей Аттестационной Комиссии при Президенте Азербайджанской Республики*

*Ларионов Максим Викторович — доктор биологических наук, член-корреспондент МАНЭБ, член-корреспондент РАН. Профессор Балашовского института Саратовского национального исследовательского государственного университета.*

*Савельев Игорь Васильевич — кандидат юридических наук*

*Гинзбург Ирина Сергеевна — кандидат философских наук*

*Ходарцевич Константин Александрович — кандидат технических наук*

*Зарянин Владислав Климентьевич — кандидат экономических наук*

Точка зрения редакции может не совпадать с точкой зрения авторов публикуемых статей. Ответственность за достоверность информации, изложенной в статьях, несут авторы.

Перепечатка материалов, опубликованных в журнале «Научная перспектива», допускается только с письменного разрешения редакции.

### Адрес редакции:

450000, Уфа, а/я 1515

Адрес в Internet: [www.naupers.ru](http://www.naupers.ru)

E-mail: [post@naupers.ru](mailto:post@naupers.ru)

© Журнал «Научная перспектива»

© ООО «Инфинити»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации)

Свидетельство о государственной регистрации **ПИ №ФС 77-38591**

ISSN 2077-3153 печатная версия

ISSN 2219-1437 электронная версия в сети Интернет

Тираж 750 экз. Цена свободная.

---

---

# СОДЕРЖАНИЕ

## ЮРИДИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Е.А. Ляшенко, О.С. Левин, Е.Е. Васенина.* Влияние эмоционально-личностных нарушений на внутреннюю картину болезни и качество жизни при болезни Паркинсона 5

## ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Ю.Я. Бобыренко.* Расчетные варианты строения гидроокиси титанила 8

## ФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИ

- В.В. Денисенко.* Дивергенция энергии в черной дыре 10

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

- О.А. Загрядский.* Некомпактные бифуркации слоёв Лиувилля фазового пространства одной гамильтоновой системы вращения 13

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- А.Г. Ильченко, П.С. Шеберстов.* Комбинированный цикл АЭС с ВТГР 29

- Н.С. Исаев, С.В. Олейников.* Современные методы анализа силовых трансформаторов 31

- П.Ю. Цветкова, Е.А. Градалёва.* Лабораторные методы определения зоны высоких напряжений в грунтовом массиве 36

- Н.М. Шевцов.* Средства обеспечения безопасности при работе грузоподъёмных машин 38

- Н.В. Ефанов.* Требования по обеспечению безопасности при эксплуатации грузоподъёмных машин 40

- Е.А. Ковалёва.* Виды оптических разветвителей. Спланные (FBT) и планарные (PLC) оптические разветвители 42

- С.С. Вылцан, В.П. Буллер, К.И. Губин, Ю.С. Зенюк.* Особенности проведения гидравлических испытаний воздухопборников подъёмных машин 44

<i>Р.Е. Багжанов, Р.К. Собянин, В.С. Котяшев.</i> Методы исследования энергетических процессов в зданиях и помещениях	46
<i>Б.Э. Гончаров.</i> Метод неразрушающего контроля. акустико-эмиссионный контроль	48
<i>А.Н. Андреев, С.В. Кулябин, К.И. Губин, С.С. Вылцан.</i> Проблемы и качество проведения экспертизы промышленной безопасности технических устройств, зданий и сооружений	50
<i>С.В. Кулябин, К.И. Губин, С.С. Вылцан, А.Н. Андреев.</i> Метод расчета остаточного ресурса металлоконструкций крана мостового типа	52
<i>Л.С. Каминский, Ф.Л. Каминский, И.А. Пятницкий, И.Г. Федоров.</i> Повышение эффективности использования приборов безопасности	56

## АДВОКАТ КАК ПРЕДСТАВИТЕЛЬ ПО ГРАЖДАНСКИМ ДЕЛАМ

*Аяс Хеймер-оолович ДОНГАК*

студент

Тувинский государственный университет

Россия, г. Кызыл

**Аннотация.** Настоящая статья посвящена на тему «адвокат как представитель по гражданским делам». В виду увеличения количества судебных споров и внесения изменений в институт представительства, настоящее исследование является актуальным. Цель работы направлена на изучение основ участия адвоката по гражданским делам, установление степени услуг адвокатов по указанным категориям дел. Не остается без внимания поставленная задача, которая заключается исследование сущности и значения тактики защиты и порядка доказывания.

**Ключевые слова:** Адвокатура, государство, адвокат, адвокатская деятельность, гражданское судопроизводство, доверитель, права человека.

Российская Федерация гарантирует, что человек, его права и свободы являются высшей ценностью. Признание, соблюдение и защита прав и свобод человека и гражданина - обязанность государства. Каждому право на получение квалифицированной юридической помощи [1]. Указанные права являются основополагающими, закреплены в основном законе Российской Федерации - Конституции.

Понятие квалифицированной юридической помощи законодатель определил в Федеральном законе от 31.05.2002 № 63-ФЗ «Об адвокатской деятельности и адвокатуре в Российской Федерации». Адвокатской деятельностью является квалифицированная юридическая помощь, оказываемая на профессиональной основе лицами, получившими статус адвоката в порядке, установленном настоящим Федеральным законом, физическим и юридическим лицам в целях защиты их прав, свобод и интересов, а также обеспечения доступа к правосудию. В свою очередь адвокатом является лицо, получившее в установленном настоящим Федеральным законом порядке статус адвоката и право осуществлять адвокатскую деятельность, незави-

симый профессиональный советник по правовым вопросам [2].

Законодательство об адвокатуре и адвокатской деятельности признает адвоката, как независимо профессионального советника по правовым вопросам. Статус адвоката в Российской Федерации вправе приобрести лицо, которое имеет высшее юридическое образование, полученное по имеющей государственную аккредитацию образовательной программе, либо ученую степень по юридической специальности. Претендент обязан иметь стаж работы по юридической специальности не менее двух лет. В стаж работы по юридической специальности, необходимой для приобретения статуса адвоката, включается работа [2]:

- 1) в качестве судьи;
- 2) на требующих высшего юридического образования государственных должностях в федеральных органах государственной власти, органах государственной власти субъектов Российской Федерации, иных государственных органах;
- 3) на требовавших высшего юридического образования должностях в существовавших до принятия действующей Конституции Российской Федерации государственных органах СССР, РСФСР и Российской Федерации, находившихся на территории Российской Федерации;
- 4) на требующих высшего юридического образования муниципальных должностях;
- 5) на требующих высшего юридического образования должностях в органах Судебного департамента при Верховном Суде Российской Федерации;
- 6) на требующих высшего юридического образования должностях в юридических службах организаций;
- 7) на требующих высшего юридического образования должностях в научно-исследовательских учреждениях;
- 8) в качестве преподавателя юридических дис-

циплин в профессиональных образовательных организациях, образовательных организациях высшего образования и научных организациях;

- 9) в качестве адвоката;
- 10) в качестве помощника адвоката;
- 11) в качестве нотариуса.

Не вправе претендовать на приобретение статуса адвоката и осуществление адвокатской деятельности лица:

- 1) признанные недееспособными или ограниченно дееспособными в установленном законодательством Российской Федерации порядке;
- 2) имеющие непогашенную или неснятую судимость за совершение умышленного преступления.

Таким образом, Российская Федерация предъявляет высокие квалификационные требования лицам, претендующим на приобретение статуса адвоката, так как адвокатами могут быть только дееспособные лица, имеющие высшее юридическое образование и необходимый стаж работы, не имеющие непогашенную судимость. Данное обстоятельство свидетельствует о том, что государство предоставляет гражданам и юридическим лицам возможность защищаться всеми способами, не запрещенными законом с помощью высококвалифицированных специалистов. На адвоката возлагается большая надежда в деле защиты прав, свобод и законных интересов, обеспечении доступа к правосудию.

По данным Адвокатской палаты Республики Тыва, в реестре адвокатов Республики Тыва по состоянию на 2022 год состоит около 250 адвокатов.

Одним из важных направлений адвоката следует отметить деятельность по защите прав, свобод и законных интересов граждан и юридических лиц при разрешении гражданских дел.

Как правило, задачами гражданского судопроизводства являются правильное и своевременное рассмотрение и разрешение гражданских дел в целях защиты нарушенных или оспариваемых прав, свобод и законных интересов граждан, организаций, прав и интересов Российской Федерации, субъектов Российской Федерации, муниципальных образований, других лиц, являющихся субъектами гражданских, трудовых или иных правоотношений. Гражданское судопроизводство должно способствовать укреплению законности и правопорядка, предупреждению правонарушений, формированию уважительного отношения к закону и суду, мирному урегулированию споров [4].

Обратим внимание на то, что заинтересованное лицо вправе обратиться в суд за защитой нарушенных либо оспариваемых прав, свобод или законных интересов. Исковое заявление, заявление, жалоба, представление и иные документы могут быть поданы в суд на бумажном носителе или в электронном виде, в том числе в форме электронного документа участником судебного процесса посредством федеральной государственной информационной системы «Единый портал государственных и муниципальных услуг (функций)». Некоторые заявления подаются в суд после соблюдения претензионного

или иного досудебного порядка урегулирования спора. Точнее, если это предусмотрено федеральным законом для данной категории споров. Прежде всего, это касается споров о защите прав потребителя, расторжении договора и др. Стороны, точнее истец и ответчик, после обращения в суд вправе использовать примирительные процедуры для урегулирования спора.

После получения соответствующего заявления, обратившегося за защитой своих прав, свобод и законных интересов, при условии его соответствия требованиям закона, суд возбуждает гражданское дело. В некоторых случаях гражданское дело может быть возбуждено по заявлению лица, выступающего от своего имени в защиту прав, свобод и законных интересов другого лица, неопределенного круга лиц или в защиту интересов Российской Федерации, субъектов Российской Федерации, муниципальных образований.

Под лицами, участвующими в деле понимаются стороны, третьи лица, прокурор, лица, обращающиеся в суд за защитой прав, свобод и законных интересов других лиц или вступающие в процесс в целях дачи заключения, заявители и другие заинтересованные лица по делам особого производства.

Лица, участвующие в деле, имеют право знакомиться с материалами дела, делать выписки из них, снимать копии, заявлять отводы, представлять доказательства и участвовать в их исследовании, задавать вопросы другим лицам, участвующим в деле, свидетелям, экспертам и специалистам; заявлять ходатайства, в том числе об истребовании доказательств; давать объяснения суду в устной и письменной форме, приводить свои доводы по всем возникающим в ходе судебного разбирательства вопросам, возражать относительно ходатайств и доводов других лиц, участвующих в деле; получать судебные повестки и иные судебные извещения, а также судебные постановления и их копии на бумажном носителе или в электронном виде, в том числе в форме электронного документа; обжаловать судебные постановления и использовать предоставленные законодательством о гражданском судопроизводстве другие процессуальные права. Лица, участвующие в деле, должны добросовестно пользоваться всеми принадлежащими им процессуальными правами. При наличии в суде технической возможности лицам, участвующим в деле, может быть предоставлен доступ к материалам дела в электронном виде в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» посредством информационной системы, определенной Верховным Судом Российской Федерации, Судебным департаментом при Верховном Суде Российской Федерации [4].

Гражданское процессуальное законодательство предоставляет участвующим в деле лицам право вести свои дела в суде лично или через представителей. На мой взгляд, это продолжение той самой нормы, указанной в ст. 48 конституции Российской Федерации, предусматривающей право на защиту. Обратим внимание, что представителями в суде мо-



гут быть дееспособные лица, полномочия которых на ведение дела надлежащим образом оформлены и подтверждены. Иначе говоря, представителями в суде могут выступать адвокаты и иные оказывающие юридическую помощь лица, имеющие высшее юридическое образование либо ученую степень по юридической специальности.

Полномочия адвоката подтверждаются документами служебным удостоверением и ордером, а при необходимости доверенностью. Гражданский процессуальный кодекс РФ предоставил адвокату-представителю ряд процессуальных прав: совершать от имени, представляемого все процессуальные действия. Вместе с тем, следует отметить, что право на подписание искового заявления, предъявление его в суд, передачу спора на рассмотрение третейского суда, предъявление встречного иска, полный или частичный отказ от исковых требований, уменьшение их размера, признание иска, изменение предмета или основания иска, заключение мирового соглашения, передачу полномочий другому лицу (передоверие), обжалование судебного постановления, предъявление исполнительного документа к взысканию, получение присужденного имущества или денег должно быть специально оговорено в доверенности [4].

В отличие от иных оказывающих юридическую помощь лиц, имеющие высшее юридическое образование либо ученую степень, адвокат обладает широкими полномочиями в части собирания доказательств. Прежде всего запрашивать справки, характеристики и иные документы от органов государственной власти, органов местного самоуправления, общественных объединений и иных организаций, опрашивать с их согласия лиц, предположительно владеющих информацией, относящейся к делу, по которому адвокат оказывает юридическую помощь [2].

Процесс согласование позиции по делу и выбор тактики защиты очень важны. Например, в ходе представления интересов ответчика, адвокат, изучив каждый довод искового заявления, осуществляет подготовку к судебному заседанию. При этом ему необходимо решить надлежащий ли способ защиты выбрал истец, нарушены или оспорены ли его права действиями ответчика, каким образом можно опровергнуть предъявленные требования, соответствует ли представленные доказательства критериям оценки, какие вопросы задать для стороны истца и возможным свидетелям итд.

Исход гражданского дела зависит в зависимости от предоставления сторонами тех или иных доказательств в обоснование своих требований или возражений. Каждое доказательство подлежит оценке по критериям относимости, допустимости. Иными словами, суд может принять в основу решения только те доказательства, которые имеют значение для рассмотрения и разрешения дела, полученные с соблюдением требований закона, подтвержденные определенными средствами доказывания.

На стадии судебных прений, в своей речи адвокату необходимо высказаться относительно обстоятельств, на которые его доверитель ссылался. В первую очередь по поводу их доказанности и получения подтверждений. При наличии в материалах дела доказательств, полученных с нарушением закона, представленных противной стороной, адвокату необходимо акцентировать внимание суда на данное обстоятельство.

Отсюда следует вывод, что адвокат, как высококвалифицированный юрист, обеспечивая надлежащую защиту прав, свобод и законных интересов своего Доверителя в ходе рассмотрения гражданского дела, может способствовать к правильному разрешению спора. Его деятельность в данном направлении весьма актуальна.

#### Библиографический список

1. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993 года с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020) Официальный текст Конституции РФ с внесенными поправками опубликован на Официальном интернет-портале правовой информации (электронный ресурс) - режим доступа <http://www.pravo.gov.ru>.
2. Федеральный закон от 31.05.2002 № 63-ФЗ (ред. от 01.03.2021) «Об адвокатской деятельности и адвокатуре в Российской Федерации» // СПС «Консультант Плюс».
3. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) от 30.11.1994 № 51-ФЗ (ред. от 29.06.2021) // СПС «Консультант Плюс».
4. Гражданский процессуальный кодекс Российской Федерации от 14.11.2002 № 138-ФЗ (ред. от 01.07.2021) // СПС «Консультант Плюс».
5. Кодекс профессиональной этики адвоката" (принят I Всероссийским съездом адвокатов 31.01.2003) (ред. от 15.04.2021) // СПС «Консультант Плюс».
6. Адвокатура в России: учебник для вузов / под ред. д.ю.н., проф. В.И. Сергеева. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Юстицинформ, 2019. - 548 с.

## РАСЧЕТНЫЕ ВАРИАНТЫ СТРОЕНИЯ ГИДРООКСИ ТИТАНИЛА

Юрий Яковлевич БОБЫРЕНКО

кандидат химических наук, старший научный сотрудник, доцент  
Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический  
университет (г. Челябинск)

**Аннотация.** На основе простых химических соображений установлено, что составу, совпадающему с составом гидроокиси титанила  $TiO(OH)_2$ , соответствует большое количество различных гидроокисных структур, иногда сочетающих в себе атомы титана(IV) с различными координационными числами. Расчеты показывают, что по мере усложнения структур и накопления в них атомов титана энергетическая прочность соединений увеличивается.

**Ключевые слова:** Гидроокиси титанила, энергия, структуры, строение и компьютерные расчеты.

Гидроокись титанила с формулой  $TiO(OH)_2$  или с формулой  $H_2TiO_3$ , называемая во втором случае метатитановой кислотой, упоминается во многих публикациях научного, технологического и учебного характера. Описывается, как примерно она образуется, отмечена ее сниженная химическая активность по сравнению с нормальным гидроксидом титана(IV). Иногда на базе отдельных физико-химических анализов предполагается ее образование в качестве промежуточного продукта в разных химических производствах, в том числе, и с вкраплениями кристаллитов анатаза или рутила. Однако надежные исследования по поводу ее строения или структуры отсутствуют. Неясно, представляет ли она собой вполне определенное вещество или случайную совокупность разнообразных соединений.

Конструируя с помощью простых химических соображений различные формулы, отвечающие составу гидроокиси титанила и имеющие общий нулевой заряд, с помощью компьютерных расчетов мы оценивали их устойчивость и энергию образования. Расчеты выполнены методом молекулярной динамики на базе полуэмпирического метода ZINDO/1. В состав одной молекулы могли входить атомы титана с одинаковыми или разными (от 4 до 6) координационными числами (КЧ). Ниже, после данных об общей энергии образования в скобках показана энергия, отнесенная к одной титан-гидроокисной группе.

Первым объектом, естественно, является одиночная молекула с формулой  $TiO(OH)_2$ . Энергия образования -413,6 ккал/моль, КЧ 4. Она вряд ли представляет собой малоактивное химическое соединение. Для этого она должна быть более или менее прочно связана с другими аналогичными молекулами, например за счет раскрытия предполагаемой двойной связи в титанильной группе. Двойная группа  $Ti_2O_2(OH)_4$  имеет энергию -914 ккал/моль или -457 ккал на 1 атом титана, КЧ 4. Тройная группа  $Ti_3O_4(OH)_4H_2O$  имеет энергию -1391 (-464) ккал/моль, КЧ 4 и 5. Группа  $Ti_4O_6(OH)_4(H_2O)_2$  имеет энергию -1884 (-471) ккал/моль, КЧ 4 и 5.

В этих случаях образование конгломерата общего состава  $TiO(OH)_2$  с открытой цепью возможно только при участии двойных оксо-мостиков. В циклических конгломератах возможно соединение молекул одиночными оксо-мостиками. Правда, речь может идти о случаях, когда атомы титана содержат вблизи себя только 4 атома кислорода. Примеры: фрагмент  $Ti_3O_3(OH)_6$ . Энергия -1426 (-475) ккал/моль, КЧ 4. Фрагмент  $Ti_4O_4(OH)_8$ . Энергия -1949 (-487) ккал/моль, КЧ 4. Фрагмент  $Ti_5O_5(OH)_{10}$ . Энергия -2455 (-491) ккал/моль, КЧ 4.

Координационные числа 5 или 6 в дополнении к 4 позволяют более гибко регулировать состав образующегося продукта. Например, фрагмент уголка кристалла анатаза  $Ti_3O_3(OH)_6$ . Он устойчив, энергия образования - 1445 (-482) ккал/моль, КЧ 4 и 5. Линейный фрагмент рутила  $Ti_3O_4(OH)_4H_2O$ , тоже устойчив. Энергия образования - 1412 (-471) ккал/моль, КЧ 4 и 5. Самопроизвольное присоединение одного дополнительного октаэдра к анатазному фрагменту сопровождается понижением общей энергии, а к рутильному - небольшим ее повышением.

В работе[1] была расшифрована формула динитратопентатитановой кислоты, где соотношение между числом атомов титана и кислорода равно 1 к 3. Под состав гидроокиси титанила не подпадают только атомы водорода. Частично убрав молекулы воды, получаем фрагмент  $Ti_5O_9(H_2O)_4(OH)_2$ , который совпадает по составу с гидроксидом титанила. Энер-



гия -2441 (-488) ккал/моль, КЧ 4, 5, 6. Этот фрагмент с выигрышем энергии эффективно притягивает к себе ионы титана из ближайшего окружения.

Фрагмент состава  $Ti_8O_{14}(OH)_4(H_2O)_6$  в форме стерженька, образованный двумя титан-кислородными цепочками, соединенными двойными оксо-мостиками, имеет энергию -3999 (-500) ккал/моль. Почти плоский фрагмент  $Ti_8O_8(OH)_{16}$ , образованный 4-х членными кольцами, имеет энергию -4071 (-509) ккал/моль. Более сложный по структуре фрагмент  $Ti_8O_{12}(OH)_8(H_2O)_4$  составлен из двух 6-атомных титан-кислородных колец с прижатыми к ним (через кислороды) атомами титана. Энергия -4079 (-511) ккал/моль, КЧ 4, 5, 6. Для фрагмента  $Ti_9O_9(OH)_{18}$  (цикл из 3-х 6-атомных колец) энергия равна -4595 (-510) ккал/моль, КЧ<sub>т</sub> 5, КЧ<sub>о</sub> 3, 2.

Следующее соединение с формулой  $Ti_{12}O_{21}(OH)_6(H_2O)_9$  представляет собой 4 шестиатомных титан-кислородных кольца, соединенных кислородными мостиками, и с подвешенными к кольцам группами OH и  $H_2O$ . Энергия -6140 (-512) ккал/моль, КЧ 4, 5. Цифра 4 относится только к одному крайнему кольцу. Если цепь колец продолжать, то все атомы титана будут пяти координационными. Плоский фрагмент  $Ti_{12}O_{12}(OH)_{24}$ , образованный 6-угольными кольцами, с торчащими над и под плоскостью OH-группами, имеет энергию -6162 (-513) ккал/моль.

И, наконец, стоит упомянуть фрагмент-трубку состава  $Ti_{15}O_{15}(OH)_{30}$  с энергией -8000 (-533) ккал/моль с атомами титана в шестерной координации, и с атомами кислорода в четверной и двойной координации. Такая модель была опубликована нами ранее[2].

Мы видим, что ансамбль, отвечающий гидроокиси титанила, может создавать различные молекулярные формы: глобулярные с частичной агрегацией, стержни или трубки, также более или менее плоские образования. По мере усложнения гидроокисей и накопления в них атомов титана энергия, приходящаяся на одну титан-содержащую группу, увеличивается по абсолютной величине, т.е. прочность соединения возрастает. Это означает, что структура гидроксида титанила может самопроизвольно видоизменяться (стареть), переходя в более устойчивое состояние без существенного изменения состава. И это очень важно. Не исключено, что частые ссылки на появление гидроокиси титанила в разных производствах обусловлены именно тем, что некоторые полупродукты имеют составы, близкие по составу к гидроксида титанила, хотя по структуре и химическим свойствам различающиеся. Сейчас нанотехнология титаносодержащих материалов ориентируются главным образом на нанопродукты в виде кристаллических анатаза и рутила[3-6]. Они действительно эффективны в самых разных сферах, хотя с точки зрения химических особенностей сами эти вещества однотипны. Мы думаем, что разнообразные гидроокисные соединения титана(IV) предоставят химикам больше возможностей и будут более востребованными. При этом, конечно, стоит отказаться от подгонки вещества под какой-то один состав, а использовать все возможные соотношения. Тогда ассортимент продуктов окажется более разнообразным, сопоставимым с набором кремний-содержащих соединений.

### Библиографический список

1. Бобыренко Ю.Я. Компьютерные фантазии на тему нитратов титана(IV). // Журнал «Научная перспектива». 2021. № 8 (138). С. 54-55.
2. Бобыренко Ю.Я. Компьютерная анимация гидроокисей титана(IV). // Журнал «Научная перспектива». 2021. № 9 (139). С. 61-63.
3. Костантинова Е.А., Кушников М.П., Зайцев В.Б. Кытин В.Г., Марикуца А.В. Трусов Г.В., Седегов А.С. Кошкаргов П.К. Наноматериалы на основе диоксида титана с высокой фотокаталитической активностью. // Журнал «Российские нанотехнологии». 2019. Т. 4. № 5-6. С. 3-10.
4. Коленько Ю.В. Синтез нанокристаллических материалов на основе диоксида титана с использованием гидротермальных и сверхкритических растворов. Дисс. на соискание ученой степени канд.хим.наук. Москва, МГУ, 2004. 162 с.
5. Морозов А.Н. Синтез и каталитические свойства наноструктурированных покрытий диоксида титана. Дисс. на соискание ученой степени канд.хим.наук. Москва, ГОУ ВПО РХТУ. 2014. 160 с.
6. Бессуднова Е.В. Синтез и исследование наноразмерных частиц диоксида титана для применения в катализе и нанобиотехнологии. Дисс. на соискание ученой степени канд.хим.наук. Новосибирск, Институт катализа СО РАН. 2014. 145 с.

## ДИВЕРГЕНЦИЯ ЭНЕРГИИ В ЧЕРНОЙ ДЫРЕ

**Виктор Владимирович ДЕНИСЕНКО**

ФГУП «Татаэронавигация», г. Казань

**Аннотация.** *Исследуется такое явление как излучение черных дыр, а так же производится сравнительный анализ балансов энергии звезд и черных дыр. Показано, что при определенных условиях критический гравитационный коллапс в звездах приводит к полному распаду сколлапсировавшей барионной материи. В результате анализа показано, что дивергенция энергии в черных дырах является основной их существования. Это явление так же имеет отношение к началу инфляционных процессов в результате которых после Большого взрыва по энергоинформационным каналам произошло мгновенное распространение барионной материи на всем пространстве, занимаемом видимой частью Вселенной. Объясняется причина из-за которой фотонное излучение и темная материя излучаясь из одной точки  $X_0$  черной дыры не аннигилируют друг с другом. Дано определение балансу энергии в черных дырах. Новизна данной работы в том, что испарение черных дыр в виде темной энергии происходит по энергоинформационным каналам, которые как туннели соединяют все материальные тела между собой. Статья может быть полезна в качестве научной гипотезы, а так же в рамках дальнейшего исследования черных дыр.*

**Ключевые слова:** черные дыры, дивергенция, баланс энергии, барионная материя, инфляционные процессы, гравитационный коллапс.

Черным дырам принадлежит во Вселенной главная роль. Представляя собой вращающуюся материальную субстанцию, сжатую силами гравитации почти до нуля (нуль-пространство), они преобразуют все виды материи в энергию и испаряются [8]. Преобразованная черными дырами энергия непрерывно излучается в пространство Вселенной по энергоинформационным каналам, которыми черные дыры связаны друг с другом [2, С.117-121]. Таким образом, черные дыры выступают в роли универсального источника, преобразователя, приемника, передатчика материи и энергии всех видов. Процессы в недрах черной дыры происходят вплоть до полного распада атомов захваченной материи. Вследствие этого продукты излучения черной дыры не обладают радиоактивностью. Если масса звезды превышает 3 массы Солнца и достигает предела Оппенгеймера-Волкова [6] в ней нарушается баланс

энергии между силами гравитационного сжатия и противодействующими им силами. В результате гравитационного коллапса звезда превращается в черную дыру. При этом вращающаяся звезда сжимается в точку, ее радиус уменьшается, а плотность и угловая скорость увеличиваются. Поведение черных дыр при критическом гравитационном коллапсе, хорошо исследовано Новиковым и Фроловым. Доказано, что в этом состоянии в черных дырах от коллапсирующей системы существует перенос энергии, а содержание материи является «безмассовым» [4]. При уменьшении звезды до размеров гравитационного радиуса наступает состояние сингулярности и в ее массе происходят два разных по мощности взрыва, отделенных друг от друга промежутком времени ( $dt$ ). Сначала происходит меньший по мощности взрыв наружу, потом происходит взрыв внутрь. При взрыве наружу звезда сбрасывает часть своей массы в виде электронной оболочки. Это явление известно как взрыв «сверхновой» сопровождается фотонным излучением большой мощности, которое выходит наружу радиально относительно оси вращения. Оставшаяся и лишенная электронов ионизированная часть массы звезды продолжает коллапсировать. Из-за быстрого падения материи внутрь наблюдается эффект «падающего лифта» при котором барионная материя уже не испытывает сил гравитации. Находясь в ускоренной системе отсчета в безмассовом состоянии и не испытывая сил инерции [7], барионная материя входит в нуль-переход черной дыры где происходит ее преобразование. При этом происходит дивергенция (расхождение излучения в разные стороны), то есть одновременное выделение позитронной энергии радиально наружу и нейтринной энергии внутрь по энергоинформационному каналу. Этот процесс напоминает вращающийся бублик, одновременно и сжимающийся внутрь и расширяющийся наружу. Попавшая в нуль-переход черной дыры материя меняется полностью. Структура атомов ломается, ядра распадаются на протоны и нейтроны. Протоны поглощают электроны испуская нейтрино [9, С.135] и переходят из материального состояния в энергоинформационное состояние. Энергия и информация позитронов выходит наружу в виде субстанции, имеющей массу, момент импульса и заряд (темная

материя). Энергию и информацию, закончивших материальное существование протонов и нейтронов, забирают частицы нейтрино-антинейтрино, которые до преобразования входили в их состав. Эта, уже нематериальная энергия, выходит по энергоинформационному каналу вдоль оси вращения черной дыры в виде излучения нейтринной энергии (темной энергии). В итоге на энергоинформационном канале в точке  $X_0$  вместо звезды образуется новый объект, именуемый черной дырой. Соответственно меняется и баланс энергии. Если в звезде существовал баланс энергии между силами гравитационного сжатия и противодействующими им силами термоядерного синтеза, то в черной дыре нет сил термоядерного синтеза. Из-за быстрого падения внутрь при гравитационном коллапсе отсутствуют силы гравитации (эффект падающего лифта). Поэтому в черной дыре наблюдается коллапсирующе-дивергирующий баланс энергии. После образования черной дыры ее поле Керра-Ньюмена по-прежнему имеет такие параметры как масса, момент импульса и электрический заряд. Происходящие при этом процессы сопровождаются выбросом большого количества энергии, которая выходит из черной дыры в двух направлениях. Нейтринная энергия (темная энергия) выделяется в энергоинформационном канале вдоль оси вращения. Энергия электронов (фотонное излучение) и энергия позитронов (темная материя) излучаются из точки  $X_0$  черной дыры радиально в форме двух разных взрывов. Электрон как частица это отрицательный электрический заряд нейтринной энергии нейтрино покоя. Позитрон как частица представляет собой положительный электрический заряд нейтринной энергии антинейтрино покоя. Характерной особенностью излучения черной дыры является, то, что хотя электронная и позитронная энергии выделяются из одной точки радиально со скоростью света и имеют разные электрические заряды, но между ними не может произойти аннигиляция. Ведь облака из электронной и позитронной энергии, излучаемые черной дырой, разделены промежуток времени ( $dt$ ). Для того, чтобы облако из позитронной энергии (темная материя) догнало облако из электронной энергии (фотоны) оно должно превысить скорость света в вакууме, что невозможно в соответствии с постулатами СТО. Получившийся в результате гравитационного коллапса звезды объект это даже не черная дыра, а черное пространство или нуль-пространство, сжатое в очень малую точку, которое излучает три вида энергии огромной концентрации. Зельдович и Салпитер в 1964 году предсказали, что при аккреции барионной материи на черную дыру возможно выделение энергии 10% от  $mc^2$ , что на несколько порядков превышает энерговыделение при термоядерном взрыве. Выход энергии из точки  $X_0$  поля Керра-Ньюмена черной дыры в процентном соотношении от всего количества излучения хорошо описан в работе Мизун [3]. Электронная энергия (материя), составляющая 10% выделяется радиально со скоростью света в

вакууме в виде фотонного излучения. Позитронная энергия (антиматерия), составляющая 10% выделяется радиально со скоростью света в вакууме в виде облака из темной материи. Нейтринная энергия (темная энергия), составляющая 80% от всего количества излучения выделяется по энергоинформационному каналу. Разное соотношение интенсивности фотонного излучения, темной материи и нейтринной энергии объясняется тем, что в химических элементах, имеющих большой атомный вес, например, (Au, Pb) количество нейтронов в ядре атома гораздо больше количества протонов. А количество электронов всегда равно количеству протонов. То есть в элементах где число нейтронов превышает число протонов количество энергии, отдаваемой через нейтрон (нейтринной), превышает количество энергии отдаваемой через электрон и позитрон. Поэтому с возрастанием атомного веса интенсивность и энергонасыщенность нейтринного излучения отдаваемого через нейтрон превышает интенсивность и энергонасыщенность излучения отдаваемого через электрон (фотонного) и через позитрон (темной материи). Так же не равны и скорости перемещения электромагнитной волны и нейтринной волны. Хотя групповая скорость носителей электромагнитной волны - электронов в металлическом проводнике составляет всего несколько мм/с, но фазовая скорость электромагнитной волны составляет 300 000 км/с. Групповая скорость частиц нейтрино/антинейтрино не превышает скорость света в вакууме. А фазовая скорость перемещения волны нейтринной энергии (темной энергии) по энергоинформационным каналам может превышать скорость света в вакууме. Именно эта особенность нейтринной энергии явилась причиной инфляционных процессов [5, С.32], которые наступили после Большого взрыва. По теории Гамова Большой взрыв произошел одновременно повсюду во Вселенной заполнив пространство веществом из которого образовались все астрономические тела. В результате вещество Вселенной, которым в первые секунды после Большого взрыва являлся дозвездный водород [9, С.218], мгновенно распространилось по энергоинформационным каналам в точки  $X_0$  на всем пространстве видимой части Вселенной. Энергоинформационные каналы в сущности являются туннелями в пространстве-времени, а так же кротовыми норами или червячными дырами, которые по мнению А. Эйнштейна, С. Хокинга и К. Торна соединяют одну точку пространства-времени с другой. На этом же принципе действия основан парадокс Эйнштейна-Розена о квантовой спутанности при которой происходит мгновенный обмен информацией между материальными объектами. Наличие в вакууме энергоинформационных каналов подтверждается отчетом коллаборации CDF о рождении в БАКе в июле 2008 г. мюонных струй на значительном расстоянии от места столкновения протонных пучков.

Выводы: В вакууме существует энергоинформационные каналы (тоннели, червячные дыры), кото-

рые соединяют все материальные тела во Вселенское гравитационное энергоинформационное поле (ВГЭИП). Поле, созданное энергоинформационными каналами в пространственно-временном каркасе Вселенной, непосредственно влияет на инфляционные процессы, на барионную материю, на темную материю и темную энергию. Реальная структура Вселенной устроена гораздо сложнее, чем это постулируется в ОТО [1]. В звездах существует баланс энергии между силами гравитационного сжатия и противодействующими им силами термоядерного синтеза. Так как в черных дырах нет сил термоядерного синтеза, то там наблюдается коллапсирующе-дивергенцирующий баланс энергии. При этом происходит дивергенция излучения, то есть выход темной материи радиально наружу и темной энергии внутрь по энергоинформационному каналу. Темная материя, излучаемая радиально из точки  $X_0$  черной дыры в энергоинформационном состоянии, фактически барионной материей уже не является. Но, так как после образования черной дыры ее поле Керра-Ньюмена по-прежнему имеет такие параметры как масса, момент импульса и электрический заряд, то темная материя по-прежнему обладает такими свойствами материи как гравитационная масса, момент импульса, заряд. Эти свойства невозможно уничтожить даже в черной дыре. Поэто-

му, находясь в пределах действия гравитационного поля черной дыры, темная материя, безусловно, испытывает силы гравитационного взаимодействия её гравитационного центра, находящегося в точке  $X_0$ . Даже отделившись от черной дыры в виде энергоинформационной субстанции, темная материя структурно и функционально по-прежнему неразрывно связана с дырой и находится под воздействием её гравитационного поля. После выхода из точки  $X_0$  Гигантской черной дыры фотонного излучения (энергии электронов), структурно в темной материи от барионной материи осталась только лишенная электронов ионизированная часть массы звезды в виде энергии позитронов. Но, как волновая система темная материя по-прежнему на 100% обладает основными признаками барионной материи и структурно по-прежнему является частью волновой системы черной дыры с точкой  $X_0$ . Находясь в пределах действия гравитационного центра и электромагнитного центра черной дыры темная материя обладая массой по-прежнему испытывает силы гравитационного взаимодействия, а обладая зарядом испытывает силы электромагнитного взаимодействия. Но, визуальное темная материя уже не обнаруживается так как в ней нет атомов и она находится в энергоинформационном состоянии. В этом и заключается главный парадокс темной материи. ■

### Библиографический список

1. Верешков Г. М., Минасян Л. А. Темная материя и темная энергия. Физика за пределами стандартной модели. Сборник научных трудов SWORLD, М. Научтехлитиздат, 2012
2. Денисенко В. В. Координатно-временное разделение пространства Вселенной, Научные ито-ги года: Достижения, проекты, гипотезы, Н. ЦРНС, 2014, №4, с117-121.
3. Мизун Ю. Тайны Вселенной. Вече.2002
4. Новиков И. Д., Фролов В. П. Черные дыры во Вселенной, М.: Наука, 2001
5. Одинцов С. Д. Темная энергия, инфляция и темная материя в модифицированной  $F(R)$ -гравитации. Вестник Томского государственного педагогического университета, 2011.
6. Oppenheimer J. R., Snyder H. Phys. Rev. 56 455 (1939) [Русский перевод в сб. Альберт Эйн-штейн и теория гравитации, М.: Мир, 1979, 353с
7. Садыков Б. С. Принцип Маха и неэйнштейновская гравитация. Инженерная физика, № 8, с 3-9. 2013.
8. Хокинг С. Теория всего. Происхождение и судьба Вселенной, Амфора, 2009
9. Черпацук А. М., Чернин А. Д., Вселенная, жизнь, черные дыры. Фрязино, Век-2, 2004, 320с.



## НЕКОМПАКТНЫЕ БИФУРКАЦИИ СЛОЁВ ЛИУВИЛЛЯ ФАЗОВОГО ПРОСТРАНСТВА ОДНОЙ ГАМИЛЬТОНОВОЙ СИСТЕМЫ ВРАЩЕНИЯ

**Олег Александрович ЗАГРЯДСКИЙ**

кандидат физико-математических наук,  
ассистент кафедры математики СУНЦ МГУ

**Введение.** Гамильтоновы системы – один из наиболее известных видов нелинейных динамическим систем, которые привлекают интерес специалистов в области механики, геометрии, дифференциальных уравнений, физики... Изучение качественных свойств таких систем традиционно сопряжено с исследованием их фазового пространства. В последние несколько десятилетий активно развиваются топологические методы анализа геометрии фазового пространства гамильтоновых систем, основанные на теореме Лиувилля [1, с.238], а также на инварианте Фоменко-Цишанга[2], центральной идеей которых является разбиение пространства на некоторые слои и сопоставление каждому неособому слою графа с числовыми метками (меченая молекула, она же инвариант Фоменко-Цишанга), по которой однозначно (с точностью до Лиувиллевой эквивалентности) можно восстановить топологию слоя. Однако, хорошо зарекомендовав себя в компактном случае, этот подход не достиг пока тех же успехов в некомпактном, несмотря на уже немалое количество проведённых исследований и полученных результатов, а ведь огромное число механических систем являются именно некомпактными. Данная работа посвящена построению инварианта, определяющего топологию изокинетических слоёв фазового пространства некомпактных гамильтоновых систем с двумя степенями свободы, отвечающих движению частицы с вращательной симметрией, точнее движению частицы по поверхности вращения под действием центрального потенциала.

### Гамильтонова система на поверхности вращения

**Уравнения движения.** Рассмотрим движение материальной точки по двумерному многообразию вращения  $S \approx (a, b) \times S^1$ , на котором заданы координаты  $(u, \varphi \bmod 2\pi)$  и риманова метрика

$$ds^2 = a_{11}^2(u)du^2 + a_{22}^2(u)d\varphi^2, \quad (1)$$

где функции  $a_{11}(u)$ ,  $a_{22}(u)$  гладкие  $C^5(a, b)$  и строго положительные, при этом границы  $a$  и  $b$  удовлетворяют  $-\infty < a < b < \infty$ . Функция  $a_{22}(u)$  соответствует расстоянию от точки с координатами  $(u, \varphi)$  до оси вращения (в случае, если поверхность вкладывается в  $R^3$ ).

Рассматриваемая точка движется по поверхности  $S$  под действием центрального гладкого потенциала  $V(u)$ , т.е. на  $S$  задана функция  $V(u) \in C^5(a, b)$ . Закон движения нам дают уравнения Эйлера-Лагранжа  $\left(\frac{\partial L}{\partial q} = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}}\right)$  для стандартного лагранжиана

$L = \frac{1}{2}a_{11}^2(u)\dot{u}^2 + \frac{1}{2}a_{22}^2(u)\dot{\varphi}^2 - V(u)$ , т.е. уравнениями движения являются:

$$\begin{cases} a_{11}^2(u)\ddot{u} + a_{11}(u)a'_{11}(u)\dot{u}^2 - a_{22}(u)a'_{22}(u)\dot{\varphi}^2 + V'(u) = 0, \\ \frac{d}{dt}(a_{22}^2(u)\dot{\varphi}) = 0. \end{cases} \quad (1.2)$$

$$\frac{d}{dt}(a_{22}^2(u)\dot{\varphi}) = 0. \quad (1.3)$$

Прямым дифференцированием по времени (с учётом (1.2), (1.3)) несложно убедиться, что введённая динамическая система обладает двумя первыми интегралами энергии и кинетического момента (момента импульса, интеграла площадей).

$$E = \frac{1}{2}a_{11}^2(u)\dot{u}^2 + \frac{1}{2}a_{22}^2(u)\dot{\varphi}^2 + V(u), \quad (1.4)$$



$$K = a_{22}^2(u)\dot{\varphi}. \tag{1.5}$$

Для описания системы с точки зрения гамильтонова подхода введём стандартным образом импульсы  $p_u = \frac{\partial L}{\partial \dot{u}} = a_{11}^2(u)\dot{u}$ ,  $p_\varphi = \frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} = a_{22}^2(u)\dot{\varphi}$ . Фазовое пространство будет представлять собой четырёхмерное многообразие  $M^4 \approx S \times \mathbb{R}^2$  с глобальными координатами  $(u, \varphi, p_u, p_\varphi)$ . Система задаётся гамильтонианом  $H = \frac{p_u^2}{2a_{11}^2(u)} + \frac{p_\varphi^2}{2a_{22}^2(u)} + V(u)$  (который совпадает со значением полной энергии  $E$ ), а закон движения определяется известными уравнениями Гамильтона:

$$\begin{cases} \dot{u} = \frac{\partial H}{\partial p_u}, \\ \dot{\varphi} = \frac{\partial H}{\partial p_\varphi}, \\ \dot{p}_u = -\frac{\partial H}{\partial u}, \\ \dot{p}_\varphi = -\frac{\partial H}{\partial \varphi}. \end{cases} \tag{1.6}$$

Соответственно первые интегралы (1.4),( 1.5) переписутся в виде:

$$E = \frac{p_u^2}{2a_{11}^2(u)} + \frac{p_\varphi^2}{2a_{22}^2(u)} + V(u), \tag{1.7}$$

$$K = p_\varphi. \tag{1.8}$$

В гамильтоновом подходе фазовое пространство удобно наделить симплектической  $\omega(\mathbb{R}, \mathbb{R})$  и пуассоновой  $\{ \mathbb{R}, \mathbb{R} \}$  структурами. Рассмотрим 2-форму  $\omega = dp_u \wedge du + dp_\varphi \wedge d\varphi$  и, следуя [2], введём следующее определение.

**Определение 1:** Вектор *косо́го градиента* функции  $\text{sgrad } f$  – касательный вектор, удовлетворяющий для любого касательного вектора  $v$  соотношению  $\omega(v, \text{sgrad } f)$ , где  $v(f)$  производная функции  $f$  вдоль  $v$ .

Скобка Пуассона двух гладких функций  $\{f, g\} := \omega(\text{sgrad } f, \text{sgrad } g)$ .

Уравнения (1.6) задают интегральные кривые, которые являются интегральными кривыми векторного поля  $v_H := \text{sgrad } H$ , (1.6) переписываются с помощью скобки Пуассона:

$$\begin{cases} \dot{u} = \{H, u\}, \\ \dot{\varphi} = \{H, \varphi\}, \\ \dot{p}_u = \{H, p_u\}, \\ \dot{p}_\varphi = \{H, p_\varphi\}. \end{cases} \tag{1.9}$$

Система  $v_H$  называется *вполне интегрируемой по Лиувиллю*, если существует первый интеграл  $f$  такой, что  $f$  и  $H$  независимы,  $\{f, H\}=0$ , потоки  $\text{sgrad } f, \text{sgrad } H$  полны (т.е. параметр на интегральных траекториях определён на всей действительной прямой). Заметим, что поток  $\text{sgrad } p_\varphi$  всегда полон (см. [4]).

Для такой (вполне интегрируемой по Лиувиллю) системы  $v_H$  теорема Лиувилля утверждает, что связанные компоненты совместных регулярных ( $dH, df$ - линейно независимы) поверхностей уровней интегралов  $H, f$  будут торами в компактном случае, цилиндрами или плоскостями в некомпактном.

Траектории системы будут являться решениями введённых уравнений, однако в работе будут также рассматриваться орбиты и фазовые траектории, следуя работам [3, с.42], [4] введём следующее определение.

**Определение 2:** На поверхности  $S$  координатные линии  $\{u=\text{const}\}$  назовём *параллелями*, а линии  $\{\varphi=\text{const}\}$  *меридианами*.

Назовём *траекторией* решение  $\vec{r}(t) = (u(t), \varphi(t))$  уравнений движения (1.2), (1.3), т.е. зависимость координат точки от времени. Образ отображения  $\vec{r}(t)$  назовём *орбитой*. Аналогично, отображение  $(u(t), \varphi(t), p_u(t), p_\varphi(t))$  – *фазовая траектория*, а его образ в касательном расслоении  $TS$  – *фазовая орбита*.

*Круговая орбита* – орбита, которая совпадает с какой-нибудь параллелью  $\{u_0\} \times S^1$ . Соответствующую ей траекторию тоже назовём *круговой*.

Орбита (соответствующая ей траектория) *замкнута*, если функция  $\vec{r}(t)$  периодична.

Орбита (траектория) *ограниченная*, если она лежит в некотором компакте  $[u_1, u_2] \times S \subseteq (a, b) \times S^1$ .

Орбита (траектория) *особая*, если она лежит на меридиане, т.е.  $\varphi(t) = \text{const}$ . Для таких орбит и только для них интеграл кинетического момента  $K$  равен нулю.

Орбиту будем задавать с помощью зависимости координаты  $u$  от  $\varphi$ , т.е. в виде функции  $u(\varphi)$ .

Из уравнений траекторий (1.2), (1.3) можно легко получить (см. [4, с.12]) уравнение, точнее семейство уравнений, орбиты  $u(\varphi)$ :

$$u''_{\varphi\varphi} + u'^2_{\varphi} \left( \frac{a'_{11}(u)}{a_{11}(u)} - \frac{2a'_{22}(u)}{a_{22}(u)} \right) - \frac{a'_{22}(u)a_{22}(u)}{a^2_{11}(u)} = - \frac{V'(u)}{K^2} \frac{a^4_{22}(u)}{a^2_{11}(u)}. \quad (1.10)$$

Полная энергия  $E$  является также интегралом уравнений орбит (1.10):

$$E = \frac{a^2_{11}(u)}{2a^4_{22}(u)} u'^2_{\varphi} K^2 + \frac{K^2}{2a^2_{22}(u)} + V(u). \quad (1.11)$$

**Примеры.** Рассмотрим в качестве примера проколотую (в точке  $r=0$ ) евклидову плоскость с полярными координатами  $(r, \varphi)$ , т.е.  $(r, \varphi)$ , т.е.  $S \approx (0, \infty) \times S^1$ . И потенциал Ньютона  $V(r) = -A/r$  (отвечающий закону всемирного тяготения), где  $A>0$ . Евклидова метрика в полярных координатах будет иметь вид:  $ds^2 = dr^2 + r^2 d\varphi^2$ .

Уравнения движения:

$$\begin{aligned} \ddot{r} - r\dot{\varphi}^2 + \frac{A}{r^2} &= 0 \\ \frac{d}{dt}(r^2\dot{\varphi}) &= 0 \end{aligned}$$

Первые интегралы энергии и кинетического момента:

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2}\dot{r}^2 + \frac{1}{2}r^2\dot{\varphi}^2 - \frac{A}{r}, \\ K &= r^2\dot{\varphi}. \end{aligned}$$

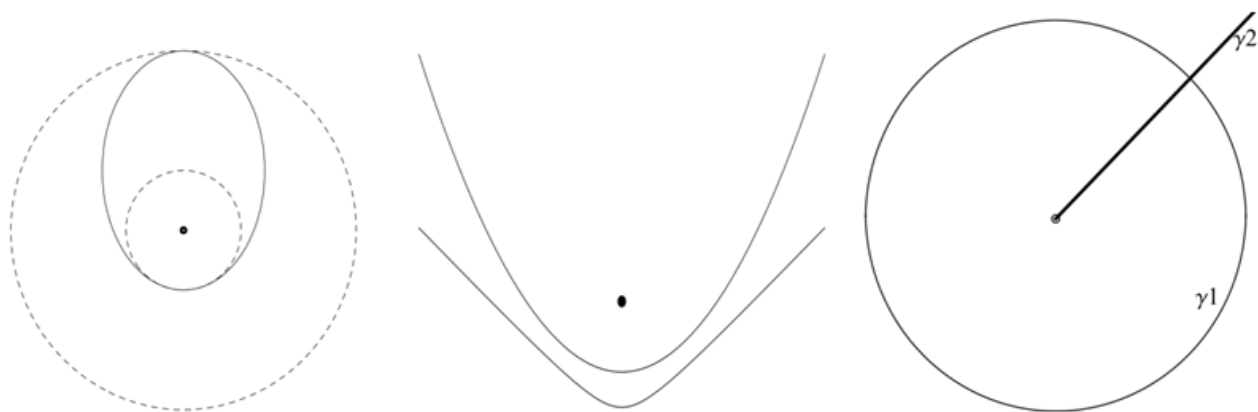
Орбиты – конические сечения, которые в полярных координатах задаются хорошо известной формулой:

$$r(\varphi) = \frac{p}{1 + e \cdot \cos(\varphi + \varphi_0)},$$

где  $p$  – фокальный параметр, а  $e$  – эксцентриситет орбиты. Соответственно, при  $e=0$  имеем круговую орбиту  $r=\text{const}$  (кривая  $\gamma_1$  рис.1в). При  $0<e<1$  имеем эллипс, т.е. ограниченную замкнутую орбиту, т.к. расстояние  $r$  меняется в пределах от перицентра  $r_1=p/(1-e)$  до апоцентра  $r_2=p/(1+e)$ , а это в свою очередь означает, что орбита помещается в компактное кольцо  $\{(r, \varphi): r_2 \leq r \leq r_1\}$  (см. рис.1а). При  $e \geq 1$  имеем неограниченные орбиты и соответственно траектории (см. рис.1б). Особой орбитой в случае евклидовой плоскости будет часть прямой, проходящей через проколотый центр, что соответствует тому случаю, когда тело падает в притягивающий центр по прямой  $\{\varphi=\text{const}\}$ , не имея угловой скорости (кривая  $\gamma_2$  рис.1в).

Примечательно, что если на плоскости рассмотреть потенциал Гаука  $V(r)=Ar^2$  (отвечающий силе Гаука, пропорциональной расстоянию), то все неособые орбиты будут ограничены, и будут являться либо окружностями, либо эллипсами с притягивающим центром в центре эллипса (в отличие от ньютоновского закона всемирного тяготения, где притягивающий центр находится в одном из фокусов эллипса).

Другой пример доставляет проколота в полюсе полусфера со сферическими координатами  $(\psi, \varphi)$  – широтой и долготой, т.е.  $S \approx (0, \frac{\pi}{2}) \times S^1$  (нулевая широта здесь отвечает полюсу). И аналог потенциала Гаука  $V(\psi) = \frac{A}{\sin^2\psi}$ , где  $A<0$ . Метрика будет иметь вид:  $ds^2 = d\psi^2 + \sin^2\psi \cdot d\varphi^2$ .



а) Ограниченная орбита

б) Неограниченные орбиты

в) Круговая и особая орбиты

Рисунок 1

Уравнения движения в этом случае примут вид:

$$\ddot{\psi} - \sin \psi \cos \psi \dot{\varphi}^2 - 2 \frac{A \cos \psi}{\sin^3 \psi} = 0,$$

$$\frac{d}{dt} (\dot{\varphi} \sin^2 \psi) = 0$$

Первые интегралы энергии и кинетического момента:

$$E = \frac{1}{2} \dot{\psi}^2 + \frac{1}{2} \sin^2 \psi \cdot \dot{\varphi}^2 + \frac{A}{\sin^2 \psi},$$

$$K = \dot{\varphi} \sin^2 \psi.$$

Уравнения орбит

$$\psi''_{\varphi\varphi} - \frac{2 \cos \psi}{\sin \psi} \psi'^2_{\varphi} - \sin \psi \cos \psi = \frac{2A}{K^2} \sin \psi \cos \psi.$$

Орбиты задаются формулой:

$$ctg^2 \psi = p \cdot (1 + e \cdot \cos(2\varphi + 2\varphi_0)),$$

где  $p, e$  - константы. Соответственно, при  $e=0$  имеем круговую орбиту  $\{\psi = \text{arccctg} \sqrt{p}\}$  (кривая  $\gamma_0$  рис.2б). Особая орбита будет представлять собой меридиан полусферы (кривая  $\gamma_1$  рис.2б). При  $e>0$  орбита будет отличаться от круговой, колеблясь между двумя широтами, тем самым являясь ограниченной (см. рис.2а).



а) Ограниченная некруговая орбита

б) Круговая и особая орбиты

Рисунок 2

**Эффективный потенциал.** Геометрия орбит, а также слоение фазового пространства  $M^4$  тесным образом связаны с эффективным потенциалом.

**Определение 3:** Эффективным потенциалом назовём функцию

$$W(u) := V(u) + \frac{K^2}{2a_{22}^2(u)}.$$

Уравнения орбит (1.10) перепишутся через эффективный потенциал в виде:

$$u''_{\varphi\varphi} + u'^2_{\varphi} \left( \frac{a'_{11}(u)}{a_{11}(u)} - \frac{2a'_{22}(u)}{a_{22}(u)} \right) + \frac{a^4_{22}(u)}{a^2_{11}(u)K^2} W'(u) = 0. \quad (1.12)$$

Соответствующее выражение для интеграла энергии (1.11) запишется через эффективный потенциал следующим образом:

$$E = \frac{a^2_{11}(u)}{2a^4_{22}(u)} u'^2_{\varphi} K^2 + \frac{K^2}{2a^2_{22}(u)} + V(u). \quad (1.13)$$

Определим границы орбиты.

**Определение 4:** Для орбиты  $u(\varphi)$  назовём величину  $u_1 := \inf u(R)$  – *перицентром*,  $u_2 := \sup u(R)$  – *апоцентром*.

В работах [3], [4] отмечены следующие (утв. 1-3) связи между геометрией орбит и эффективным потенциалом.

**Утверждение 1:** Параллель  $\{u_0\} \cap S^1$  является круговой орбитой при некотором  $K$  (т.е.  $u=u_0$  – решение уравнения (1.10)) тогда и только тогда, когда  $\text{sgn } V'(u_0) = \text{sgn } a'_{22}(u_0)$ , что в свою очередь эквивалентно условию  $W'(u_0)=0$ .

Условие  $\text{sgn } V'(u_0) = \text{sgn } a'_{22}(u_0)$  имеет довольно наглядное описание. Если поверхность искривлена, то она действует на частицу в одну сторону, БОО в сторону возрастания координаты  $u$  (например, в  $R^3$  нижняя полусфера толкает движущуюся частицу вверх), поэтому потенциал должен действовать в противоположную сторону, иначе равновесие не возможно, и частица будет двигаться в одну сторону, не оставаясь на одной параллели.

Орбиты при движении в центральном поле в пространстве  $R^3$  обладают осью симметрии. Похожим свойством обладают орбиты и на поверхностях вращения.

**Утверждение 2:** Пусть  $u = u(\varphi)$  – орбита (решение уравнения (1.10)) с критической точкой  $(\varphi_0, u(\varphi_0))$ , т.е.  $u'(\varphi_0) = 0$ . Тогда график функции  $u(\varphi)$  на евклидовой плоскости  $R^2$  с декартовыми координатами  $(u, \varphi)$  симметричен относительно прямой  $\varphi = \varphi_0$ .

Утверждение 2 показывает также, что ось симметрии сопряжена с экстремумами орбиты. Более того, отсюда сразу следует, что если орбита ограничена и не круговая, то она монотонно возрастает от своего минимума до максимума, или убывает обратно, т.е. между пери- и апоцентрами нет критических точек (функции  $u(\varphi)$ ). На рис.3, 4 представлены орбиты, которых быть не может, т.к. есть критическая точка  $A$  между перицентром и апоцентром.

**Утверждение 3:** Пусть  $a < a' < b' < b$ . Тогда

- Если существует ограниченное решение  $u(\varphi)$  уравнения (1.10) с энергией  $E$ , кинетическим моментом  $K$ , перицентром  $a'$ , апоцентром  $b'$ .

То  $\forall u_0 \in (a', b') \quad W(u_0) < E$  и  $W(a') = W(b') = E$ .

- Верно обратное. Пусть для некоторого  $K$  выполнено  $V(a') + \frac{K^2}{2a^2_{22}(a')} = V(b') + \frac{K^2}{2a^2_{22}(b')} = E$ ,

а также  $\forall u_0 \in (a', b') \quad V(u_0) + \frac{K^2}{2a^2_{22}(u_0)} < E$ . Тогда существует ограниченное решение  $u(\varphi)$  уравнения (1.10) с энергией  $E$ , кинетическим моментом  $K$ , перицентром  $a'$  и апоцентром  $b'$ .

- Если задано решение  $u(\varphi)$  уравнения (1.10) с перицентром  $a'$ , апоцентром  $b'$ , энергией  $E$  и  $u_0 \in \{a', b'\}$ . Тогда  $u_0 \in u(R) \cap W'(u_0) \neq 0$ .

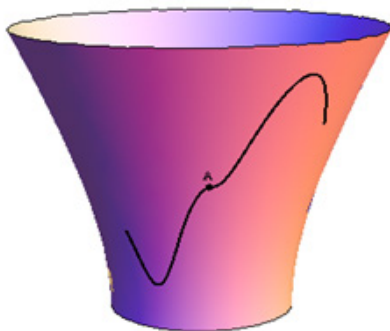


Рисунок 3 - Пример невозможной орбиты 1

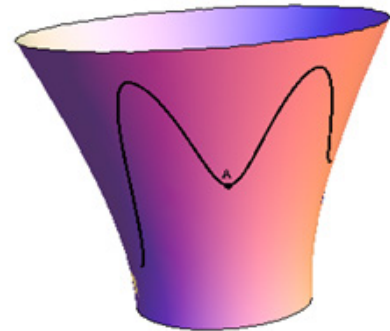


Рисунок 4 - Пример невозможной орбиты 2

Утверждение 3 говорит о том, что движение происходит в той зоне (при тех значениях координаты  $u$ ), в которых эффективный потенциал не превосходит энергии. Для ограниченной орбиты эффективный потенциал сравнивается с ней (энергией) только в крайних точках (пери- и апоцентрах орбиты). При этом перицентр (апоцентр)  $a'$  достигается тогда и только тогда, когда производная эффективного потенциала в нём не ноль.

**Орбиты**

Фазовое пространство  $M^4$  гамильтоновой системы, заданной уравнениями (1.6), можно расслоить на фазовые орбиты, которые не пересекаются в силу того, что решения системы ОДУ (1.6) не пересекаются. Фазовые орбиты можно объединить в совместные поверхности уровней интегралов энергии  $E$  и кинетического момента  $K$ , т.е. множества  $T_{E,K} := \{(u, \varphi, p_u, p_\varphi) : H = E, p_\varphi = K\}$ ; фазовые орбиты с одинаковыми энергией и моментом лежат на одной поверхности уровня. Описанное слоение на поверхности уровня называется *слоением Лиувилля*. Каждая точка фазового пространства задаёт положение и скорость частицы, движущейся по поверхности. В случае системы Бертрана [3], [4] без экваторов, в т.ч. евклидовой плоскости, значение энергии и кинетического момента однозначно определяют орбиту с точностью до поворота.

В дальнейшем будем работать с подпространством  $M^4_+ := \{(u, \varphi, p_u, p_\varphi) : p_\varphi > 0\}$  фазового пространства  $M^4$ , что не ограничивает общности в силу симметричности ситуации для  $p_\varphi > 0$  и  $p_\varphi < 0$ .

**Круговые орбиты.** Круговая орбита  $\{u=u_0\}$  с кинетическим моментом  $K$ , энергией  $E$  влечёт условия

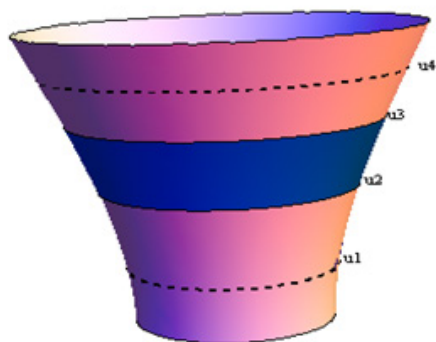
$$\frac{a'_{22}(u_0)}{a^3_{22}(u_0)} = \frac{V'(u_0)}{K^2},$$

$$E = \frac{K^2}{2a^2_{22}(u_0)} + V(u_0).$$

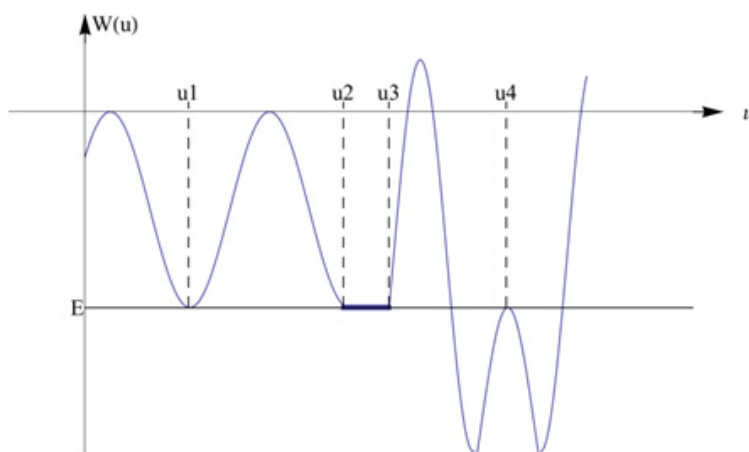
Фазовая траектория задаётся явно  $(u(t), \varphi(t), p_u(t), p_\varphi(t)) = (u_0, \frac{K}{a^2_{22}(u_0)}t, 0, K)$ .

На рис.6 изображён график эффективного потенциала  $w(u)$  для некоторого значения момента  $K$ . Видно, что для заданного значения энергии  $E$  множество критических точек  $W(u)$  представляет собой объединение  $\{u_1\} \cup [u_2, u_3] \cup \{u_4\}$ . Т.е. согласно утверждению 1 параллели  $u=u_1, u=u_4$  являются круговыми орбитами с энергией  $E$  и моментом  $K$ , а также круговыми орбитами будет целый пояс параллелей  $[u_2, u_3]$ , что отображено на рис.6.

В случае, когда  $u_0$  – является точкой строгого локального минимума эффективного потенциала  $W(u)$ , связанная компонента совместной поверхности уровня интегралов  $H, p_\varphi$ , отвечающая круговой орбите  $\{u=u_0\}$ , является окружностью  $S^1$  (на рис. 5 такому условию отвечает только орбита  $u=u_1$ ). Связанная компонента слоя Лиувилля, отвечающая круговым орбитам из пояса  $[u_2, u_3]$ , будет замкнутой полосой  $\{(u, \varphi, p_u, p_\varphi) : u_2 \leq u \leq u_3, p_u=0, p_\varphi=K\}$  с краями  $\{u_2\} \times S^1 \times \{0\} \times \{K\}, \{u_3\} \times S^1 \times \{0\} \times \{K\}$ .



**Рисунок 5 - Круговые орбиты на поверхности для заданных  $E, K$**



**Рисунок 6 - Эффективный потенциал для заданных  $E, K$  с выделенными круговыми**

**Периодические орбиты.** Пусть орбита  $\gamma=u(\varphi)$  с энергией  $E$  и кинетическим моментом  $K$  ограничена и достигает свой перицентр  $u_1$  и апоцентр  $u_2$ . Тогда как следует из утверждения 2 орбита монотонно колеблется между своими пери и апоцентром (см. рис. 7). График эффективного потенциала  $W(u)$  пересекает уровень  $E$  трансверсально в точках  $u_1, u_2$  (см. рис. 8). Границы орбиты  $u_1, u_2$  связаны с её энергией  $E$  и моментом  $K$  соотношениями:

$$E = \frac{K^2}{2a^2_{22}(u_1)} + V(u_1),$$



$$E = \frac{K^2}{2a_{22}^2(u_2)} + V(u_2).$$

Это легко понять, если заметить, что в перигентре и апоцентре (как в максимуме и минимуме функции  $u(\varphi)$ ) производная  $u'_{\varphi}(\varphi)$  обращается в ноль, а значит в граничных точках  $u_1, u_2$  исчезает слагаемое  $\frac{a_{11}^2(u)}{2a_{22}^4(u)} u_{\varphi}^2 K^2$  в выражении (1.13) для энергии (подробнее [3]).

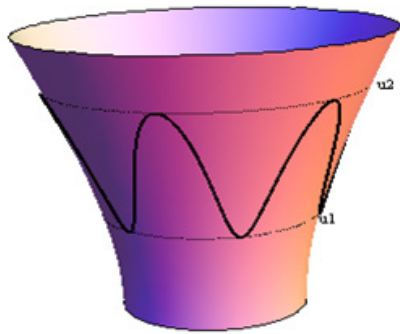


Рисунок 7 - Периодическая орбита

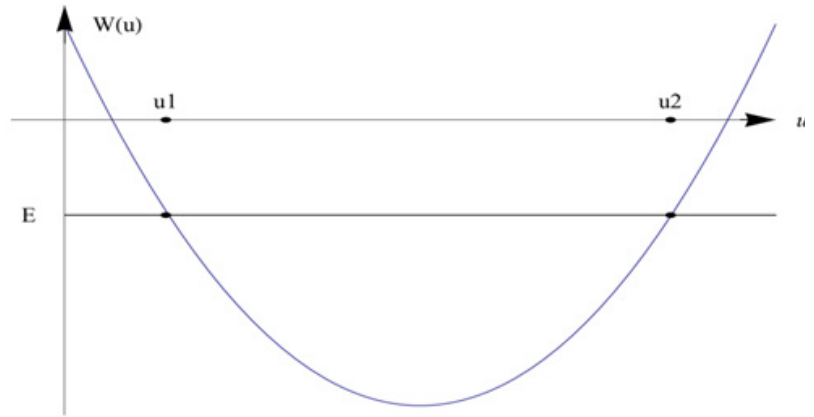


Рисунок 8 - Эффективный потенциал периодической орбиты

Любая орбита, получающаяся из рассмотренной  $\gamma$  поворотом на произвольный угол  $\varphi_0$ , т.е.  $u(\varphi + \varphi_0)$ , также колеблется между теми же границами  $u_1, u_2$ , отвечает тем же значениям первых интегралов  $E, K$ . Фазовые орбиты, отвечающие всем таким орбитам (полученным из  $\gamma$  поворотами), заматают целиком связную компоненту слоя Лиувилля орбиты  $\gamma$ . Более того эта связная компонента представляет собой тор  $T^2$ . Тор слонится на фазовые орбиты, которые соответствуют орбитам, получающимся из  $u(\varphi)$  всевозможными поворотами.

В самом деле, рассмотрим диффеоморфизм  $h: T^2 \rightarrow S^1 \times S^1$ , который строится явным образом – точке  $A \in T^2$ , лежащей на некой фазовой орбите соответствует точка  $\tilde{A}_1$  лежащая на орбите и  $\tilde{u}(\varphi)$  щая угловую координату  $\varphi_1$ . Точке  $\tilde{A}_2$ , ставя  $\tilde{A}_2$  в соответствие два угла. Первый  $\varphi_0$  определяет орбиту, на которой лежит исходная точка  $\tilde{A}_1$ , т.е.  $\tilde{A}_2$  угол, на который надо повернуть  $\gamma$ , чтобы получить текущую орбиту  $\tilde{u}(\varphi)$  ой просто равен угловой координате точке.

Другой способ убедиться, что  $T^2$  – тор, состоит в применении теорем Алёшкина [5] или Лиувилля [1]. В нашем случае поток  $sgrad p_{\varphi}$  всегда полон (утверждение 16 [4]); если же полон поток  $sgrad H$ , то применяем теорему Лиувилля, если же поток  $sgrad H$  не полон, то применяем теорему Алёшкина.

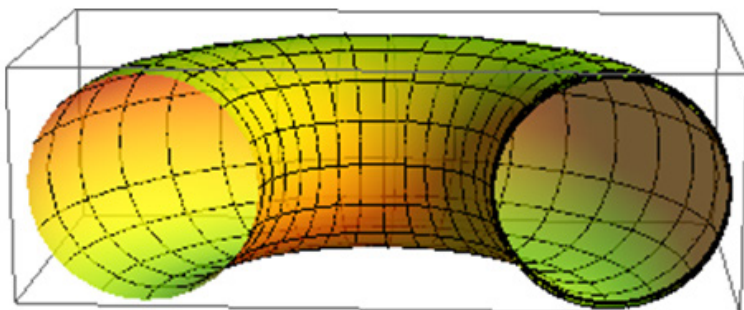


Рисунок 9 - Компонента слоя Лиувилля периодической орбиты

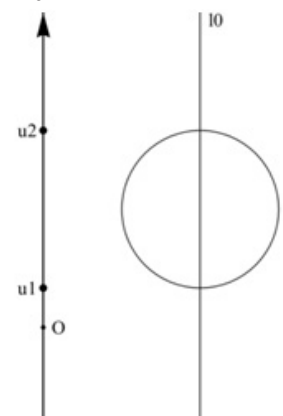


Рисунок 10 - Линейная диаграмма слоя Лиувилля периодической орбиты

На рис. 9 изображена связная компонента слоя Лиувилля, отвечающего периодической орбиты (точнее нарисована половинка для наглядности). На рис.10 изображена линейная диаграмма слоя – фактор слоя по действию  $S^1$ ; слой диффеоморфен результату вращения окружности вокруг оси, прямая  $l_0$  изображает

точки  $p_u=0$ .

**Боковые орбиты.** Пусть орбита  $\gamma_2=u(\varphi)$  со значениями первых интегралов  $E, K$  ограничена только с одной стороны, например, достигает своего перицентра  $u_1$  и выходит на край  $u=b$  поверхности  $S \approx (a, b) \times S^1$  – назовём её *боковой*.

Энергия  $E$  и момент  $K$  связаны с перицентром  $u_1$  соотношением

$$E = \frac{K^2}{2a_{2,2}^2(u_1)} + V(u_1).$$

Т.к. у поверхности  $S \approx (a, b) \times S^1$  всего два края  $a, b$ , то боковых орбит с заданными значениями  $E, K$  может быть не больше двух. На рис.11 две боковые орбиты:  $\gamma_1$ , уходящая на край  $u=a$ , и  $\gamma_2$ , уходящая на край  $u=b$ . На рис.12 соответствующий им график эффективного потенциала, при этом он пересекает уровень  $E$  трансверсально, т.к. орбиты  $\gamma_1, \gamma_2$  достигают своих апо- и перицентров соответственно.

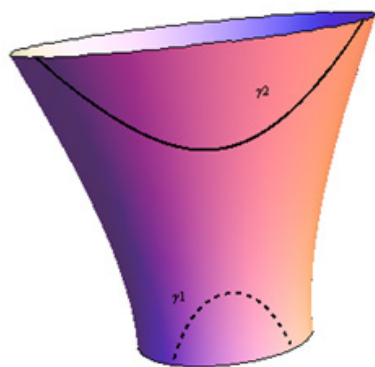


Рисунок 11 - Боковые орбиты на S

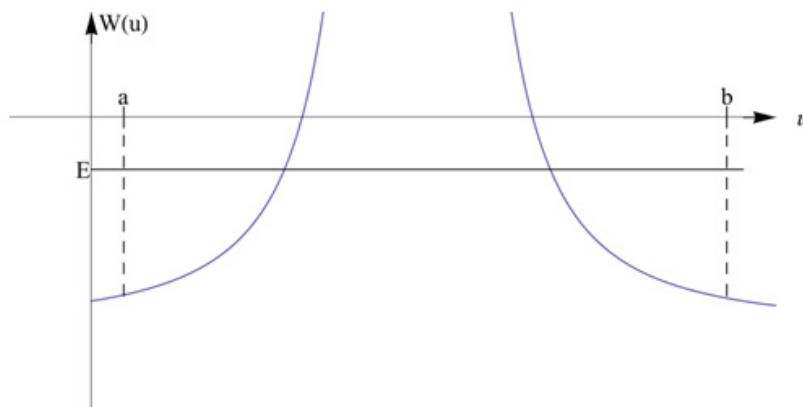


Рисунок 12 - Эффективный потенциал боковых орбит

Связная компонента уровня первых интегралов  $T_{H=E, p_\varphi=K}$  является цилиндром в фазовом пространстве  $M^4_+$  по теореме Алёшкина [5].

Назовём его *боковым* (т.е. это такой цилиндр, который является связной компонентой слоя Лиувилля фазового пространства, соответствующего ограниченной с одной стороны орбите и не ограниченной с другой). При вращении орбиты  $\gamma$  получаются орбиты с теми же значениями  $E, K$  и тем же перицентром  $u_1$ , при этом соответствующие им фазовые орбиты расслаивают боковой цилиндр.

Т.к. боковых орбит не более двух (с заданными энергией и моментом и с точностью до поворотов), то боковых цилиндров может быть не больше двух. Боковой цилиндр пересекает поверхность  $\{p_u=0\}$  в фазовом пространстве  $M^4_+$  по окружности  $\tilde{S}^1 := \{(u, \varphi, p_u, p_\varphi) : u = u_1, p_u = 0, p_\varphi = K\}$ , которую один раз пересекает каждая фазовая орбита (лежащая на цилиндре) в точке, отвечающей перицентру на  $S$ , т.к. в каждой такой точке  $p_u=0$ , что достигается орбитой только в перицентре. На рис.13 изображены боковые цилиндры, отвечающие орбитам  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ . На рис. 14 изображена линейная диаграмма выбранных компонент слоя Лиувилля – фактор слоя по действию группы  $S^1$ , т.е. слой Лиувилля диффеоморфен результату вращения диаграммы вокруг оси.

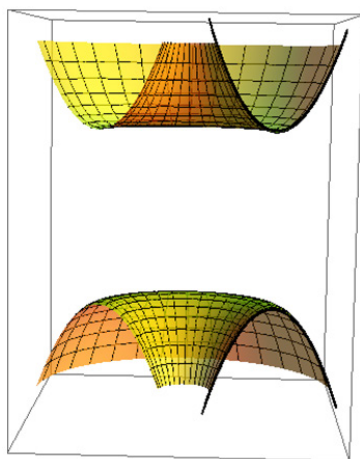


Рисунок 13 - Боковые цилиндры в  $M^4_+$

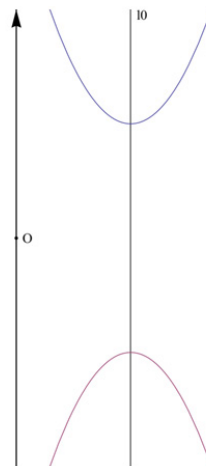


Рисунок 14 - Линейная диаграмма боковых цилиндров

**Сквозные орбиты.** Рассмотрим орбиту  $\gamma = u(\varphi)$ , неограниченную с обеих сторон, с энергией  $E$  и моментом  $K$ . Согласно утверждению 2 она монотонно возрастает от одной границы  $a$  до другой  $b$ , или же наоборот – монотонно убывает. Назовём такую орбиту *сквозной*, соответствующую ей связную компоненту слоя Лиувилля *сквозным цилиндром*.

Пусть  $\gamma_1$  возрастает с  $a$  до  $b$ , т.е. в каждой точке орбиты значение импульса  $p_u$  положительно. Тогда все орбиты, получающиеся из  $\gamma_1$  поворотом, т.е. орбиты вида  $u(\varphi + \varphi_0)$ , имеют те же значения энергии и момента  $E, K$  и соответствующие им фазовые орбиты заметают весь сквозной цилиндр, который целиком лежит в  $\{p_u > 0\}$ . Таким образом сквозной цилиндр слоится на фазовые орбиты (диффеоморфные прямой), которым отвечают сквозные возрастающие орбиты с энергией  $E$  и моментом  $K$ . На рис.15 изображены примеры возрастающей  $\gamma_1$  и убывающей  $\gamma_2$  орбит с одними и теми же значениями  $E, K$ , а на рис.16 соответствующий график эффективного потенциала  $W(u)$ , который всюду на  $(a, b)$  лежит ниже уровня  $E$ .

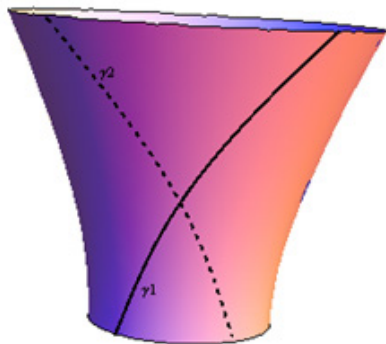


Рисунок 15 - Сквозные орбиты на S

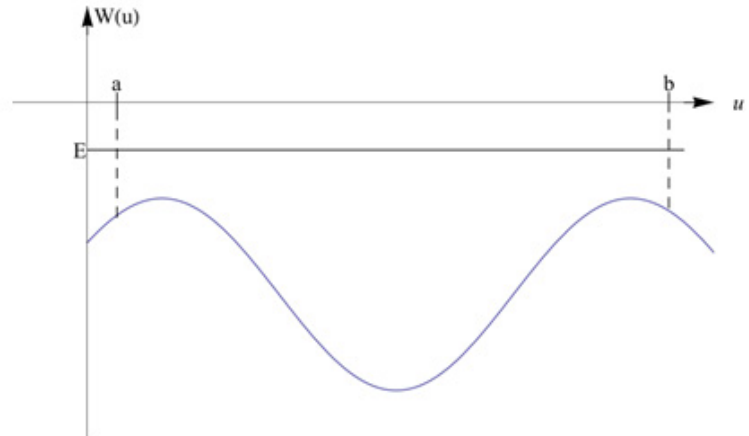


Рисунок 16 - Эффективный потенциал для сквозных орбит.

Весь слой Лиувилля  $T_{H=E, p_\varphi=K}$  состоит из двух сквозных цилиндров. Один из них лежит в области  $p_u > 0$  фазового пространства  $M^4$ , слоится на фазовые орбиты, отвечающие возрастающим орбитам от  $a$  до  $b$ , которые получаются из одной выделенной  $\gamma_1$  поворотами. Другой лежит в области  $p_u < 0$ , слоится на фазовые орбиты, отвечающие убывающим орбитам от  $b$  до  $a$ , которые получаются из некоторой выделенной  $\gamma_2$  поворотами. При этом убывающие орбиты симметричны возрастающим, т.е. графики функций  $\gamma_1(\varphi)$  и  $\gamma_2(\varphi)$  симметричны.

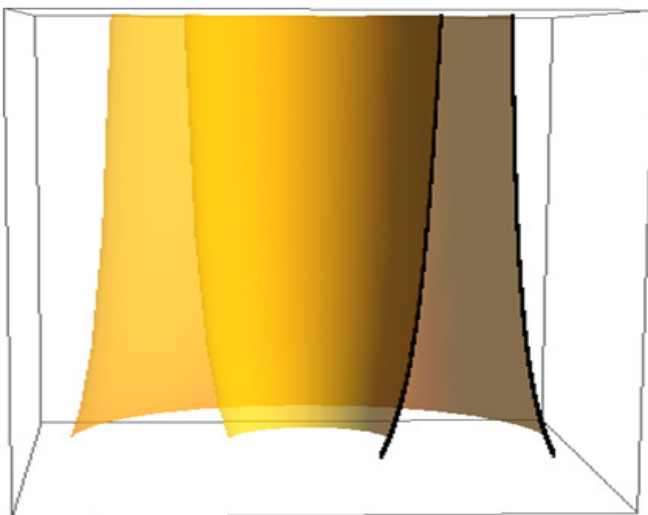


Рисунок 17 - Пара сквозных цилиндров

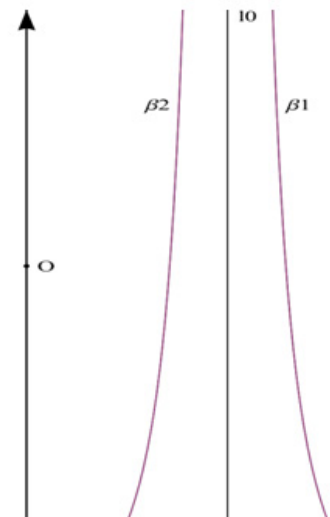


Рисунок 18 - Линейная диаграмма сквозных

Оба упомянутых цилиндра симметричны в таком смысле, что они переводятся друг в друга отражением  $p_u \mapsto (-p_u)$ . На рис.17 изображены два симметричных цилиндра одного слоя Лиувилля. На рис.18 изображены линейная диаграмма слоя – фактор слоя Лиувилля по действию окружности  $S^1$ , т.е. слой фазового пространства диффеоморфен результату вращения линейной диаграммы вокруг оси. На диаграмме кривая  $\beta_1$  отвечает возрастающей орбите  $\gamma_1$ , а кривая  $\beta_2$  отвечает убывающей орбите  $\gamma_2$ ; прямая  $l_0$  отвечает уровню  $\{p_u = 0\}$ .

**Наматывающиеся орбиты.** Пусть  $\gamma$  – орбита с энергией  $E$  и кинетическим моментом  $K$ , которая достигает своего перицентра  $u_1$  и не достигает своего апоцентра  $u_2 \in (a, b)$  (см. рис.19). Назовём орбиты, не достигающие своего апо/пери центра *наматывающимися*.

Согласно утверждению 3 график эффективного потенциала  $W(u)$  орбиты  $\gamma$  пересекает уровень  $E$  в точке  $u=u_1$  трансверсально, и касается уровня  $E$  в точке  $u=u_2$  (см. рис.20); значит  $W'(u_2)=0$ , что означает, что  $u=u_2$  – круговая орбита с теми же значениями энергии и кинетического момента, что и  $\gamma$ . Орбита  $\gamma$  стремится к своему апоцентру  $u=u_2$ , который является круговой орбитой, и касается своего перицентра  $u=u_1$ , который не является круговой при данных значениях  $E, K$  (см. рис.19).

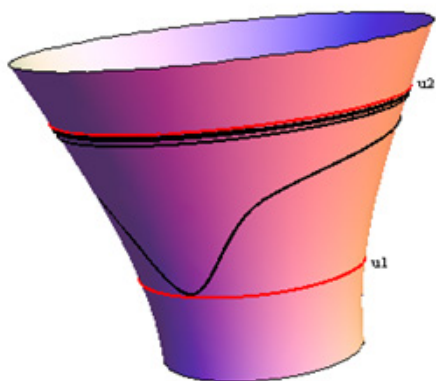


Рисунок 19 - Наматывающаяся с одного конца орбита на S

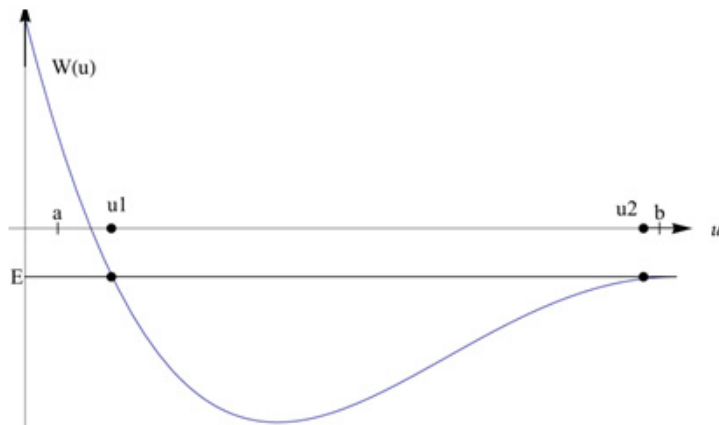


Рисунок 20 - Эффективный потенциал наматывающейся с одного конца орбиты

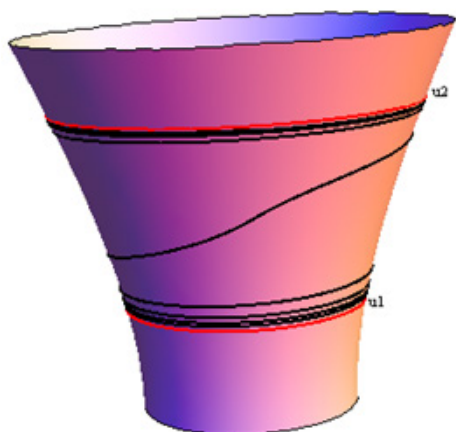


Рисунок 21 - Наматывающаяся двусторонняя орбита на S

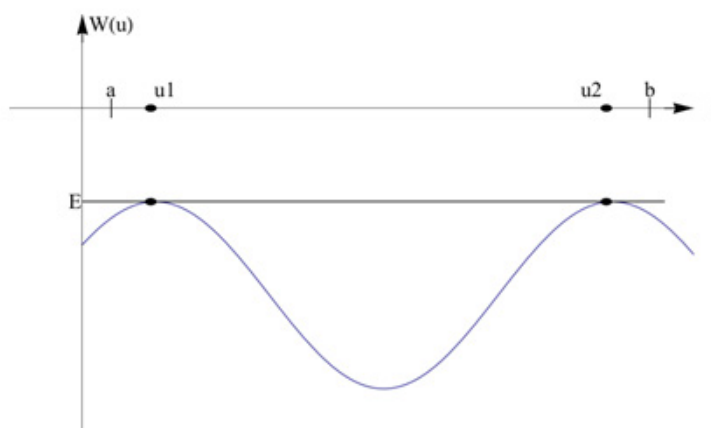


Рисунок 22 - Эффективный потенциал наматывающейся двусторонней орбиты

Орбита может не достигать и перицентра и апоцентра, в этом случае она будет стремиться к апоцентру  $u=u_2$  и перицентру  $u=u_1$ , которые являются круговыми орбитами (см. рис.21). Её график эффективного потенциала будет касаться уровня энергии  $E$  в точках  $u_1, u_2$  (см. рис.22).

Если рассмотреть орбиты, получающиеся из наматывающейся  $\gamma(u)$  всевозможными поворотами, то они будут иметь те же значения  $E, K$ , те же пери- и апоцентры. Соответствующие им фазовые орбиты будут заметать в фазовом пространстве  $M^4$  некоторую поверхность вращения. Вообще говоря, она не будет совпадать со слоем Лиувилля, и даже с его связной компонентой, но будет являться его подповерхностью. Например, для орбиты, изображённой на рис.21 слой Лиувилля будет содержать ещё также и две окружности  $\{u_1\} \times S^1 \times \{0\} \times \{K\}, \{u_2\} \times S^1 \times \{0\} \times \{K\}$ , которые отвечают фазовым орбитам круговых орбит  $u=u_1, u=u_2$ ; таким образом в этом примере слой Лиувилля будет тором (гомеоморфен тору, но не диффеоморфен).

**Утверждение 4:** Все виды неособых орбит, которые описывает частица, двигающаяся по поверхности S под действием центрального потенциала V, исчерпываются следующим списком: круговая, периодическая, боковая неограниченная, сквозная неограниченная, наматывающаяся. Причём орбитам соответствуют определённые компоненты слоя Лиувилля: круговой – окружность, периодической – тор, наматывающейся –

ся ограниченной – цилиндр (который одной или двумя окружностями, отвечающими круговым орбитам, замыкается до тора), боковой – боковой цилиндр, сквозной – пара сквозных цилиндров.

Доказательство.

Для произвольной неособой орбиты  $\gamma(\varphi)$  с перицентром  $u_1$ , апоцентром  $u_2$ , с энергией  $E$  и потенциалом  $K$  рассмотрим пересечение графика эффективного потенциала  $W(u)$  с уровнем  $E$ .

Тогда возможны только несколько вариантов. Первый, перицентр совпадает с апоцентром – это соответствует круговой орбите. Второй, уровень  $E$  пересекает график в  $u_1$  и  $u_2$  трансверсально – это, согласно утверждению 3, соответствует ограниченной орбите. Третий, график  $W(u)$  касается уровня  $E$ , что соответствует наматыванию; при этом если касается в пери- и в апоцентре, то орбита наматывается с обеих сторон (согласно утверждению 3), если в одной точке касается, а в другой испытывает пересечение трансверсально, то наматывается с одного конца. Четвёртый случай, одна или обе точки  $u_1, u_2$  лежат не внутри  $(a, b)$ , а на границе. Этот случай соответствует неограниченной орбите, которая в соответствующей точке выходит к краю поверхности, и если выходит на край только с одной стороны, то имеем боковую орбиту, если с обеих сторон, то сквозную. □

**Некомпактные слои и их перестройки.**

**Плоскость энергии-момента и слои Лиувилля.** Исследуемая гамильтонова система обладает  $S^1$ -симметрией, в силу которой все орбиты, полученные из некоторой выделенной  $\gamma(\varphi)$  всевозможными поворотами, отличаются друг от друга только поворотом, а все остальные характеристики у них совпадают, в т.ч. энергия, момент, пери- и апоцентры, тип. В фазовом пространстве они заматают некоторую поверхность вращения, которая является подповерхностью слоя Лиувилля. Всё фазовое пространство  $M^4$ , расщелено на слои Лиувилля – совместные поверхности уровней  $T_{H=E, p_\varphi=K}$  интегралов энергии  $E$  и кинетического момента  $K$ . Для наглядности рассмотрим отображение энергии-момента:

$$F_{EK}: (u, \varphi, p_u, p_\varphi) \rightarrow \left( E = \frac{p_u^2}{2a_{11}^2(u)} + \frac{p_\varphi^2}{2a_{22}^2(u)} + V(u), p_\varphi = K \right),$$

факторизующее  $M^4$  по значениям  $H, p_\varphi$ , т.е. переводящее фазовое пространство на евклидову плоскость  $R^2$  с декартовыми координатами  $K, E$ . Каждой точке этой плоскости  $(K, E)$ , т.е. каждой паре значений энергии  $E$  и момента  $K$ , соответствует слой Лиувилля фазового пространства  $T_{H=E, p_\varphi=K}$  состоящий из всех точек, отвечающих движению с энергией  $E$  и кинетическим моментом  $K$ .

Назовём точки плоскости энергии-момента *регулярными*, если в них не падает ранг отображения момента  $F_{EK}$ , т.е. точка  $A=(K, E)$  – *регулярна*, если  $\text{rk } dF_{EK} = 2$  во всех точках прообраза  $F_{EK}^{-1}(A)$ . Соответствующий ей полный прообраз (т.е. слой Лиувилля) назовём *регулярным*.

Согласно теоремам Лиувилля и Алёшкина каждая связная компонента любого регулярного слоя Лиувилля является либо тором, либо цилиндром (плоскость для системы (1.9) невозможна). Таким образом, вся плоскость энергии-момента разбивается на области и разделяющие их кривые; всем точкам одной области соответствует один тип слоя, например, тор или цилиндр. А при переходе из одной области в другую один тип слоя перестраивается в другой, например, тор перестраивается в цилиндр.

Рассмотрим в качестве иллюстрирующего примера плоскость энергии-момента одной из известных систем Бертрана рис.23, т.к. рассматривается не всё фазовое пространство, а только  $M^4_+$ , то на рисунке изображена только правая полуплоскость. На рис.23 выделены 4 области:  $I_B, I_1, I_2, I_3$ .

Прообразом любой точки из  $I_B$  будет тор, т.е. если частица движется по  $S$  с не очень большими значениями  $E, K$ , то орбита будет ограниченной, точнее периодической.

Областям  $I_1, I_2$  соответствует случай, когда один из первых интегралов довольно большой, а второй не очень, прообраз любой точки из этих зон будет цилиндром; движение будет проходить по боковой орбите.

Область  $I_3$  соответствует случай, когда значения обоих первых интегралов  $E, K$  достаточно велики, прообразом любой точки из  $I_3$  будет пара сквозных цилиндров; движение будет происходить по сквозной орбите.

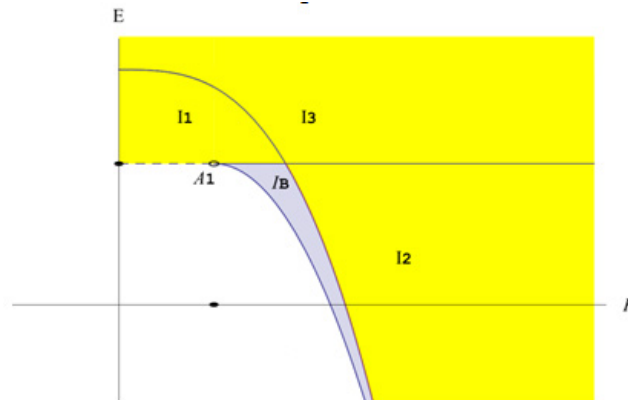


Рисунок 23 - Плоскость энергии-момента для одной из поверхностей Бертрана



В дальнейшем для удобства описания слоёв, а также их перестроек сопоставим каждому слою свою линейную диаграмму и свой линейный код. Линейная диаграмма – это фактор слоя Лиувилля по действию группы  $S^1$  с выделенной осью вращения и прямой  $l_\varphi$ , отвечающей уровню  $p_u=0$  (формально множеству  $\{(u, \varphi, p_u, p_\varphi) : p_u=0, p_\varphi=K\} \square M^4_+$ ) – см. рис.10, рис.14, рис.18.

*Линейный код* – последовательность букв и цифр, кодирующих линейную диаграмму, и сопоставляемый по следующему правилу: двум сквозным цилиндрам (см. рис.18) ставится в соответствие цифра 2, тору (окружность на линейной диаграмме) ставится в соответствии 0, круговой орбите (точка на диаграмме) –  $p$ , боковому цилиндру (парабола на диаграмме) –  $s$ , наматывающейся на две круговые орбите –  $p0p$  (т.к. вместе с этими круговыми её фазовая компонента будет тором), наматывающаяся на одну круговую –  $0p$  или  $p0$  (буква  $p$  показывает, на какую круговую происходит наматывание – на перицентр или апоцентр), уходящую на край с одной стороны и наматывающуюся с другой –  $cp$  или  $pc$ , отрезку круговых –  $p-p$ , пустым зонам – 1 или запятая. Кодирование происходит снизу вверх вдоль роста координаты  $u$ .

Таким образом диаграмме рис.10 соответствует код 0. Диаграмме рис.14 соответствует код  $s1c$ . Диаграмме рис.18 соответствует код 2. Диаграмме, отвечающей случаю рис.20 соответствует код  $0p$ . Диаграмме, отвечающей случаю рис.22 соответствует код  $p0p$ .

Диаграмме, отвечающей случаю рис.6 соответствует код  $p1p-p10p0$ .

Рассмотрим также следующий пример 1 (представленный рисунками 24-26), иллюстрирующий менее тривиальный слой Лиувилля при некотором значении интегралов  $K, E$ .

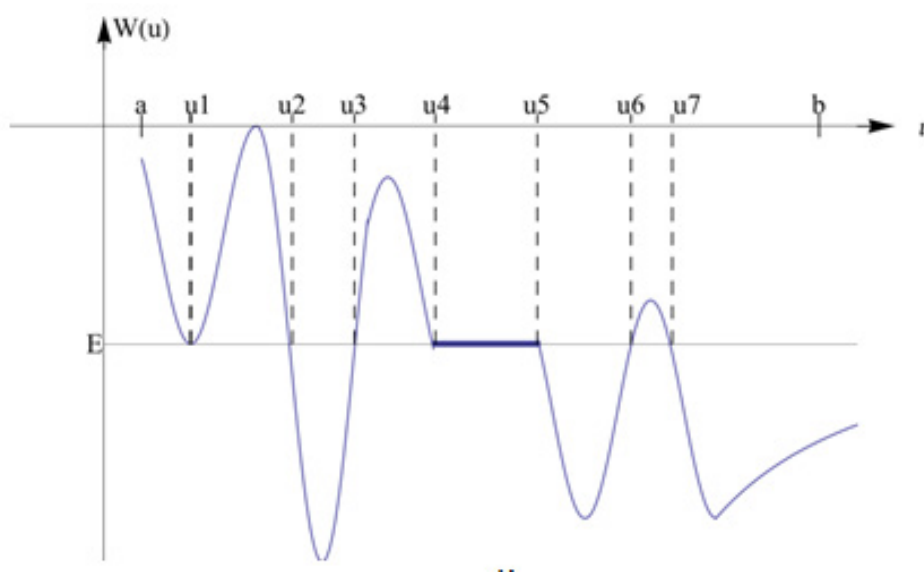


Рисунок 24 - Эффективный потенциал примера 1

На рис.24 изображён график эффективного потенциала примера 1. Для заданного значения интеграла энергии имеем один локальный минимум  $u_1$ , одну яму, трансверсально пересекающую свои границы  $u_2$  и  $u_3$ , один горизонтальный участок  $[u_4, u_5]$ , скатывающийся в яму, левый край которой касается уровня  $E$ , а правый пересекает его трансверсально в точке  $u_6$ , в точке  $u_7$  имеем последнюю яму, уходящую за пределы границы  $b$ .

На рис.25 изображён слой Лиувилля (для наглядности половинка слоя), отвечающий примеру 1, а на рис. 26 линейная диаграмма. Локальному минимуму  $u=u_1$  эффективного потенциала  $W(u)$  соответствует круговая орбита (на рис.25 она выделена двумя маленькими шариками). Далее следует периодическая орбита, колеблющаяся между уровнями  $u_2, u_3$ , ей отвечает тор в фазовом пространстве, и окружность на линейной диаграмме. Горизонтальному участку  $[u_4, u_5]$  отвечает целый пояс круговых орбит на  $S$ , а в фазовом пространстве цилиндр с краями, на линейной диаграмме – отрезок. Яме между параллелями  $u_5, u_6$  наматывающаяся на  $u_5$  и достигающаяся  $u_6$  орбита, которой в фазовом пространстве отвечает тор с выколотой окружностью  $\{u=u_5, p_u=0, p_\varphi=K\}$ , а на линейной диаграмме окружность с выколотой точкой  $u_5$  (эта точка относится к отрезку круговых орбит  $[u_4, u_5]$ ). Завершает картину боковая орбита, ей в фазовом пространстве отвечает боковой цилиндр.

Линейной диаграмме примера 1 отвечает код  $p,0,p-p0,c$ .

Теперь каждой точке плоскости энергии-момента, в т.ч. и нерегулярной, можно сопоставить код её образа, т.е. слоя Лиувилля. А точки с одинаковыми кодами объединить в общие множества.

**Замечание:** Линейный код несёт в себе информацию не только о слое Лиувилля как поверхности, но также говорит кое-что об орбитах. Например, коды 0,  $0p$  задают в фазовом пространстве тор. Однако в первом случае он соответствует периодической орбите и все фазовые орбиты равноправны, второй же тор соответствует наматывающейся орбите и все фазовые орбиты стремятся к одной выделенной круговой. Более

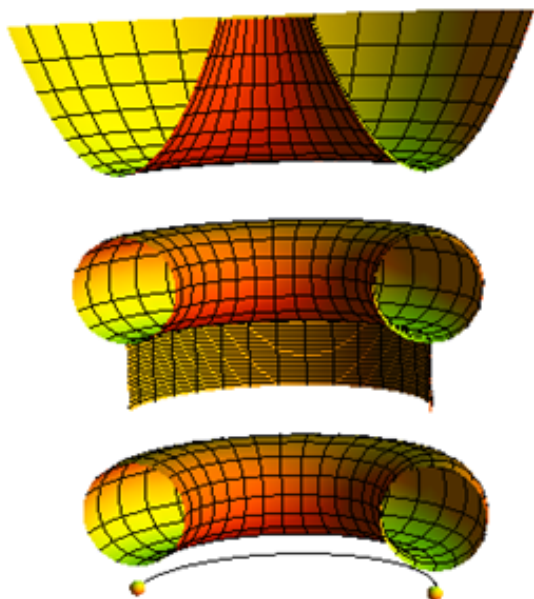


Рисунок 25 - Слой Лиувилля примера 1

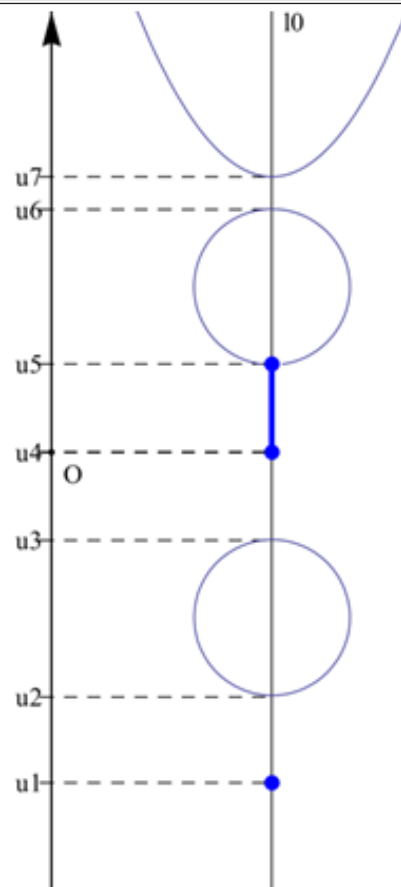


Рисунок 26 - Линейная диаграмма примера 1

того, первый слой гомеоморфен и диффеоморфен тору, второй же гомеоморфен, но не диффеоморфен, т.к. он является подповерхностью в  $M^4$ , заданной условиями  $H(u, \varphi, p_\varphi, p_\varphi) = E, p_\varphi = K$ , а дифференциалы этих функций в свою очередь линейно зависимы на круговых [4]. Поэтому введём также короткий линейный код, который получается из линейного вычёркивание всех неодионочных букв  $p$ . Примеру 1 соответствует короткий линейный код  $p, 0, -0, c$ .

**Определение 5:** Назовём фрагмент кода между двумя разделителями (единичка или запятая) или от-делённый от остальной части кода разделителем, *связным фрагментом*.

Назовём два кода, отвечающие разным линейным диаграммам, *похожими*, если один можно получить из другого перестановкой связных фрагментов, или изменением порядка следования символов во фрагменте на противоположный.

Связный фрагмент кода (или короткого кода) отвечает компоненте связности слоя Лиувилля. В примере 1 код  $p, 0, p-p0, c$  состоит из следующих связных фрагментов  $p, 0, p-p0, c$ . А соответствующий слой Лиувилля разбивается на следующие связные компоненты: окружность, тор, цилиндр, приклеенный к тору, цилиндр.

Изменение порядка символов в связном фрагменте на противоположный соответствует просто симметрии (переворачиванию) связной компоненты слоя.

**Утверждение 5:** Любому слою Лиувилля системы (1.6) можно сопоставить линейный код и короткий линейный код, притом слою, отвечающим непохожим коротким линейным кодам, будут не гомеоморфны, за исключением кодов 2 и  $c, c$ .

Что касается кодов 2 и  $c, c$ , то несмотря на их гомеоморфность, как слою Лиувилля они отличаются очень сильно, и их можно различать по другим признакам, например, в одном случае цилиндры лежат по разные стороны множества  $\{p_u = 0\}$ , в другом каждый цилиндр его пересекает по окружности.

Доказательство утверждения 5.

Каждому слою Лиувилля взаимно-однозначно сопоставляется пара значений  $E, K$  интегралов энергии и момента. Значению  $K$  соответствует график эффективного потенциала  $W(u)$ , те его части, которые отсекаются (лежат ниже или на уровне) уровнем  $E$ , представляют собой либо точку, либо отрезок, либо яму. В случае ямы уровень  $E$  может пересекать  $W(u)$  в её границах трансверсально, может касаться границ, или проходить выше одной из границ или всей ямы. Каждой из возможностей соответствует один из описанных выше типов орбит и отвечающих им компонент слоя Лиувилля, линейный диаграммы, коды.

Далее выбросим из рассмотрения пару симметричных цилиндров с кодом 2.

Если количество связных компонент в непохожих кодах разное, то слои Лиувилля не гомеоморфны, т.к. имеют различное количество компонент связности, а это количество сохраняется при гомеоморфизмах.

Если же количество компонент совпадает, то пусть коды отличаются последовательностью в некотором связном фрагменте, при этом связная компонента поверхности состоит из нескольких торов и цилиндров, склеенных по окружностям, или является изолированной окружностью. Если количество этих торов и цилиндров разное в разных кодах (выбранных связных фрагментах), то связные компоненты слоёв очевидно не гомеоморфны. Если же одинаковое, но отличается порядком, то также нет гомеоморфизма, т.к. окружности склеивания должны переходить друг в друга, при этом порядок сохраняется, а значит, на каком-то этапе тор должен будет перейти в цилиндр, что невозможно.

**Перестройки.** Будем рассматривать изокINETические поверхности в фазовом пространстве и топологию слоений Лиувилля на них. Для этого рассмотрим *изокINETическую* поверхность  $Q^3_K := \{p_\phi = K\}$ , т.е. поверхность уровня интеграла кинетического момента  $p_\phi$ . Соответственно опишем изокINETические перестройки на поверхности  $Q^3_K$ , т.е. такие, которые возникают при изменении значения энергии  $E$ , когда значение момента  $K$  остаётся неизменным. Здесь не играет важной роли боттовость интеграла  $E$ . Тем самым мы ограничиваем себя рассмотрением движения с кинетическим моментом  $K$ , энергия же может принимать любые возможные значения. Будем полагать, что на каждой изокINETической поверхности происходит конечное число перестроек.

Для изокINETической поверхности фиксирован график эффективного потенциала  $W(u)$  (т.к. он зависит от  $K$  и не зависит от  $E$ ). Любой слой Лиувилля либо целиком лежит на  $Q^3_K$  либо целиком лежит вне  $Q^3_K$ . Образ  $Q^3_K$  при отображении момента  $F_{EK}$  будет лежать на вертикальной прямой  $K = \text{const}$  в плоскости энергии-момента.

Все возникающие перестройки слоёв Лиувилля в фазовом пространстве  $M^4$  связаны с двумя факторами: разрывами и склейками слоёв как и в компактном случае, выходами слоёв за границу  $M^4$ , что соответствует выходу соответствующих орбит на границу поверхности  $S$ . При этом разрывы и склейки слоёв в нашем случае всегда сопряжены с падением ранга отображения момента  $F_{EK}$  что соответствует наличию круговых орбит в слое [4], поэтому будем каждый слой характеризовать сложностью.

**Определение 6:** Назовём *сложностью* слоя Лиувилля количество круговых орбит в нём. Если их бесконечное количество, то положим сложность равной бесконечности.

Сложность слоя на рис.9 равна 0, слоя на рис.13 равна 0, слоя на рис. 17 равна 0, слоя, отвечающего рис.19 равна 1, слоя, отвечающего рис.21 равна 2, слоя на рис.25 бесконечна. Сложность регулярного слоя равна 0, т.к. ранг отображения момента падает только на круговых.

Все перестройки регулярных слоёв, сопряжённые с первым фактором (склейкой и разрывом слоёв), имеют свою сложность, равную по определению сложности нерегулярного слоя, через который происходит перестройка. В перестройках регулярных слоёв, сопряжённых только со вторым фактором, не возникает круговых орбит, а значит, положим сложность такой перестройки равной 0. Т.к. в компактном случае не было второго фактора, то в нём сложность любой перестройки было натуральна.

Рассмотрим некомпактные перестройки нулевой сложности, т.е. такие, в которых не возникает круговых орбит. При этом регулярные слои некоторого типа (линейного кода)  $t_1$  перестраиваются в слои типа  $t_2$ .

**Теорема 1:** Для слоения Лиувилля системы (1.6) возможны только следующие изокINETические перестройки нулевой сложности:  $[2 \boxtimes c]$ ,  $[2 \boxtimes 0]$ ,  $[X, c \boxtimes X, 0]$  (аналогично  $[c, X, \boxtimes 0, X]$ ),  $[c, X, c \boxtimes 0, X, 0]$ , где  $X$  – неизменяющийся фрагмент кода.

Например, перестройка  $[c, 0, 0, 0, c \boxtimes c, 0, 0, 0]$  есть перестройка нулевой сложности, в которой в качестве неизменяющегося фрагмента кода выступает начальный отрезок  $c, 0, 0, 0$ .

Доказательство теоремы 1.

Сначала рассмотрим случай, когда перестраиваются два симметричных цилиндра. Тогда на интервале  $(a, b)$  уровень  $E$  проходит выше эффективного потенциала. Понижаем этот уровень и далее имеем три варианта.

Первый, график  $W(u)$  для некоторого  $E_0$  лежит всюду на  $(a, b)$  ниже  $E_0$ , но при этом стремится к нему в концах, т.е.  $W(u) \xrightarrow{u \rightarrow a} E - 0$ ,  $W(u) \xrightarrow{u \rightarrow b} E - 0$ . Тогда при  $E = E_0$  имеем по прежнему пару цилиндров, а в следующие моменты (при  $E < E_0$ )  $W(u)$  будет пересекать  $E$  трансверсально в некоторых двух точках, что соответствует тору, т.е. в итоге перестройке  $2 \boxtimes 0$ .

Второй, график  $W(u)$  только с одной стороны стемиться к некоторому уровню  $E_0$ , т.е.  $W(u) \xrightarrow{u \rightarrow a} E - 0$ , а всюду, за пределами некоторой окрестности точки  $a$  отделён от  $E_0$ . Тогда при переходе через уровень  $E_0$  сверху вниз, получим только одно пересечение  $W(u)$  с  $E$  и яму, которая простирается вплоть до другой границы  $b$ . Это соответствует боковой орбите и перестройке  $2 \boxtimes c$ .

Третий случай связан с наличием точки касания, при опускании  $E$ , т.к. отсутствие точки касания возможно только на границах в описанных выше случаях. Но касание порождает круговую орбиту, а это уже не нулевая сложность.

Случай, не связанный со сквозной орбитой (двумя симметричными цилиндрами), означает, что  $W(u)$  имеет пересечения (трансверсальные) с уровнем  $E$ . При этом уровень  $E$  отсекает от  $W(u)$  несколько частей графика (т.е. отделяет части, лежащие ниже или на уровне  $E$ ), которые могут образовывать двусторонние

ямы, отвечающие периодическим орбитам, и односторонние ямы, отвечающие боковым. При этом точек касания, отрезков, лежащих на уровне  $E$ , ям с касанием (наматывающихся орбит) быть не может из-за нулевой сложности. При понижении уровня  $E$  ямы (торы или боковые цилиндры) остаются ямами (торами или боковыми цилиндрами), и не могут распасться или объединиться из-за требования отсутствия касания графика  $W(u)$  уровня  $E$ . А вот боковой цилиндр описанным выше способами может перестроиться в тор. □

В перестройках нулевой сложности изменение типа слоя, происходило не за счёт склейки или разрыва, а только за счёт того, что часть его вылезала за пределы  $Q^3_K$  и пропадала.

Пример 1 иллюстрирует перестройку через уровень  $E$  бесконечной сложности. А именно нерегулярный слой примера 1, отвечающий уровню  $E$ , имеет код  $p, 0, p-p, 0, c$ . Слои, которым соответствует то же значение  $K$ , и чуть более высокие значения энергии имеют код  $0, 0, 0, c$ , т.к. при увеличении уровня  $E$ , точка  $u_1$  разрастётся до ямы, яма с границами  $u_2, u_3$  чуть увеличится, часть графика от  $u_4$  до  $u_6$  станет одной большой ямой. Слои, которым соответствует то же значение  $K$ , и чуть менее высокие значения энергии имеют код  $0, 0, c$ . Таким образом, перестройка выглядит следующим образом  $[0, 0, 0, c \boxtimes p, 0, p-p, 0, c \boxtimes 0, 0, c]$ .

С помощью введённых кодов можно описать все перестройки регулярных слоёв Лиувилля на изокINETической поверхности, а также можно описать бифуркацию всех слоёв Лиувилля при изменении значения интеграла энергии.

Например, в примере 1 при изменении значения интеграла энергии с  $+\infty$  до  $-\infty$  происходят следующие перестройки  $[2 \boxtimes \text{срс} \boxtimes \text{с,с} \boxtimes 0, \text{с} \boxtimes 0, 0\text{рс} \boxtimes 0, 0, \text{с} \boxtimes 0, 0, 0\text{рс} \boxtimes 0, 0, 0, \text{с} \boxtimes p, 0, p-p, 0, \text{с} \boxtimes 0, 0, \text{с} \boxtimes 0, 0, 0 \boxtimes 0, p, \text{р} \boxtimes 0 \boxtimes \text{р}]$ . Т.к. мы работаем только с конечным числом перестроек, то цепочка будет иметь конечную длину.

Однако для кодирования топологии изокINETического слоя  $Q^3_K$  построенные коды обладают избыточной информацией. Достаточно знать просто расположение критических точек эффективного потенциала (точнее их последовательность и уровень энергии), а также поведение графика  $W(u)$  на границах  $a, b$ . Для примера 1 такая последовательность выглядит следующим образом:  $(a, -1), (u_1, -4), (u_{1.5}, 0), (u_{2.5}, -7), (u_{3.5}, -2), (u_4 - u_{5'}, -4), (u_{5.5}, -6), (u_{6.5}, -3), (u_{7.5}, -6), (b, -5)$ . В данной последовательности первые элементы каждой пары – это  $u$ -координата критических точек и двух границ  $a, b$ . При этом для примера 1 за  $u_{1.5}$  обозначена координата максимума между точками  $u_1$  и  $u_2$ , за  $u_{2.5}$  – координата минимума между точками  $u_2$  и  $u_3, \dots$  Вторые элементы – это относительная высота каждой критической точки, выражающая лишь, какая точка выше или ниже какой другой расположена. Одинаковое второе число означает, что критические точки на одном уровне, как например локальные минимумы между  $u_5$  и  $u_6$  (обозначен за  $u_{1.5}$ ), после  $u_7$  (обозначен за  $u_{7.5}$ ). Высота может принимать значение  $-\infty$ .

Назовём такие (критических точек с их относительными высотами) последовательности *критическими*.

Заметим, что монотонные (возрастающие) замены  $X(u), Y(W)$  не меняют качественной картины взаимного расположения критических точек, т.е. график гладкой  $W(u)$  имеет такой же их порядок, что и график  $Y(W(X(u)))$ , т.к. замена  $X(u)$  может приближать друг к другу и удалять вдоль оси  $Ou$  критические точки, но не может поменять порядок их следования друг за другом, а замена  $Y(W)$  может менять высоты точек, но в силу монотонности не может изменить их порядок. Поэтому последовательности, отвечающие функциям, получающимся друг из друга вышеописанными заменами назовём *эквивалентными*.

Пусть заданы две гамильтоновы системы  $(v_1 = \text{sgrad } H_1, M_1)$  и  $(v_2 = \text{sgrad } H_2, M_2)$  типа (1.6), т.е. описывающие движение частицы по гладкой поверхности вращения под действием центрального потенциала. Пусть для каждой системы выделена невырожденная изокINETическая поверхность  $Q^3_1$  и  $Q^3_2$ , расслоенные на слои Лиувилля интегралов энергии и кинетического момента. Мы продолжаем работать, только с выделенным подпространством  $\{p_\varphi > 0\}$  фазового пространства.

**Определение 7:** Две интегрируемые системы  $(v_1, Q^3_1), (v_2, Q^3_2)$  *лиувиллево эквивалентны*, если существует гомеоморфизм, переводящий слои Лиувилля одной системы в слои другой так, чтобы сохранялось действие группы вращения и компонента  $Q^3_1 \cap \{p_{u_1} > 0\}$  переходила в  $Q^3_2 \cap \{p_{u_2} > 0\}$ , а  $Q^3_1 \cap \{p_{u_1} < 0\}$  переходила в  $Q^3_2 \cap \{p_{u_2} < 0\}$ .

**Теорема 2:** Две интегрируемые системы  $(v_1, Q^3_1), (v_2, Q^3_2)$  *лиувиллево эквивалентны* тогда и только тогда, когда их критические последовательности эквивалентны.

*Доказательство.*

Пусть их последовательности  $\xi_1$  и  $\xi_2$  эквивалентны. Тогда каждой поверхности  $Q^3_i$ , отвечает свой график эффективного потенциала  $W_i(u_i)$ , но они переводятся друг в друга монотонными растяжениями вдоль горизонтальной и вертикальной осей. Значит их можно так растянуть, чтобы их критические точки в точности совпали, что соответствует диффеоморфному растяжению фазового пространства  $M^4_i$  в целом и его подпространства  $Q^3_i$ . Далее меняя уровень энергии с  $+\infty$  до  $-\infty$  мы получаем согласно утверждению 5 слойные гомеоморфизмы слоёв, которые все вместе дают отображение  $Q^3_1$  в  $Q^3_2$ ; при этом выберем их такими, чтобы в результате меридианы (линии  $\{\varphi = \text{const}, p_u = \text{const}, p_\varphi = \text{const}\}$ ) переходили в меридианы (это можно сделать вращением вдоль широт в соответствии с действием группы вращений).



В обратную сторону. При изменении уровня энергии с  $+\infty$  до  $-\infty$  у системы происходит сужение слоёв Лиувилля, т.е. слои с меньшими значениям энергии имеют меньшую проекцию на ось  $Ou$ , чем слои с большим значениям, т.е. выполнено  $\{u: W(u) \leq E_0\} \supset \{u: W(u) \leq E_1\}$  при  $E_0 \geq E_1$ . Поэтому имеет место некоторая монотонность бифуркации. В связи с чем гомеоморфизм (системы эквивалентны по условию) переводит более «крупные» слои одного слоения в более «крупные» слои другого. Таким образом, если каждому значению энергии одного слоения сопоставить значение энергии соответствующего ему слоя второго слоения, получим монотонную функцию  $E_2 = f(E_1)$ .

При этом при понижении значения  $E_1$  при переходе через нерегулярный слой проекция на ось  $Ou$  уменьшается, т.к. нерегулярный слой содержит круговые орбиты, коим соответствуют критические точки на графике  $W(u)$ , а точки, лежащие строго под критическими, как точки под графиком уже не соответствуют реальному движению.

Наш гомеоморфизм переводит слой с энергией  $E_1$  в слой с энергией  $E_2 = f(E_1)$ . Изменяя теперь  $E_1$  с  $+\infty$  до  $-\infty$  и отслеживая пересечения с критическими точками графика  $W_1(u_1)$  с  $E_1$ , мы получим соответствующие пересечения и графика  $W_2(u_2)$  с  $E_2 = f(E_1)$ , т.к. если бы в какой-то момент пересечения не совпали, то согласно утверждениям 4,5 это означало бы негомеоморфность соответствующих слоёв, что противоречит условию. Пройдя до самой  $-\infty$  мы получим эквивалентные критические последовательности. ■

### Библиографический список

1. Арнольд В.И. Математические методы классической механики. М.: Наука, 1989. -472 с.
2. Болсинов А.В., Фоменко А.Т. Интегрируемые гамильтоновы системы. Ижевск: Удмуртский университет. 1999. -444с.
3. Загрядский О. А., Кудрявцева Е.А., Федосеев Д.А. Обобщение теоремы Бертрана на поверхности вращения // Матем. сб. 2012. 203, №8. 39-78.
4. Загрядский О.А. геометрия гамильтоновых систем для многообразий и потенциалов Бертрана. 2015
5. Алёшкин К. Р., Топология интегрируемых систем с неполными полями, Матем. сб., 205:9 (2014), 49–64.



**КОМБИНИРОВАННЫЙ ЦИКЛ АЭС С ВТГР****Александр Георгиевич. ИЛЬЧЕНКО***кандидат технических наук,  
доцент кафедры АЭС**Ивановского государственного энергетического университета им В.И. Ленина***Павел Сергеевич ШЕБЕРСТОВ***аспирант кафедры АЭС**Ивановского государственного энергетического университета им В.И. Ленина*

В настоящее время в связи с необходимостью укрепления позиций ядерной энергетики, повышения производства электроэнергии и увеличения ее доли, вырабатываемой на АЭС, возникает необходимость разработки проектов энергоблоков атомных станций с реакторами нового поколения, обеспечивающими качественный шаг вперед.

Одним из основных направлений инновационных ядерных технологий на сегодняшний день является развитие АЭС с высокотемпературными газоохлаждаемыми реакторами (ВТГР) с гелиевым теплоносителем.

Атомные станции с ВТГР позволяют обеспечить:

- экономичное производство электроэнергии с высоким КПД (до 48%) и минимальным тепловым и радиационным воздействием на окружающую среду;

- возможность получения высокопотенциально тепла, используемого в энергоёмких технологических процессах, а также для производства водорода;

- гибкий топливный цикл с возможностью использования различных видов без изменения конструкции активной зоны.

Большие возможности для повышения тепловой экономичности АЭС с ВТГР дает использование комбинированного бинарного цикла. В верхней части цикла используется газотурбинный цикл, а в нижней – паротурбинный.

В работе проводится анализ тепловой экономичности энергоблока комбинированной АЭС, включающей в себя высокотемпературный газоохлаждаемый реактор с гелиевым теплоносителем, гелиевую турбину, компрессор, прямоточный парогенератор (ПГ) и паротурбинную установку. Схема парогазовой установки двухконтурная, с закрытым газовым циклом и полным использованием тепла газа в паровом цикле. В паровом контуре используется мо-

дернизированная паротурбинная установка (ПТУ) К-210-130. В отличие от стандартной ПТУ, ее система регенерации высокого и низкого давлений заменена на газо-водяные теплообменники. Вследствие этого у турбины сохраняется только один отбор на деаэрактор, а сама она работает с увеличенными расходами пара через проточную часть. Гелий с давлением 5 МПа нагревается в реакторе до температуры 1000°C и поступает в газовую турбину, где расширяется до 2 МПа. Далее он поступает в прямоточный парогенератор, где отдаёт тепло рабочему телу паротурбинного контура. Парогенератор состоит из трёх отдельных модулей: испарителя, основного и промежуточного пароперегревателей. Поток газа после газовой турбины разделяется на два потока, проходит основной и промежуточный пароперегреватели, а затем потоки смешиваются перед модулем испарителя. После парогенератора гелий с температурой 325°C последовательно проходит газо-водяные теплообменники высокого (ГВТВД) и низкого (ГВТНД) давлений, где охлаждается до 213°C. После компрессора гелий с температурой около 524°C поступает в реактор. Привод компрессора осуществляется с помощью специальной приводной турбиной. Так организуется замкнутый газовый цикл. Нагревая до 275 °C питательная вода поступает парогенератор, в котором генерируется перегретый пар с давлением 13 МПа и температурой 540°C. Принципиальная схема комбинированного цикла представлена на рис.1.

Были проведены расчеты тепловой экономичности энергоблока как для вышеописанной тепловой схемы ПТУ, так и для типовой схемы со штатной системой регенеративного подогрева. При расчетах расход гелия через реактор и температура на выходе из него принимались постоянными и равными 168 кг/с и 1000°C соответственно. Поэтому разные варианты энергоустановки комбинированного цик-

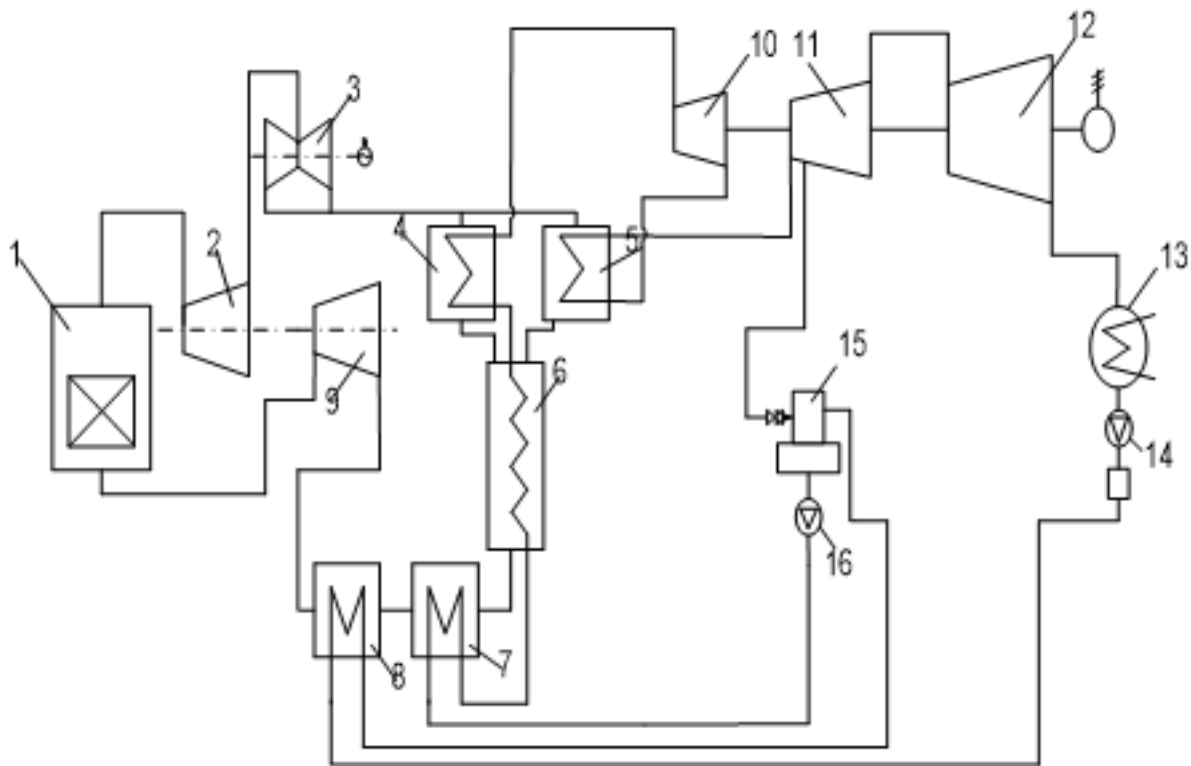


Рисунок 1 - Принципиальная схема комбинированного цикла:

1- реактор; 2 - приводная турбина; 3 - энергетическая турбина; 4 - основной пароперегреватель; 5 - промежуточный пароперегреватель; 6 - испаритель; 7 - газо-водяной теплообменник высокого давления; 8 - газо-водяной теплообменник низкого давления; 9 - компрессор; 10 - ЦВД; 11 - ЦСД; 12 - ЦНД; 13 - конденсатор; 14 - КЭН; 15 - деаэрактор; 16 - ПЭН

ла отличались тепловой мощностью реактора. Результаты расчетов показали, что наиболее высокую тепловую экономичность имеет вариант с полным замещением регенеративного подогрева турбоустановки на ГВП. При тепловой мощности реактора 667 МВт суммарная электрическая энергоблока достигает 293,5 МВт, а КПД по выработке электроэнергии соответственно равен 44 %. Анализ показал, что дополнительное охлаждение гелия перед компрессором с отводом теплоты в окружающую сре-

ду приводит к снижению тепловой экономичности. Целесообразно поэтому вводить дополнительное охлаждение гелия при условии полезного использования отводимой от гелия теплоты. Также целесообразным может быть применение промежуточного охлаждения гелия в процессе сжатия. Очевидно, что при оптимизации схемы могут быть выявлены дополнительные резервы повышения тепловой экономичности. ■

# СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

**Нурболат Сапарович ИСАЕВ**

магистрант

**Сергей Васильевич ОЛЕЙНИКОВ**

кандидат технических наук, доцент

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана

**Аннотация.** Статья посвящена современному методу анализу силовых трансформаторов, для обнаружения неисправности в устройствах.

**Ключевые слова:** силовые трансформаторы, определение влаги в изоляции путем измерения частотной зависимости  $\tan \delta$ , Диагностика механического состояния обмоток методом частотного анализа (МЧА), Отклики обмоток.

Силовые трансформаторы являются одним из значимых и капиталоемких элементов энергосистем. Надежность работы электрических сетей, электростанций и энергосистем в значительной степени зависит от надежности работы силовых трансформаторов и автотрансформаторов, эксплуатируемых на электростанциях и в электрических сетях, значительное количество которых на энергопредприятиях России отработали установленный стандартом ГОСТ 11677-85 срок службы 25 лет. В целом более 40% силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше, эксплуатируемых на энергопредприятиях России, находятся в эксплуатации более 25 лет [1]. Фактически во многих энергосистемах более половины трансформаторного парка находится в эксплуатации более 25-30 лет. Продолжение эксплуатации после предполагаемого расчетного срока службы является общемировой тенденцией. В настоящее время практически во всех странах все более интенсивно рассматривается вопрос о продлении срока службы установленного парка трансформаторов. Так, например, основываясь на опыте ремонта трансформаторов электросетевых компаний Германии, следует отметить, что во многих случаях состояние активной части трансформаторов было удовлетворительным и не требовало замены обмоток даже при сроках эксплуатации более 40 лет, что в основном обусловлено сравнительно низким уровнем нагрузки в течение срока эксплуатации. Старение целлюлозной изоляции блочных трансформаторов, а также трансформаторов промышленных предприятий, являющееся одним из важнейших факторов при принятии решения о

продлении эксплуатации, выводе на ремонт и (или) замене, происходит, в отличие от сетевых трансформаторов, зачастую значительно интенсивнее. По оценке СИГРЕ, продолжение эксплуатации парка трансформаторов при их удельной повреждаемости более 3 % экономически нецелесообразно. На основании ориентировочных статистических данных, критическое увеличение числа отказов генераторных трансформаторов имеет место после 35 лет, а сетевых трансформаторов - после 45 лет эксплуатации. В статье [1] также приведен анализ повреждаемости сетевых, межсистемных и блочных трансформаторов отечественного производства, а также производства стран СНГ. Кроме того, в статье указана статистика нарушений в работе различных систем трансформатора, которая подчеркивает необходимость разработки и внедрения новых методов диагностики с целью предупреждения таких повреждений. Основными задачами диагностики трансформаторного оборудования являются выявление дефектов и повреждений, оценка функциональной исправности оборудования, определение возможности продления срока эксплуатации без проведения ремонтных работ, определение объема ремонта при его необходимости, оценка остаточного срока службы, а также выработка рекомендаций по продлению срока службы. Кроме того, применение диагностических методов дает возможность оценить состояние целых трансформаторных парков, позволяя тем самым производить ранжирование трансформаторов по состоянию, что, в свою очередь, позволяет снижать затраты на эксплуатацию и ремонт. В настоящей статье дается краткий обзор двух новых методов диагностики и их применение для оценки состояния трансформаторов.

Определение влаги в изоляции путем измерения частотной зависимости  $\tan \delta$

Один из решающих факторов ухудшения изоляции в эксплуатации - увлажнение. Главным источником увлажнения является атмосферная влага, проникающая под действием градиента

давления, особенно через ослабленные уплотнения. Старение целлюлозной изоляции также может образовать значительное количество влаги, особенно если изоляция работает при повышенной температуре и значительно изношена. Вследствие медленности процесса диффузии влаги в изоляции трансформатора основная масса влаги по мере проникновения из окружающего воздуха сосредотачивается в основном в тонкой изоляционной структуре, преимущественно барьерной изоляции. Распределение влаги в изоляционной структуре неравномерно. Так, содержание влаги в витковой изоляции существенно ниже, чем в электрокартонных барьерах. Неравномерное распределение влаги в изоляционных деталях сохраняется в течение всего периода эксплуатации трансформатора. Выделяющаяся при старении влага также распределяется неравномерно. При этом происходит ее миграция из участков с наибольшим износом в зоны с низшими значениями температуры. Описанные выше причины обуславливают сложность диагностики степени увлажнения и, таким образом, необходимость применения методов, позволяющих проводить надежную оценку увлажнения изоляции. Разработанный фирмой АББ новый метод представляет собой дальнейшее развитие абсорбционных методов с использованием измерения тангенса угла диэлектрических потерь в широком частотном диапазоне (рис. 2) [2]. Новый метод нашел обширное применение во многих странах мира и используется в качестве одного из основных при оценке состояния бумажно-масляной изоляции. Основными задачами метода являются измерение влажности целлюлозы и проводимости масла.

С начала применения метода в 90-х гг. и по насто-

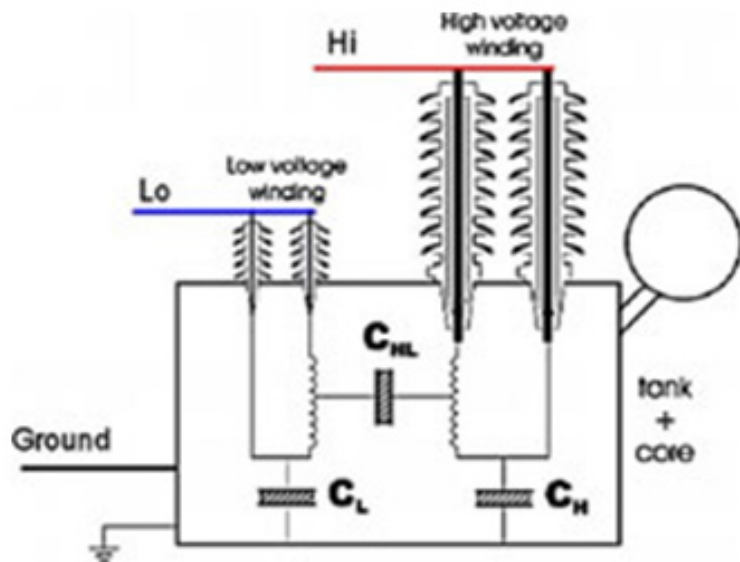
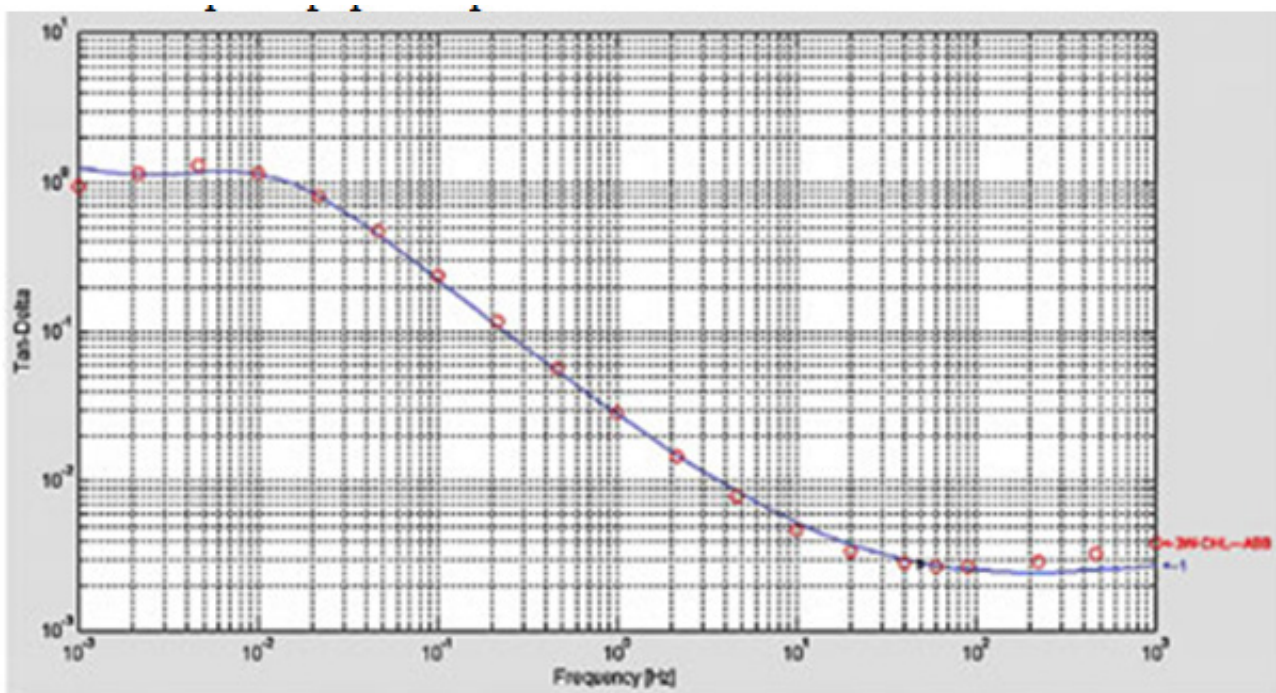


Рисунок 1 - Схема измерения тангенса угла диэлектрических потерь от частоты для трансформатора с двумя обмотками (участок изоляции с емкостью  $C_{HL}$ )

ящее время специалистами АББ в различных странах были проведены более тысячи измерений на трансформаторах различного типа. Метод особенно хорошо зарекомендовал себя при определении степени увлажнения в рамках комплексного диагностического обследования (рис. 2, 3).

Диагностика механического состояния обмоток методом частотного анализа (МЧА)

Согласно выводам рабочей группы СИГРЕ WG A2.26, основанным на обобщении международного опыта, метод частотного анализа (FRA - Frequency Response Analysis) является наиболее чувствительным методом диагностики механического состояния обмоток трансформаторов.





2. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от частоты для трансформатора с содержанием влаги в целлюлозной изоляции 1,2 %

ций, смещения, распрессовки приводят к изменению соответствующих емкостей и индуктивностей, а значит к изменению реакции обмоток

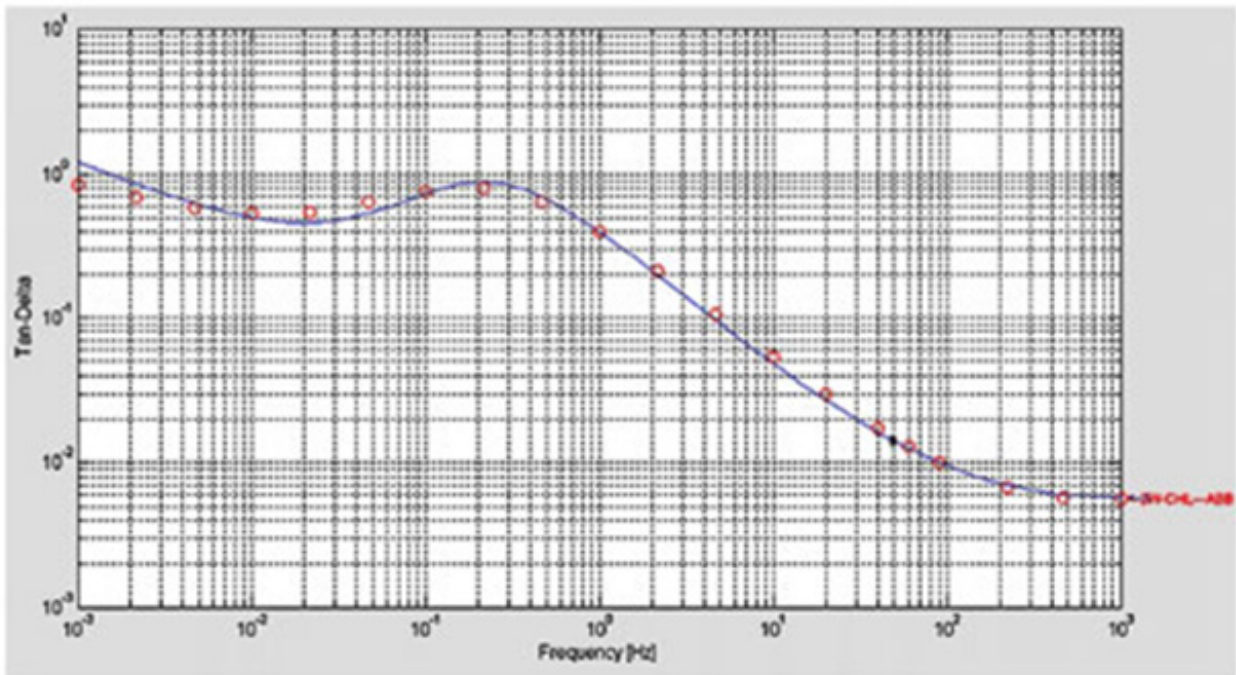


Рисунок 3 - Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от частоты для трансформатора с содержанием влаги в целлюлозной изоляции 2,9 %

Принцип метода частотного анализа заключается в том, что от специального генератора на ввод обмотки (или в нейтраль) подается зондирующий сигнал (импульсный или синусоидальный, а сводов других обмоток регистрируются отклики - реакции обмоток на воздействие зондирующего сигнала (рис. 4).

на воздействие зондирующего сигнала. Характер изменения частотного спектра отклика зависит от величины и характера деформаций [3]. Высокая чувствительность метода объясняется тем, что даже незначительные локальные изменения положения элементов обмотки (витков, катушек,

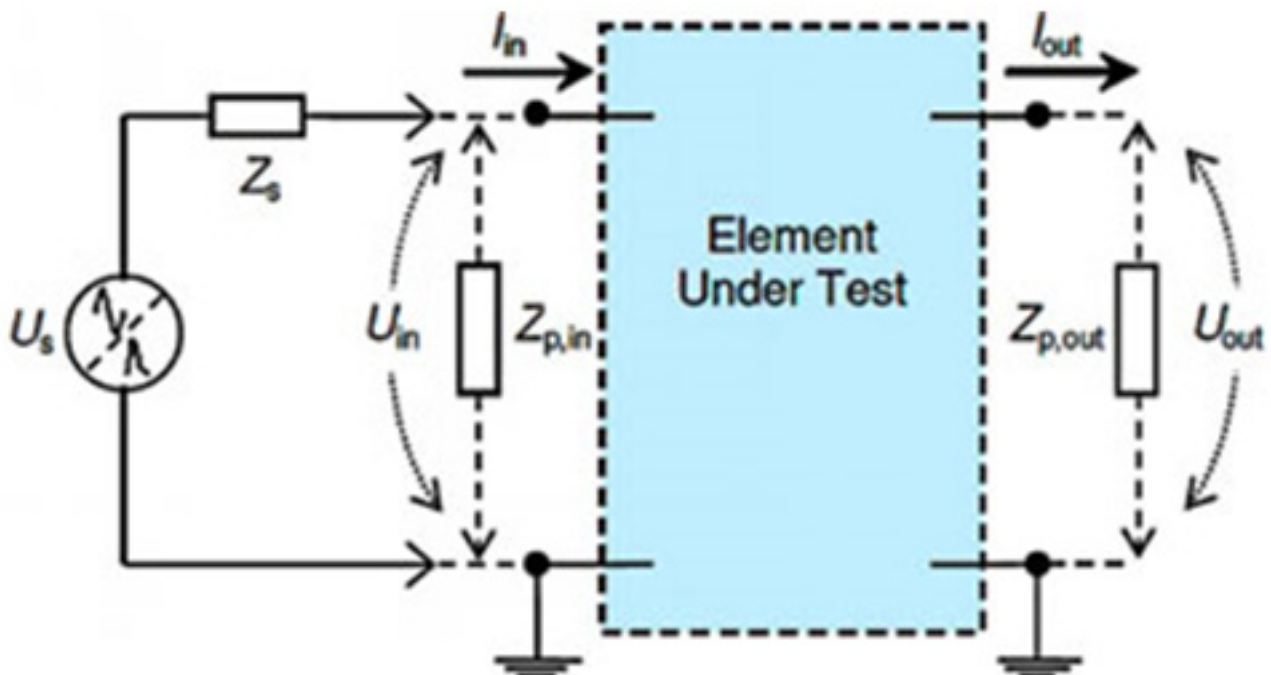


Рисунок 4 - Принцип измерения характеристик обмоток по методу частотного анализа

Изменения геометрии обмоток из-за деформации (отводов) приводят к изменению соответствующих



емкостей и индуктивностей и соответственно к изменению собственных частот колебаний обмотки. Разные виды деформаций приводят к изменениям в разных диапазонах спектра частот.

**Отклики обмоток анализируются путем:**

- 1) различия между откликами отдельных фаз трансформатора;
- 2) различия между откликами трансформаторов аналогичной конструкции;
- 3) изменения резонансов, полюсов (требуется предыдущее измерение).

При реализации данного метода могут быть использованы два подхода

- импульсный и частотный. В частотном методе в качестве источника зондирующих сигналов используется генератор синусоидального напряжения, изменяющий частоту в широком диапазоне - от нескольких герц до нескольких мегагерц. Двухканальный АЦП записывает по каналу 1 сигнал, подаваемый на вход обмотки, по каналу 2 - реакцию обмотки на приложенное воздействие. Далее рассчитывается передаточная функция как отношение спектров входного и выходного сигналов. Степень отличия передаточных функций, рассчитанных до и после воздействия на трансформатор электродинамических сил короткого замыкания или других механических воздействий, производится с помощью разных средств анализа.

Выход изменяющегося по частоте синусоидального сигнала и одного входа анализатора соединен через экранированные коаксиальные кабели с одним выводом обмотки. Другой конец обмотки (например, нейтраль) подсоединяется через трансформатор тока ко второму входу анализатора. Частота отклика обмотки определена соотношением измеренных входа и выхода, т. е. частотно-зависимым импедансом или полной проводимостью каждой обмотки и оценивается амплитудой и фазой для различных диапазонов частот. На рис. 5 приведен пример

частотного спектра ВН обмоток 25 МВА трансформатора при изменениях до 2МГц.

Как видно из рисунка, характеристики двух край-

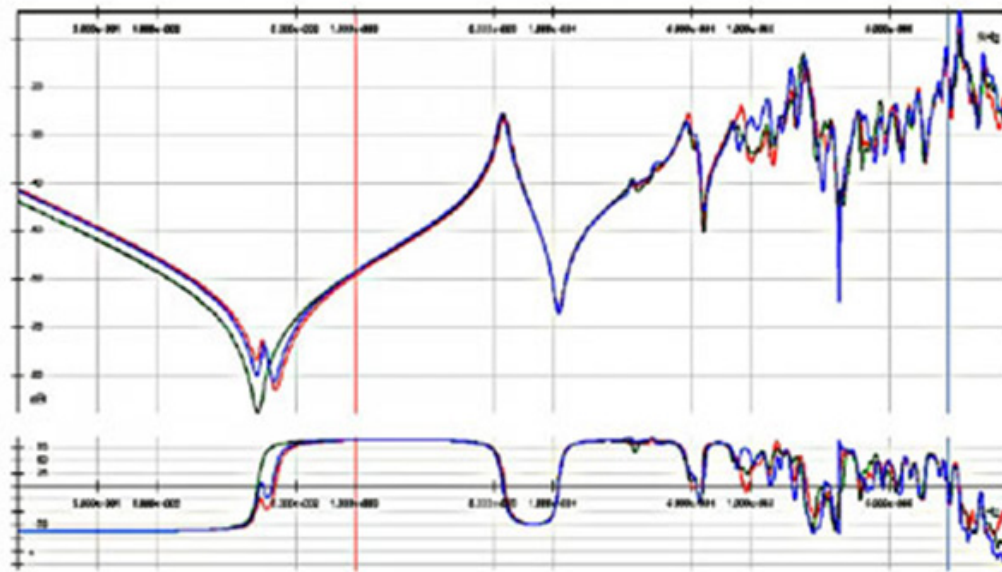


Рисунок 5 - Амплитуда и фаза частотного спектра ВН обмоток 25 МВА трансформатора

них обмоток (фазы А и С) практически совпадают во всем диапазоне. Начиная примерно с частоты 1 кГц наблюдается также совпадение резонансных частот средней обмотки (фаза В). Для оценки указанного спектра находит применение первый метод из описанных выше трех методов оценки откликов обмоток. На рис. 6, 7 приведены примеры сравнения откликов обмоток по второму методу, при котором сравнивают результаты измерений на однотипных трансформаторах (рис. 6), и по третьему методу, при котором частотные спектры сравнивают с предыдущими измерениями (рис. 7).

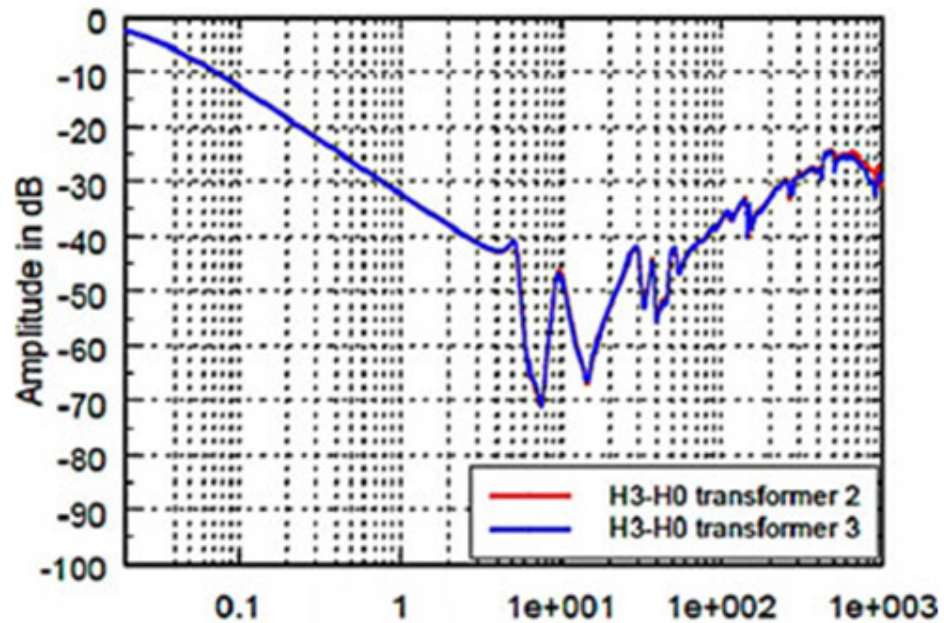


Рисунок 6 - Сравнение амплитуд частотных спектров ВН обмоток фазы С (H3-H0) двух однотипных трехобмоточных трансформаторов мощностью 160 МВ А. Фазные

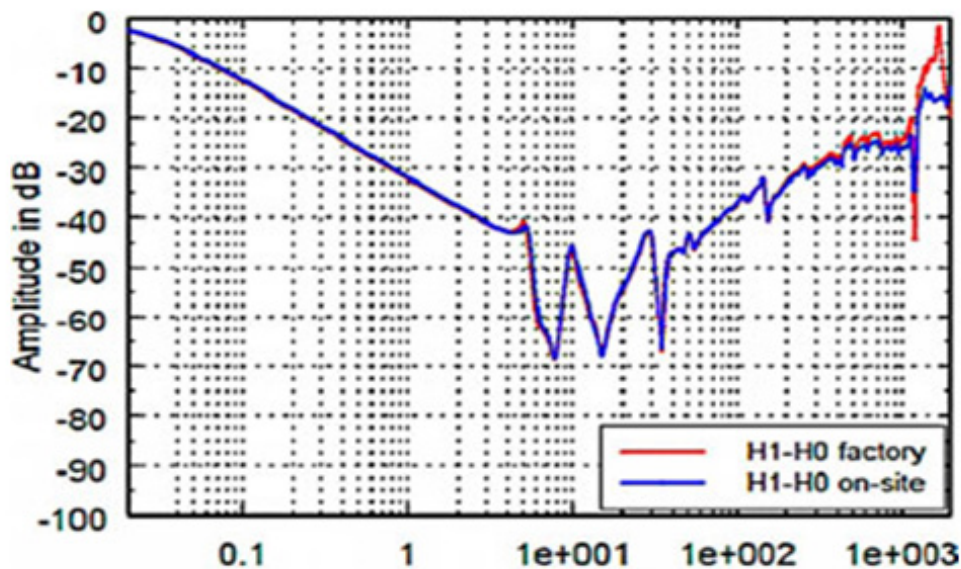


Рисунок 7 - Сравнение амплитуд частотных спектров ВН обмоток фазы А (Н1-Н0) без масла в баке трансформатора мощностью 160 МВА при измерениях на заводе и на месте установки после транспортировки

Фазные обмотки НН закорочены. Анализ результатов измерений частотного спектра должен производиться с учетом влияния различ-

ных параметров. Кроме известного и часто встречающегося влияния заземления кабелей, которое проявляется особенно при высоких частотах, следует также учитывать влияние наличия масла, так как испытания иногда проводятся и на трансформаторах без масла. Ниже приведен пример частотного спектра НН обмоток 50 МВА трансформатора при измерениях до 1 МГц при измерениях, произведенных с маслом и трансформатора. Как видно из рис. 8, происходит смещение во всем диапазоне, обусловленное прежде всего изменением соответствующих значений емкостей, что наглядно демонстрирует высокую чувствительность метода.

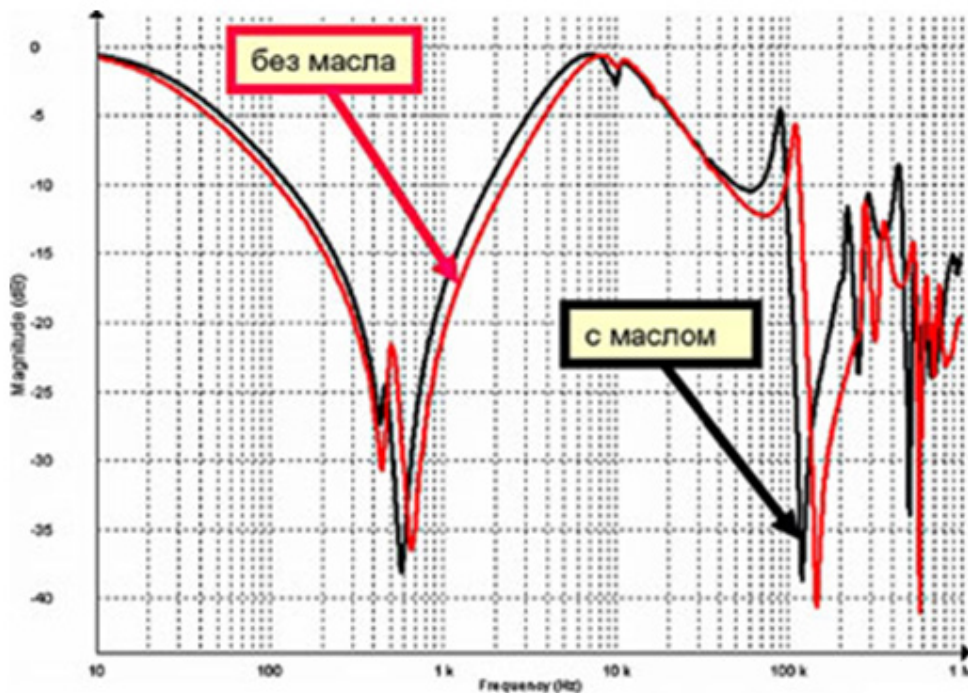


Рисунок 8 - Амплитуда частотного спектра НН обмоток 50 МВА трансформатора с маслом и без масла в баке

При диагностике механического состояния обмоток методом частотного анализа (МЧА) следует применять комплексный подход к оценке состояния трансформатора, при котором проводится анализ как сопротивления короткого замыкания ( $Z_k$ ), также позволяющего обнаруживать некоторые виды деформаций, так и анализ результатов стандартных измерений, в частности измерение сопротивлений обмоток. ■

Библиографический список

1. Львов М. Ю. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше / ОАО «Холдинг МРСК». Конференция ТРАВЭК. 2009.
2. Gafvert U., Frimpong G., Fuhr J. Modelling of dielectric measurements on power transformers // Proc. 37th Session "Large High Voltage Electric Systems" (CIGRE), paper 103, P, France, 1998.
3. Ryder S. Frequency Response Analysis for Diagnostic Testing of Power Transformers // Electricity Today Mag. Article, Issue 0601, 2006.



## ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОНЫ ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГРУНТОВОМ МАССИВЕ

*Полина Юрьевна ЦВЕТКОВА*

*Екатерина Александровна ГРАДАЛЁВА*

*кандидат филологических наук, доцент*

*кафедры лингвистики и межкультурной коммуникации*

*Самарский государственный архитектурно-строительный университет*

Что такое здание? Ответ на этот вопрос гораздо глубже, чем кажется на первый взгляд. Это не просто конструкция; это часть нашей среды. Здания сопровождают на протяжении всего периода эволюции. Как однажды сказал Джозеф Кэмпбэл «Чтобы понять ценности людей, не судите по искусству или литературе, просто взгляните на их самые высокие здания».

В настоящее время здания стали неотъемлемой частью человеческой сущности, так как около 90% своего времени мы проводим внутри. А значит, каждое здание должно отвечать требованиям надежности и безопасности.

Здание состоит из трех частей: основание, фундамент и надземная часть. Разрушения в надземной части не критичны, так как не влияют на разрушение фундамента и основания и могут быть исправлены без существенных затрат. Разрушение в фундаменте окажет влияние на надземную конструкцию здания. Стоимость исправления разрушения будет уже существенной. Деструкция основания – самый опасный вид разрушения, так как влечёт за собой нарушение работы всей конструкции. Устранение разрушений в основании является самым дорогостоящим.

Согласно приведённым фактам, мы должны уделять особое внимание проблеме исследования совместной работы основания и фундамента.

Чтобы повысить надёжность фундамента, нужно определить зону высоких напряжений – зона в грунте, где напряжения от веса здания являются существенными. Если же мы не знаем размеров этой зоны, то судить о надежности конструкции невозможно.

Однако, определение зоны высоких напряжений на строительной площадке довольно трудоёмко и дорого. Метод, представленный в работе, снижает затраты и трудоёмкость испытаний фундаментов в полевых условиях.

Целью данной работы является исследование напряженно-деформированного состояния систе-

мы «основание-фундамент» на физических моделях в лотке.

На первом этапе исследования были определены несколько параметров модели: ширина и глубина лотка, величина нагрузки. При помощи математических формул и компьютерных программ были рассчитаны размеры лотка, при которых напряжения от нагрузки не будут доходить до стенок лотка,

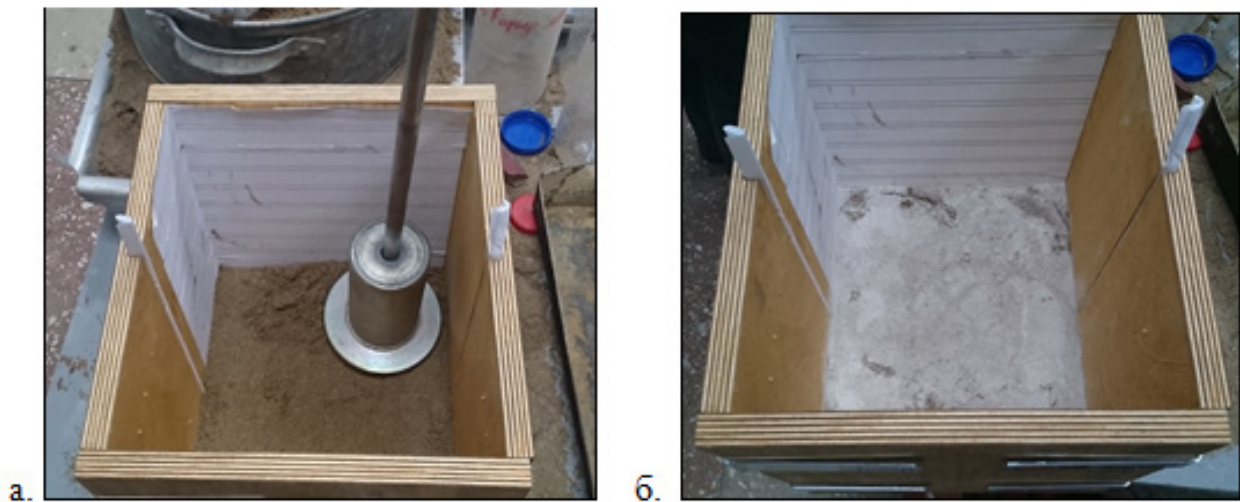


**Рисунок 1 - Модель для проведения лабораторных испытаний грунтового массива**

и не будут влиять на результаты эксперимента.

На втором этапе была изготовлена модель лотка, который разработан для решения плоской и пространственной задачи. Лоток представляет собой деревянную коробку со вставкой из оргстекла по центру (Рис.1). В ходе эксперимента лоток послойно заполнялся песком и индикатором (песок смешанный с мелом) (Рис.2). Затем, прикладывалась нагрузка. После этого, вставлялось оргстекло в центр лотка и открывалась одна его грань. По перемещению линий индикатора можно судить о результате эксперимента.

В результате проведенных опытов были выявлены следующие зоны напряженно-деформиро-



**Рисунок 2 - Заполнение лотка слоями песка и индикатора**  
 а. Слой песка, б. Слой индикатора (мел, смешанный с песком)

ванного состояния (Рис.3):

- Размер штампа 4×6 см: глубина развития напряжений = 17,5 см
- Размер штампа 4×8 см: глубина развития напряжений = 19 см
- Размер штампа 4×10 см: глубина развития напряжений = 21 см

Опытные данные, полученные при проведении эксперимента, были подтверждены аналитическими расчётами, выполненными в программе Deform. Результаты аналитического расчета:

- Размер штампа 4×6 см: глубина развития напряжений = 17 см
- Размер штампа 4×8 см: глубина развития напряжений = 20,5 см
- Размер штампа 4×10 см: глубина развития напряжений = 23 см

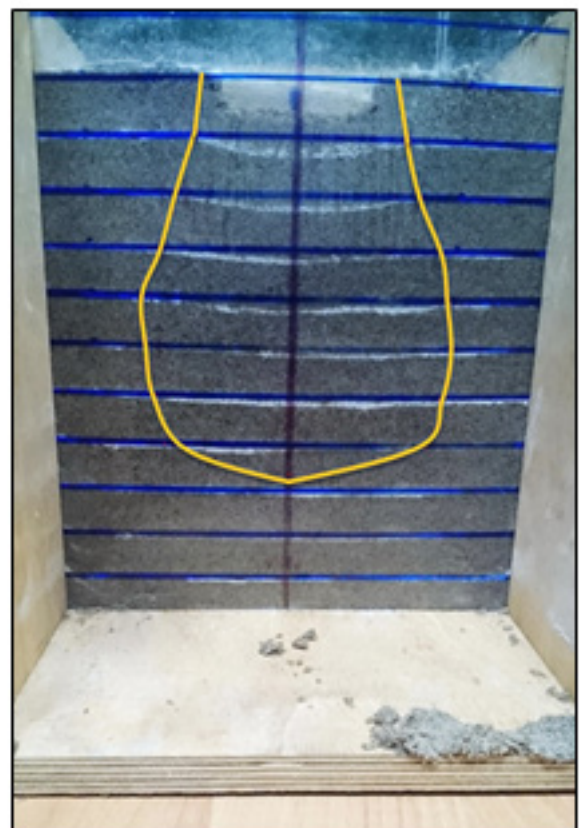
На основании этого можно сделать вывод о том, что методика проведения эксперимента и модель лотка позволяют проводить достоверные испытания моделей фундаментов в лабораторных условиях.

Представленный метод обладает следующими преимуществами:

1. Низкая стоимость
2. Снижение трудностей в процессе проведения опыта (меньшие по размеру модели грунтового массива и фундамента делают эксперимент более ёмким)
3. Возможность проведения испытаний для малоэтажных зданий (так как лабораторные испытания экономически более доступны)
4. Лабораторные испытания не зависят от времени года и погодных условий.

На следующем этапе исследования, планируется использовать оптоволоконное устройство для более точных измерений напряжений. Слой индикатора будут заменены датчиками давления, расположенными по всему объему грунтового массива. Они также будут соединены с микрокомпьютером, и величина нагрузки будет показана

на экране устройства. Таким образом, мы сможем определить напряжения в нескольких зонах грунта и выявить зону высоких напряжений.



**Рисунок 3 - Зона деформированного состояния**

В дальнейшем, представленный лабораторный метод может использоваться в современных зданиях для определения зоны высоких напряжений в грунтовом массиве. Это сделает испытания фундаментов более доступными, так как они будут проводиться в лаборатории. Более того, имея малую стоимость, они позволят повысить надёжность конструкций фундаментов. ■

## СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ ГРУЗОПОДЪЁМНЫХ МАШИН

*Николай Михайлович ШЕВЦОВ*

эксперт

ООО «МАЮЛ», г. Ростов-на-Дону

**Аннотация.** В работе проводятся общие сведения о средствах безопасности грузоподъемных машин, изучение порядка технического предупреждения аварий грузоподъемных машин, снабжение ограждений, устройствами безопасности и сигнализаторами.

**Ключевые слова:** безопасность, грузоподъемные машины, средства

**Abstract.** The work carried out general information about the security of hoisting machines, learning about technical accident prevention hoisting machines, supply protections, safety devices and alarms.

**Keywords:** safe, lifting machines, facilities

Грузоподъемные и транспортирующие машины являются неотъемлемой частью современного производства, так как с их помощью осуществляется механизация основных технологических процессов и вспомогательных работ. В поточных и автоматизированных линиях роль подъемно-транспортных машин качественно возросла, и они стали органической частью технологического оборудования, а влияние их на технико-экономические показатели предприятия стало весьма существенным.

Задачей статьи является определение опасностей, связанных с перечислением средств обеспечения безопасности при эксплуатации грузоподъемных машин. Основной целью в достижении поставленной задачи является определение требования к средствам обеспечения безопасности, при подъеме груза, тем самым снизить возможность происшествия аварии.

Для предупреждения аварий грузоподъемные машины снабжают ограждениями, устройствами безопасности и сигнализаторами. Легкодоступные, находящиеся в движении части грузоподъемных машин могут являться причиной несчастного случая, поэтому они должны быть прочно укрепленными металлическими съёмными ограждениями, допускающими осмотр и смазку.

Обязательному ограждению подлежат [1]:

- зубчатые, цепные, червячные передачи;
- валы механизмов, расположенных в доступных местах;
- соединительные муфты, расположенные в местах прохода;
- барабаны, расположенные вблизи рабочего места крановщика или прохода;
- ходовые колёса кранов и тележек;

- голые токоведущие части электрооборудования.

Устройства безопасности грузоподъемных машин можно подразделить на устройства, отвечающие за весовые и нагрузочные характеристики, и устройства, отвечающие за передвижение груза, крана, тележки, стрелы.

К первой группе относятся тормоза и остановы, ограничители грузоподъемности и грузового момента, противоугонные устройства. Ко второй группе относятся ограничители высоты подъема крюка, ограничители пути, буферные устройства, ограничители подъема стрелы.

Тормоза могут быть подразделены [1]:

- по назначению – на стопорные (останавливающие механизм) и спускные (ограничивающие скорость подъема – опускания в определенных пределах);
- по конструктивному исполнению рабочих элементов – на колодочные, ленточные, дисковые, конусные;
- по принципу действия – на автоматические (замыкающиеся при отключении двигателя механизма) и управляемые (замыкающиеся при воздействии на орган управления тормозом).

В механизмах подъема кранов, используется колодочные стопорные тормоза.

Остановы используются для удержания груза на весу, простейшими из них являются храповые, роликовые, эксцентриковые. Остановы необходимо устанавливать на быстроходном валу привода, иногда их устанавливают на быстроходном валу барабана.

Ограничители грузоподъемности и грузового момента используются для автоматического отключения механизмов подъема и изменения вылета стрелы в случае подъема груза свыше 1,1Q. Ограничители грузоподъемности используют, как правило, на мостовых кранах, ограничители грузового момента – на стреловых.

В стреловых кранах при работе на малых вылетах крюка стрела может занимать положение, близкое к вертикальному. В этом случае под действием отрицательных импульсов она может откинуться назад, что вызовет поломку стрелы и опрокидывание крана в сторону противовеса. Для предотвращения этого применяют ограничители подъема стрелы крана (упоры на стреле и гибкие тяги). ■



**Библиографический список**

1. Приказ об утверждении правил безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения от 12.11.2013 N 533.

## ТРЕБОВАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН

*Николай Витальевич ЕФАНОВ*

эксперт

ООО «МАЮЛ», г. Ростов-на-Дону

**Аннотация.** Большое число несчастных случаев на производстве происходит при выполнении работ по подъему, перемещению и опусканию грузов грузоподъемными машинами и механизмами. В данной работе перечисляются требования по обеспечению безопасности при эксплуатации грузоподъемных машин на основе Ростехнадзора России.

**Ключевые слова:** безопасность, эксплуатация, грузоподъемные машины

Основные причины приводящие к травматизму при работе грузоподъемных машин представляют собой неправильную строповку груза, применение неисправных грузозахватных приспособлений, нахождение людей в опасной зоне или под поднимаемым грузом, несоблюдение схем строповки или технологических карт при складировании грузов, нахождение людей в полувагоне или кузове автомашины при подъеме груза краном, неправильная установка кранов вблизи откосов, котлованов и траншей; несоблюдение требований безопасности при работе стреловых самоходных кранов вблизи линий электропередачи и др. [1, 2]

Одной из главных причин аварийных ситуаций является неудовлетворительная организация безопасного производства работ кранами со стороны инженерно-технических работников предприятий.

Нередко лица, ответственные за безопасное производство работ кранами не проводят инструктаж крановщиков и стропальщиков по безопасности выполнения предстоящей работы, допускают использование не соответствующих по грузоподъемности и характеру груза грузозахватных приспособлений и тары, не указывают крановщикам и стропальщикам место, порядок и габариты складирования грузов, опускают обслуживанию кранов в качестве стропальщиков необученных рабочих, не указывают крановщикам безопасные места установки стреловых самоходных кранов для работы вблизи линий электропередачи, допускают производство работ без наряда-допуска в случаях, предусмотренных правилами безопасности, и не обеспечивают рабочих необходимым инвентарем и средствами для безопасного производства работ кранами, не следят за выполнением крановщиками и стропальщиками производственных инструкций,

проектов производства работ и технологических регламентов.

Требования по безопасной эксплуатации грузоподъемных машин и механизмов изложены в «Правилах устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов».

Погрузочно-разгрузочные работы должны производиться механизированным способом с помощью подъемно-транспортного оборудования (кранов, погрузчиков и т.п.) и средств малой механизации, для этого необходимо обеспечивать [1, 2]:

- использование безопасных транспортных, коммуникаций;
- применение средств транспортирования, исключающих возникновение опасных и вредных производственных факторов;
- механизацию и автоматизацию транспортирования.

- Безопасность труда при выполнении погрузочно-разгрузочных работ обеспечивается выбором способов производства работ, предусматривающих предотвращение или снижение до уровня допустимых норм воздействия на работающих опасных и вредных производственных факторов, путем [1, 2]:

1. механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ;
2. применения устройств и приспособлений, отвечающих требованиям безопасности;
3. эксплуатации производственного оборудования в соответствии с действующей нормативно-технической документацией и эксплуатационными документами;
4. применения звуковой и других видов сигнализации при перемещении грузов подъемно-транспортным оборудованием;
5. правильного размещения и укладки грузов в местах производства работ и в транспортные средства;
6. соблюдения требований к охраняемым зонам электропередачи, узлам инженерных коммуникаций и энергоснабжения.

Погрузочно-разгрузочные, транспортные и складские работы должны выполняться в соответствии с технологическими картами, утвержденными руководителем предприятия.

Также способы укладки грузов должны обеспечивать требованиям устойчивости штабелей, пакетов и грузов, находящихся в них; механизированной разборки штабеля и подъем груза навесными захватами подъемно-транспортного оборудования; безопасности работающих на штабеле или около него.

Возможность применения и нормального функционирования средств защиты работников и пожарной техники; циркуляцию воздушных потоков при естественной или искусственной вентиляции закрытых складов.

Не допускается нахождение людей и передвижение транспортных средств в зоне возможного

падения грузов при погрузке и разгрузке с подвижного состава, а также при перемещении грузов подъемно-транспортным оборудованием.

Редко используемые грузоподъемные краны должны подвергаться полному техническому освидетельствованию не реже одного раза в 5 лет. Отнесение кранов, к категории редко используемых производится владельцем по согласованию с органами Ростехнадзора.

Кран и его установка соответствуют настоящим Правилам, паспортным данным и представленной для регистрации документации а также находится в состоянии, обеспечивающем его безопасную работу. ■

#### *Библиографический список*

1. Инженерно-консалтинговый центр ЭкспертПРО [http://expertpro96.ru/trebovaniya\\_pb/](http://expertpro96.ru/trebovaniya_pb/)
2. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12 ноября 2013 г. № 533

## ВИДЫ ОПТИЧЕСКИХ РАЗВЕТВИТЕЛЕЙ. СПЛАННЫЕ (FBT) И ПЛАНАРНЫЕ (PLC) ОПТИЧЕСКИЕ РАЗВЕТВИТЕЛИ

**Елизавета Андреевна КОВАЛЕВА**

магистр

МТУ (МГУПИ/МИРЭА)

**Аннотация.** В данной работе рассматриваются основные виды оптических разветвителей, конструкции сплавных и планарных оптических разветвителей в зависимости от их технологии изготовления. Преимущества использования планарных оптических разветвителей и области их применения.

**Ключевые слова:** сплавные оптические разветвители, планарные оптические разветвители, оптический сплиттер, PLC splitter, FBT splitter, optical splitter, объединитель, оптический делитель, оптический сумматор, ответвитель, оптический делитель, пассивные оптические компоненты, волоконно-оптические разветвители.

В связи с развитием глобальных и локальных сетей передачи данных, появилась необходимость разделять или объединять потоки оптического излучения (т.е. производить перераспределение мощности сигнала), путем отвода какой-либо части оптического излучения из основного сигнала. Это привело к созданию волоконно-оптических разветвителей, которые нашли применение и в других областях. Волоконно-оптические разветвители стали одними из важных пассивных компонентов волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), которые с успехом стали использоваться в датчиках, в кабельном телевиденье, в контрольно-измерительном оборудовании и приняли участие в строительстве телекоммуникационных сетей. Из-за разных областей, в которых применяются оптические разветвители, они могут иметь другие наименований, такие как: сплиттер (splitter), оптический делитель, оптический сумматор, coupler (объединитель), ответвитель.

Сплиттер представляет собой важный пассивный оптический компонент, от уровня разработки которого зависит его предельная возможность и срок эксплуатации. Поэтому он должен соответствовать определенным требованиям, за счет которых и обусловлено применение:

- низкий уровень вносимых (оптических) потерь;

- широкая полоса пропускания;
- стабильность оптических потерь в процессе эксплуатации;
- высокая надежность;
- долгий срок службы;
- малые габариты;
- герметичность;
- низкая стоимость;
- устойчивость к внешним воздействиям;
- герметичность.

Между собой оптические разветвители подразделяются на три категории:

- древовидный разветвитель;
- ответвитель;
- звездообразный разветвитель.

По технологии изготовления оптические разветвители делятся на два типа: сплавные и планарные. Сплавные разветвители начали изготавливаться методом сплавления отдельных оптических волокон. Такие оптические разветвители или объединители имеют аббревиатуру FBT (сокращенно от Fused Biconical Taper), что означает сплавные биконические разветвители. Такие разветвители работают на эффекте туннелирования, т.е. часть оптической мощности сердцевины одного оптического сигнала перетекает в сердцевину другого волокна, через оболочку при их плотном соприкосновении.

Однако, сплавные сплиттеры имеют недостатки за счет своей конструкции, это малая точность деления мощности и сложность создания несимметричных делителей с большим количеством выходных



**Рисунок 1 - Схематический рисунок биконического (сплавного) разветвителя X-типа**

оптических полюсов.

Решением по устранению недостатков сплавных оптических разветвителей являются планарные разветвители, аббревиатура PLC (сокращенно Planar Lightwave Circuit). Благодаря своей технологии, которая основывается на методах интегральной оптики. Такие сплиттеры изготавливаются на основе интегрально-оптических схем методом вытравливания волноводного слоя, который соответствует конфигурации дерева деления. Преимущества можно вывести из недостатков сплавных оптических разветвителей, это точность деления мощности и неизменность спектральных характеристик в широком диапазоне длин волн (от 1268 до 1680 нм).

Планарные оптические разветвители на основе

плоских волноводов, разрабатываются по фотолитографической технологии, в которой применяются методы параллельной обработки. В таких разветвителях, сплиттерах оптическое излучение попадает в волновод чипа через торец.

Использование планарных разветвителей (сплиттеров) позволяет пространственно объединять или делить оптический сигнал различных каналов. Планарные оптические разветвители влияют на снижение цен по строительству кабельной инфраструктуры сетей доступа, что является большим преимуществом. Сохраняют спектральные характеристики в широком диапазоне волн. Оптические характеристики стабильны при изменении температуры в диапазоне от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . ■

#### Библиографический список

1. Волоконно-оптическая техника: современное состояние и перспективы / Дмитриев С.А. Слепов Н.Н.
2. Бутусов М.М., Галкин С.Л., Орбинский С.П. Волоконная оптика и приборостроение. Л.: Машиностроение, 1987. — 328 с.
3. Волоконно-оптическая техника. Практическое руководство. Авторы: Владимир Цуканов, Михаил Яковле
4. Ю.М. Нойкин, П.В. Махно (Физические основы оптической связи) Электронное учебное пособие ростов на дону 2011 Интернет ресурсы:
5. <http://www.telcon.ru/equipment/split/>
6. <http://nk-grouppltd.ru/opticheskie-razvetviteli/planarnie-plc-razvetviteli/>
7. [http://extusur.net/content/3\\_optika/3\\_3\\_2.html](http://extusur.net/content/3_optika/3_3_2.html)



## ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ВОЗДУХОСБОРНИКОВ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН

**Станислав Сергеевич ВЫЛЦАН**

эксперт ООО «СИБЭО», г. Прокопьевск

**Владимир Петрович БУЛЛЕР**

**Константин Иванович ГУБИН**

**Юлия Сергеевна ЗЕНЮК**

эксперты НП «КЦНТО», г. Кемерово

Наугледобывающих предприятиях, шахтные поля которых вскрыты вертикальными стволами, для спуска-подъема людей, грузов и полезного ископаемого предусмотрены подъемные машины. Тормозная система таких машин - пневматическая с использованием компрессоров, воздухопроводов и воздухоборников. Компрессорнагнетает воздух под давлением, необходимым для работы тормозной системы, по воздухопроводу в воздухоборник. В основном, давление воздуха в системе поддерживается в пределах от 0,45 МПа до 6МПа.

Воздухоборникэто сосуд, работающий под давлением, предназначенный для аккумуляирования воздуха под давлением. Кроме того, в нем происходит конденсация водяных паров при охлаждении нагретого сжатого воздуха, а также отделение масла, содержащегося в воздухе при использовании компрессоров с масляной смазкой.

Воздухоборник, устанавливаемый на подъемных машинах, как правило,представляет собой вертикальныйцилиндрическийсосуд, работающий под давлением.Сосуд устанавливается помещениина фундамент на трёх опорах, приваренных к нижнему днищу. Сосудсварной конструкции состоит из обечайки и двух приваренных с торцов днищ. Обычно к корпусу сосуда приварены штуцера для входа и выхода среды, установки предохранительного клапана, дренажа. В стенки обечайки ввариваются бобышки с резьбойдля установки манометра и датчика давления. На подъемных машинах большинства Кузбасских шахт установлены воздухоборники объемом 1,2 -3,2 м<sup>3</sup>.

В процессе эксплуатации воздухоборника необходимо проведение технического освидетельствования согласно п. 360, п.382, в установленныесроки, п.383 [2], а также при проведении технического диагностирования отработавшего назначенный срок службы,п.1.5 [1]. Техническое освидетельствование включает: наружный и внутренний осмотр; гидравлические испытания пробным давлением.

Гидравлическое испытание проводятв целях проверки плотности и прочности воздухоборников, а

также всех его сварных и разъемных соединений

Гидравлические испытания сосуда должны быть проведены в соответствии с утвержденной схемой и инструкцией по режиму работы и безопасному обслуживанию сосудов, разработанной в эксплуатирующей организации с учетом требований руководства (инструкции) по эксплуатации,п.392[2].

Периодическое гидравлическое испытание в пределах срока службы проводится в сроки, установленные в руководстве (инструкции) по эксплуатации или в прил. N 4 к [2]. Для воздухоборников подъемных машинпериодичность составляет 1 раз в 8 лет.

При проведении технического диагностирования сосудагидравлическое испытание является завершающей операцией, осуществляемой с целью проверки плотности и прочности всех элементов, работающих под давлением, п.4.8.1[1].

Для гидравлического испытания используют воду с температурой не ниже 5°С и не выше 40°С. Особенности размещения воздухоборников в помещениях подъемных машинпредполагают трудности, связанные с его проведением.Устройств заполнения сосудов водой для проведения гидравлического испытания объемом 1,2 -3,2 м<sup>3</sup>в помещениях подъемных машин не предусмотрен. Сброс водытаких объемов после проведения гидравлического испытания в помещениях подъемных машин в канализацию-нутри здания не всегда возможен или затруднителен.

Для выполнения заполнения воздухоборника водойдля проведения гидравлического испытания и сброс воды в дальнейшем предлагается изготовление отдельных специальных приспособлений для решения проблем.

Для заполнения водой предлагается собрать схему с использованием системы горячего и холодного водоснабжения, к которой подключены здания подъемных машин. Вода нужной температуры (5°С ÷40°С) набирается через гибкий шланг,зафиксированный с обеих сторон металлическими хомутами на ниппелях. С одной стороны

подключается к штуцеру соединения, через которое подключается реле давления (при гидравлическом испытании его снимают). На штуцер обязательно установить кран или вентиль, подобранный на давление испытания. С другой стороны гибкий шланг подключается к тройнику, подсоединённому к кранам (вентильям) трубопроводов с холодной и горячей водой.

До начала заполнения водой необходимо снять предохранительный клапан, для свободного выхода воздуха из воздухохраника. Взамен предохранительного клапана установить приспособление. Оно представляет собой патрубок с фланцем с краном и наваренным штуцером для гибкого шланга. Второй гибкий шланг с одной стороны подключается к штуцеру и прокладывается в организованное место слива воды. Заполнение водой осуществляется до самой верхней точки, где расположен предохранительный клапан. Как только вода начнет выливаться из верхнего шланга с воздухохраника через верхнюю точку, значит, он полностью заполнен водой. После чего краны на заполнение и сброс воздуха закрываются.

При заполнении оборудования водой воздух из него должен быть удален полностью. Это необходимо не только для выполнения требований п.180[2], но для ускорения и облегчения процесса подъема давления. Из практического опыта характерно, что при наличии остатков воздуха, давление в сосуде поднимается гораздо медленней и объёма воды, заливаемого в ручной пресс, не хватает и качать надо значительно больше и дольше. Времени и физических сил на подъем нужного давления уходит значительно больше. При наличии остатков большого объёма воздуха приходится разбирать схему, заполнять сосуд полностью и процедуру повторять заново.

Давление в испытываемом оборудовании следует поднимать плавно и равномерно. Общее время подъема давления (до значения пробного) должно быть указано в технологической документации. Давление воды при гидравлическом испытании следует контролировать не менее чем двумя манометрами. Оба манометра выбирают одного типа, предела измерения, одинаковых классов точности (не ниже 1,5) и цены деления. Из практического опыта на прессе манометр, чаще всего, либо неисправен, либо класс точности ниже 1,5. Поэтому, на сосуд или на патрубок сосуда или подводящем трубопроводе от пресса лучше заранее установить второй манометр.

Использование сжатого воздуха или другого газа

для подъема давления в оборудовании, заполненном водой, не допускается.

Значение пробного давления при гидравлическом испытании определяется как произведение:  $1,25$  умноженно на величину рабочего давления, указанного в паспорте сосуда, умноженное на отношение допускаемого напряжения для материала сосуда или его элементов соответственно при  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и расчетной температуре, п.172[2]. Отношение допускаемого напряжения, как изначальное пробное давление, может указано в паспорте сосуда.

После полного удаления воздуха из сосуда с помощью небольшого ручного пресса, например: установка для гидравлических испытаний Компакт-50; Насос ручной НР-60 и т.п. создавать необходимое пробное давление. Так, как у каждого такого насоса свой напорный шланг с наконечником со своей резьбой, то необходимо подобрать (изготовить) соответствующий. Присоединить пресс к сосуду лучше на отдельный штуцер. Надёжнее и удобнее если на штуцер установить кран или вентиль и обратный клапан, подобранные на давление испытания.

После окончания гидравлического испытания вода сливается из воздухохраника через дренажный вентиль. В вентиль необходимо вернуть ниппель для присоединения гибкого шланга. Конец шланга опускается в существующую внутри здания организованную канализацию, или снаружи здания в ливневую канализацию.

В случае, если сосуд расположен ниже отметки слива воды, вода не сливается. Если место слива находится ниже на существенном расстоянии, вода самотёком сливается очень медленно. Тогда верхний гибкий шланг с верхней точки воздухохраника подключить к воздухопроводу от компрессора обязательно при помощи вентиля, а не крана, с ниппелем. Слегка приоткрыв вентиль, при самом минимальном давлении, чтобы не разорвать гибкий шланг, отрегулировать поток воды. Выпуск воды с воздухохраника закончится, когда со шланга вместо воды начнет выходить воздух.

Для включения в работу смонтировать на место предохранительный клапан и реле давления, разорвать схему испытаний.

Процесс гидравлического испытания при предварительной заготовке всех приспособлений и переходников, правильном подключении и опытной бригаде, занимает примерно 2 часа (зависит от объёма сосуда и давления воды в трубопроводах) с учетом остановки, сборки схемы испытаний, выдержки пробным давлением, (не менее 10 мин), опорожнения. ■

#### Библиографический список

1. Инструкция по продлению срока службы сосудов, работающих под давлением СО № 153-34.17.439-2003. Утверждено Приказом Министерства энергетики Российской Федерации № 253 от 24 июня 2003г.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением. Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25 марта 2014 г. N 116, зарегистрированным в Минюсте России 19 мая 2014 г. N 32326.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗДАНИЯХ И ПОМЕЩЕНИЯХ

*Руслан Евгеньевич БАГЖАНОВ*

*Роман Константинович СОБЯНИН*

*Владимир Сергеевич КОТЯШЕВ*

*магистранты*

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники*

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены основные необходимые мероприятия по энергосбережению.

**Ключевые слова:** энергосбережение, энергоаудит, отопление, тепловая энергия.

На данный момент в России одной из самых приоритетных государственных задач является — энергосбережение. Согласно Федеральному Закону № 261-ФЗ от 23.09.2009 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...», предприятия и организации обязаны переходить на новые энергосберегающие технологии. Сегодня целенаправленно создаются условия, в которых организации и частные лица могут комфортно и с выгодой для себя переходить на энергосберегающие светильники, оборудовать помещения счетчиками тепла, воды, газа и электричества [1].

Перспективы энергосбережения в нашей стране огромны, нужно только рационально использовать энергоресурсы. Так называемые «утечки» и «издержки», происходят и в секторе ЖКХ, и в промышленности (основная причина — износ оборудования), и даже в топливно-энергетическом комплексе (КПД установок — низкий).

Основными мероприятиями по энергосбережению являются:

- мониторинг (учёт) тепловой и электрической энергии;
- энергоаудит;
- системы управления отоплением;
- утепление стен, окон и дверей;
- использование энергосберегающих лампочек и оборудования.

Внедрение **автоматизированных систем учёта энергоресурсов** — это в первую очередь получение точных данных по энергопотреблению. Система автоматического учёта позволяет: не потреблять больше, чем необходимо, платить только за то, что потребляешь, потреблять так, чтобы платить меньше.

Современные системы учета могут без проблем внедряться в строения существующего жилищного фонда, без применения новой проводки, без переделки систем и разводки энергоносителей. Предусмотрена возможность учета тепловой энергии каждым

абонентом при любой, в том числе, при вертикальной разводке теплоснабжения [2].

Начальным этапом энергосбережения является **энергоаудит** — необходимый инструмент и основа для разработки программы энергосбережения.

Энергоаудит или энергоаудит-контроль — это обследование объекта энергопотребления, поиск нерационального использования энергетических ресурсов, определение параметров повышения энергоэффективности и составление бизнес-плана по приведению исследуемого объекта в энергоэффективный и энергетически целесообразный вид. Результатом энергоаудита является бизнес-план [3].

В современных условиях постоянного удорожания энергоресурсов все большую актуальность приобретает вопрос об энергоэффективности отопительной установки для жилых и производственных помещений.

Добиться значительной экономии энергоресурсов позволяет **переменное управление обогревом помещения** в зависимости от многочисленных внешних условий.

В основе энергосберегающих алгоритмов управления обогревом помещений обычно лежат две идеи: управлять температурой теплоносителя, а не температурой воздуха в помещении и поддерживать температуру на комфортном уровне в зависимости от внешних условий.

Регулирование температуры в энергоэффективных системах отопления производят с учетом следующих внешних условий: температура воздуха внешней среды, время суток, день недели, сезон (зима, лето) [5].

Обеспечить температуру внутри помещений согласно СНиП, а также сэкономить потребляемую тепловую энергию возможно с помощью современных микропроцессорных систем регулирования. В качестве примера можно привести регулятор потребления тепловой энергии МР-01СП "ТЕРМО-К", предназначенный для автоматического управления подачей тепла в системы отопления и горячего водоснабжения. Регулятор включает в себя: управляющий контроллер «МР-01», регулирующие клапаны седельного типа «КС» с электрическим исполнитель-

ным механизмом, датчики температуры, давления [6].

С введением в действие новых повышенных требований к теплозащите зданий наиболее актуальным становится вопрос о **повышении теплозащиты световых проемов** в домах. Так как окна занимают почти 20 % площади ограждающих конструкций зданий, и через них теряется до 50 % тепловой энергии, идущей на отопление, они являются одним из основных источников теплопотерь в жилых зданиях [7].

Для уменьшения теплопроводности (передача тепла непосредственно через сам материал) наращивают количество стекол в стеклопакете — два и более. Для борьбы с конвекцией (движение воздушных масс) создали герметичный стеклопакет с небольшим (8–16 мм) межстекольным расстоянием. Вследствие этого воздушные потоки сталкиваются и перемешиваются.

На долю теплового излучения (передача тепла от нагретых предметов в окружающую среду) приходится 10–20% от общих теплопотерь из помещения [8]. Для решения проблемы теплового (инфракрасного) излучения разработано **теплосберегающее стекло**, а точнее — специальное покрытие на стекло. Такое стекло называется энергосберегающим или низкоэмиссионным. Покрытие представляет собой напыление толщиной 10–15 нанометров, состоящее из тонкого слоя благородных металлов. Благодаря физическим свойствам благородных металлов тепловое излучение, идущее от нагретых комнатных предметов, отражается обратно в помещение. Таким образом, общее количество теплопотерь через окно существенно уменьшается.

Новое строительство, реконструкция и капитальный ремонт зданий в Российской Федерации осуществляется в соответствии с новыми, повышенными требованиями к **теплозащите ограждающих конструкций**, определяемыми Изменением № 3 к СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника».

В современной практике наибольшее применение получили следующие типы конструктивных решений по утеплению зданий:

- трехслойные стены с утеплителем в качестве среднего слоя и наружной облицовкой из кирпича.

Различают конструкции с вентилируемым зазором и без него;

- наружное утепление зданий со штукатурным покрытием;

- наружное утепление стен с вентилируемым зазором и облегченной защитно-декоративной облицовкой изделиями типа «сайдинг», «ранила», «этернит» и др.

Физико-технические свойства используемых теплоизоляционных материалов оказывают определяющее влияние на теплотехническую эффективность и эксплуатационную надежность конструкций, трудоемкость монтажа, возможность ремонта в процессе эксплуатации и в значительной степени определяют сравнительную технико-экономическую эффективность различных вариантов утепления зданий.

Еще одним мероприятием по энергосбережению является **энергосберегающее освещение**. На смену нити накала идут светодиоды. Сверхъяркие светодиоды, или светильники LED (англ. «Light-emitting diode» — светоизлучающий диод), готовы полностью вытеснить своих устаревших предшественников.

Высокая светоотдача светодиодных ламп (стабильные 140 люмен на Ватт)—это прямая экономия электроэнергии, т.к. энергосберегающее освещение использует электричество целесообразно, то есть на производство непосредственно света, а не тепла, как лампы накала.

На сегодняшний день мировыми лидерами в производстве светильников LED разработаны уникальные энергосберегающие технологии, которые позволяют в системе экономить более 40% всей потребляемой электроэнергии.

Энергосбережение в доме, энергосбережение в быту, в конечном итоге зависит и от потребителя тоже. До тех пор пока мы не начнем действовать сами, не начнем требовать установления в домах и квартирах регуляторов подачи тепла, теплосчетчиков, ремонта окон в подъездах, введения оплаты реальных показателей потребления тепла, все те от кого зависит оказание услуг в ЖКХ, будут продолжать выставать счета за чьи-то потери. ■

#### Библиографический список

1. Программа "Энергосбережения и повышения энергоэффективности". Официальный сайт научно-экспертного совета при рабочей группе Совета Федерации по мониторингу практики применения Федерального закона от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и подготовке предложений по совершенствованию законодательства в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности — URL: <http://energy2020.ru/news/news491.php>
2. Использование современных систем комплексного учета и сбережения энергоресурсов в жилых зданиях и промышленных сооружениях. Портал «Энергоэффективная Россия». — URL: <http://www.energohelp.net/articles/energy-tools/62655/>.
3. Энергоаудит, повышение энергоэффективности. Компания «ИТЦ Энергоэффект». — URL: <http://energyeffect.net/>.
4. Приборное обеспечение энергоаудита. НП СРО РОС «ОБОРОНЭНЕРГО». — URL: [http://os-sro.ru/?page\\_id=523](http://os-sro.ru/?page_id=523).
5. Применение интеллектуальных систем управления для энергосбережения в системах отопления. ООО «Зареалье». — URL: <http://www.zarealye.com/?p=5>.
6. МР-01Регулятор потребления тепловой энергии.СП «ТЕРМО-К» ООО. — URL: <http://www.thermo-k.by/products/pribori-regulirovaniya-tepla?id=5>.
7. Хихлуха, Л. В. Остекление зданий: энергоэффективность и микроклимат // Л. В. Хихлуха // Журнал Энергосбережение, 2001. — №3. — URL: [http://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=124](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=124).



## МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ. АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

**Богдан Эдуардович ГОНЧАРОВ**

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

Неразрушающий контроль позволяет определить степень повреждения объекта либо отдельного узла, а также их текущее состояние и основные параметры, при этом демонтаж и выведение из работы детали не требуется. Особенно актуальны методы неразрушающего контроля для конструкций, имеющих высокую стоимость. На сегодняшний день актуально применение композитных материалов на основе углеродного волокна. Акустико-эмиссионный контроль позволяет полностью оценить необходимые параметры данного материала, поэтому данный метод актуален.

Акустическая эмиссия представляет собой явление возникновения и распространения акустических волн при деформации напряженного материала. По мере роста напряжений, активизируются многие из имеющихся в материале объекта источников эмиссии. Электрические сигналы эмиссии, полученные в результате преобразования датчиком волн напряжений, усиливаются, регистрируются аппаратурой и подвергаются дальнейшей обработке и интерпретации. Очевидно, что для регистрации акустической эмиссии необходимо подвергнуть нагрузке материал объекта. В целях проверки, какой либо детали разрабатывают специальные процедуры нагружения.

обнаружить сейсмическую активность. Очень часто явление акустической эмиссии используют в лабораториях, так как данный метод контроля позволяет по сигналам эмиссии в реальном времени наблюдать за поведением материала при статическом и циклическом нагружении. В производстве метод используют для проверки сварных швов, контроля операций формообразования и в любых других случаях, когда необходимо измерить деформацию от постоянной нагрузки.

С появлением в материале первых микротрещин от источника повреждений, по всем направлениям распространяются импульсы акустической эмиссии. Распространение импульсов иногда носит ярко выраженный анизотропный характер. Необходимо учитывать, что первоначальная форма волны изменяется при ее перемещении в среде материала. Преобразование акустической эмиссии в электрический сигнал с помощью датчика не идеально. В связи с этим полученный сигнал может сильно отличаться от сигнала источника повреждений, что в свою очередь вызывает некоторые проблемы с использованием акустико-эмиссионного контроля.

На практике используют несколько способов локализации источника акустической эмиссии. Во-первых, – это зонная локация, при которой источники рас-

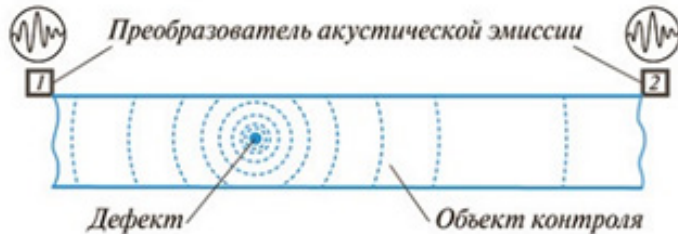
положены сравнительно на больших по площади зонах. Во-вторых, это способ – точечной локации, при которой расположение источника рассчитывают достаточно точно с помощью разностей времен прихода сигналов на разные датчики, объединенные в антенну. При проведении расчетов скорость распространения волны в формуле локации, вводится как параметр. Точность расчетов контролируется этим параметром, который в свою очередь



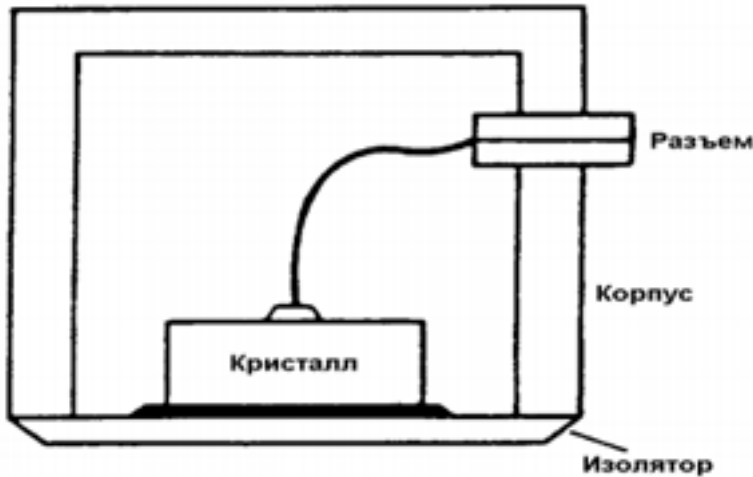
диапазон применения метода довольно широк. Он используется как для регистрации дислокационных движений в металле, так и в качестве акустико-эмиссионного контроля, который способен

зависит от формы, толщины, а также свойств вещества исследуемого объекта. Погрешность локации может варьироваться от 1%, в условиях приближенном к идеальным, и до 10% в худшем случае.





Основным элементом резонансного датчика, улавливающего акустическую эмиссию, является пьезоэлектрический кристалл, преобразующий



механическую энергию движения в электрический сигнал. Кристалл помещен в корпус с разъемом для подключения кабеля и доньшком в виде пластинки. Датчик возбуждается от волн напряжений, попадающих на его доньшко, далее он преобразует их в электрические сигналы. Затем сигналы по-

ступают на предусилитель, усиливаются и на конечном этапе регистрации поступают на основную измерительную и обрабатывающую аппаратуру. В современных изделиях с целью удобства монтажа и одновременного снижения чувствительности к электромагнитным наводкам, предусилители изготавливают миниатюрными и размещают непосредственно в корпус датчика, получая совмещенный датчик-предусилитель. Метод акустико-эмиссионного контроля является превосходным инструментом для изучения процессов деформации различных материалов, т.к. данный метод обеспечивает исследователей немедленной и подробной информацией о процессах, происходящих в структуре материала. Благодаря высокой чувствительности к микроструктуре материала и непосредственной связи с процессами разрушения акустико-эмиссионный способ контроля обладает уникальной способностью к реакции материала на приложенное напряжение. Анализ с помощью акустико-эмиссионного оборудования особенно полезен в случае, когда он используется совместно с другими диагностическими методами, такими как, электронная микроскопия и метод измерения ультразвукового рассеяния (при исследовании дислокационных процессов). Акустико-эмиссионный метод дополняет эти традиционные методы диагностики и обеспечивает дополнительной информацией о динамике и взаимосвязях. ■

**Библиографический список**

1. Scientific advisor: Alexander E. Bogdanovich, Mehmet Karahan, Stepan V. Lomov, Ignaas Verpoest «Quasi-static tensile behavior and damage of carbon/epoxy composite reinforced with 3D non-crimp orthogonal woven fabric», *Mechanics of Materials* 62 (2013) 14–31 (дата обращения: 5.03.2015).
2. Др. Адриан Поллок «Акустико-эмиссионный контроль». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.diparc.ru/Articles/Pollock.pdf> (дата обращения: 11.11.2015).
3. Филиппов С.Ю. «Диагностика трубопроводов пара и горячей воды без вывода из эксплуатации» журнал "Химическая техника" №5 май 2015г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.strategnk.ru/section/138/> (дата обращения: 11.11.2015).

## **ПРОБЛЕМЫ И КАЧЕСТВО ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

***Александр Николаевич АНДРЕЕВ***

*эксперт в области промышленной безопасности*

*Некоммерческое Партнерство «Кузбасский центр научно-технического обеспечения  
«Промбезопасность», г. Кемерово*

***Сергей Владимирович КУЛЯБИН***

*эксперт в области промышленной безопасности*

*Некоммерческое Партнерство «Кузбасский центр научно-технического обеспечения  
«Промбезопасность», г. Кемерово*

***Константин Иванович ГУБИН***

*эксперт в области промышленной безопасности*

*Некоммерческое Партнерство «Кузбасский центр научно-технического обеспечения  
«Промбезопасность», г. Кемерово*

***Станислав Сергеевич ВЫЛЦАН***

*эксперт в области промышленной безопасности*

*Некоммерческое Партнерство «Кузбасский центр научно-технического обеспечения  
«Промбезопасность», г. Кемерово*

В настоящее время на территории Российской Федерации осуществляют свою деятельность по экспертизе промышленной безопасности (ЭПБ) около четырех тысяч экспертных организаций, которые имеют лицензию Ростехнадзора на осуществление деятельности по проведению экспертизы промышленной безопасности. Для получения лицензии достаточно минимального набора документов, чем и пользуются мелкие фирмы, у которых нет никакой своей материально технической базы. Очень много экспертных организаций осуществляют свою деятельность без собственных лабораторий неразрушающего контроля. Такие организации в последнее время очень часто выигрывают на тендерах по проведению экспертизы промышленной безопасности технических устройств и зданий и сооружений. Главным критерием выигрыша тендера на сегодняшний день является наименьшая цена предоставления услуги по проведению ЭПБ, но никак не качество выполненных работ. Многие такие экспертные организации гарантируют заказчику 100% положи-

тельные заключения ЭПБ, которые будут соответствовать требованиям промышленной безопасности, что в полной мере удовлетворяет собственников предприятий. Заказчиков мало интересует материально техническое обеспечение и штат работников экспертной организации. Их больше интересует заключения экспертизы промышленной безопасности технических устройств или зданий и сооружений соответствующие промышленной безопасности, не зависимо в каком фактическом техническом состоянии находятся эти объекты. Многие заказчики напрямую говорят, что не будут выполнять мероприятия которые при обследовании им выписала крупная и оснащенная необходимым оборудованием экспертная организация, а найдут другую организацию попроще, которая не будет обращать внимания на недостатки и не соответствие объекта экспертизы промышленной безопасности и сделает им заключение которое будет соответствовать без лишних затрат со стороны заказчика. Высокая техническая оснащенность экспертных организаций в определенной степени вли-

яет на стоимость работ по экспертизе. В результате конкурентоспособность оснащенной организации значительно ниже, чем практически не оснащенной.

Более крупным экспертным организациям у которых имеется собственный штат экспертов, лаборатория НК, специалисты по неразрушающему и разрушающему контролю, а также другие научно-технические работники которые занимаются разработкой и расчетами технической документации, приходится снижать цены, чтобы конкурировать с мелкими экспертными организациями у которых ничего этого нет. Что негативно сказывается на инвестициях для дальнейшего научно-технического развития, для обеспечения безопасной эксплуатации технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах. При таком раскладе подобная деятельность по экспертизе промышленной безопасности не может долго длиться без негативных последствий.

Федеральным органом Ростехнадзора предпринимаются действия по повышению уровня качества экспертных работ и подготовки экспертов. В 2015 году было утверждено постановление Правительства Российской Федерации № 509 от 28 мая 2015г. «Об аттестации экспертов в области промышленной безопасности».

Для повышения качества экспертных работ необходимо совершенствовать систему экспертизы промышленной безопасности.

Понятно, что качество экспертных работ зависит от квалификации эксперта, но это только одна из составляющих системы экспертизы промышленной безопасности.

Очень важно чтобы усилился контроль со стороны территориальных органов Ростехнадзора за эксплуатацией технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах, за качеством проведенных экспертиз по промышленной безопасности.

Надо уделить особое внимание нормативно-технической документации для проведения экспертизы промышленной безопасности технических устройств, зданий и сооружений.

Повышение качества экспертных работ зависит от полноты и качества используемой нормативно-технической и правовой документации.

Компетентность и опыт эксперта по промышленной безопасности позволяют найти правильный подход к решению задачи. Эксперт определяет методику ведения работы, необходимость применения тех или иных средств неразрушающего или разрушающего

контроля. Уровень подготовки экспертов – разный, а решать им приходится одинаково сложные и ответственные задачи. Поэтому необходимо обеспечить достаточно высокий уровень подготовки экспертов. Необходимо изучать опыт работы экспертов до аттестации. Наличие публикаций в периодических изданиях или ученая степень не может быть критерием подтверждающим необходимый опыт работы у эксперта в заявленной области аттестации.

Важным фактором повышения качества экспертизы является техническая оснащенность эксперта.

Эксперт в определенной области аттестации не обязан сам владеть всеми методами инструментальных и приборных обследований, но он должен знать о возможностях каждого метода, применении и необходимости комбинирования средств и методов, и здесь необходим его опыт. Чем выше техническая оснащенность, тем у эксперта больше шансов установить истинное фактическое состояние технического устройства, проведения прочностных расчетов и определения его остаточного ресурса. Поэтому экспертная организация, не имеющая в своем составе лаборатории неразрушающего контроля, не способна провести качественную экспертизу технических устройств, зданий и сооружений аттестованными экспертами в области промышленной безопасности и специалистами по неразрушающему контролю. Соответственно, лаборатория должна иметь необходимое оборудование для обследования, приборы прошедшие поверку в установленном порядке.

Современная экономика заставляет руководителей и собственников предприятий обеспечить работоспособное состояние оборудования которое соответствует промышленной безопасности, а следовательно обращаться в экспертные организации, причем именно в те из них, которые выполняют работу с наименьшими затратами с минимальным обследованием, а то и без него, в ущерб качеству проведенной ЭПБ.

А результат этого – снижение качества работ по экспертизе промышленной безопасности и повышение травматизма на предприятиях, в следствии не качественного определения фактического технического состояния технических устройств, зданий и сооружений.

Эти вопросы очень серьезные и без помощи Ростехнадзора их трудно решить.

Совершенствование всей системы экспертизы промышленной безопасности приведет к повышению качества экспертных работ. ■

#### Библиографический список

1. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21 июля 1997г. №116-ФЗ. (с изменениями).
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» утвержденные приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 ноября 2013г. № 538 (с изменениями).
3. Постановление Правительства Российской Федерации № 509 от 28 мая 2015г. «Об аттестации экспертов в области промышленной безопасности».

## МЕТОД РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КРАНА МОСТОВОГО ТИПА

**Сергей Владимирович КУЛЯБИН**

*эксперт в области промышленной безопасности*

*Некоммерческое Партнерство «Кузбасский центр научно-технического обеспечения  
«Промбезопасность», г. Кемерово*

**Константин Иванович ГУБИН**

*эксперт в области промышленной безопасности*

*Некоммерческое Партнерство «Кузбасский центр научно-технического обеспечения  
«Промбезопасность», г. Кемерово*

**Станислав Сергеевич ВЫЛЦАН**

*эксперт в области промышленной безопасности*

*Некоммерческое Партнерство «Кузбасский центр научно-технического обеспечения  
«Промбезопасность», г. Кемерово*

**Александр Николаевич АНДРЕЕВ**

*эксперт в области промышленной безопасности*

*Некоммерческое Партнерство «Кузбасский центр научно-технического обеспечения  
«Промбезопасность», г. Кемерово*

**Аннотация.** В этой статье представлен один из методов результатов расчета остаточного ресурса металлоконструкций крана мостового типа. Показан метод определения остаточного ресурса, дающий возможность прогноза разрушения металлоконструкций крана в результате усталостных и коррозионных повреждений.

Этот метод оценки остаточного ресурса металлических конструкций крана состоит из следующих этапов:

- Анализ технической и ремонтной документации на кран и результаты обследования металлоконструкций крана с использованием методов неразрушающего, при необходимости разрушающего контроля.
- Анализ режимов нагружения элементов металлоконструкций крана.
- Оценка характеристик усталостной прочности рассматриваемых сечений металлоконструкций, с учётом корректировки по данным технического диагностирования.
- Обоснование применимости соответствующего механизма накопления усталостных повреждений в

рассматриваемом сечении конструкции крана и выбор предельного состояния конструкции.

- Сопоставление данных по приведенным пунктам и обоснование применимости вероятностного метода оценки остаточного ресурса в соответствии с методическими указаниями.

В предлагаемом методе расчета остаточного ресурса металлоконструкций кранов рассматривается только случай многоциклового усталости, а в качестве основного показателя остаточного ресурса принимается ресурс, задаваемый двумя величинами: наработкой и выраженной в процентах вероятностью того, что в течение этой наработки предельное состояние конструкции не будет достигнуто.

На рис. 1 представлена схема определения остаточного ресурса металлоконструкции крана с учетом этапа живучести.

$Q(t)$  - вероятность появления усталостной трещины в конструкции,  $l$  - длина усталостной трещины. В соответствии с РД 09-102-95 можно принять  $1/Q(t) = 0,05$ .

В момент времени  $t_3$  проводится инструментальная оценка технического состояния конструк-



ции (техническая диагностика) в соответствии с методическими указаниями (согласно группе расчетной долговечности)

струкций крана на основе данных расчета остаточного ресурса можно воспользоваться консервативной схемой принятия решения, основанной на показателе относительного ресурса:

$$N_0 = N / N_p.$$

Здесь  $N_0$  - показатель относительного ресурса;  $N_p$  - расчетное число циклов нагружения;  $N$  - фактическая наработка в циклах нагружения.

Предполагается, что при  $N_0 < 0,8$  конструкция обладает достаточным остаточным ресурсом. Если выполняется условие  $0,8 < N_0 < 1$ , то конструкция находится вблизи границы области безопасности. При  $N_0 > 1$  рассматриваемая конструкция попадает в область ограниченной безопасности; в этом случае необходимо выполнить дополнительный расчет ресурса конструкции на стадии роста усталостной трещины (график 2 на рис. 1).

Сущность расчета ресурса конструкции на стадии роста усталостной трещины заключается в следующем.

Для оценки взаимосвязи между параметрами режима нагружения и скоростью развития трещины в сечении конструкции предлагается использовать известное уравнение Периса-Элбера (после предварительного обоснования применимости основных положений линейной механики разрушения для рассматриваемого сечения конструкции):

$$V = dl / dN = A (\Delta K_{эф})^n,$$

где  $l$  - текущее значение длины усталостной трещины;  $\Delta K_{эф} = (\sigma_{i\max} - \sigma_i) (\pi l)^Y$  - размах коэффициента интенсивности напряжений;  $\sigma_{i\max}$  - максимальное напряжение в  $i$ -м цикле;  $\sigma_i$  - эффективное минимальное напряжение в  $i$ -м цикле;  $Y$  - коэффициент  $K$ -тарифовки, который получен по результатам натурных усталостных испытаний коробчатых сварных конструкций типа концевых и главных балок мостовых кранов из стали Ст.3;  $A, n$  - постоянные материала конструкции.

Экспериментальная зависимость  $Y = f(l)$  представлена на рис. 2.

Значения  $A$  и  $n$  были определены на основе корреляционных зависимостей между амплитудой напряжения и шагом усталостных бороздок на образцах, вырезанных из натуральных конструкций после окончания усталостных испытаний. Как показывают результаты натурных испытаний коробчатых сварных конструкций, фронт трещины отличается зонами с различной шероховатостью: от сравнительно мягкой до грубой (на участках ускоренного развития трещины).

С учетом данных прямого эксперимента, ниже предложен алгоритм расчета скорости развития усталостной трещины в рассматриваемом сечении

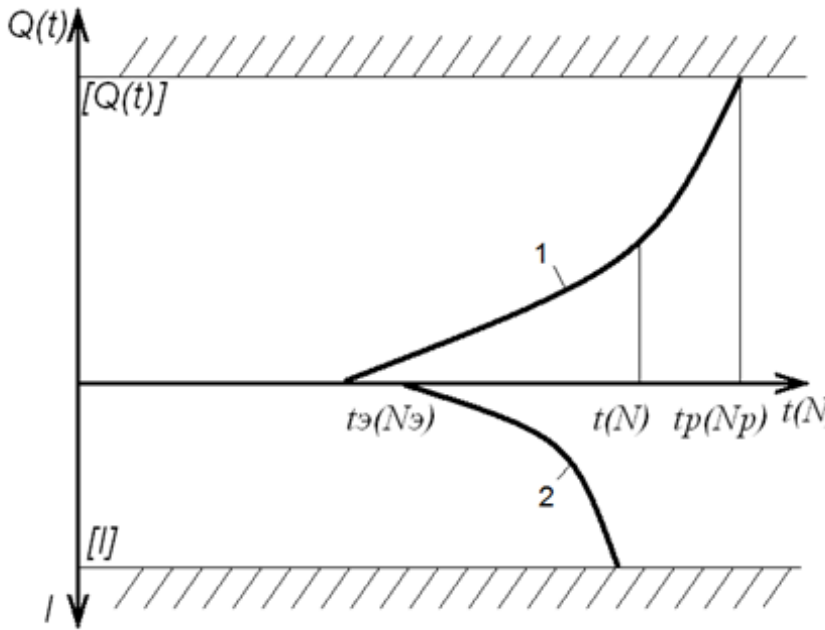


Рисунок 1 - Схема определения остаточного ресурса металлоконструкций крана

Таким образом, согласно схеме (рис. 1), остаточный ресурс представляет собой разность между  $t_p$  и  $t_3$ .

Предлагаемый метод даёт возможность рассчитать функцию долговечности (кривая 1 на рис. 1) в интервале времени  $t_p - t_3$ .

Метод расчета базируется на учете постепенного снижения исходного предела выносливости конструкции в рассматриваемом сечении вследствие действия амплитуд напряжений, превышающих исходный предел выносливости. Кроме этого, по результатам неразрушающего контроля (ультразвуковая толщинометрия) представляется возможным внести коррективы в части уменьшения площади расчетного сечения и увеличения концентрации напряжения вследствие локального эффекта из-за коррозии внутренних полостей металлоконструкций крана. Алгоритм и пример расчета надёжности приведены ниже.

Фактически оценка остаточного ресурса по указанному предельному состоянию металлоконструкции крана основывается на прогнозировании процессов деградации рассматриваемого сечения конструкции в результате усталостного и коррозионного повреждения.

Использование этого метода для сварных рам тележек рефрижераторных вагонов и электровозов показало, что точность получаемых результатов по вероятности разрушения находится в пределах достигнутой в настоящее время точности вероятностных расчетов на прочность деталей машин.

Для принятия окончательного решения о возможности дальнейшей эксплуатации металлокон-

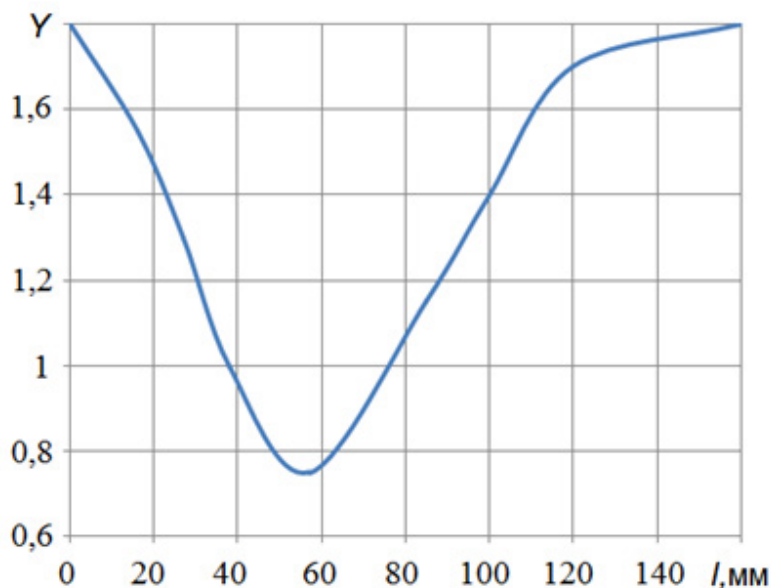


Рисунок 2 - Экспериментальная зависимость коэффициента K-тарировки от длины трещины

металлоконструкции крана.

$$\begin{aligned} \beta_i &= \sigma_{imax} - \sigma_i; \\ l_i &= l_{i-1} + \Delta l_i; \\ \Delta l_i &= \Delta N_i^{0,2} (\beta_i Y_i)^{0,48}; \\ \Delta K_{эфi} &= 1,77 \beta_i Y_i \Delta l_i; \\ K_{эфi} &= K_{эф(i-1)} + \Delta K_{эфi}; \\ V_i &= 7,899 \cdot 10^{-9} (\beta_i Y_i)^{2,4} l_i^{1,2}. \end{aligned} \quad (1)$$

По этим формулам получают значения скоростей развития трещин в зависимости от параметров режима нагружения конструкции. Интегрируя выражение (1) по длине трещины, получают функцию роста усталостной трещины:

$$l = f(N).$$

Отметим также, что точность расчета существенно зависит от точности исходных данных о нагруженности и усталостной прочности конструкции. Поэтому при их подготовке следует использовать результаты тех теоретических или экспериментальных исследований, которые дают наиболее достоверную информацию. Если достаточно точное определение параметров нагружения и усталостной прочности конструкции затруднительно, то необходимо выявить интервалы, в которых находятся их точные значения, и в этих интервалах исследовать влияние параметров на результаты расчета вероятности разрушения конструкции.

Рассмотрим подробно алгоритм расчета остаточного ресурса металлоконструкции крана в соответствии с методом ИМАШ (3-й расчетный случай). Число циклов нагружения  $n_i$  напряжением  $\sigma_{ai}$

$$N_i = t_i t v_{\delta},$$

где  $v_{\delta}$  - число циклов в блоке нагруженности (размер блока) в пределах принятой его длительности в единицах долговечности (за год эксплуатации, километрах пробега и т.п.).

Соотношение  $i$ -й амплитуды напряжений и предела выносливости поврежденной детали  $\sigma_{-1noi-1}$  после приложения  $(i-1)$ -й амплитуды напряжений,

показывающее возможность накопления усталостных повреждений при действии  $\sigma_{ai}$  ( $X > 1$ ) или отсутствие повреждений ( $X \leq 1$ ):

$$X = \sigma_{ai} / \sigma_{-1noi-1} = n_p (\sigma_{ai} / \sigma_{a1}) (\sigma_{-1Ducx} / \sigma_{-1noi-1}).$$

При  $i = 1$   $\sigma_{-1noi-1} = \sigma_{-1Ducx}$ .

Предельный коэффициент нагруженности находится методом последовательных приближений. Начальное его значение  $n_{pn}$  принимается в интервале 1...2.

Число циклов нагружения  $N_i$  до разрушения при действии напряжения  $\sigma_{ai}$

$$N_i = N_0 (1/X)^m.$$

Предел выносливости поврежденной детали к моменту действия  $i$ -й ступени блока нагруженности

$$\sigma_{-1noi} = \sigma_{-1noi-1} [1 - (n/N_i) (X - 1) K],$$

где  $K$  - параметр, характеризующий интенсивность снижения предела выносливости вследствие действия перегрузок  $\sigma_{ai} >$

$\sigma_{-1noi-1}$ .

Усталостное повреждение от действия  $i$ -й амплитуды напряжений, выраженное цикловым отношением:

$$Y = n_i / N_i.$$

Если для заданной долговечности  $t$  на некоторой  $i$ -й ступени напряжения  $X > 1$  и  $Y > 1$ , то это означает, что разрушение для принятого значения  $n_p$  происходит раньше долговечности  $t$ , (для поиска предельного коэффициента нагруженности  $n_p$  нужно уменьшить его начальное значение  $n_{pn}$ ). Если на некоторой  $i$ -й ступени напряжения  $X < 1$ , то это означает, что накопление повреждений на этой ступени прекращается, разрушение в течение заданной долговечности  $t$  отсутствует (для поиска предельного коэффициента нагруженности  $n_p$  следует увеличить его начальное значение  $n_{pn}$ ).

Квантиль нормального распределения, соответствующий вероятности разрушения  $Q$ ,

$$U_Q = \frac{(1 - \tilde{n})}{\sqrt{\tilde{n}^2 v^2 \sigma_{-1D}^2 + v_{\epsilon}^2}},$$

где  $\tilde{n} = n_p / n$ ,  $n = \sigma_{ai} / \sigma_{-1Ducx}$  - средний коэффициент нагруженности.

При сложном напряженном состоянии с компонентами  $\sigma$  (нормальное напряжение) и  $\tau$  (касательное напряжение) функция надежности может быть оценена по формуле (2). Предполагается, что долговечности  $t_{\sigma}$  и  $t_{\tau}$  детали до разрушения при действии только нормальных ( $t_{\sigma}$ ) и только касательных ( $t_{\tau}$ ) напряжений являются случайными некоррелированными величинами.

$$P(t) = P(t_{\sigma}) P(t_{\tau}), \quad (2)$$

где  $P(t_{\sigma})$ ,  $P(t_{\tau})$  - вероятности неразрушения при действии только нормальных и только касательных напряжений соответственно.

Для оценки  $P(t_{\sigma})$  и  $P(t_{\tau})$  требуется провести расчет дважды при соответствующих исходных данных

по нормальным и касательным напряжениям.

Вероятность разрушения конструкции определяется по зависимости

$$Q(t) = 1 - P(t).$$

В соответствии с приведённым алгоритмом был выполнен расчет надежности балки моста крана (кривая 1 на рис.1). При этом нормативный срок службы кранов мостового типа для режимов А4, А5 принимался равным 25 лет.

$$\sigma_{.1D} = 74 \text{ МПа}; \nu_{\sigma_{.1D}}^2 = 0,15; \sigma_{.1Dmin} = 62,9 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{.1Dmax} = 85,1 \text{ МПа}; N_0 = 2 \cdot 10^6; m = 6.$$

Отметим также, что значение величины  $\sigma_{.1D}$ , принятое нами для расчета, очень близко к приведенному в руководящем документе с учетом коэффициента вариации ( $\sigma_{.1D} = 60 \text{ МПа}$ ).

Коэффициент интенсивности снижения предела выносливости примем  $K = 1,33$ . Блок нагруженности балки крана представлен в табл. 1.

Таблица 1 - Этапы нагружения балки крана

i	1	2	3	4
$\sigma_{ar}$ МПа	100	75	50	20
$t_i$	0,086	0,184	0,325	0,405

Коэффициент вариации амплитуды напряжений каждой ступени блока  $\nu_{\sigma a} = 0,08$ . Результаты расчета по программе FATIGUE представлены в табл. 2 и на рис. 3.

Таблица 2 - Результаты расчета вероятности появления трещины

t, г	3	6	9	12	15
$Q(t)$	0,0012	0,0033	0,0133	0,0230	0,0325
t, г	18	21	24	27	30
$Q(t)$	0,045	0,0625	0,0901	0,112	0,132

Вероятность появления трещины  $Q(t) = 1 - P(t)$ .

Анализ результатов расчета позволяет сделать вывод о том, что уже после 12 лет эксплуатации вероятность появления усталостной трещины превышает допустимое значение с учетом реального рассеивания предела выносливости балки крана (линия 2 на рис. 3). По истечении данного срока экс-

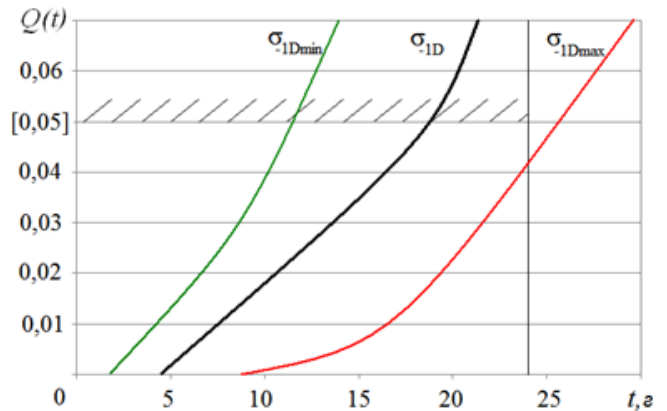


Рисунок 3 - Функция долговечности балки моста

плуатации возникает необходимость проведения экспертизы промышленной безопасности, включающей неразрушающий контроль металлоконструкций, инструментальный анализ с последующим расчетом ресурса на стадии развития усталостной трещины в соответствии с алгоритмом методических указаний.

После анализа результатов расчета живучести конструкции (кривая 2 на рис. 1) принимается решение о дальнейшей её эксплуатации. Если результаты расчета  $Q(t)$  с учетом изменения  $\sigma_{.1D}$  по коэффициенту вариации превышают значение долговечности 25 лет, то рассчитывать живучесть целесообразно (линия 3 на рис. 3). ■

### Библиографический список

1. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21 июля 1997г. №116-ФЗ. (с изменениями).
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» утвержденные приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 ноября 2013г. № 538 (с изменениями).
3. РД 10-112-1-04 «Рекомендации по экспертному обследованию грузоподъемных машин». Общие положения.
4. РД 10-112-5-97 Методические указания по проведению обследования кранов мостового типа с целью определения возможности их дальнейшей эксплуатации. Часть 5. Краны мостовые и козловые.
5. РД 24-112-5Р Руководящий документ по оценке остаточного ресурса кранов мостового типа.
6. Краны мостовые электрические грузоподъемностью от 5 до 30т: техническое описание и инструкция по эксплуатации: 92.000.000 ТО. - 1994.
7. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. Когаев В.П.
8. Методические аспекты оценки остаточного ресурса оборудования потенциально опасных промышленных объектов. Махутов Н.А. Безопасность труда в промышленности-сти. 2002. - № 11.
9. Расчет на прочность деталей машин. Биргер И.А., Шор Б.Ф., Шнейдерович Р.М. – Москва. Наука, 1966.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИБОРОВ БЕЗОПАСНОСТИ ГРУЗОПОДЪЁМНЫХ КРАНОВ

**Леонид Станиславович КАМИНСКИЙ**

кандидат технических наук, заместитель руководителя Научно-инженерного центра  
«Лазерные измерительные системы и технологии» (НИЦ «ЛИСТ»)  
Московский государственный университет геодезии и картографии

**Филипп Леонидович КАМИНСКИЙ**

инженер, ООО "Научно-производственное предприятие "ЭГО"

**Игорь Андреевич ПЯТНИЦКИЙ**

главный конструктор, ООО "Научно-производственное предприятие "ЭГО"

**Игорь Германович ФЕДОРОВ**

ООО "Арзамасский электромеханический завод", Нижегородская область,  
кандидат технических наук, Председатель Совета директоров

**Аннотация.** Проанализированы недостатки принципа измерения нагрузки на грузозахватном органе грузоподъемного крана путем контроля давления в гидроцилиндре подъема стрелы. Рассмотрены различные варианты применения датчиков усилий в ограничителях грузоподъемности кранов путем прямого измерения усилий от поднимаемого груза непосредственно в элементах металлоконструкций кранов. Описана конструкция осевых датчиков усилий, использующих микромеханические кремниевые чувствительные элементы, изготовленные по технологиям интегральной микроэлектроники.

**Ключевые слова:** кран грузоподъемный, ограничитель грузоподъемности, осевой кремниевый датчик усилий.

**Abstract.** There are analyzed the disadvantages of the lifting load determination principle based on measurement of pressure in the hydraulic cylinder of crane derricking mechanism. There are considered various applications of crane rated capacity limiter force sensors for the lifting load determination based on direct measurement of forces in crane structure elements. It is described the design of pivot-type force sensors using silicon micromechanical sensing elements produced with integrated microelectronics technology.

**Keywords:** crane, rated capacity limiter, pivot-type silicon force sensor

Большинство отечественных и зарубежных микропроцессорных ограничителей грузоподъемности для гидравлических кранов с жесткой подвеской телескопической стрелы построены по принципу измерения нагрузки на грузозахватном органе путем

контроля давления в гидроцилиндре подъема стрелы [1-3].

В гидравлической схеме кранов содержится специальный узел – тормозной гидроклапан, предназначенный для обеспечения стабильной скорости опускания стрелы. Опускание стрелы возможно только после подачи в этот гидроклапан давления управления, причём магистраль этого давления соединена со штоковой полостью гидроцилиндра для создания дополнительного усилия на опускание стрелы и исключения разрыва потока жидкости. В результате работы такой гидравлической схемы в поршневой полости гидроцилиндра подъема стрелы при её опускании создаётся давление, превышающее то давление, которое зависит только от масс груза, стрелы и крюковой обоймы. Это приводит к тому, что при контроле давления только поршневой полости срабатывание ограничителя при подъеме груза с земли и неподвижном штоке гидроцилиндра, в одном случае, и при опускании стрелой того же самого груза, в другом случае, будет происходить на различных вылетах. В связи с этим, в современных ограничителях грузоподъемности контролируют одновременно давления как в поршневой, так и в штоковой полостях.

При этом, как показывает опыт практической эксплуатации грузоподъемных кранов, оснащенных приборами безопасности серии ОНК-160 и ОНК-180 Арзамасского электромеханического завода [4,5], ограничители грузоподъемности очень «чувствительны» к любым вмешательствам в электрогидравлическую схему крана. Например, простая замена манжет в гидроцилиндре подъема стрелы на находящихся в



эксплуатации грузоподъёмных кранах в результате возросшего и нестабильного значения силы трения в гидроцилиндре фактически приводила к невозможности перенастройки прибора безопасности, что служило причиной дополнительных трудозатрат, простоев оборудования и пр.

Следует отметить также, что конкретные аналитические выражения, заложенные в память ограничителя грузоподъёмности для расчета характеристик отключения крана, должны учитывать также и такие факторы, как прогиб стрелы, отклонение массы стрелового оборудования конкретного экземпляра крана от расчётного значения, разброс положения центра тяжести стрелы, износ опорных элементов секций стрелы, изменение жёсткости опорного контура и опорно-поворотного устройства и др. Влияние вышеперечисленных факторов вместе со сложностями, связанными с применением датчиков давления, может приводить к расхождениям между расчетными и фактическими данными о массе поднимаемого груза (особенно на больших вылетах) до 25-30% [6].

Альтернативным варианту использования датчиков давления в ограничителях нагрузки грузоподъёмных кранов является прямое измерение усилий от поднимаемого груза непосредственно в элементах металлоконструкций кранов. Например, в ограничителе грузоподъёмности типа АС-АОГ-01м<sup>+</sup> Научно-производственного комплекса «Автоматизированные системы» (г.Ростов на Дону) датчик усилия выполнен в виде тензометрического преобразователя, смонтированного в головку штока гидроцилиндра подъема стрелы [7]. Такое техническое решение обеспечивает приемлемую точность измерения усилия в механизме подъема стрелы, однако затрудняет монтаж датчика усилия на кране при изготовлении последнего и, особенно, при необходимости замены этого датчика для возможного ремонта при эксплуатации крана, так как в этом случае требуется предварительная установка и фиксация элементов стрелового механизма для разгрузки шарнирных соединений и разборка шарниров.

Для решения этой проблемы было предложено датчик усилия устанавливать на кран в виде вставки в ось шарнирного узла кранового оборудования, например в ось блоков грузозахватного органа. Такой датчик также может быть выполнен в виде вставки в ось крепления одной из проушин гидроцилиндра подъема стрелы (Рис.1 и Рис.2). Это обеспечивает удобство

монтажа и демонтажа датчика усилия на грузоподъёмном кране, так как в этом случае нет необходимости в разборке узлов крана для замены датчика и при этом обеспечивается легкий доступ к самому датчику.

Несомненным преимуществом выполнения датчика усилия в виде вставки в ось блоков грузозахватного органа является повышенная точность измерения нагрузки на грузозахватном органе 7 (место D на рис.1). Однако, при этом необходимо использовать автономный источник питания и беспроводной канал связи.

Установка тензометрического датчика усилия 1 в виде вставки в ось 2 крепления одной из проушин 3 гидроцилиндра 4 подъема стрелы 5 (место С на рис.1), и подключение его при этом к управляющему устройству датчика 6 угла наклона стрелы (например, в приборах ОНК-160 и ОНК-180), позволяет применять проводной интерфейс для связи датчика с управляющим устройством без необходимости использования батарейного питания.

На рис.1 также показаны и другие возможные места расположения датчиков усилия: в оси крепления проушины гидроцилиндра подъема стрелы (место А на Рис.1), в оси крепления стрелы на поворотной раме (место В на рис.1), или в оси крепления блока (место Е на рис.1).

Однако, предложенные схемы установки не позволяют использовать серийно выпускаемые датчики традиционных конструкций [8-10] по двум причинам. Во-первых, оси относятся к основным несущим элементам конструкции крана, поэтому для обеспечения безопасности их выполняют со значительными запасами прочности. Следовательно, при действии рабочих нагрузок их деформации незначительны,

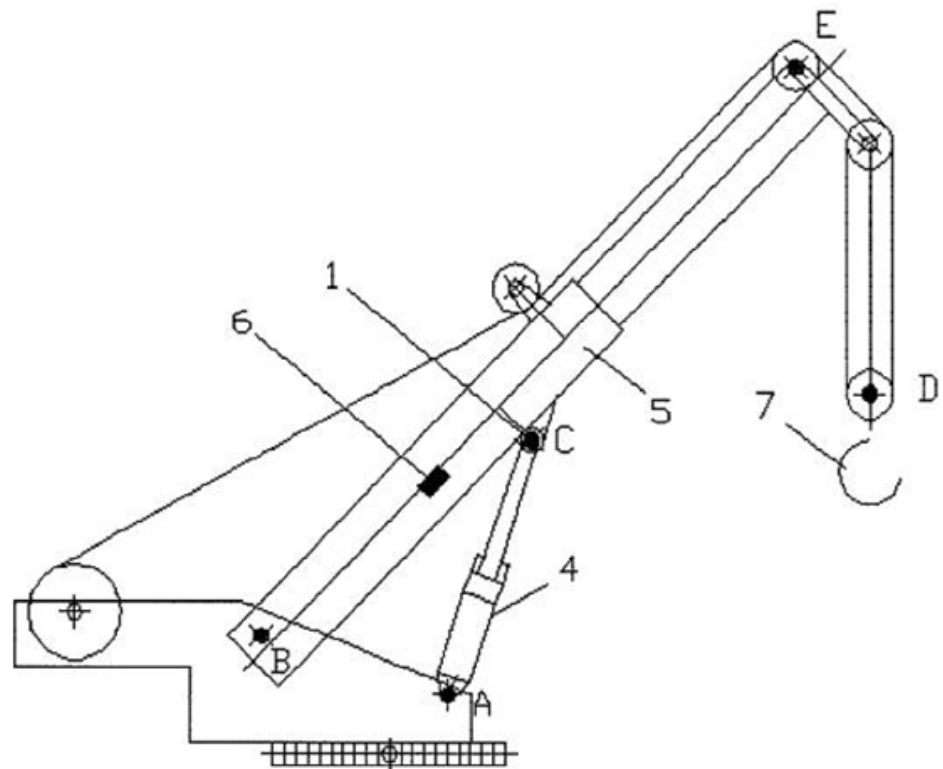


Рисунок 1 - Кинематическая схема гидравлического грузоподъёмного крана

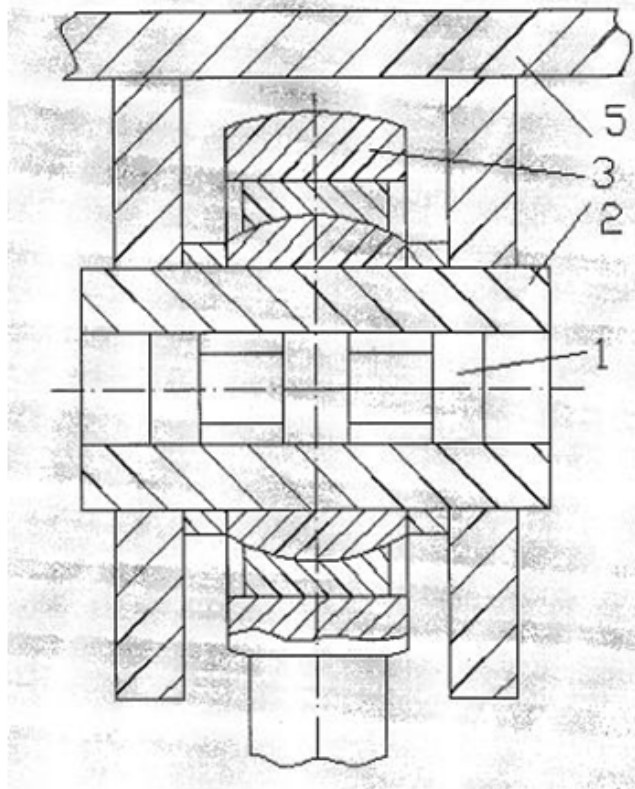


Рисунок 2 - Схема размещения датчика усилия в проушине гидроцилиндра подъема стрелы

что повышает требования к чувствительности датчиков. Во-вторых, для обеспечения надежной фиксации датчика внутри оси без использования неразъемных соединений требуются фиксирующие устройства специальной конструкции.

Указанные задачи были успешно решены благодаря использованию современных технологий интегральной микроэлектроники.

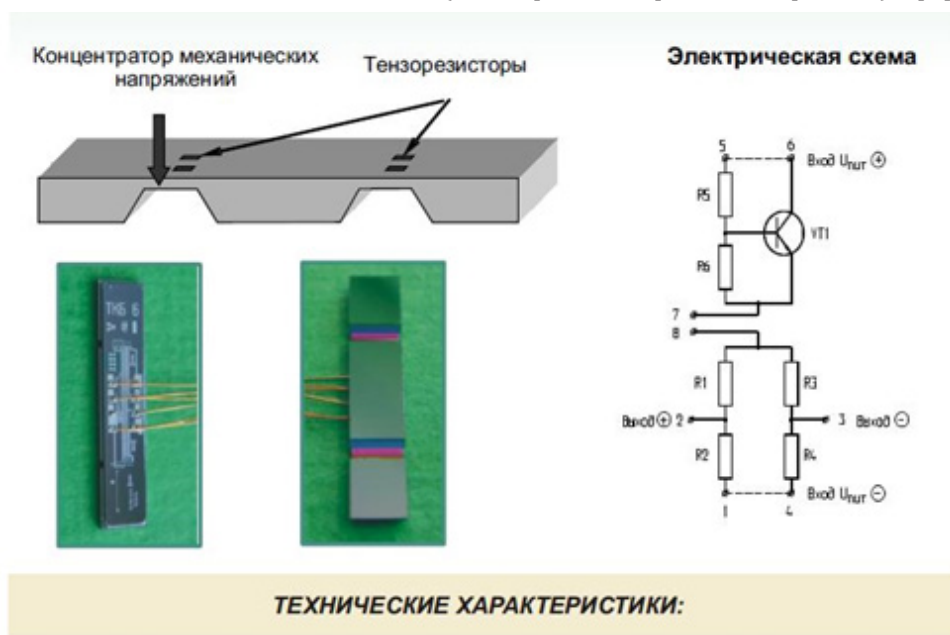
Совместные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы с ГНЦ ФГУ «Научно-производственный комплекс «Технологический центр» МИЭТ» (г.Зеленоград) и АО «Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности «Гиредмет» позволили разработать и запустить в серийное производство различные варианты осевых датчиков усилий, использующих микромеханические кремниевые чувствительные элементы, изготовленные по техноло-

гиям микроэлектроники [11-13].

Повышение чувствительности датчиков достигается за счёт использования в качестве преобразователей усилий интегральных кремниевых балочных тензопреобразователей ТКБ-6.

Тензопреобразователь ТКБ-6 с двумя концентраторами напряжений (рис.3) жестко заделывается в параллелограммное устройство S-типа (рис.4) [13], смещение оснований которого под воздействием внешней силы вызывает одинаковый по величине, но различный по знаку изгиб концентраторов напряжения балочного полупроводникового тензопреобразователя. При сохранении линейности преобразования такая конструкция обеспечивает приблизительно в 20 раз более высокую чувствительность по сравнению с традиционной конструкцией датчиков силы на базе пленочных тензорезисторов.

Интегральный балочный тензопреобразователь ТКБ-6 имеет размеры 2 x 10 мм и представляет собой монокристалл, изготовленный из кремниевой подложки [пластины КЭФ-4,5 с ориентацией рабочей поверхности в плоскости (100)] n-типа проводимости с концентраторами механических напряжений в виде поперечных углублений с размерами 0,2 x 0,2 мм со стороны нерабочей поверхности. На рабочей поверхности концентраторов методами интегральной технологии (анизотропного травления кремния) сфор-



**ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:**

Номинальная нагрузка, Н	0,15
Предельно допустимая нагрузка, Н	0,45
Напряжение питания, В	5
Номинальный выходной сигнал, мВ	20 ... 60
Начальный разбаланс моста, мВ	< 20
Нелинейность выходного сигнала, %	< 0,2
Диапазон рабочих температур, °С	-50 ... +80
Температурный «уход» чувствительности, %/10°С	< 0,2
Температурная погрешность «нуля», %/10°С	< 0,5
Габариты, мм	10 x 2 x 0,5

Рисунок 3 - Электрическая схема и технические характеристики ТКБ-6





Рисунок 4 - Параллелограммное устройство

мированы диффузионные тензорезисторы р-типа с поверхностным сопротивлением 250 Ом/кв глубиной 1,5 мкм, соединенные металлизацией в мостовую схему. Номинальное значение каждого тензорезистора составляет 2,5 кОм. Узлы мостовой схемы выведены на контактные площадки, расположенные вне концентраторов. Каждый тензорезистор состоит из двух одинаковых, соединенных последовательно металлизацией частей, которые расположены симметрично относительно средней линии каждого концентратора. Каждая часть тензорезистора окружена высоколегированной областью n+ - типа проводимости. На рабочей поверхности сформированы омические контакты к кристаллу, выведенные металлизацией на отдельную контактную площадку [14].

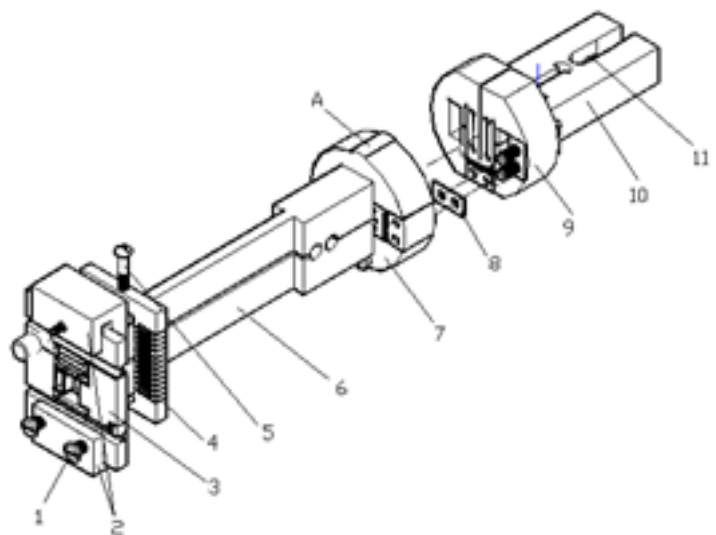
Параллелограммное устройство [13] предназначено для установки в специально спроектированную измерительную вставку [11] в виде стержня диаметром 32 мм, которая, в свою очередь, размещается в полости сквозного осевого отверстия аналогичного диаметра (с учетом допусков и посадок), выполненного в продольном направлении по центру оси «пальца», крепящегося в любом из шарнирных узлов А-Е кранового оборудования (Рис.1). При этом, как подтверждают расчёты, обеспечивается достаточный запас прочности силовоспринимающего элемента (оси).

Конструкция измерительной вставки (рис.5) обеспечивает возможность под-

держания ее высокой чувствительности, а также стабильности характеристики в процессе эксплуатации в широком диапазоне деформаций нагружаемого элемента конструкции без необходимости выдерживания прецизионной точности размеров и формы контактирующих поверхностей вставки (поз.А, рис.5) и полости элемента конструкции, в которой она устанавливается [11]. Сказанное достигается с помощью механического трансформатора перемещения (поз.6), связывающего приемник деформации (поз.7) с преобразователем контролируемой величины в электрический сигнал, и фиксатора приемника деформации (поз.9) в полости нагружаемого элемента конструкции, снабженного специальным технологическим разжимным приспособлением (поз.10). Механический трансформатор перемещения (поз.6) выполнен в виде четырехзвенника, входная пара звеньев которого связана с воспринимающими элементами приемника деформации (поз.7), выходная пара звеньев снабжена концевыми элементами (поз.2), а преобразователь контролируемой величины в электрический сигнал выполнен в виде устройства для измерения линейного перемещения указанных концевых элементов.

Возможность практического использования измерительной вставки, установленной в ось крепления головки штока гидроцилиндра подъема стрелы, была проверена в процессе испытаний 50-ти тонного крана КС-65721 Галичского автокранового завода.

В процессе испытаний сопоставлялись значения усилия в гидроцилиндре подъема стрелы, измеренные с помощью вставки, со значениями усилия, опре-

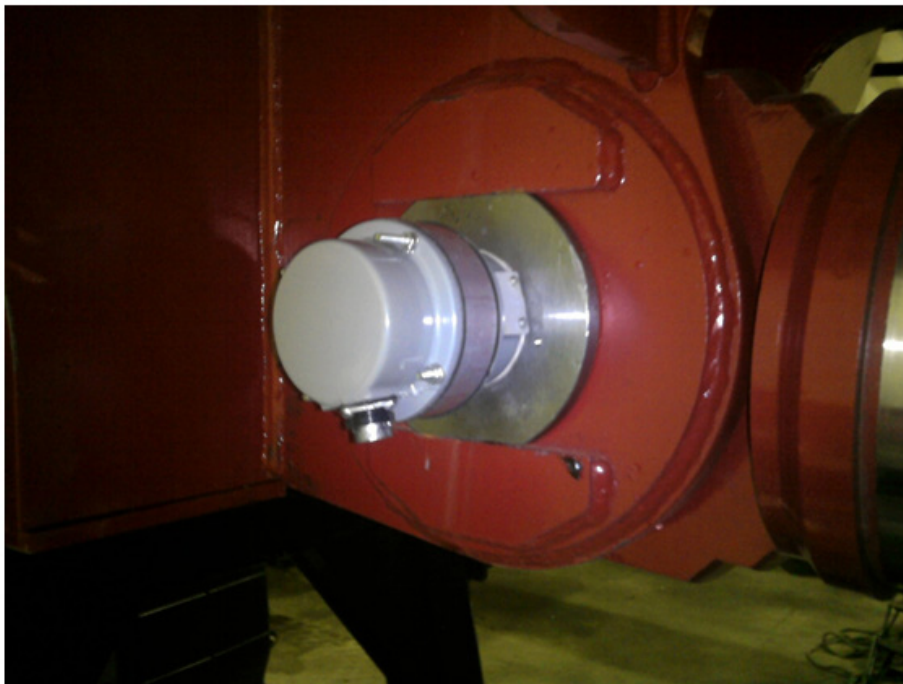


1- винты крепления параллелограммного устройства; 2 - концевые элементы трансформатора перемещений; 3 - параллелограммное устройство с балкой ТКБ-6 (преобразователь); 4 - пружина; 5 - винт фиксации пружины; 6 - механический трансформатор перемещений; 7 - приёмник деформации оси; 8 - проставка стыковочного узла приёмника деформации и его фиксатора; 9 - фиксатор приёмника деформации; 10 - разжимное приспособление фиксатора; 11 - винт разжимного приспособления; А - выступ приёмника деформации, контактирующий с поверхностью отверстия

Рисунок 5 - Измерительная вставка

делёнными по показаниям датчиков давления прибора ОНК-160С-58 (штатного прибора безопасности крана). Испытания показали, что по сравнению с дат-

чи обеспечивают постоянство показаний усилия во времени и меньшую величину гистерезиса при движениях стрелы в различных направлениях. Замена



**Рисунок 6 - Установка измерительной вставки в оси гидроцилиндра крана КС-65721**

чиками давления измерения с помощью тензовстав-

тензовставки на кране может быть осуществлена в течение получаса. При этом нет необходимости разгружать крюковую подвеску.

Тензовставки могут найти применение не только на стреловых самоходных кранах, но и на кранах других типов. Например, прибор безопасности ОНК-160М, установленный на 440-тонном мостовом кране, был укомплектован двумя тензовставками, размещёнными в осях уравнительных блоков, что позволило обеспечить сокращение необходимого количества датчиков в комплекте прибора, повысить стабильность и точность измерений нагрузки.

Описанная конструкция тензовставки не имеет аналогов в мире и защищена рядом патентов на изобретения и полезные модели. ■

### Библиографический список

1. Сушинский В.А., Маш Д.М., Шишков Н.А. Приборы безопасности грузоподъёмных кранов. Часть 1. – М.: «Центр учебных и информационных технологий», 1996г.
2. Сушинский В.А., Маш Д.М. Приборы безопасности грузоподъёмных кранов. – Часть 2. Учебно-методическое пособие. – С-Пб.: «Ольга», 2001г.
3. Федосеев В.Н. Приборы и устройства безопасности грузоподъёмных машин// Справочник. – М.: «Машиностроение», 1990г.
4. Затравкин М.И., Зарецкий А.А., Каминский Л.С., Маш Д.М., Пятницкий И.А., Федоров И.Г., Червяков А.П. Унифицированный ряд приборов безопасности для грузоподъёмных машин. - Федеральный строительный рынок, 2006г., № 1-2, стр.24-28.
5. Каминский Л.С., Пятницкий И.А., Федоров И.Г., Ерзутов А.В., Затравкин М.И., Каминский А.С., Мухин Л.Н. Системы защиты, приборы и устройства безопасности для грузоподъёмной техники - Строительные и дорожные машины, 2015 г., №1, стр.14-17 (Ч.1); №2, стр.25-28 (Ч.2).
6. Каминский Л.С. Повышение безопасности эксплуатации стреловых кранов на основе регистрации и анализа их рабочих параметров// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.04 «Дорожные, строительные и подъёмно-транспортные машины» - Новочеркасск: «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)», 2001г.
7. Руководство по эксплуатации АС-0002.02.000.00м + РЭ// Система автоматического ограничителя грузоподъёмности АС-АОГ-01м+, исполнение «Г» для автокрана КС-6478. - Ростов на Дону: «Научно-производственный комплекс «Автоматизированные системы», 2007г.
8. Патент на изобретение 2081809, Российская федерация, МПК В66С 23/88. Ограничитель грузоподъёмности для грузоподъёмных машин и механизмов/ Балакин А.А., Белослюдов А.Б., Киреев А.И., Корзников Е.П. - № 93018253/11; заявл. 08.04.1993г., опублик. 20.06.1997г.
9. Патент на изобретение 2140060, Российская Федерация, МПК G01G 19/02. Весоизмерительное устройство/ Шалыгин А.А., Корзников Е.П. - № 98106403/28; заявл. 07.04.1998г.; опублик. 20.10.1999г.
10. Патент на изобретение 2464220, Российская Федерация, МПК В66С 13/16. Тензометрическая ось для измерения нагрузки на крюке грузоподъёмного крана/ Потапов В.А., Тимин Ю.Ф., Корников М.В. - № 2011111124/11; заявл. 24.03.2011; опублик. 20.10.2012г., Бюлл. №29.
11. Патент на изобретение 2458326, Российская Федерация, МПК G01L 1/04. Измерительная вставка/ Затравкин М.И., Каминский Л.С., Пятницкий И.А. и др. - № 2011112465/28; заявл. 04.04.2011г.; опублик. 10.08.2012г., Бюлл. №22.
12. Патент на полезную модель 133295, Российская Федерация, МПК G01L 1/04. Вставка для измерения деформации нагружаемого элемента конструкции/ Затравкин М.И., Каминский Л.С., Пятницкий И.А. и др. - № 2013125307/28; заявл. 31.05.2013г.; опублик. 10.10.2013г., Бюлл. №28.
13. Патент на изобретение 2175117, Российская Федерация, МПК G01L 1/22. Датчик для измерения продольных усилий/ Федоров И.Г., Каминский Л.С., Пятницкий И.А. и др. - № 2001104601/28; заявл. 21.02.2001г.; опублик. 20.10.2001г.
14. Заявка на изобретение 94003020/25, Российская Федерация, МПК H01L 29/84. Интегральный балочный тензопреобразователь/ Шелепин Н.А. - Заявл. 01.02.1994г.; опублик. 10.04.1996г.



Уважаемые читатели!

Если Вас заинтересовала какая-то публикация, близкая Вам по теме исследования, и Вы хотели бы пообщаться с автором статьи, просим обращаться в редакцию журнала, мы обязательно переправим Ваше сообщение автору.

Наши полные контакты Вы можете найти на сайте журнала в сети Интернет по адресу [www.naupers.ru](http://www.naupers.ru) Или же обращайтесь к нам по электронной почте [post@naupers.ru](mailto:post@naupers.ru)

*С уважением, редакция журнала “Научная перспектива”.*

**Издательство «Инфинити».**

Свидетельство о государственной регистрации ПИ №ФС 77-38591.

Отпечатано в типографии «Принтекс». Тираж 750 экз.

Цена свободная.