



#12 (52), 2019 część 6
Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe
(Warszawa, Polska)
Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce. W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

#12 (52), 2019 part 6
East European Scientific Journal
(Warsaw, Poland)
The journal is registered and published in Poland. The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

**Dawid Kowalik (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood(University College
London)**

**Igor Dziedzic (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**

Kehan Schreiner(Hebrew University)

**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Anthony Maverick(Bar-Ilan
University)**

**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**

**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**

**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**

**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

**Dawid Kowalik (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood(University College
London)**

**Igor Dziedzic (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**

Kehan Schreiner(Hebrew University)

**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Anthony Maverick(Bar-Ilan
University)**

**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**

**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**

**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**

**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**

Editor in chief - Adam Barczuk

1000 kopii.

**Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie
85/21, 02-001 Warszawa, Polska»**

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo
Naukowe**

**Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001
Warszawa, Polska**

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

1000 copies.

**Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-
001 Warsaw, Poland»**

East European Scientific Journal

**Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw,
Poland**

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Гнатєва Х.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
СЕЛА ЗЕЛЕНИЙ ГАЙ.....4

Данилов С.В., Балов Б.В., Данилов А. С.

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ В ГОРОДАХ И ПОСЕЛКАХ КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССКОЙ
РЕСПУБЛИКЕ СИСТЕМЫ МАРШРУТНЫХ ТАКСОМОТОРНЫХ ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ ПО
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ЗАКАЗАМ5

Беломытцев А. С., Дружинин Е. И.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ НА
СТРОБОСКОПИЧЕСКОЙ ФАЗОВОЙ ПЛОСКОСТИ7

Журавлев И. Н.

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ КОЛЕЙНОСТИ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ17

Карабін О. Й., Віжевський Т. В.

РОЗРОБКА ВЕБСАЙТУ «IT-EDUCATION» ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ФРЕЙМВОРКУ BOOTSTRAP ТА CMS
WORDPRESS.....21

Mammadova F.M.

USE OF MINERALIZED WATERS IN TECHNICAL WATER SUPPLY24

Муйдинова М.

СТИМУЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРЕМНИЯ ПУТЕМ ТЕКСТУРИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ28

Николаев И. С., Меньшиков А. С., Воронов В. В., Шиляев С. А.

ВНЕДРЕНИЕ PLM СИСТЕМ В ПРОИЗВОДСТВО.....32

Pyshnev S., Chang-li Yu

STABILIZATION OF LONGITUDINAL MOTION OF UNDERWATER VEHICLE35

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Maharramova T.A.

THE OSCILLATION PROPERTY THE SOLUTIONS DEGENERATE NONLINEAR ELLIPTIC EQUATIONS.41

Геворкян Г. А.

ОБ ОДНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ТРИГОНОМЕТРИИ43

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 620.631.2

Гнатєва Х.В.

Магістрант гр. ТЕ – 18-1

Науковий керівник – к.т.н., доц.

Назаренко О.М

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА СЕЛА ЗЕЛЕНИЙ ГАЙ.

Анотація. Цілю даної роботи є розрахунок тепловтрат ферми, а також визначити потужність системи опалення і розрахунок по експлуатації й окупності обладнання.

Ключові слова: теплопостачання, вітрова установка, гібридна система опалення, електроенергія, тепловий насос, точка бівалентності.

За повідомленням Державного агентства енергоефективності та енергозбереження, на кінець другого кварталу 2019 року в Україні працювало 43 генеруючих електроенергію біогазових комплекси, із загальною встановленою потужністю 66 МВт. З яких 44 МВт працювало на агроотходах, а 22 МВт — на полігонах побутових відходів [1].

Основний зрозумілий і доступний ресурс в Україні для вироблення біогазу — відходи і побічні продукти сільського господарства і підприємств харчової промисловості. Та ще — спеціально вирощувані рослини (як правило, силосна кукурудза). Відповідно до заяв офіційних установ та осіб, що в Україні на кінець другого кварталу 2019 року налічувалося близько двох десятків таких біогазових комплексів, загальною потужністю 44 МВт

На сьогоднішній день поточна ситуація фермерського господарства в с.Зелений Гай Дніпропетровської області наступна:

На фермі знаходяться: 6 корів, 4 телиці, 8 биків, 120 голів курей, 20 гусей, 30 голів качок.

Маємо дві ферми, площа яких складає: 11,1 м², 10,4 м². Також маємо газове опалення на фермі. Але через те, що будівля не утеплена маємо великий перепад тепла, тобто велику втрату тепла.

А також на сьогоднішній день ситуація в Україні з газовим опаленням дещо не стабільна. Отже, для того щоб змінити цю ситуацію ми пропонуємо альтернативні джерела опалення. Такі як, вітрова енергетика, сонячна, енергія відходів від тварин.

При економічних розрахунках біогазової установки було розраховано щорічну економію, яка складе 1830436,06 грн / рік, а також розраховано

чистий приведений прибуток 3234475,26 грн., термін окупності установки при даних розрахунках склав 4,4 роки.

Експлуатація теплового насосу при «звичайному тарифі» складає:

- Економія 14938,56 грн;
- Окупність 8,7 років.

При розрахунку вітрового агрегата по стандартній методиці ми отримали наступні результати :

потужність на виході вітроагрегата (Вт) : $P_{ВЕУ} = 679,3$; середньорічне вироблення енергії вітроагрегатом (кВт · г / рік) - $W_{с,г} = 168,45$; середній річний прибуток - 380526,5 грн; термін окупності установки складає 4, 4 роки, що для окупності проекту є допустиме.

Список джерел посилань

1. URL: <https://thepage.ua/ua/experts/biogaz-ukrayini-potochna-situaciya-i-tumanni-perspektivi>;
2. ДСТУ 4065-2001 Енергозбереження. Енергетичний аудит. Загальні технічні вимоги – Київ, 2002;
3. СНиП II-Л.1-71* «Жилые здания. Нормы проектирования». – М.: Стройиздат, 1978 г.;
4. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/847-2019-%D0%BF>.
5. Амерханов Р.А. , Драганов Б.Х. . Проектирование систем теплоснабжения сельского хозяйства, Краснодар, 2001 г.
6. Шишкин Н.А. Малые энергоэкономические комплексы и возобновляемые источники энергии, М, Готика, 2000 г

Данилов С.В.

доцент, кандидат технических наук

Балов Б.В.

доцент, кандидат сельскохозяйственных наук

"Северо-Кавказская Государственная академия",

ул. Ставропольская, 36 369000, Карачаево-Черкесская республика,

г. Черкесск, Россия

Данилов А. С.**ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ В ГОРОДАХ И ПОСЕЛКАХ
КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССКОЙ РЕСПУБЛИКИ СИСТЕМЫ МАРШРУТНЫХ ТАКСОМОТОРНЫХ
ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ ПО ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ЗАКАЗАМ**

Аннотация. В статье рассмотрены подходы к развитию городского, пригородного и междугороднего транспорта в Карачаево-Черкесской Республике и возможность разработки моделей и алгоритмов управления и принятия управленческих решений, возникающих при функционировании маршрутных таксомоторных перевозок по предварительным заказам.

Там, где для коммерческих компаний главное – это извлечение прибыли, перед общественным транспортом стоит целый ряд задач: решение проблем, вызванных городским, пригородным и междугородним планированием, удовлетворение потребностей льготных категорий населения, улучшение жизни маломобильных групп населения и т. д.

Поэтому к управлению этой социально и экономически важной системой должны предъявляться повышенные требования.

В настоящее время уровень развития городского, пригородного и междугороднего транспорта в КЧР отстает от потребностей населения.

Такую ситуацию нельзя разрешить экстенсивно, простым увеличением транспортных средств, перевозящих пассажиров, поскольку затраты на их содержание и эксплуатацию приведут к нерентабельности автотранспортного предприятия.

В результате единственным способом решения данной проблемы является оптимизация системы управления работой городского, пригородного и междугороднего транспорта, в том числе городских, пригородных и междугородних автобусных перевозок, за счет оперативной организации рациональных маршрутов.

Системы перевозок пассажиров по предварительным заказам давно и успешно функционируют за рубежом, в городах Северной Америки и Западной Европы, исповедуя основной логистический принцип доставки пассажиров «от двери до двери».

Рассмотрены примеры распределения маршрутов городских автобусных перевозок при помощи предварительных заказов.

Обобщены задачи, решение которых необходимо для эффективного использования системы предварительных заказов.

Ключевые слова: имитационное моделирование, маршрутные такси, автобусные перевозки, предварительные заказы, автоматизированные системы управления.

На сегодняшний день решение транспортной проблемы в городах и поселках КЧР (Черкесск, Карачаевск, Усть-Джегута, Московский, Архыз и Домбай) может быть получено только на базе развития общественного транспорта. В то же время уровень развития городского, пригородного и междугороднего транспорта в КЧР отстает от потребностей населения.

Такую ситуацию нельзя разрешить экстенсивно, простым увеличением транспортных средств, перевозящих пассажиров, поскольку затраты на их содержание и эксплуатацию приведут к нерентабельности автотранспортного предприятия.

В результате единственным способом решения данной проблемы является оптимизация системы управления работой городского и междугороднего транспорта, в том числе, городских, пригородных и междугородних автобусных перевозок за счет оперативной организации рациональных маршрутов.

Ситуация осложняется тем, что сегодня значительная доля рынка по перевозке пассажиров в республике принадлежит коммерческим предприятиям, осуществляющим в большинстве случаев маршрутные перевозки автобусами малой и особо малой вместимости. В России городские пассажирские перевозки, осуществляемые маршрутными такси, развивались до настоящего времени в основном по экстенсивному направлению, что предусматривало увеличение числа маршрутов и подвижного состава на них.

В качестве одного из путей решения такой проблемы выступает система перевозок пассажиров маршрутными такси по предварительным заказам.

Там, где перед коммерческими компаниями стоит задача, прежде всего, извлечения прибыли, перед общественным транспортом стоит целый ряд задач: решение проблем, вызванных с планированием населенных пунктов, удовлетворение потребностей льготных категорий

населения, улучшение жизни маломобильных групп населения и т. д.

Поэтому к управлению этой социально и экономически важной системой должны предъявляться повышенные требования. Система должна быть адекватной как в процессе проектирования и эксплуатации, так и на стадиях совершенствования.

В отличие от обычной системы городского, пригородного и междугороднего общественного транспорта, получающего в качестве субсидий дополнительные средства из муниципального бюджета и, таким образом, удорожающего стоимость пассажира-километра, разработка гибкой, эффективно действующей системы перевозок пассажиров маршрутными такси по предварительным заказам позволит удовлетворить большую часть запросов жителей и гостей КЧР при должном уровне сервиса, вариативности маршрутов и минимальном времени ожидания подачи транспортного средства, не загоняя пассажиров в узкие рамки ограниченного набора маршрутов.

Подобные системы перевозок пассажиров по предварительным заказам давно и успешно функционируют за рубежом, в городах Северной Америки и Западной Европы, исповедуя основной логистический принцип доставки пассажиров «от двери до двери» (например, системы типа «Dial-a-Ride»). В КЧР сегодня имеется опыт подобных систем, в частности, в Черкесске, однако он ограничен узким профилем перевозок маломобильных категорий населения, инвалидов – аналогично услуге Access-a-Ride в Нью-Йорке и другим paratransit-сервисам.

В то же время база инфраструктуры, необходимой для организации пассажирских перевозок по предварительным заказам, уже имеется, пусть немного в ином качестве.

Речь идет о деятельности различных диспетчерских служб легковых такси, например, «Такси-24», «Максим» функционирующих в городе Черкесске. Эффективно действующий диспетчерский центр, способный обрабатывать большой массив заказов, и существующее программное обеспечение, которое можно переориентировать на обработку заявок для маршрутных такси. Помимо заказов по телефону, уже сегодня можно организовать подачу предварительных заявок через Интернет, в режиме on-line, как это позволяет сделать сервис Яндекс-такси. Интересным моментом данного сервиса является «привязка» банковской карты, что позволяет сделать оплату проезда более легкой и удобной для пользователей.

Все вышеперечисленные решения уже сегодня можно использовать при организации системы управления маршрутными такси по предварительным заказам. Однако для реализации поставленной цели, а именно разработки моделей и алгоритмов управления и принятия управленческих решений, возникающих при

функционировании такой социально-экономической системы, как маршрутные таксомоторные перевозки, необходимо выполнить ряд мероприятий. В их числе составление алгоритма действий, подходов и методов. Необходим грамотный механизм распределения маршрутов по времени выполнения и по направлению. Необходимо территориальное зонирование городов для определения оптимальной стоимости проезда, а также организации маршрутов. Следует продумать систему подготовки и прокладки новых маршрутов и передачи их водителям. Все это можно реализовать программными средствами, при помощи методов и средств математического и имитационного моделирования.

Разработанная подпрограмма позволит в режиме реального времени передавать водителям информацию о дополнительных пассажирах по маршруту, если вместимость транспортного средства не использована. В конечном итоге необходимы численные и физические эксперименты по проверке адекватности предложенных моделей.

Только решение поставленных задач позволит реализовать поставленную цель по разработке системы управления маршрутных такси по предварительным заказам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков, В. С. Особенности организации и управления работой маршрутных такси по заявкам / В. С. Волков // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009. – Т. 5. – № 10. – С. 69–71.
2. Гудков, В. А. Математическое моделирование муниципальных автотранспортных пассажирских перевозок / В. А. Гудков, М. С. Турпищева, Е. Р. Нургалиев // Автотранспортное предприятие. – 2010. – № 4. – С. 35–37.
3. Турпищева, М. С. Методика оценки качества системы пассажирских автоперевозок / М. С. Турпищева, Е. Р. Нургалиев // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2014. – № 1 (57). – С. 42–46.
4. Турпищева, М. С. Моделирование системы логистических операций методами теории массового обслуживания // М. С. Турпищева, Е. Р. Нургалиев // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). Ежемесячный научный журнал. № 9(17)/2014. – Ч. 2. – М., 2014. – С. 86–88.
5. Турпищева, М. С. Математическое моделирование пассажиропотоков на автомобильном транспорте / М. С. Турпищева, Е. Р. Нургалиев // Интерстроймех-2011 : материалы междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Междунар. ассоциация автолюб. и дорожного образования, УМО вузов Рос. Федерации по образов. в обл. трансп. машин и трансп.-технол. комплексов, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев

: Белорус.-Рос. ун-т, 2011. – 396 с. : ил. – С. 311–315.

6. Турпищева, М. С. Управление транспортной системой на основе моделирования взаимоувязанного движения автотранспортных и пассажирских потоков / М. С. Турпищева, Е. Р. Нурғалиев // Инновационные технологии в машиностроении: проблемы, задачи, решения : сб. науч. трудов / гл. ред. А. Н. Емельюшин; отв. ред. А. А. Веселовский. – Орск : Изд-во Орского гуманитарно-технологического ин-та (филиала) ОГУ, 2012. – 210 с.

7. Нурғалиев, Е. Р. Математическое моделирование автотранспортных пассажирских перевозок : монография / Е. Р. Нурғалиев. – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. – 2012. – 122 с.

8. Нурғалиев, Е. Р. Логистические модели пассажирских транспортных комплексов / Е. Р. Нурғалиев, М. С. Турпищева // Сб. науч. трудов № 5 по направлению «Технология, организация и управление автомобильными перевозками. Теория и практика» Всероссийской 66-й научно-практической конференции на базе ФГБОУ ВПО СибАДИ. – Омск : СибАДИ, 2012.

Bielomyttsev A.S.

candidate of technical sciences, docent,

docent of the department «Theoretical Mechanics»

National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute»

Druzhynin E.I.

candidate of technical sciences, docent,

docent of the department «Theoretical Mechanics»

National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute»

RESEARCH OF THE GLOBAL STRUCTURE OF SOLUTIONS OF A SYSTEM WITH ONE STAGE OF FREEDOM ON A STROBOSCOPIC PHASE PLANE

Беломи́тцев Андрей Серге́евич

кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры «Теоретическая механика»

Национальный Технический Университет

«Харьковский политехнический институт»

Дру́жинин Евге́ний Ива́нович

кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры «Теоретическая механика»

Национальный Технический Университет

«Харьковский политехнический институт»

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ НА СТРОБОСКОПИЧЕСКОЙ ФАЗОВОЙ ПЛОСКОСТИ

Summary. The results of the study of the regions of attraction of the periodic modes of the system with one degree of freedom simulating the power transmission of a piston engine of a tracked vehicle are presented. The study was carried out with the aim of predicting possible steady-state system modes in a wide frequency range of the disturbing effect, as well as to assess the attractive areas of the most dangerous resonant vibrations. As a result of a numerical experiment, not only periodic oscillations of various types were found, but also typical bifurcations of periodic solutions. A study was made of the global structure of solutions on the stroboscopic phase plane, which made it possible to estimate the attraction regions of stable periodic regimes. It was found that the nonlinearity of the elastic characteristics of the drive to the consumer makes it possible to develop complex nonlinear oscillations in the system, accompanied by the opening of the gap in the splined joint and impacts on the stops, which can cause premature destruction of structural elements.

Аннотация. Приведены результаты исследования областей притяжения периодических режимов системы с одной степенью свободы, моделирующей силовую передачу поршневого двигателя гусеничной машины. Исследование проводилось с целью прогнозирования возможных установившихся режимов системы в широком частотном диапазоне возмущающего воздействия, а также для оценки областей притяжения наиболее опасных резонансных колебаний. В результате численного эксперимента были обнаружены не только периодические колебания различных типов, но и типичные бифуркации периодических решений. Проведено исследование глобальной структуры решений на стробоскопической фазовой плоскости, что позволило оценить области притяжения устойчивых периодических режимов. Было установлено, что нелинейность упругой характеристики привода к потребителю обуславливает возможность развития в системе сложных нелинейных колебаний, сопровождающихся раскрытием зазора в шлицевом соединении и ударами об упоры, что может явиться причиной преждевременного разрушения элементов конструкции.

Key words: essentially nonlinear systems, stable periodic oscillations, fixed point, region of attraction of stable periodic motions, numerical experiment.

Ключевые слова: существенно нелинейные системы, устойчивые периодические колебания, неподвижная точка, область притяжения устойчивых периодических движений, численный эксперимент.

Постановка проблемы, анализ последних исследований. Задача расчетного анализа вынужденных колебаний является актуальной для силовых установок, которые содержат мощный источник возбуждения в виде поршневого двигателя внутреннего сгорания, что характерно для колесных и гусеничных транспортных машин, сельскохозяйственной техники и тепловозных установок.

Установившиеся движения существенно-нелинейных систем с конечным числом степеней свободы, находящихся под воздействием внешних периодических сил, могут быть периодическими и почти периодическими, а также хаотическими, образующими странные аттракторы. Наибольшее значение имеет исследование периодических колебаний, поскольку другие установившиеся движения возникают при бифуркациях периодических и области их существования могут быть установлены при расчете последних. Характерной особенностью вынужденных периодических колебаний является их неоднозначность, то есть возможность существования нескольких периодических решений дифференциальных уравнений движения при одном и том же наборе параметров системы. В связи с этим необходимым элементом анализа является оценка устойчивости решений по Ляпунову, позволяющая установить физически реализуемые движения.

Вынужденные колебания периодически возбуждаемой системы с n степенями свободы описываются неавтономным векторным дифференциальным уравнением

$$\dot{y} = \phi(t, y), \quad (1)$$

где Y - $2n$ - мерный вектор состояния, Φ - $2n$ - мерная вектор-функция, T_1 - периодическая по явно входящему времени $t: \phi(t, y) = \phi(t + T_1, y)$.

Следует отметить, что получение новых эффективных способов оценки устойчивости периодических решений уравнения (1) стало возможным в связи с разработкой итерационных методов анализа, получивших название: метод пристрелки [1]. Специальный вариант этого метода позволяет получать решения в области неоднозначности [2, 3]. Однако оценка устойчивости позволяет **установить только сам факт устойчивости или неустойчивости** движения, то есть **оценить** устойчивость в малом. Надежность выводов о возможных **установившихся** движениях системы **существенно** повышаются в тех **случаях**, когда удастся оценить запасы **устойчивости**

периодических движений с учетом случайных изменений начальных условий системы. Решение этого вопроса **связано с исследованием устойчивости** в большом, которое сводится к определению **областей притяжения устойчивых** периодических режимов.

Известны два различных подхода к исследованию областей притяжения. Первый подход базируется на методе медленно меняющихся амплитуд, в соответствии с которым осуществляется переход от исходного неавтономного дифференциального уравнения второго порядка к вспомогательной системе двух автономных уравнений первого порядка относительно медленно меняющихся коэффициентов [4, 5]. Однако такой подход, как отмечено в [6], применим для исследования областей притяжения лишь в простейших случаях. Более глубокий анализ может быть проведен на основе метода, различные варианты которого объединяет общее название: стробоскопический метод.

Расширенное фазовое пространство неавтономной системы является $(2n + 1)$ - мерным, где n - число степеней свободы системы, поэтому изучение фазовых траекторий в таком пространстве и разбиение его на области притяжения затруднено даже для системы с одной степенью свободы. В то же время известно [7], что задача изучения структуры фазового пространства динамической системы эквивалентна изучению структуры порождаемого фазовыми траекториями системы точечного отображения на некоторой секущей поверхности.

При исследовании T_1 - периодических динамических систем наиболее эффективен стробоскопический вариант метода точечных отображений, использующий отображение сдвига по траекториям U_{T_1} . Это отображение определено в фазовом пространстве размерности $2n$, что позволяет для систем с одной степенью свободы использовать наглядные геометрические построения на стробоскопической фазовой плоскости. При этом T_1 - периодическому движению соответствует неподвижная точка отображения U_{T_1} , то есть $U_{T_1}y_0 = y_0$, а субгармоническим колебаниям порядка s - неподвижная точка отображения $U_{T_1}^s: U_{T_1}^s y_0 = y_0$, причем субгармоническому решению ставится в соответствие цикл из s точек $y_0, U_{T_1}y_0, \dots, U_{T_1}^{s-1}y_0$.

Областью притяжения неподвижной точки y^* (0) называют множество точек стробоскопической фазовой плоскости $\{y(0)\}$, для которых решения $y(t)$ сходятся к асимптотически устойчивому периодическому решению $y^*(t)$. Границами

- 3) точка с изменением ориентации по двум координатам, если $\lambda_1 < 0$ и $\lambda_2 < 0$; в этом случае последовательные точки отображения U_{T_1} на вспомогательной плоскости лежат в противоположных квадрантах, а кривые, их соединяющие, симметричны относительно начала координат.

Два последних случая могут быть сведены к первому при рассмотрении отображения $U_{T_1}^2$. Действительно, последовательные точки отображения $U_{T_1}^2$ лежат в одном квадранте. Однако использование отображения U_{T_1} при построении фазовых траекторий в окрестности точек с

изменением ориентации позволяет строить сразу обе ветви траектории. На рис. 1 показаны на вспомогательной плоскости окрестности неподвижных точек с изменением ориентации по двум координатам: неустойчивый узел, $\lambda_1 < -1$, $\lambda_2 < -1$ и седло, $\lambda_1 < -1$, $-1 < \lambda_2 < 0$.

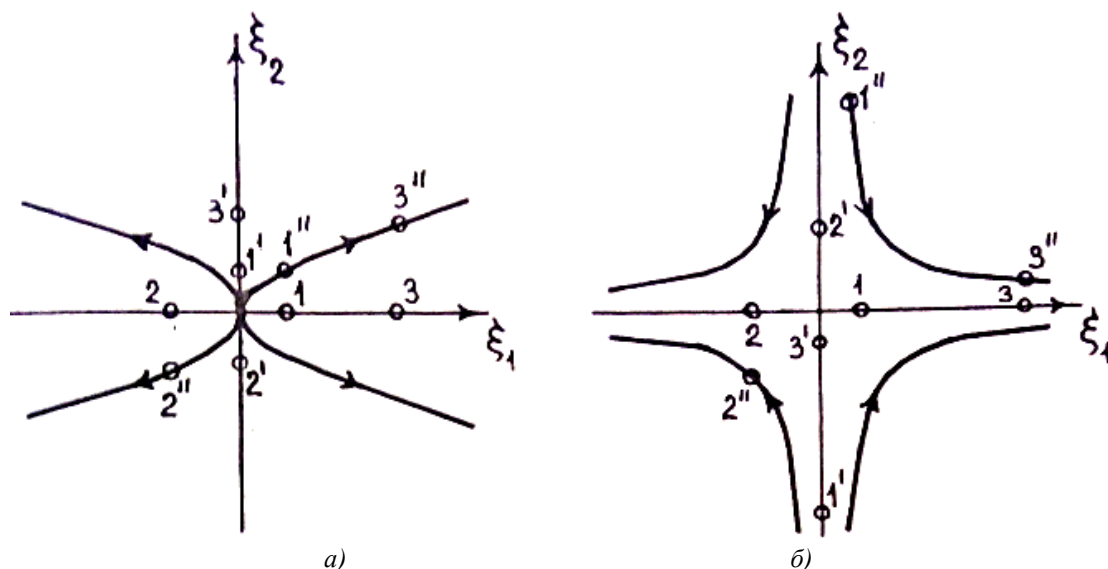


Рисунок 1. Неподвижные точки с изменением ориентации:
а) – неустойчивый узел; б) – седло.

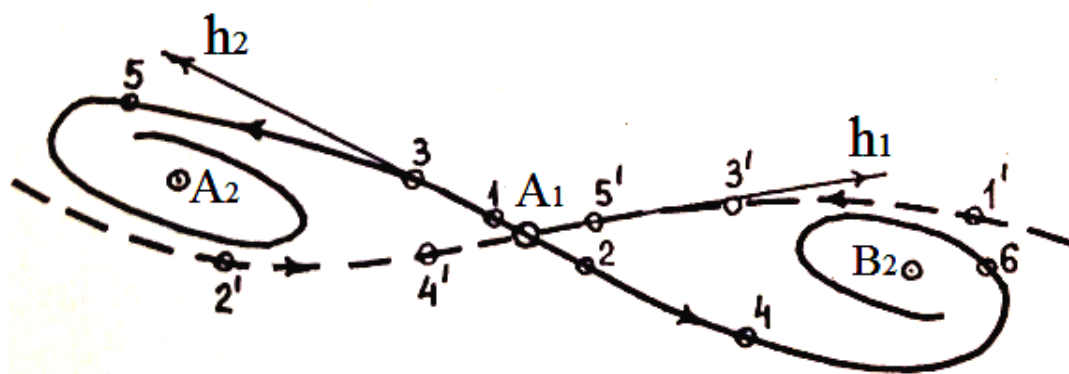


Рисунок 2. Возникновение решений удвоенного периода

Координатные оси ξ_1 и ξ_2 имеют направления векторов, в которые переходят векторы h_1 и h_2 при аффинном отображении. Точки 1, 2, 3, ..., 1', 2', 3', ... обозначают отдельные последовательности точек отображения U_{T_1} , стрелками показано направление движения точек при положительном отсчете времени.

Как отмечалось выше, границами областей притяжения устойчивых неподвижных точек являются инвариантные кривые, входящие в седловые точки. Для получения достаточного количества точек этих кривых обычно необходимо построение нескольких последовательностей точечных отображений при отрицательном отсчете времени. Начальные точки этих последовательностей необходимо выбрать на касательной к сепаратрисам, входящим в седловую точку. Нетрудно показать, что направление такой

касательной задается собственным вектором h_i , соответствующим собственному значению $|\lambda_i| < 1$; при этом второй собственный вектор задает направление касательной к инвариантным кривым, выходящим из седловой точки. На рис. 2 пунктиром показаны инвариантные кривые, входящие в неподвижную седловую точку с изменением ориентации по двум координатам (A_1). Собственные векторы h_1 и h_2 задают направления касательных к инвариантным кривым в точке A_1 .

Рассмотрим случай комплексно-сопряженных собственных значений матрицы монодромии $\Phi(T_1)$: $\lambda_{1,2} = \mu \pm iv$, которым соответствуют комплексно-сопряженные собственные векторы $g_{1,2} = h_1 \pm ih_2$. Пусть для определенности $v > 0$. Нетрудно показать, что имеют место соотношения

$$\Phi(T_1)h_1 = \mu h_1 - v h_2, \Phi(T_1)h_2 = v h_1 + \mu h_2. \quad (9)$$

Векторы h_1 и h_2 , как и в предыдущем случае, могут быть выбраны за базис пространства. Из (4), (5) и (9) следует тогда

$$x(mT_1) = \xi_1^m h_1 + \xi_2^m h_2, \quad (10)$$

где

$$\xi_1^m = \mu \xi_1^{m-1} + \nu \xi_2^{m-1}, \xi_2^m = -\nu \xi_1^{m-1} + \mu \xi_2^{m-1}. \quad (11)$$

Отобразим аффинно исходную фазовую плоскость на вспомогательную, в которой векторы h_1 и h_2 переходят во взаимно ортогональные, и введем переменные ρ и γ :

$$\rho = \sqrt{\nu^2 + \mu^2} = |\lambda_i|, \cos \gamma = \mu/\rho, \sin \gamma = \nu/\rho, \quad (12)$$

тогда формулы (11) примут вид

$$\begin{cases} \xi_1^m = \rho(\xi_1^{m-1} \cos \gamma + \xi_2^{m-1} \sin \gamma), \\ \xi_2^m = \rho(-\xi_1^{m-1} \sin \gamma + \xi_2^{m-1} \cos \gamma). \end{cases} \quad (13)$$

На вспомогательной фазовой плоскости за положительное направление отсчета угла γ выберем направление поворота вектора h_2 к h_1 на наименьший угол. Тогда преобразование (13) соответствует повороту вектора $x((m-1)T_1)$ на угол γ с изменением его длины в ρ раз. Так как выше было принято $\nu > 0$, то угол γ определяется однозначно

$$\gamma = \arccos(\mu/\rho). \quad (14)$$

При обратном отображении вспомогательной плоскости на исходную фазовые траектории соответствующим образом деформируются.

Итак, при комплексно-сопряженных собственных значениях матрицы $\Phi(T_1)$ имеем неподвижную точку типа “фокус”, которая асимптотически устойчива, если $\rho < 1$, и

неустойчива, если $\rho > 1$. Направление закручивания фазовых траекторий задается правилом отсчета угла γ , а угол между радиусами-векторами, соответствующими двум последовательным точкам отображения U_{T_1} , - формулой (14).

Таким образом, для выяснения глобальной структуры решений уравнения (1) достаточно определить все периодические решения этого уравнения и соответствующие им неподвижные точки отображений $U_{T_1}^S$, где S - порядок субгармонического решения.

Из сказанного выше следует, что тип неподвижной точки и, следовательно, структура фазовых траекторий в ее окрестности полностью определяются мультипликаторами уравнения (2). Вычисление мультипликаторов, как было показано в [1, 3], сводится к определению собственных чисел матриц, которые формируются в ходе итерационных процессов определения периодических решений.

Исследуем области притяжения периодических режимов системы с одной степенью свободы, моделирующей силовую передачу поршневого двигателя гусеничной машины. Расчетное исследование данной силовой передачи проводилось на этапе проектирования установки шестицилиндрового турбопоршневого двигателя в гусеничной машине. Исследование проводилось с целью прогнозирования возможных установившихся режимов системы в широком частотном диапазоне возмущающего воздействия, а также для оценки областей притяжения наиболее опасных резонансных колебаний.

В качестве расчетной была принята модель силовой передачи, представленная на рис. 3, позволяющая оценить влияние нелинейной упругой характеристики привода к потребителю на динамику системы.

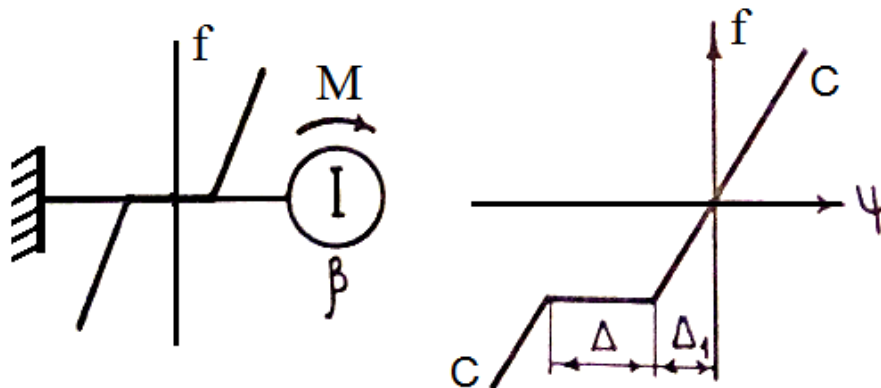


Рисунок 3. Расчетная механическая модель

Инерционный элемент расчетной модели (рис. 3) представляет собой цилиндрические массы коленчатого вала и главную передачу. Несимметричность упругой характеристики обусловлена передаваемым соединением средним моментом. Параметры системы имеют следующие значения: момент инерции $I = 0,261 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

жесткость $C = 7,056 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$; величина зазора $\Delta = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ рад}$; $\Delta_1 = 1,3889 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$; коэффициент линейного демпфирования $\beta = 9,8 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$. В качестве возмущающего воздействия рассматривалась главная (шестая) гармоника момента двигателя $M = M_0 \sin(\omega t)$, где $M_0 = 637 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

В результате расчетов были обнаружены не

только периодические колебания различных типов (основные, суб- и супергармонические), но и типичные бифуркации периодических решений. Исследование глобальной структуры решений проводилось на стробоскопической фазовой плоскости, что позволило оценить области притяжения устойчивых периодических режимов; через ψ обозначен угол закручивания нелинейного соединения.

На рис. 4 приведены кривые максимального и минимального значений угла закручивания, соответствующие основным колебаниям системы. Участок ветви A_1 при $\omega < 970$ рад/с соответствует линейным нерезонансным колебаниям, не

сопровождающимся выходом B зазор. Наиболее опасными являются резонансные колебания (ветвь C_1) с ударами об оба упора. Как показали результаты расчетов, ветви C_1 и A_1 имеют неустойчивые участки, обозначенные на рис. 4 цифрами 1 и 2 соответственно. В этих зонах система имеет сложную структуру решений, связанную с процессом удвоения периодов. Было обнаружено, что неустойчивым периодическим решениям на ветвях C_1 и A_1 , C_2 и A_2 и т.д. (рис. 5) соответствуют седловые неподвижные точки с изменением ориентации по двум координатам, устойчивым решениям на этих же ветвях - неподвижные точки типа "фокус".

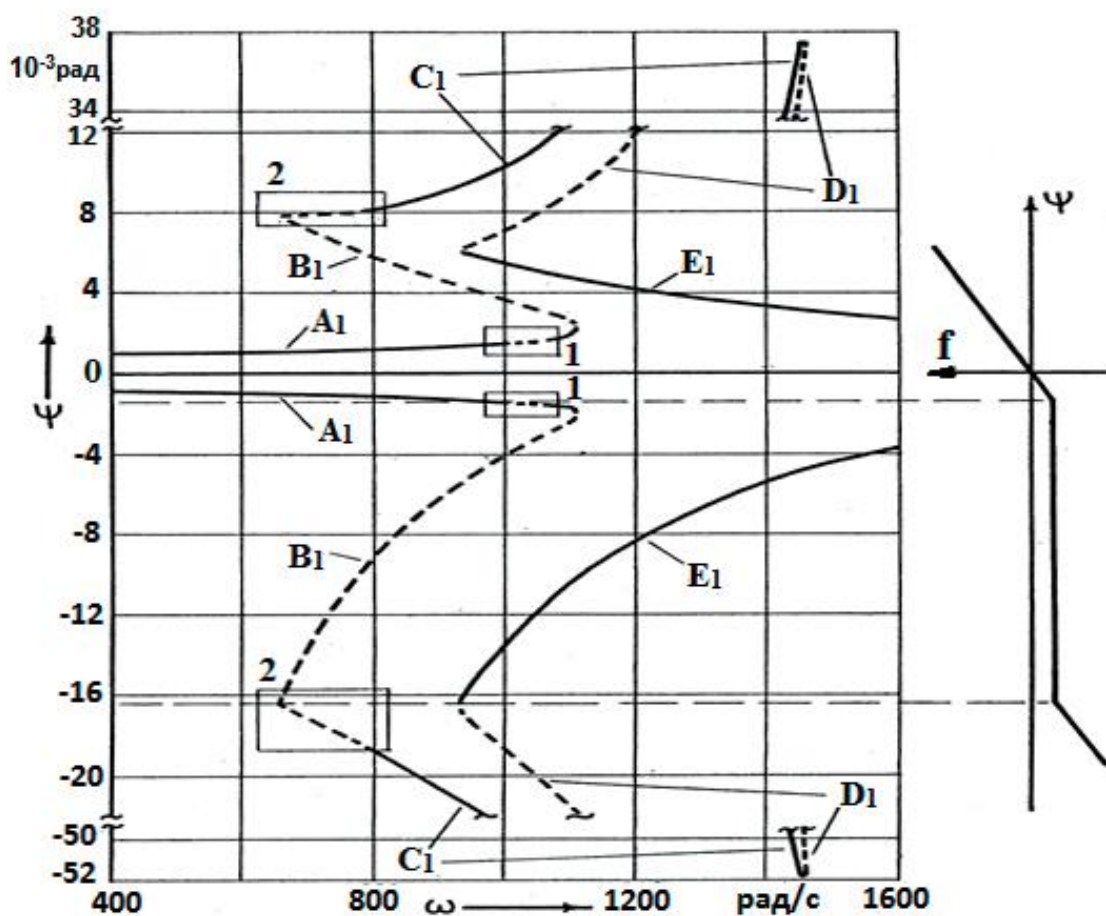


Рисунок 4. Основные колебательные режимы

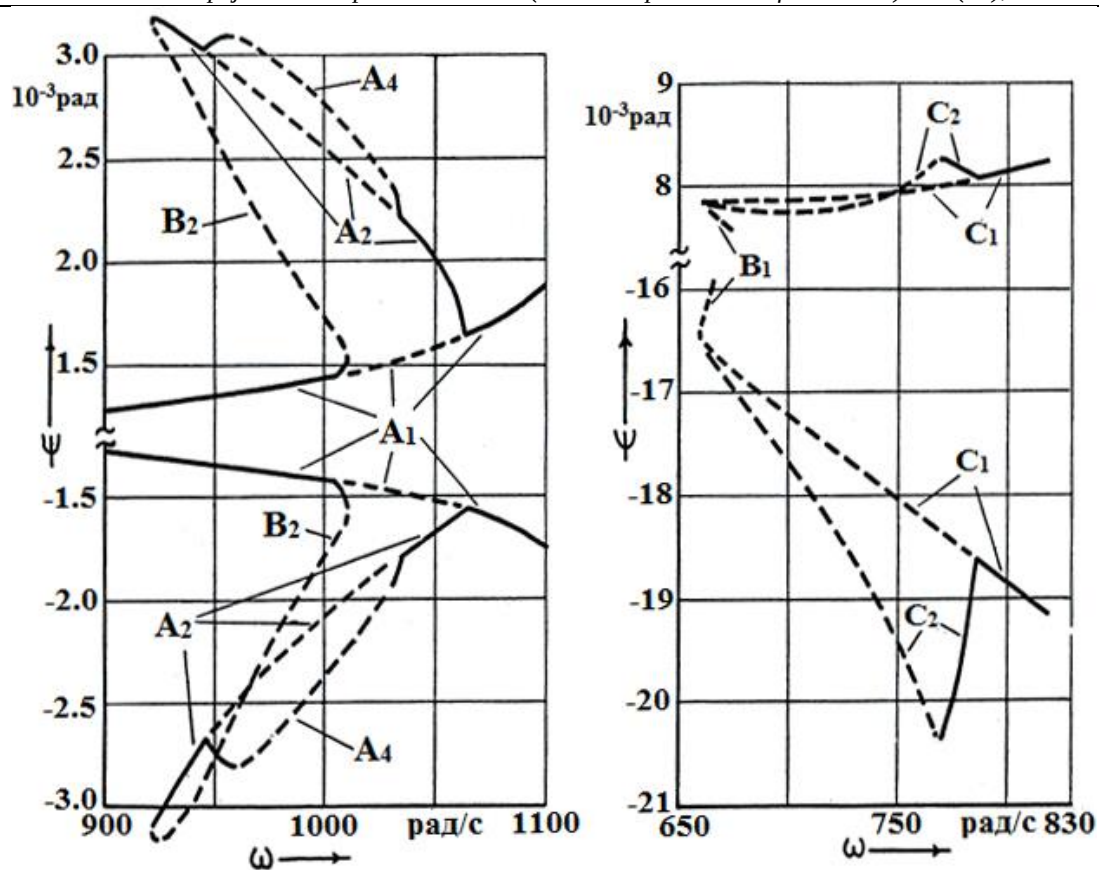


Рисунок 5. Области удвоения периодов

В частотном диапазоне $\omega \in (420; 815)$ рад/с 6).
были обнаружены супергармонические колебания,
ветви которых образуют замкнутую кривую (рис.

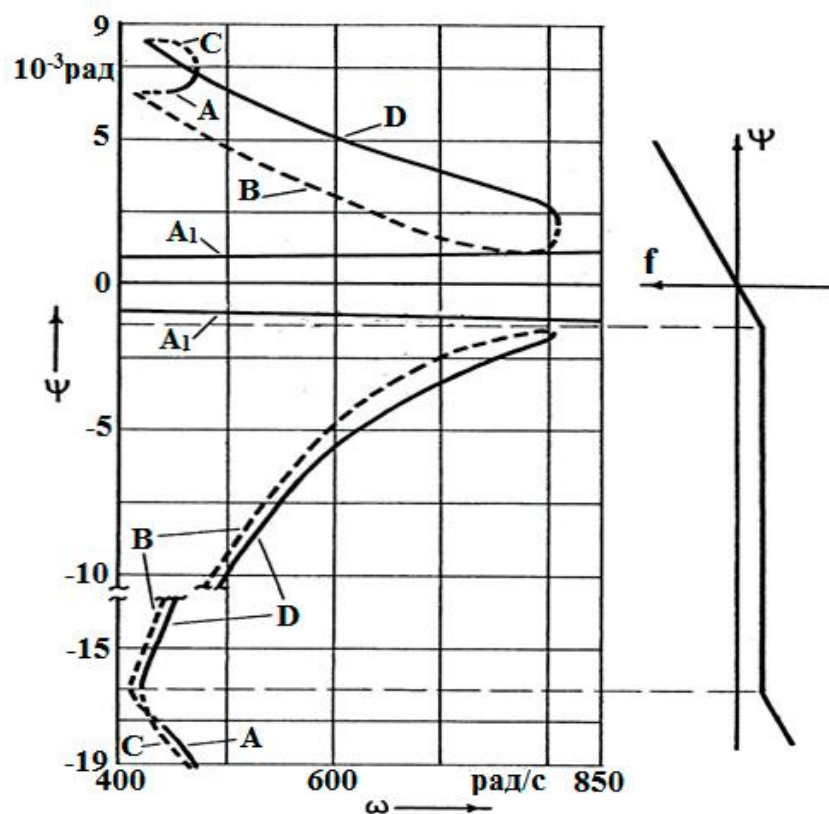


Рисунок 6. Супергармонические режимы

Ветви этих колебаний, имеющих, как и основные, период, равный периоду возмущающего воздействия, обозначены буквами А, В, С, D. Супергармонические колебания, как следует из рис. 6, достигают значительных размахов, существенно превышая существующие в этом же частотном диапазоне устойчивые линейные колебания (см. рис. 6, ветвь A_1): колебания на ветви D сопровождаются ударами об один упор, а на устойчивом участке ветви А - об оба упора.

На рис. 7 показаны замкнутые кривые

субгармонических колебаний, размахи которых значительно превышают размахи основных колебаний (см. рис. 7, ветвь E_1). Проведенный анализ показывает, что рассматриваемая система имеет несколько частотных диапазонов, в которых возможно возникновение интенсивных крутильных колебаний. Практический интерес представлял частотный диапазон $\omega \in (900; 2700)$ рад/с, включающий в себя основной и субгармонические резонансы.

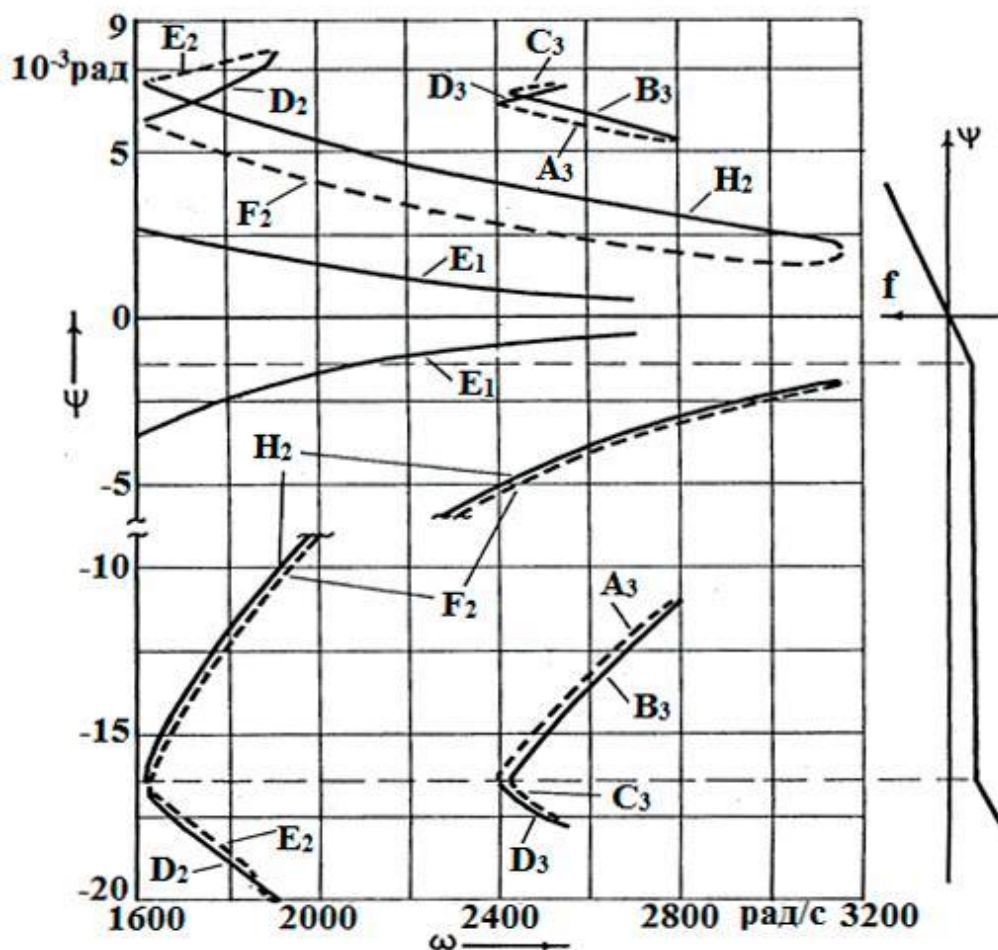


Рисунок 7. Субгармонические режимы

Было проведено исследование областей притяжения периодических решений в резонансных зонах, позволившее оценить как устойчивость в большом, так и вероятность возникновения того или иного устойчивого движения.

На рис. 8 приведены в одном масштабе области притяжения основных режимов при различных значениях частоты возмущающего

воздействия. Неподвижные точки отображения U_{T_1} имеют обозначения, соответствующие обозначениям ветвей на рис. 4, заштрихованы области притяжения нерезонансных режимов. Все седловые точки на рис. 8 без изменения ориентации, входящие в них инвариантные кривые являются границами областей притяжения устойчивых неподвижных точек типа "фокус"

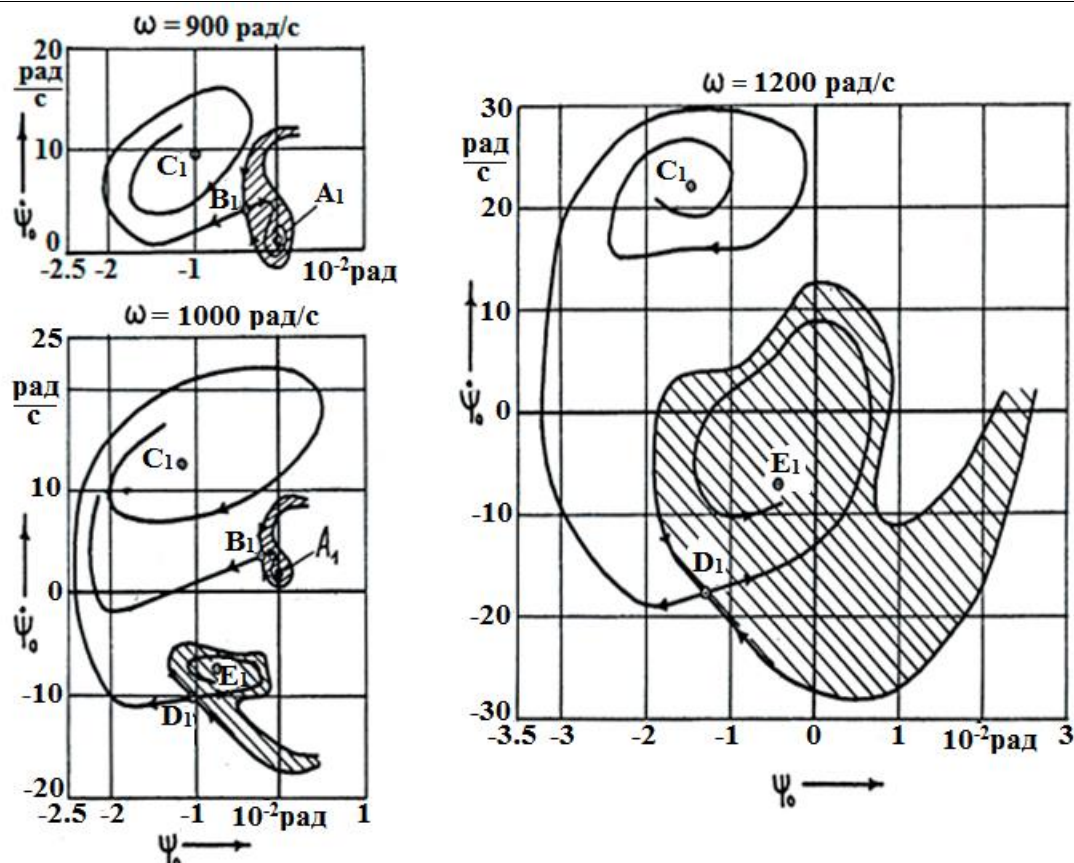


Рисунок 8. Области притяжения основных режимов

Окрестность точки A_1 при $\omega = 1000$ рад/с имеет более сложную структуру, чем показанная на рис. 8, так как эта точка попадает в зону удвоения периодов. Однако детализация столь малой области практического значения не имеет. Как видно из рисунков, область притяжения нерезонансного режима A_1 , очень мала при $\omega = 900$ рад/с и уменьшается при увеличении ω до 1110 рад/с, где происходит слияние седловой точки B_1 и фокальной A_1 , приводящее к их исчезновению.

Таким образом, в данном частотном диапазоне наиболее велика вероятность установления резонансных колебаний (ветвь C_1). При $\omega = 930$ рад/с возникают ветви решений D_1 и E_1 , причем с

увеличением ω область притяжения нерезонансного режима E_1 быстро увеличивается, уменьшая тем самым вероятность возникновения колебаний на ветви C_1 . Однако и при $\omega = 1200$ рад/с возмущения, возможные в системе, в состоянии вывести колебательный процесс из области притяжения режима E_1 . Кроме того, велика опасность развития резонансных колебаний при медленном увеличении частоты до $\omega = 1450$ рад/с, так как, раз возникнув, колебательный процесс не выйдет из области притяжения режима C_1 .

На рис. 9 приведены области притяжения устойчивых субгармонических режимов, которые заштрихованы.

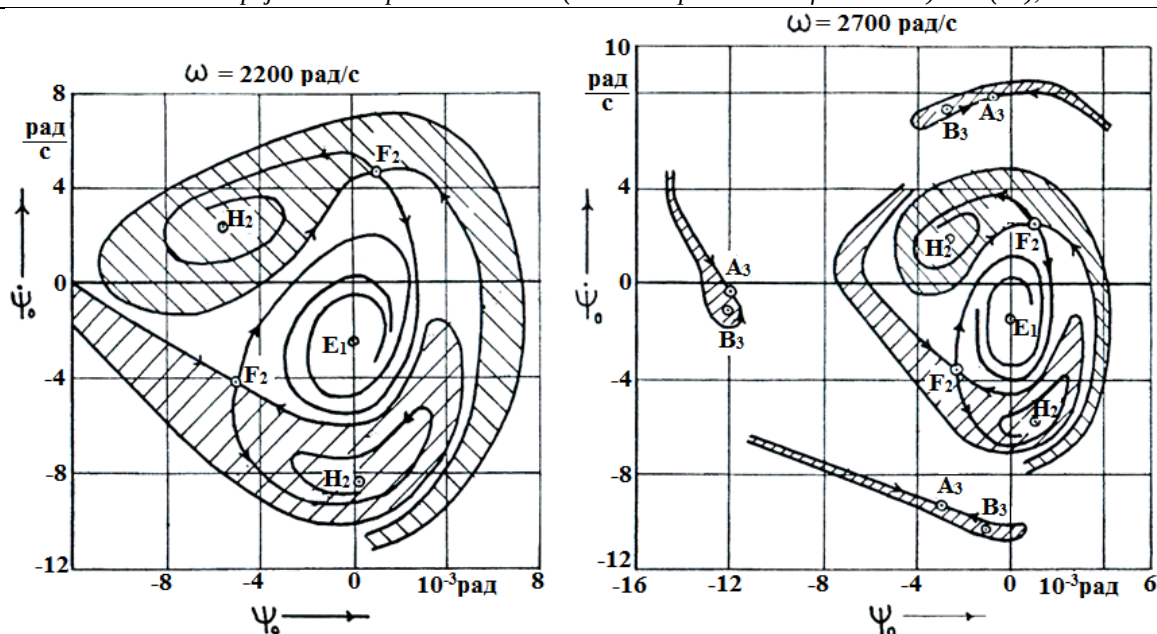


Рисунок 9. Области притяжения субгармонических режимов

Области притяжения субгармонических решений 3-го порядка невелики, в связи с чем вероятность развития этих колебаний незначительна. Возникновение же субгармонических колебаний 2-го порядка, судя по их областям притяжения, вполне вероятно и должно учитываться при проектировании силовой передачи.

Выводы. Расчетные исследования позволяют сделать следующие заключения:

1) нелинейность упругой характеристики привода к потребителю обуславливает возможность развития в системе сложных нелинейных колебаний, сопровождающихся раскрытием зазора в шлицевом соединении и ударами об упоры. Эти колебания могут явиться причиной преждевременного разрушения элементов конструкции;

2) наибольшую опасность в рассматриваемом частотном диапазоне представляют устойчивые колебания в зонах основного резонанса $\omega \in (900; 1450)$ рад/с (см. рис. 4, ветвь C1) и субгармонического резонанса $\omega \in (1620; 1900)$ рад/с (см. рис. 7, ветвь D2), которые сопровождаются ударами об оба упора;

3) для более детального исследования силовой передачи необходимо уточнение жесткостных и инерционных характеристик системы, а также параметров демпфирования, что позволит использовать более подробную расчетную схему.

Список литературы:

1. Андреев Ю.М. Дослідження коливаний нелінійних систем методом точкових відображень / Ю.М. Андреев, А.С.Беломытцев, Є.І. Дружинін // Машинознавство. – 2011. – № 11-12 (173-174). – С.3-7.
2. Беломытцев А.С. Алгоритм решения нелинейной краевой задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений в области многозначности / А.С. Беломытцев, В.Н. Карабан // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1986. – Т. 26, № 7. – С. 1099-1102.
3. Беломытцев А.С. Численное исследование существенно нелинейных колебательных систем / А.С. Беломытцев // Динамика и прочность машин: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков, 1990. – Вып. 51. – С. 25-34.
4. Хаяси Т. Нелинейные колебания в физических системах / Т. Хаяси // – М.: Мир, 1968. – 432 с.
5. Тондл А. Нелинейные колебания механических систем / А. Тондл // – М.: Мир, 1973. – 334с.
6. Крюков Б.И. Вынужденные колебания существенно нелинейных систем / Б.И. Крюков. // М.: Машиностроение, 1984. – 216 с.
7. Неймарк Ю.И. Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний / Ю.И. Неймарк // URSS. 2016. 472 с.
8. Закржевский М.В. Колебания существенно-нелинейных механических систем / М.В. Закржевский// Рига: Зинатне, 1980. – 190 с.

УДК 625.8

УДК 625.12

Журавлев Игорь Николаевич

Кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО ПГУПС,
Россия, Санкт-Петербург

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ КОЛЕЙНОСТИ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

Аннотация. Условия эксплуатации автомобильных дорог предъявляют повышенные требования к состоянию дорожных одежд, которые находятся под воздействием комплекса неблагоприятных факторов различного характера и подвержены образованию дефектов и деформаций. Практика эксплуатации автомобильных дорог показывает, что широкое распространение имеет явление колеи. В статье рассматриваются причины и механизм образования деформаций на автодорогах, приводятся результаты исследований по изучению влияния различных факторов эксплуатационного характера на процесс образования деформаций, в том числе колеи. Кроме того, рассматривается возможность снижения риска образования колеи при армировании слоев автодорожной конструкции геоматериалами. На основе результатов проведенных исследований предлагается способ учета геоматериала в конструкции автодорог, основанный на замене геоматериала эквивалентным слоем, с последующим внедрением данного способа в разработанную методику расчета напряженно-деформированного состояния армогрунтовой конструкции и адаптацией к задачам автодорожного строительства.

Abstract. Operating conditions of roads impose increased requirements on the condition of pavement, which are under the influence of a complex of adverse factors of various nature and are prone to the formation of defects and deformations. The practice of operating roads shows that rutting is widespread. The article discusses the causes and mechanism of the formation of deformations on roads, presents the results of studies on the influence of various factors of an operational nature on the process of formation of deformations, including gauge. In addition, the possibility of reducing the risk of rut formation when reinforcing layers of a road structure with geomaterials is being considered. Based on the results of the research, a method is proposed for accounting for geomaterial in the construction of roads, based on replacing the geomaterial with an equivalent layer, with the subsequent introduction of this method into the developed methodology for calculating the stress-strain state of an armored structure and adapting it to the tasks of road construction.

Ключевые слова: геоматериал, деформация, напряжение, нагрузка, колея, автомобильная дорога, дорожное покрытие, земляное полотно, напряженно-деформированное состояние, штамповые испытания, лабораторные испытания.

Keywords: geomaterial, deformation, stress, load, track, road, road surface, subgrade, stress-strain state, stamp tests, laboratory tests.

Условия эксплуатации автомобильных дорог, как в России так и за рубежом, предъявляют повышенные, неуклонно ужесточающиеся требования к состоянию дорожных одежд. Дорожная одежда, в особенности ее верхние слои, работают в тяжелых условиях, находясь под воздействием комплекса неблагоприятных факторов различного характера. Вертикальные динамические нагрузки, возникающие в процессе движения автомобилей по дороге, сопровождаются нагрузками ударного характера, обусловленными наличием неровностей на поверхности дороги, а также горизонтальными (касательными) нагрузками, действующими в плоскости контакта колеса с покрытием. Результирующие нагрузки при этом, как правило, наклонены к плоскости качения. Напряжения, возникающие в дорожной одежде, имеют свойство затухать с глубиной, что позволяет использовать в слоях дорожной одежды материалы различной прочности в зависимости от величины действующих напряжений.

Автодорожные покрытия, функционирующие круглогодично в самых различных режимах загруженности, подвержены образованию широкого спектра дефектов и деформаций [1].

Согласно [2] деформации дорожного покрытия в зависимости от величины прикладываемой нагрузки могут быть условно разделены на три группы:

1. При незначительной нагрузке и достаточном уплотнении слоев дорожной одежды и земляного полотна проявляются упругие деформации, разрушение дорожных одежд не происходит;

2. При увеличении нагрузки, некачественном уплотнении, а также при сезонном снижении несущей способности грунтов основания возникают вязкопластические деформации, при достижении некоторые предельных значений происходит разрушение дорожных одежд;

3. При значительных нагрузках или при существенном ослаблении несущей способности грунтов основания происходит накопление пластических деформаций (в начале процесса более медленное, впоследствии «лавинообразное»), происходит полное разрушение дорожных одежд.

Воздействие нагрузки приводит к сжатию дорожной одежды в пределах активной зоны и к дальнейшему прогибу по поверхности криволинейного очертания, что ведет к образованию так называемой «чаши прогиба», при

критической величине которой происходит разрушение дорожной одежды. Прочность грунтового основания зависит от величины давления, распределенного по некой площади, что, в свою очередь, напрямую связано с толщиной слоев дорожной одежды. В период, когда вследствие переувлажнения снижается прочность грунтового основания, при воздействии автомобилей с высокой осевой нагрузкой существующая толщина дорожной одежды не обеспечивает безопасное удельное давление. При превышении предельно допустимых величин прочности материалов верхних и нижних слоев дорожной одежды происходит образование трещин. В нижних слоях дорожных одежд из малосвязных материалов и в грунтовых основаниях могут возникать необратимые пластические деформации, развитие которых приводит к разрушению дорожных одежд. Увеличение вероятности появления перечисленных деформаций связано с одновременным воздействием динамической нагрузки и неблагоприятными климатическими факторами [2].

Наиболее опасными напряжениями для многослойной конструкции дорожной одежды из монолитных материалов являются растягивающие напряжения, возникающие в отдельном слое при работе его на изгиб. Максимальные растягивающие напряжения в усовершенствованном типе покрытия возникают в плоскости его нижней поверхности по оси действующей динамической нагрузки. Основным видом нарушения сплошности грунтов основания и слабосвязных слоев дорожной одежды под действием транспортных нагрузок является сдвиг, вызываемый касательными напряжениями. Горизонтальные напряжения часто являются причиной развития пластических деформаций, а также и разрушений в верхних слоях дорожной одежды, выражающихся в виде сдвигов, волн, поперечных трещин, колеи, причем возникновение деформаций такого рода характерно для покрытий небольшой мощности, толщиной до 8 см [3], [4].

Практика эксплуатации автомобильных дорог показывает, что широкое распространение получило, в частности, такое явление, как колеиность. Процесс неравномерного износа верхних слоев дорожных одежд, накопления пластических деформаций в нижних слоях и земляном полотне, приводящий к образованию колеи, обусловлен воздействием внешних и внутренних факторов, зачастую сочетанных, таких как характер и величина действующих динамических нагрузок, климатические условия, физико-механические свойства грунтов земляного полотна и материалов дорожной одежды, степень уплотнения слоев автодорожной конструкции, температурно-влажностный режим [5].

Механизм образования колеи заключается в повышенном абразивном износе верхнего слоя дорожной одежды в зоне контакта колеса с покрытием, развитии вертикальных и

горизонтальных пластических деформаций под воздействием динамической нагрузки, нарушении сплошности материала слоев дорожной одежды при превышении предельных значений вертикальных и горизонтальных напряжений, развитии деформаций в нижних слоях дорожной конструкции и земляном полотне.

Одним из наиболее важных внешних факторов эксплуатационного характера, способствующих образованию колеи, является динамическое воздействие автомобилей с повышенной осевой нагрузкой и увеличенным количеством осей, особенно на автомобильных дорогах с высокой интенсивностью движения [6]. Данный фактор приводит к возрастанию количества динамических нагружений ударного характера, за счет этого свободные колебания слоев дорожной одежды получают большую продолжительность, что при неблагоприятном сочетании временных диапазонов воздействий и частот собственных колебаний слоев конструкции дорожной одежды приводит к накоплению пластических деформаций и разрушению.

Проведенные исследования выявили, что существует нелинейная функциональная связь между уровнем динамической нагрузки и техническими характеристиками автомобилей, их скоростным режимом. Воздействие на дорожную конструкцию многоосных автомобилей, в особенности автомобилей, имеющих сдвоенные оси, приводит к существенному увеличению динамических прогибов в сравнении с аналогичными показателями для двухосных автомобилей [7].

В ходе еще одних исследований были проанализированы амплитудные значения динамических сил в дорожной конструкции, состоящей из пяти слоев, при воздействии на нее автомобилей различной осности. Результаты исследований показали, что такие факторы, как количество и расположение осей, скоростные режимы движения сильно влияют на уровень вибродинамического воздействия на конструкцию и формирование спектра динамических вибрационных прогибов, при движении многоосных автомобилей эти прогибы возрастают примерно в два раза по сравнению с показателями для двухосных автомобилей [8].

В Архангельске были проведены исследования по оценке влияния на транспортно-эксплуатационные показатели дорожного покрытия различных типов грузовых автомобилей (33т, 60т, 72т и 90т). Сравнительный анализ результатов определения осадки земляного полотна свидетельствует о значительном ее увеличении на ослабленном земляном полотне по причине «выдавливания» воды через трещины в покрытии под действием тяжелых транспортных нагрузок, грузовые автомобили, движущиеся в колонне, еще более усиливают этот эффект. Влияние более тяжелых грузовых автомобилей четко прослеживается по результатам расчета осадки

земляного полотна. Эта величина для грузового автомобиля грузоподъемностью 60т примерно на 25% выше по сравнению с 33-тонным автомобилем. Величина осадки земляного полотна под воздействием 72-тонного и 90-тонного грузовых автомобилей примерно на 50% выше, чем 33-тонного [9].

Анализ результатов проведенных в Финляндии, на примере двух опытных участков позволил, например, отметить, что длиннобазные и более тяжелые автомобили вызывают большие деформации на границе земляное полотно-дорожная одежда, а напряжения в верхних слоях при движении 72 и 90-тонных автомобилей ниже по сравнению с 60-тонным [10].

Вероятность образования пластических деформаций в нежестких дорожных одежах, как отмечается в работах профессора Корсунского, увеличивается при осевых нагрузках свыше 120 кН, а дальнейший рост осевой нагрузки до 130 кН, приводит к повышению этой вероятности в два-три раза, что, в свою очередь, диктует необходимость индивидуального проектирования конструкции дорожных одежд под конкретные условия [11].

Комплексные исследования проблемных участков автомобильных дорог, где нарушена ровность покрытия, либо имеет место высокая деформированность были выполнены в Алтайском крае. Экспериментальная часть исследований осуществлялась методом статического нагружения колесом автомобиля, в результате разработаны рекомендации по ограничению интенсивности и состава движения в неблагоприятные периоды года [12].

В условиях недостаточной несущей способности слоев основания и грунтов земляного полотна ярко проявляются глубинные деформации, очень быстро и негативно сказывающиеся на состоянии верхнего слоя дорожной одежды и являющиеся главенствующей причиной возникновения колеи. Если негативные последствия абразивного истирания покрытия и пластические деформации верхних слоев дорожной одежды устраняются в процессе текущего содержания и ремонта автодорог, то повышенная деформативность слоев основания дорожной одежды и земляного полотна может быть устранена только в ходе капитальных ремонтов или реконструкции.

Между тем, применение в конструкции автомобильной дороги армогрунтовых конструкций на основе слоев современных геоматериалов, позволяет решать задачи по улучшению прочностных и деформативных характеристик грунтов земляного полотна и, в значительной степени, снизить риск возникновения колеи.

Упрочняющие слои геоматериала, при условии включения их в работу, воспринимают растягивающие усилия, подобно арматуре в железобетоне, что позволяет добиться более низкой деформативности армогрунтовой конструкции по

сравнению с массивом неармированного грунта. В качестве армирующих элементов чаще всего выступают георешетки и геосетки различных типов.

При армировании грунта геоматериалом, при условии его включения в работу, происходит увеличение модуля общей деформации, зависящее от варианта конструктивного решения [13]. Лабораторные штамповые испытания, проводимые в испытательных лотках, позволяют выявить закономерности изменения деформативных свойств армогрунтовых конструкций при варьировании параметров, таких как разновидность геоматериала, количество слоев и расстояние между слоями, глубина укладки, и, кроме того, в широком диапазоне изменения нагрузок различного характера, как статических, так и динамических [13], [14], [15].

Результаты, получаемые в ходе штамповых испытаний, позволяют учитывать наличие в грунтовой среде армирующих элементов методом введения в расчет однородного эквивалентного слоя, заменяющего по своему воздействию на напряженно-деформированное состояние воздействие геоматериала [16], [17]. Геометрические и деформационные характеристики такого эквивалентного слоя принимаются во соответствии с результатами лабораторных штамповых испытаний, полученными в условиях, соответствующих расчетным. Данный способ моделирования армирующих свойств положен в основу разработанной методики расчета напряженно-деформированного состояния, учитывающей наличие в многослойной конструкции геоматериала [17], [18], [19]. Эта методика была использована, в частности, при комплексных исследованиях железнодорожного земляного полотна [20], [21], в ходе которых была получена хорошая сходимость расчетных данных с результатами полевых испытаний на опытных участках, но может быть с успехом адаптирована и для решения инженерных задач автодорожного строительства, в частности для определения схемы армирования слоев автодорожной конструкции с целью предотвращения явления колеи.

Библиографический список

1. Журавлев И.Н. Факторы влияния на механизм образования деформаций в конструкции автомобильных дорог. // Научный аспект: научный журнал. – № 3. – Самара: Изд-во ООО «Аспект», 2019. – 345с. – ISSN 2226-5694.
2. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц [Электронный ресурс]: учебное пособие: самост. учеб. электрон. изд. / К. Е. Вайс; Сыкт. лесн. ин-т. – Электрон. дан. – Сыктывкар: СЛИ, 2013. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>.
3. Богуславский А.М., Богуславский Л.А. Основы реологии асфальтобетона / Под ред. проф. Н.Н. Иванова. - М., 1972. - 200 с.

4. Телегин М.Я., Корсунский М.Б., Зельманович М.С. Работоспособность и межремонтные сроки службы нежестких дорожных одежд. - М.: Автотрансиздат, 1956. - 167 с.
5. Журавлев И.Н. Применение геоматериалов для снижения колеиности на автомобильных дорогах. // Научный аспект: научный журнал. - № 3. - Самара: Изд-во ООО «Аспект», 2019. - 345с. - ISSN 2226-5694.
6. Журавлев И.Н. Вопросы влияния повышенных динамических нагрузок на состояние дорожных одежд. // Colloquium-journal: научный журнал. - № 22(46). - Варшава, 2019. - С. 50-53. - ISSN 2520-6990
7. Осинская В. А. Разработка теории вибрационного разрушения нежестких дорожных одежд и путей повышения их долговечности. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва, МАДИ, 2011.
8. Осинская В. А. Обоснование величины расчетной скорости движения автомобилей при проектировании нежестких дорожных одежд с учетом их вибрационного нагружения. // Известия КГАСУ, 2011, №3(17).
9. Оценка влияния тяжелых грузовых автоперевозок. Виртуальная симуляция - Изучение в российской части Баренц региона. Технический отчет. П. Варин, А. Матинтупа, Т. Сааренкетто. - Архангельск, 2012.
10. Оценка влияния тяжелых грузовых автоперевозок - Изучение в Финляндии (а/д НВ4, Баренц регион, Финляндия). Технический отчет. Т. Сааренкетто, Т. Херронен, А. Матинтупа, П. Варин, А. Пелтониemi-Тайвалкоски. - Архангельск, 2011.
11. Красиков О.А. Особенности расчета и оценки прочности нежестких дорожных одежд на существующие расчетные осевые нагрузки, 2015. - Режим доступа: <http://rosdornii.ru/files/28-07-2015/9.pdf>
12. Черепанов Б.М., Бодосова Т.С., Моисеева О.Л., Хоменко В.А., Казанцев В.Г. Оценка несущей способности дорожных конструкций эксплуатируемых автомобильных дорог в грунтовых условиях Алтайского края. // Ползуновский вестник. - №1/2. - 2012.
13. Журавлев И.Н. Лабораторные испытания армогрунтовых конструкций. // Бюллетень результатов научных исследований. - 2012. - № 4(3). - С. 57-62.
14. Петряев А.В., Журавлев И.Н. Оценка влияния современных геоматериалов на напряженно-деформированное состояние земляного полотна. Модельные лабораторные испытания. // Исследования и разработки ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте: Межвузовский сборник научных трудов с международным участием. - Самара: СамИИТ, 2002. - С. 367-368.
15. Петряев А.В., Журавлев И.Н. Современные геоматериалы, модельные испытания в лабораторных условиях. // Современные проблемы и прогрессивные технологии в путевом хозяйстве Октябрьской железной дороги: Тезисы докладов 43 научно-технической конференции. - СПб.: ПГУПС, 2001. - С. 119-122.
16. Журавлев И.Н. Оценка влияния геоматериалов на деформативность грунтовых массивов и разработка способа моделирования армирующих свойств геоматериалов. // «Проблемы развития сети железных дорог»: Межвузовский сборник научных трудов. - Хабаровск, ДВГУПС, 2006. - с. 102-105.
17. Журавлев И.Н. Разработка методики расчета напряженно-деформированного состояния земляного полотна, усиленного геоматериалами. // «Железнодорожный транспорт: проблемы и решения»: Международный сборник трудов молодых ученых, аспирантов и докторантов. Выпуск 7. - СПб, ПГУПС, 2004. - С.38-42.
18. Журавлев И.Н. Оценка влияния геоматериалов на напряженно-деформированное состояние железнодорожного земляного полотна. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. - СПб, ПГУПС, 2005.
19. Журавлев И.Н. Практическое приложение метода конечных элементов к расчетам напряженно-деформированного состояния армогрунтовых конструкций // Бюллетень результатов научных исследований. - 2012. - № 4(5). - С. 26-33.
20. Петряев А.В., Журавлев И.Н. Исследования эффективности применения современных геоматериалов в конструкции железнодорожного пути. // Исследования и разработки ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте: Межвузовский сборник научных трудов с международным участием. Выпуск 21. - Самара: СамИИТ, 2001. - С. 319-320.
21. Свинцов Е.С., Журавлев И.Н. Комплексные исследования по определению эффективности применения современных геоматериалов в конструкциях усиления земляного полотна. // Применение геоматериалов при строительстве и реконструкции транспортных объектов: Материалы II-ой международной научно-технической конференции - СПб.: ПГУПС, 2002. - С. 20-23.

Karabin Oksana,
PhD (Candidate of Pedagogical Sciences), docent,
ORCID: 0000-0001-8759-948X
Vizhevskiy Taras
undergraduate student,
Ternopil National Pedagogical University,
2, M. Kryvonosa Str., Ternopil, Ukraine

«IT-EDUCATION» WEBSITE DEVELOPMENT USING FRAMEWORK BOOTSTRAP AND CMS WORDPRESS

Карабін Оксана Йосифівна
кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри інформатики та методики її навчання,
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка
Віжевський Тарас Вікторович
магістрант спеціальності 014.09 Середня освіта (Інформатика),
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка

РОЗРОБКА ВЕБСАЙТУ «IT-EDUCATION» ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ФРЕЙМВОРКУ BOOTSTRAP ТА CMS WORDPRESS

Summary. The article is devoted to the development of the IT-EDUCATION website using the Bootstrap framework. The principles of construction of Internet sites and technologies of using such framework are considered, which allow to make layout of a site, while having only initial knowledge of their creation. The most popular free content management systems are analyzed and benchmarked: Joomla!, Drupal and WordPress. The features of building websites using content management and manual modes are explored. WordPress Content Management System enhances its functionality. As a result of the work, a website design was developed, additional modules, components were added, and the process of installing and configuring new templates, modules, and components was described. The materials can be used to select the most optimal technologies for implementing their own websites.

Анотація. Стаття присвячена розробці вебсайту «IT-Education» з використанням фреймворку Bootstrap. Розглянуто принципи побудови Інтернет-сайтів та технології використання такого фреймворку, які дозволяють зробити верстку вебсайту, при цьому маючи лише достатні знання для їх розробки. Проведено аналіз і порівняльну характеристику найбільш популярних безкоштовних систем керування вмістом: Joomla!, Drupal та WordPress. Досліджено особливості побудови вебсайтів за допомогою систем керування вмістом та в ручному режимі. За допомогою системи керування вмістом вебсайту WordPress розширено його функціональність. У результаті виконання роботи було розроблено дизайн вебсайту, додані додаткові модулі, компоненти та описано процес встановлення й налаштування нових шаблонів, модулів і компонентів. Матеріали можуть бути використанні для вибору найбільш оптимальних технологій для реалізації власних вебсайтів.

Keywords: website, container, framework, responsive design, web programming technologies.

Ключові слова: вебсайт, контейнер, фреймворк, адаптивний дизайн, технології веб-програмування.

Постановка проблеми. Сучасною об'єктивною реальністю є широке впровадження у всі сфери життєдіяльності особи, суспільства та держави сучасних інформаційних технологій, розгортання на їх основі різноманітної складності локальних і глобальних інформаційних систем, призначених для прискорення обміну інформацією та доступу до різноманітних інформаційних джерел. Провівши аналіз сучасного розвитку інформаційних технологій і телекомунікацій, як один з критеріїв рівня розвитку держави та інструмент інтенсифікації всіх процесів у суспільстві, Україна, як і будь-яка інша країна, зацікавлена в розвитку інформаційної

інфраструктури, в тому числі й шляхами використання у всіх сферах господарської діяльності можливостей, що надаються глобальними мережами передачі даних [1].

За останні декілька десятиріччів завдяки бурхливому розвитку інтернету в програмуванні виділяють окремий напрямок – вебпрограмування, тобто створення скриптів для веб, так як нині, в час стрімкого прогресу, відформатований текст та зображення на вебсайті не дивуватимуть користувачів. Слід зазначити, що й вимоги до вебсайтів зазнали зміни, і тепер для успішного представництва організації або особи в інтернет необхідно надати своїм відвідувачам різні

можливості: контактні форми, каталоги продукції, підписки, розсилання, пошук по вебсайту тощо. Інтерактивність та адаптивність вебсайту забезпечується за рахунок сучасних технологій вебпрограмування в обличчі HTML 5 і CSS 3 [4].

Технології вебпрограмування на думку користувачів об'єднують набір різних засобів і мов програмування або мов розмітки тексту. Ці програмні засоби розділяються на два основні види: серверні і клієнтські. Серверні скрипти виконуються на стороні сервера, тобто того комп'ютера, на якому розміщені вихідні файли вебсайту та база даних. До серверних скриптів належать PHP, Perl, ASP.NET, NodeJS тощо. Вони виконуються ще до завантаження сторінок вебсайту на клієнтській стороні. У свою чергу, клієнтські скрипти виконуються на комп'ютері клієнта вже після завантаження сторінки із сервера й не вимагають її додаткового перезавантаження (Javascript, Flash, Vbscript і Silverlight) [2].

Слід зазначити, що нині великої популярності набувають сайти-візитки окремих організацій, персон або підприємств. У таких «онлайн» сайтів-візиток зазвичай наводиться детальна або конкретна інформація про власника вебсайту, зазначається певний перелік основних характеристик тощо. Основним завданням таких вебсайтів є надання детальної інформації про місце навчання, в якому планується проведення тривалого часу тощо [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні засади розробки вебсайтів розкриваються у дослідженнях зарубіжних науковців – D. Lane, E. Williams Hugh, W. Luke, T. Laura, D. Ramel, Y. Coccoy, D. Sparlok, I. Marcott та ін. Досить багато вітчизняних вчених (Т. Басюк, В. Дронов, Д. Колисниченко, А. Петлюшкин та ін.) присвятили свої дослідження проблемі розробки вебсайтів із використанням фреймворку Bootstrap та CMS WordPress.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Для розробки адаптивного дизайну використовують CSS-фреймворки. Нині існують десятки таких фреймворків, кожний з яких має свої переваги й недоліки: деякі з них мають гарний функціонал, але потребують великих затрат пам'яті. Розглянемо та виконаємо порівняльну характеристику найбільш задіяних у вебпрограмування фреймворків, а саме: Bootstrap, Zurb Foundation, Semantic UI. Зазначимо та охарактеризуємо особливості вебсайтів, для використання в мережі інтернет, із використанням фреймворку Bootstrap та CMS WordPress, а саме: гнучкість, інтерактивність, адаптивність, зручність системи управління структурою, простота та зрозумілість дизайну вебсайту, підтримка графічних вставок та анімації для підсилення емоційно-ціннісного компонент змісту вебсайту.

Головною метою цієї роботи є теоретичне обґрунтування та технологія розробки вебсайту «IT-Education» із використанням фреймворку Bootstrap та CMS WordPress.

Виклад основного матеріалу. Зазначимо основні етапи розробки вебсайту «IT-Education» із використанням фреймворку Bootstrap та CMS WordPress:

Перший етап – визначення цілей розробки вебсайту – є найважливішим етапом у розробці вебсайту, тому що не можна досягти мети, якщо її немає або якщо вона визначена неправильно. Від цілей буде залежати весь процес розробки вебсайту, кожен його етап.

Другий етап – проведення теоретичних досліджень – відповідно до мети дослідження – теоретичний аналіз тематики дослідження, вивчити результатів досліджень науковців та практиків з теми дослідження.

Третій етап – визначення типу вебсайту, розробка технічного завдання та його структури. Відтак, технічне завдання повинно визначити наступні компоненти:

- **тип вебсайту** (портал, промо, візитка, корпоративний, магазин тощо);

- **функціонал вебсайту** (пошук, каталог, стрічка новин тощо);

- **стиль дизайну вебсайту** (дизайн повинен бути обраний відповідно до зазначеної тематики);

- **структура вебсайту** (кількість та структура вебсторінок тощо);

- **структура вебсторінок** (виокремлення блоків та їх розміщення на вебсторінках, зовнішній вигляд та їх інтерактивність).

Четвертий етап – розробка макету дизайну вебсайту. Для цього етапу характерні підпункти:

- **генерація ідей дизайну.** Набір ідей надається замовнику в вигляді ескізів із текстовими поясненнями;

- **розробка попереднього макета** дизайну головної вебсторінки;

- **виправлення зауважень замовника,** доопрацювання макету вебсторінки відповідно до замовлення;

- **розробка внутрішніх вебсторінок** за зазначеним алгоритмом;

- **з'ясування та визначення схематичного розміщення всіх блоків вебсторінок.**

П'ятий етап – HTML-CSS верстка. Залежно від цілей і завдань вебсайту, верстка повинна задовольняти деяким вимогам. Зазвичай дані вимоги:

- **кросбраузерність** – сторінки повинні однаково відображатися у різних браузерах (Mozilla Firefox, Google Chrome, Opera, Internet Explorer, Safari);

- **гнучкість верстки-можливість** – можливість додавання/видалення інформації на вебсторінки;

- **швидкість обробки коду** браузерами;

- **валідність** – відповідність зазначеним стандартам;

- **семантична коректність** – логічне і правильне використання елементів HTML.

Шостий етап – програмування і установка CMS. Даний етап є технічним, оскільки в ньому

відбувається реалізація всього функціоналу вебсайту. Вимоги до цього етапу визначаються технічними завданнями.

Сьомий етап – заповнення вебсайту контентом. На цьому етапі дуже важливий якісний, професійний копірайтинг. Усі матеріали вебсайту, будь то тексти або графіка, також повинні вписуватися в загальну концепцію вебсайту, відповідати його цілям і завданням.

Восьмий етап – тестування вебсайту і виправлення помилок. Тестування вебсайту може проводити як розробник, так і замовник. Найкращим варіантом є спільне тестування вебсайту.

Дев'ятий етап – публікація вебсайту в мережі інтернеті. На цьому етапі вебсайт розміщується на обраному доменному імені, реєструється у великих пошукових системах і каталогах.

Десятий етап – просування вебсайту і реклама в мережі інтернет. При готовності вебсайту необхідно залучати на нього відвідувачів для його апробації. Для реклаमाції вебсайту можна скористатися контекстною або банерної рекламами, SEO, SMO та іншими методами тощо.

Розглянемо детальніше та виконаємо порівняльну характеристику фреймворків Bootstrap, Zurb Foundation, Semantic UI.

Фреймворк Bootstrap – це безкоштовний набір інструментів із відкритим вихідним кодом, призначений для розробки вебсайтів і вебзастосунків, він містить шаблони CSS та HTML для типографіки, форм, кнопок, навігації та інших компонентів інтерфейсу, а також додаткові розширення JavaScript. Bootstrap полегшує розробку динамічних вебсайтів і вебзастосунків. Він є одним із найвідоміших CSS-фреймворків: на ньому розроблено чимало проєктів [6].

Важливим показником Bootstrap є підтримка адаптивної 12-ти колонкової сітки, відтак, він вважається одним із найпопулярніших фреймворків [3].

Фреймворк Bootstrap підтримує такі веббраузери: Chrome (Mac, Windows, iOS, i Android), Safari (Mac i iOS тільки); Firefox (Mac, Windows), Internet Explorer, Opera (Mac, Windows).

Зазначимо переваги та недоліки цього фреймворку:

- переваги: відповідна документація, адаптивна філософія побудови вебсайту, кроссбраузерність, вибір компонентів для користувацького інтерфейсу, фреймворк розрахований на швидку розробку вебсайту.

- недоліки: внаслідок популяризацію фреймворку багато вебсайтів мають однаковий вигляд, тому важливим є розробку унікального вебдизайну; фреймворк містить велика кількість класів.

Zurb Foundation – призначений для розробки адаптивного вебдизайну. Даний фреймворк є популярним, як і Bootstrap. Кількість зірок

зазначених на GitHub підтверджують довіру веброзробників до цього фреймворку. Zurb Foundation був створений в компанії Zurb, що спеціалізується на розробці дизайнів вебзастосунків [5].

Zurb Foundation пропонує колекцію готових компонентів (віджетів), 12-ти колонкову сітку та інші атрибути. Бібліотека UI компонент даного фреймворк виглядає цілком достатньою для роботи над реальними прототипами, також Zurb Foundation характеризується повною адаптивністю та відмовою від застосування бібліотеки jQuery на користь Zepto.js [4].

Даний фреймворк зазначається подібністю до Bootstrap, тому при наявності досвіду розробників їх перехід на новий фреймворк буде доволі зручним. Foundation підтримує такі браузери: Chrome (Mac, Windows, iOS, i Android), Safari (Mac i iOS тільки), Firefox (Mac, Windows), Internet Explorer, Opera (Mac, Windows).

Виділимо переваги та недоліки фреймворку Zurb Foundation:

- переваги: вбудована валідація форм, підтримка RTL, легкість в розширенні функціоналу, достатня підтримка мобільними пристроями.

- недоліки: високий рівень входження, великий розмір.

Semantic UI – фреймворк для побудови призначеного для користувача інтерфейсу вебзастосунку з широкими можливостями по налаштуванню та розробки вебдизайну. Набір включає більше 50 елементів UI і 3000 змінних CSS тощо. Фреймворк повністю адаптивний, всі компоненти визначаються за допомогою Ems або Rems. Один з основних переваг фреймворку є його семантичність класів [3].

Компоненти, запропоновані Semantic UI включають звичайні кнопки, анімовані кнопки, роздільники, значки, зображення, мітки, спливаючі вікна, сегменти, кастомізовані checkbox'и і radio, text loader'и тощо [7].

Semantic UI підтримує такі браузери: Chrome (Mac, Windows, iOS, i Android), Safari (Mac i iOS тільки), Firefox (Mac, Windows), Internet Explorer, Opera (Mac, Windows).

- переваги: проста у використанні, різноманітність компонентів, семантичність, активний розвиток;

- недоліки: не підтримує препроцесори SASS і LESS, недостатня рекламованість даного фреймворку.

Кожен з вищерозглянутих фреймворків має свої переваги та недоліки. Тому вибір фреймворку потрібно робити з урахуванням проєкту, який буде розроблятися. Це є головним критерієм вибору, адже жоден з фреймворків не є універсальним рішенням для будь-якого проєкту.

Наведемо порівняльну таблицю основного функціоналу вищенаведених фреймворків [5].

Порівняльна характеристика популярних фреймворків для розробки адаптивного дизайну

	Bootstrap	Zurb Foundations	Semantic UI
Препроцесори	LESS, SASS	SCSS	-
JS-бібліотеки	jQuery	jQuery	jQuery
Підтримка плагінів	—	FastClick, Modernizr	-
Адаптивна сітка	+	+	+
Навбар	+	+	+
Слайдери	+	+	—
Випадаючі списки	+	+	+
Canvas меню	+	+	—

Відтак зазначимо основні переваги й недоліки використання CSS-фреймворків для розробки вебсайту «IT-Education»:

– переваги: блочна верстка, підібраність стилів для читабельності контенту, кроссбраузерність, пришвидшення розробки; одноманітність коду дозволяє знизити кількість конфліктів при командній розробці, зручність при розробці HTML-макет; можливість використання генераторів коду.

– недоліки: залежність від зовнішньої бібліотеки; використання фреймворками префіксів, великий розмір фреймворків.

Висновки з проведеного дослідження та перспективи. Застосування технологій вебпрограмування дозволяє наблизити освітній матеріал до практичних потреб розробників та адаптувати його до розробки вебсайтів із використанням фреймворку Bootstrap та CMS WordPress, а процес набуття професійних навичок і вмінь веброзробників зробити простим й доступним.

Список літератури:

1. Маркотт І. Отзывчивый веб-дизайн. URL: <http://www.mankowichi.by/images/docs/12.pdf/>. (дата звернення: 28.10.2019).
2. Спарлок Дж. Bootstrap. URL: <https://books.google.com.ua/>

books?id=LZm7Cxgi3aQC&printsec=frontcover&dq=bootstrap&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwivno3jiunLAhXJE5oKHXaCBeU%20Q6AEIMjAC#v=onepage&q=bootstrap&f=false. (дата звернення: 18.11.2019).

3. Шеной А., Сосоу У. Learning Bootstrap. 2014. URL:

<https://books.google.com.ua/books?id=pswGBgAAQBAJ&printsec=frontcover%20&dq=bootstrap&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwtseXsinLAhUECZoKHe6DBjA4ChDoAQhDMAc#v=onepage&q=bootstrap&f=false>. (дата звернення: 21.11.2019).

4. Инструменты для самостоятельного создания сайтов. URL: <http://www.cossa.ru/articles/155/65624/>. (дата звернення: 03.12.2019).

5. Результаты тестирования шести ведущих фреймворков на производительность. URL: <http://www.alrond.com/ru/2007/jan/25/rezultaty-testirovaniya-6-frameworks/>. (дата звернення: 24.11.2019).

6. Десять причин избегать тяжеловесных фреймворков, а также лишних зависимостей в проекте. URL: <http://eax.me/avoid-frameworks>. (дата звернення: 24.10.2019).

7. What are cron jobs? URL: <https://support.hostgator.com/articles/cpanel/what-are-cron-jobs>. (дата звернення: 04.12.2019).

Mammadova F.M.

Azerbaijan State Oil and Industry University

USE OF MINERALIZED WATERS IN TECHNICAL WATER SUPPLY

Abstract. The article presents the results of studies of the qualitative regularities of the process of Mg-Na zeolite softening of wide class mineralized water in order to use their huge reserves instead of fresh water in technical water supply system of the industrial enterprises. The mathematical model of the Mg-Na-zeolite softening process is obtained allowing to study and optimize the process, solve practical problems of calculation and design of water treatment plants.

Key words: mineralized water, zeolite softening, cation exchange capacity, ionic composition of water, mathematical model, height of the protective layer of cationite.

It is known that one of the technological processes of the oil chemistry, characterized by large water consumption is the pyrolysis process.

Currently the amount of water steam supplied to the reaction tubes of the furnace is 50 up to 100% (on raw material). High process temperature (750-850°C) leads not only to coke formation, but also to the appearance of scale (scale formation).

In this regard, an alternative task to ensuring pyrolysis is the use of sea water instead of fresh, possible for coastal enterprises.

To use huge stocks of mineralized waters instead of fresh water in technical water supply systems of industrial enterprises, scientific-technical tasks solving is required.

The most important of them is prevention of the scale formation by heating and during of water evaporation.

One of the effective methods solving of this task is magnesium-sodium zeolite softening.

Purpose of this work – is research of the base qualitative regularities of the Mg-Na-zeolite softening process the wide class of mineralized waters (with salt content from 2.5 up to 35 g/l); development of the mathematical model of the process for research and optimization the technology as a whole.

In the figure 1 in the most general form, the nature of the change in the output sorption curves for cationite KU-2 for water with ion content (in mg-equiv/l) is shown: $C_{Ca} = C_{Mg} = 15$, $C_{Na} = 170$.

As follows from the figure, the filter operation is characterized by the formation of two volume fronts. In the first third (≈ 12 liters of filtrate) there is a decrease not only in calcium but also in magnesium hardness (up

to 2 mg-equiv/l). The magnesium (Mg) is replaced by more selective calcium cations (Ca). Specific output of water before the (Mg) breakthrough was 26 l/l of cationite and before the Ca- breakthrough – 46 l/l. Cation exchange capacity – 680 g-equiv/m³, residual calcium concentration – 0.2 mg-equiv/l. Thus almost 99% calcium removal was achieved.

High technological indices are possible also by Mg-Na zeolite softening of other types of mineralized waters, covering class in question.

Results on experiments with counter current ionization of water, given in the table 1, testify to this. Here as process output indices are: cation exchange capacity for calcium (E_w ; g-equiv/m³); specific water production (d , m³/m³); residual concentrations of calcium and magnesium (C_{Ca}^{res} , C_{Mg}^{res} mg-equiv/l) and also-amount of initial water salts, which may be used for regeneration (g-equiv/l.).

Table 1.

Results of experiments by Mg-Na- zeolite softening.

Initial water			g	E_p	d	C_{Ca}^{res}	C_{Mg}^{res}
C_{Na}	C_{Ca}	C_{Mg}					
50	5	5	7.7	640	128	0.02	2
100	10	10	6.7	670	67	0.10	6
170	15	15	8.4	710	47	0.22	8
188	16	60	7.0	525	33	0.20	48
248	13	59	9.9	400	31	0.35	46
470	20	110	11.0	380	15	0.03	75

As follows from the data received, even for waters with a high content of counterions high values of specific output of water are reached with a degree of removal of calcium 97% or more.

An important task any ion exchange technology is development of the mathematical model of process.

It is important for forecasting of the technological indices of the process, depending on water ion composition, sorption and regeneration conditions.

These technological indices include: working exchange capacity of cationite by Ca^{2+} ions and residual content of these cations in treated water.

There are several approaches to solving such problems [1]:

$\Rightarrow$ development of the functional (experimental-statistical) model, describing process without considering its mechanism;

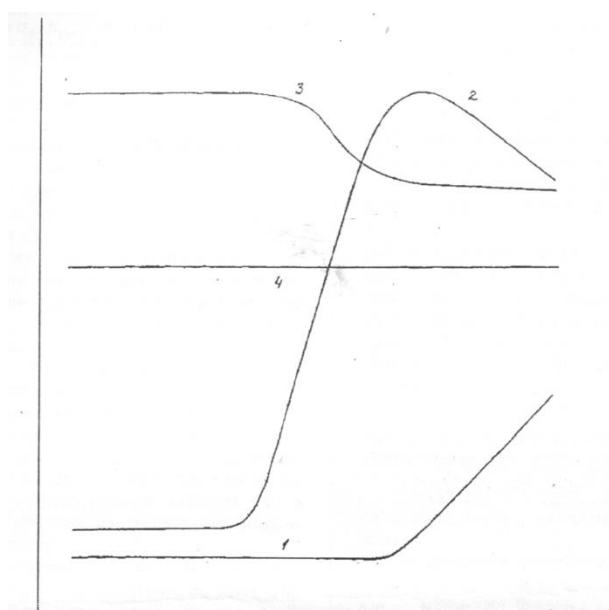


Figure 1. Output curves of the Mg-Na- zeolite softening of the water
1- $CCa = f(V)$; 2- $CMg = f(V)$; 3- $CNa = f(V)$; 4- $C_{Mg}^{in} = C_{Ca}^{in}$

⇒₂ development of the semi-empirical models which describe the whole process and reflect individual aspects of the mechanism of the studied process;

⇒₃ development of purely deterministic models, reflecting sufficiently fully the mechanism of the studied process.

The latter approach is the most effective and at the same time the most complex.

Semi-empirical approach is based on the following initial formula, used for calculation of the base technological index of the process-working exchange capacity of cationite (E_w):

$$E_w = \alpha_p \cdot E_{eq} [1 - h_{p.l.}(1 - \delta)/h_0], \text{ g-eqv/m}^3 \quad (1)$$

where:

α – is regeneration efficiency coefficient;

E_{eq} – is the full equilibrium exchange capacity of cationite by calcium cations, g-eqv/m³;

δ – is coefficient, taking into account incompleteness use of cationite exchange capacity in protective layer;

$h_{p.l.}$ – is height of the cationite protective layer, m;

h_0 – is total height of the cationite layer, m.

According to calculation of the ion equilibrium, the Ca²⁺ residual concentrations, reliably eliminating CaCO₃ and CaSO₄ precipitation by heating and evaporation of mineralized water are 0.1-0.3 mg-eqv/l.

Deeper Ca²⁺ removal is achieved by filtration in the second stages.

Therefore, by development of the mathematical model of the process, can be limited to obtaining a system of ratios, allowing to calculate working exchange capacity of cationite, turning on the depth of Ca²⁺ removal in the category of indices, to which restrictions are imposed.

Analysis of the formula (1) indicates its universality (from the point of view of solution of applied tasks in particular – suitability for calculating the ionization process of mineralized waters of arbitrary composition).

Table 2.

Levels and intervals of factors variation

Levels	Factors			
	$C_0(x_1)$ mg-eqv/l	$H(x_2)$ mg-eqv/l	$\Delta Ca(x_3)$	$v(x)$ m/h
Upper (+)	200/550	30/120	0.5/0.5	20/20
Lower (-)	40/200	10/30	0.2/0.2	5/5
zero	120/375	20/75	0.35/0.35	12.5/12.5

Note: in numerator – the value of the factors on brackish waters, in the denominator – on salt water.

Determination of the $h_{p.l.}$ value for every experiment carried out according to the methodic [2].

Since the equation (2) is linearized after logarithm, then processing the results of calculation was carried out, by logarithm received values of $h_{p.l.}$.

As a result of statistical processing the sum of experimental data, following the recommendation [3] the following polynomial was received (for brackish water):

$$y = 1.36 + 0.079x_1 + 0.146x_2 + 0.0445x_3 + 0.0824x_4 \quad (2)$$

Therefore, research came down to getting functional dependences α_r , $h_{p.l.}$, E_{eq} from the determining factors of the process.

- total salt content of initial water (C_0);
- total hardness (H_0);
- calcium share in total hardness (ΔCa);
- rate of water filtration (ϑ).

The object of research were mineralized waters with salt content from 2.5 up to 35g/l, by hardness 30÷120 mg-eqv/l, calcium component 20÷50% of total hardness. On base of preliminary experiments it was area accepted to break down the studied area into two parts within each of which a more accurate approximation of the desired functional dependences is possible.

Dependence $h_{p.l.f}(C_0, H_0, \Delta Ca, v)$ can be approximated with high accuracy by the power equation of the type:

$$h_{p.e.} = a \cdot C_0^{\alpha_1} \cdot H_0^{\alpha_2} \cdot \Delta Ca^{\alpha_3} \cdot \vartheta^{\alpha_4} \quad (3)$$

where: a , α_1 , α_2 , α_3 , α_4 - are the empirical coefficients.

Research were carried out on the cationite KU-2 by method of mathematical planning of experiment. Factors affecting the height of cationite protective layer and its levels are presented in the table 2.

The following expression was used to transition the equation (3) to natural scale [3].

$$X_i = \frac{2(lg\hat{x}_i - lg\hat{x}_i^b)}{lg\hat{x}_i^b - lg\hat{x}_i^n} + 1 \quad (4)$$

where $\hat{x}_i$ - is coded value of i – factor;

$\hat{x}_i^b, \hat{x}_i^n$ - are natural values of the upper and lower level of i -factor.

As a result of the transition from coded values of factors to natural, it was obtained:

$$lgY = 0.0678 + 0.234lgC_0 + 0.524lgH_0 + 0.325lg\Delta Ca + 0.33lg\vartheta \quad (5)$$

After potentiation:

$$h_{p.e.} = 1.17 \cdot C_0^{0.23} \cdot H_0^{0.52} \cdot \Delta C_a^{0.33} \cdot g^{0.33} \quad (5)$$

Similar formula but with other empirical coefficients was derived for salt waters:

$$h_{p.e.} = 1.19 \cdot C_0^{0.35} \cdot H_0^{0.24} \cdot \Delta C_a^{0.15} \cdot g^{0.38} \quad (6)$$

Interpretation of the obtained formulas showed that for brackish waters $h_{p.e.}$ value is changed within 10÷50cm for salt waters – 40÷90cm, i.e. doubled on average.

The nature of the influence of all factors on $h_{p.e.}$ is the same: the rise of each of them contributes to growth of $h_{p.e.}$.

At the same time for both types of waters from 4 considered factors total hardness of water has a more noticeable effect on $h_{p.e.}$.

Dispersion analysis showed that by research of effect of the base factors on coefficient of effectiveness of cationite regeneration (a_2) in the study area, significant for the regeneration of cationite are 3 factors: C_0 , C_{Ca} and specific salt consumption.

This dependence also may be approximated by equation of power type:

Two calculation formulas were obtained:

a) for brackish waters

$$a_2 = 0.6 \cdot C_a^{0.04} \cdot g^{0.24} \cdot C_0^{-0.057} \quad (7)$$

b) for salt waters

$$a_2 = 0.65 \cdot C_{Ca}^{0.043} \cdot g^{0.31} \cdot C_0^{-0.078} \quad (8)$$

In the first case: $C_{Ca} = 5 \div 15$, $C_0 = 40 \div 200$ mg-eqv/l, in the second – 10÷50 and 200÷60 mg-eqv/l respectively.

For the whole range $g = 4 \div 10$ g-eqv/l of cationite.

Calculation by above formulas show that in studied are a_2 values are changed within 0.7÷0.97 and the most significant of the considered factors is specific salt consumption.

Method of mathematical planning was used also by study of dependence of the equilibrium exchange capacity of cationite on base factors [4].

On base of preliminary research an expediency of approximation of this dependence have been determined by equation of linear regression.

As a result, the following regression equations have been obtained:

for brackish waters:

$$E_{e.q.} = 4.27 - 2 \cdot C_0 + 0.1H_0 + 490 \cdot \Delta C_a + 46.3H_0 \cdot \Delta C_a \quad (9)$$

for salt waters:

$$E_{e.q.} = 238 - 0.77 \cdot C_0 + 2.8 \cdot H_0 + 149 \cdot \Delta C_a + 7.7H_0 \cdot \Delta C_a - 0.76C_0 \cdot \Delta C_a \quad (10)$$

Analysis of the equations (10) and (11) shown that the E_{eq} values are changed within 450÷1300 g-eqv/m³ in field of the brackish waters and within 240÷1200 g-eqv/m³ in field of salt waters. By the significance of the influence on E_{eq} value, factors are arranged in the following order: ΔC_a , C_0 , H_0 .

Totality of equations (1) and (2) represent mathematical model of the process of Mg-Na-zeolite softening of wide class mineralized water.

Taking into account the features of the organization of the process in periodic filters and for reasons of technological expediency this model is supplemented by a system of restrictions:

- rate of water filtration (g);
- height of cationite layer (h_0);
- specific consumption of the magnesium and sodium salts on regeneration of cationite (g);
- residual content of calcium ions (C_a^{res})

$$3 \div 5 \leq g \leq 25 \div 30 \text{ m/h} \quad (11)$$

$$1.5 \leq h_0 \leq 6 \text{ m} \quad (12)$$

$$2 \leq g \leq g_{coh}, g - \text{eqv/l} \quad (13)$$

$$C_{Ca}^{res} \leq 0.1 \text{ mg} - \text{eqv/l} \quad (14)$$

In the equation (14) disposable quantity of salts (g_{CO_4}) is calculated as follows:

$$g_{con} = k_R \frac{E_r}{H_0 \cdot \Delta C_a} \cdot C_0 \cdot 10^{-3} \quad (15)$$

where k – is coefficient, taking into account reuse of the worked regeneration solution. Value of K_r are changed within 1.1÷1.4.

Table 3.

results of the estimated and experimental determination of E_2

Initial water			Ee.q. g-eqv/m ³	g	α	E_2	
C_0	G_0	C_{Ca}				estimated	experim
60	10	5	906	10.8	0.89	660	640
120	20	10	898	4.4	0.71	586	560
200	30	15	964	11.8	0.89	730	680
312	76	26	690	8.3	0.91	512	525
320	72	13	518	12	0.97	408	400
380	130	20	445	12	0.95	327	300

Adequacy of the resulting model was verified by comparison of calculated values of E_2 with experimental data, given earlier in table 1.

Calculation of E_2 was made on computer as method above, by method of consistent approximation, namely by preliminary accepted E_2 value the g , $h_{p.e.}$, α were calculated, then the E_2 value was specified.

For the condition that the calculation is completed, the discrepancy between adjacent values of the exchange capacity was taken, following the inequality:

$$E_2 \leq 1\% \text{ from } E_2$$

Analysis of the obtained results (table3) shown that average deviation of experimental and estimated values of E_2 does not exceed 7%, which is quite acceptable for implementation of practical calculation.

Received model was used for study of the height of cationite layer on the exchange capacity of cationite within values of specified factor which cannot be sustained under laboratory conditions.

It have been determined, that by increase of catalyst layer from 1 up to 3 m a working exchange capacity is increased by 18%, 12% and 20% respectively by processing of mineralized waters (look the table 3).

Thus, the mathematical model of the Mg-Na zeolite softening process of wide class of mineralized waters was obtained, allowing:

- comprehensively research and optimal process;
- solve practical problems by calculation and projection of the water supply plants ensuring non-scale regime work of the heat-engineering systems;
- the same for enterprises of oil production oil refining and other branches of industry.

List of literary references:

1. Сенявин М.М. Ионный обмен в технологии и анализа неорганических веществ. –М: Химия, 1980, 272с.
2. Фейзинов Г.К. Новый способ для предотвращения образования сульфатной накипи на поверхностях нагрева дистилляционных опреснительных установок. // Теплоэнергетика, 1972, №3, с.74-75.
3. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981, 184с.
4. Методы оптимизации обработки высокоминерализованных сточных вод. – Баку, АГНА, Известия ВУЗов, №2, 2005.

Муйдинова М.

Андижанский государственный университет

СТИМУЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРЕМНИЯ ПУТЕМ ТЕКСТУРИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ

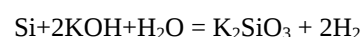
Аннотация. Приведены результаты расчетного анализа влияния геометрических размеров пирамидальной текстуры на коэффициенты отражения и поглощения света видимой области спектра. Определена роль антиотражающего покрытия из SiO_2 в кремниевых пластинах с пирамидальной текстурой.

Ключевые слова: текстура, кремний, отражение, поглощение, антиотражающее покрытие.

Известно, что оптические свойства кремниевых пластин, используемых в качестве базового материала для фотоэлектрических солнечных элементов (СЭ) являются важными показателями, определяющих их эффективность. Для улучшения оптических свойств пластин используются различные формы поверхностного текстурирования. В современных СЭ наибольшее применение получили пирамидальные текстуры, которые традиционно формируются методом щелочного анизотропного травления [1, 2].

Такая технология позволяет создавать неоднородные пирамидальные текстуры с

геометрическими размерами 0,5 - 4 мкм на поверхности пластин кремния. Для достижения однородной поверхностной текстуры необходима предварительная обработка кремниевой пластины с целью удаления нарушенного слоя. В качестве текстурирующего реагента обычно используются водные растворы КОН или NaOH. Взаимодействие кремния и раствора щелочи, например гидроксида калия описывается химической реакцией:



В процессе анизотропного химического травления на поверхности кремния образуются пирамиды, грани которых оказываются кристаллографическими плоскостями. Формирование такого микрорельефа объясняется сильной зависимостью скорости травления кристалла от ориентации кристаллографических плоскостей. Самая низкая скорость травления достигается на плоскости (111). Это связано тем, что плотность упаковки атомов здесь выше всего. В результате наиболее эффективно пирамиды формируются на кремниевых пластинах с ориентацией (100).

Обычно для получения более ровной огранки пирамид в раствор добавляются поверхностно активные вещества, например изопропиловый спирт. С поверхности текстурированных пластин удаляется тонкий слой образовавшегося оксида кремния. После формирования *p-n*-перехода или другой барьерной структуры наносится пассивирующие или антиотражающие покрытия.

Несмотря на доступность и простоты, анизотропное щелочное текстурирование имеет некоторые недостатки [2]. Прежде всего

неидеальная плоскость поверхности кремния приводит к значительному разбросу скоростей травления на различных участках. Поэтому на гранях формирующихся пирамид возрастает вероятность возникновения многочисленных дефектов и ступенек, которые играют роль рекомбинационных центров и негативно сказываются на итоговой эффективности СЭ.

Поэтому целесообразен поиск новых способов текстурирования или последовательного нанесения пассивирующих и антиотражающих материалов для получения СЭ высокой эффективности. Выполнение такой задачи экспериментально требует больших материальных и трудовых ресурсов. Поэтому целесообразно выполнять такие исследования теоретически или методом компьютерного моделирования.

Представленная работа посвящена расчетному анализу влияния высоты пирамид текстуры на поверхности кремния на оптические параметры: коэффициента отражения и коэффициента поглощения. Расчет выполнен используя разработанную на «VisualBasic» программу. Результаты расчета представлены на рис. 1 – рис. 4.

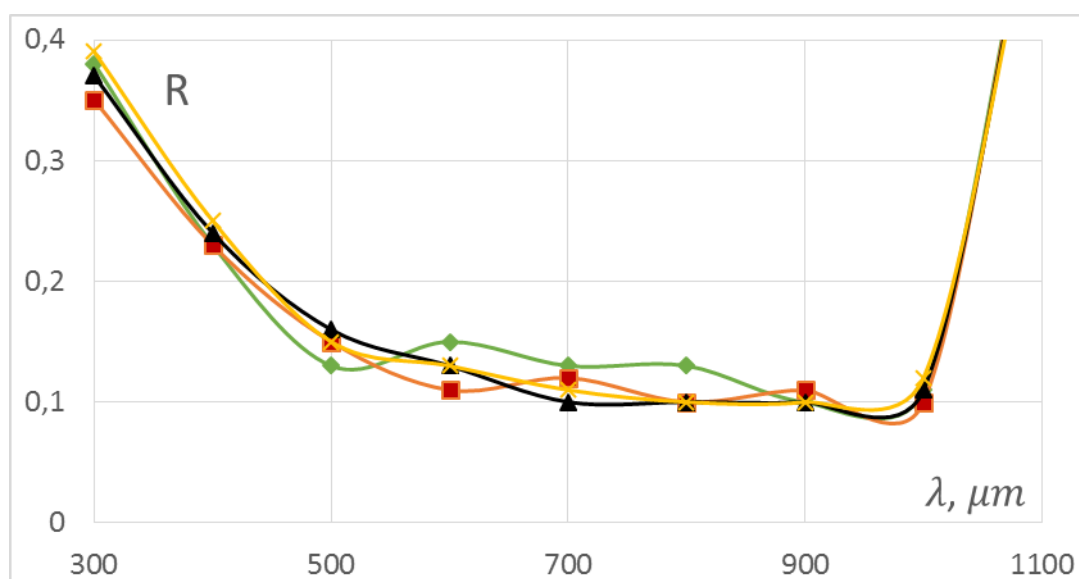


Рис. 1. Спектральная зависимость коэффициента отражения света от поверхности текстурированного кремния. Высоты пирамид составляют: $h=1$ мкм (◆), $h=4$ мкм (■), $h=7$ мкм (●), $h=10$ мкм (✕).

Как видно из рис. 1, при выборе пирамид с высотой ≈ 1 мкм в области длин волн света 600 – 800 нм наблюдается некоторое высокое значения коэффициента отражения. В области 600 – 900 мкм лучший результат показывает значение высоты

пирамиды ≈ 4 мкм. А при высоте пирамиды ≈ 10 мкм лучшие показатели заметны при длине волны света более 700 нм. Для всего указанного диапазона высоты пирамид коэффициент отражения изменяется в пределах от 0,09 % до 0,15 %.

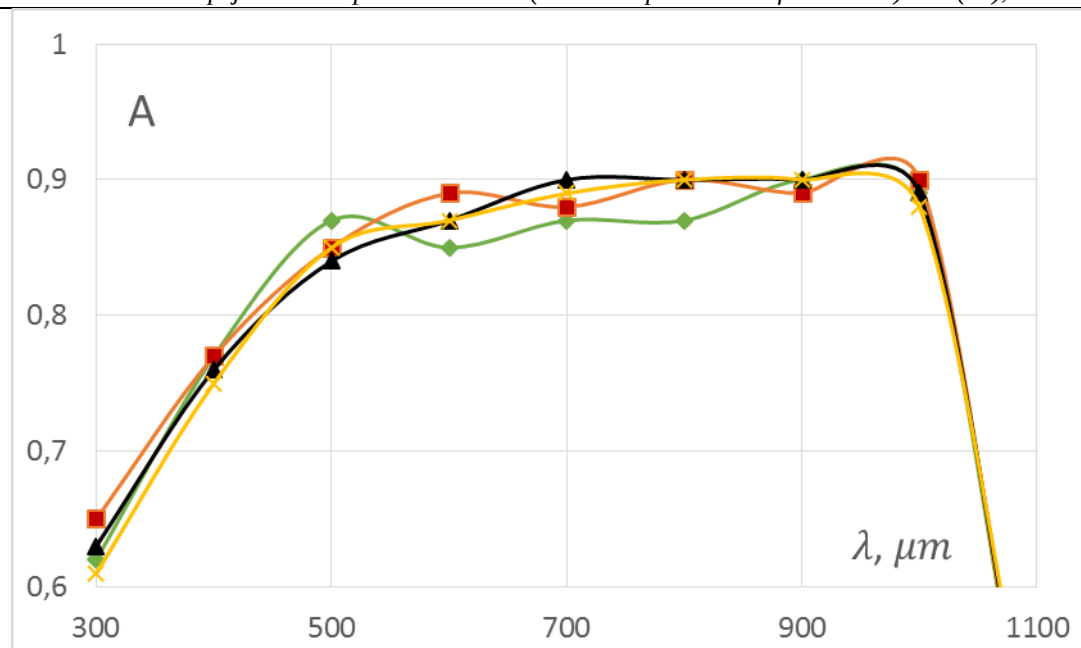


Рис. 2. Спектральная зависимость коэффициента поглощения света от поверхности текстурированного кремния. Высоты пирамид составляют: $h=1$ мкм (♦), $h=4$ мкм (■), $h=7$ мкм (●), $h=10$ мкм (×).

На рис. 2 представлены кривые зависимости величины коэффициента поглощения пирамидально текстурированного кремния для различных значений высоты пирамид. В отличие от данных рис. 1, можно отметить, что в области длин волн света 500 – 1000 нм значения коэффициента поглощения пирамидально текстурированного кремния изменяется от 0,84 % до 0,91 %.

Как выше было сказано, с целью пассивирования рекомбинационных центров на поверхности наносится слой оксида кремния. Обычно сверх пассивирующего слоя дополнительный антиотражающий слой диэлектрика.

В промышленной технологии изготовления кремниевых СЭ и в НТТехнологии гетероструктурных СЭ широко используются слои SiO_2 , $\text{SiO}_2 + \text{Si}_3\text{N}_4$ или другие более сложные многослойные структуры.

Для оценки роли таких окисных слоев в изменении значений коэффициентов отражения и поглощения кремния с текстурированной поверхностью в настоящей работе выполнен расчет. Использован случай, когда на текстурированную поверхность кремния нанесен слой SiO_2 толщиной ≈ 75 мкм. При этом, естественно рассмотрены только оптические свойства материала. Т. е. физический процесс пассивирования поверхностных рекомбинационных центров не рассматривается. Такие расчетные работы выполнены только предварительного анализа, поэтому рассмотрен случай с одним слоем диэлектрика. Считаем, для полноты картины можно выполнить расчет для двухкомпонентных слоев, как $\text{SiO}_2 + \text{Si}_3\text{N}_4$ и другие.

Результаты расчета приведены на графиках рис. 3 и рис. 4 для случая «пирамиды с различной высоты / + SiO_2 ».

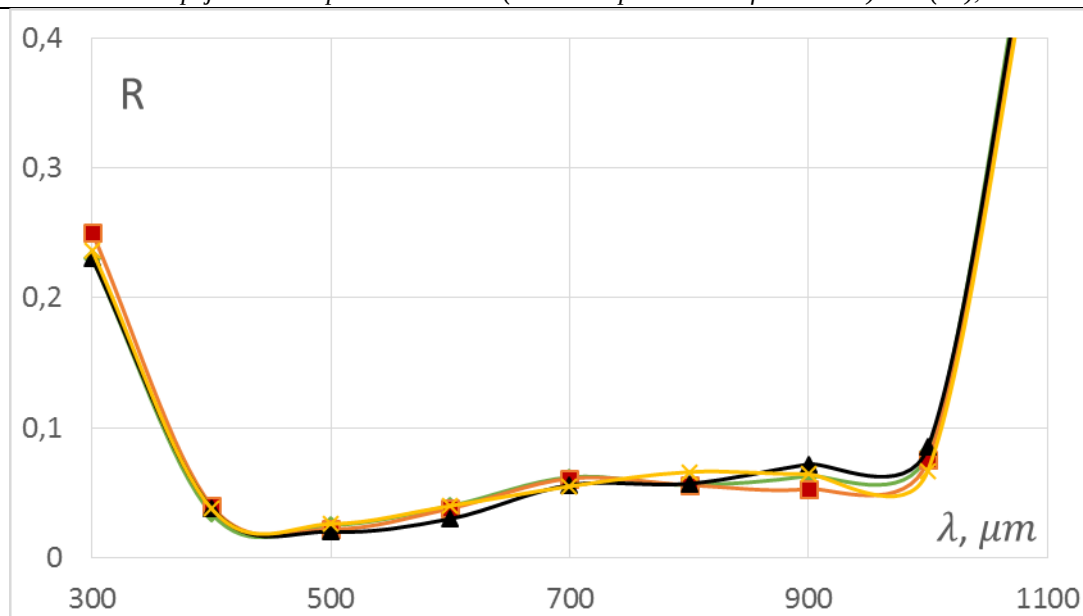


Рис. 3. Спектральная зависимость коэффициента отражения света от поверхности текстурированного кремния с дополнительным АОП из SiO_2 . Высоты пирамид составляют: $h=1$ мкм ($\bullet$), $h=4$ мкм ($\blacksquare$), $h=7$ мкм ($\blacktriangle$), $h=10$ мкм ($\blacklozenge$).

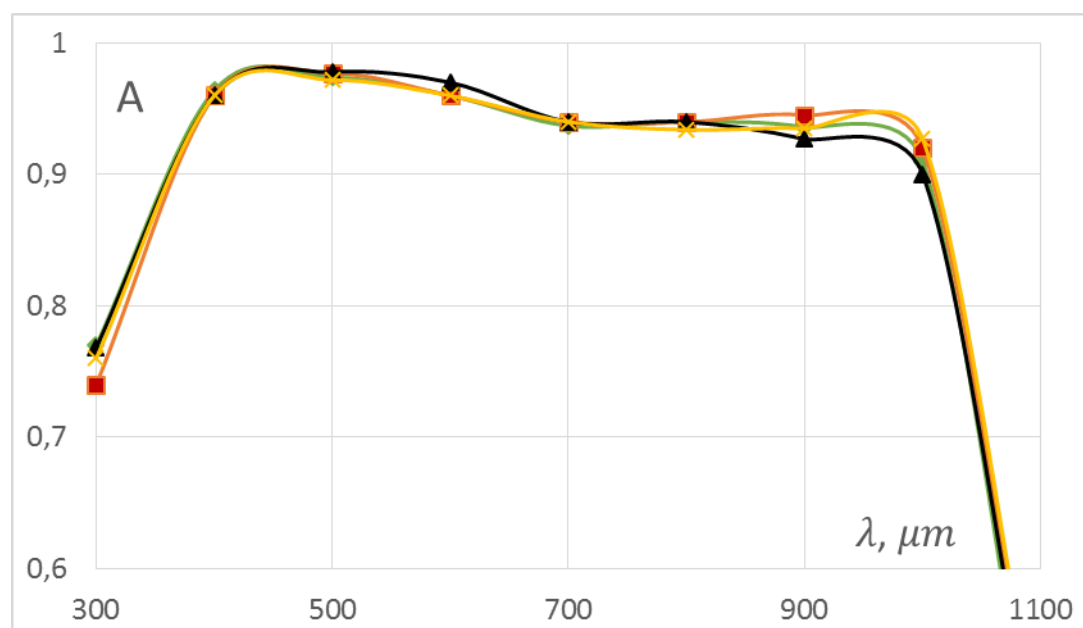


Рис. 4. Спектральная зависимость коэффициента поглощения света от поверхности текстурированного кремния с дополнительным АОП из SiO_2 . Высоты пирамид составляют: $h=1$ мкм ($\bullet$), $h=4$ мкм ($\blacksquare$), $h=7$ мкм ($\blacktriangle$), $h=10$ мкм ($\blacklozenge$).

По данным рис. 3 и рис. 4 можно отметить, что слой SiO_2 , нанесенный на текстурированную поверхность кремния играет сглаживающую роль. Значения коэффициентов отражения и поглощения в исследованном диапазоне спектра изменяются более узким интервалом чем в случае без окисного слоя.

Таким образом, улучшение характеристик поглощения света солнечным элементом может быть достигнуто путем анизотропного травления поверхности кремния, в результате которого формируется текстура пирамид. Этот вид текстурирования в сочетании с оптимизированным просветляющим покрытием поверхности СЭ

обеспечивает значительное увеличение оптического поглощения. Для прогнозирования оптимальных параметров такой комбинированной структуры и параметров СЭ может быть эффективно применено численное моделирование с разработанной на «VisualBasic» основе программы.

Литература

1. H. Angermann, A. Laades, U. Stürzebecher, E. Conrad, C. Klimm, T.F. Schulze, K. Jacob, A. Lawrenz, L. Korte. // Sol. St. Phenomena, 187, 349 (2012).

2. Новые технологические подходы к созданию текстур и согласованию термического расширения в дизайне высокоэффективных

кремниевых солнечных фотопреобразователей. // Физика и техника полупроводников, 2018, том 52, вып. 13. С. 1675-1682.

**Николаев Иван Семенович,
Меньшиков Алексей Сергеевич,
Воронов Виктор Владимирович,
Шилев Сергей Александрович**

*ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»,
Россия*

ВНЕДРЕНИЕ PLM СИСТЕМ В ПРОИЗВОДСТВО.

Аннотация. В настоящее время экономическая ситуация в России переживают не лучшие времена. Многие государства предъявляют против нас санкции, которые ограничивают возможности нашей страны. В связи с этим, правительством было принято решение повысить количество и качество выпускаемой продукции предприятий на новый уровень. В результате таких изменений современные предприятия столкнулись с рядом проблем, один из которых устаревшие методы управления жизненным циклом изделия. Выходом из сложившейся ситуации послужило внедрение PLM систем. В данной статье рассмотрены улучшения полученные в результате применения программного продукта Teamcenter.

Ключевые слова: машиностроение, изделие, жизненный цикл изделия, PLM, Teamcenter.

В связи с указом президента Российской Федерации об основных направлениях государственной политики по развитию конкуренции № 618 от 12 декабря 2019 года было принято решение повысить удовлетворенность жизни населения с помощью увеличения ассортимента товаров повышения их качества и снижения цен. Необходимо создать условия для производства отечественных товаров, способных эффективно конкурировать с зарубежными аналогами на внешних и внутренних рынках. Повысить экспорт российских промышленных товаров в общем объеме, изготавливаемых на территории нашей страны.

В результате таких изменений увеличивается номенклатура выпускаемой продукции. Одна из проблем, с которой сталкиваются современные предприятия, это устаревшие методы хранения информации. Конструкторская и технологическая документация хранится в бумажном виде (на кальках). Многие документы изнашиваются и теряются. Поиск нужной информации занимает много времени. Это приводит к снижению

производительности и увеличению сроков выполнения поставленной задачи. Тем самым появляется необходимость создания единой базы данных.

Для завоевания устойчивых позиций на высоко-конкурентном рынке машиностроения необходимо внедрять современные методы обмена информации, позволяющие управлять инженерными данными и производственными процессами на всем протяжении жизненного цикла изделия.

Все эти проблемы решают PLM системы.

PLM (Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом продукции) – это комплекс современных информационных программ, позволяющий управлять всеми данными об изделии. Дает одновременный доступ разным категориям специалистов, для реализации в полном объеме принципов параллельного проектирования изделий, т.е. продукция конкретного типа может одновременно находиться в нескольких стадиях жизненного цикла, например, в стадиях производства, эксплуатации и ремонта.

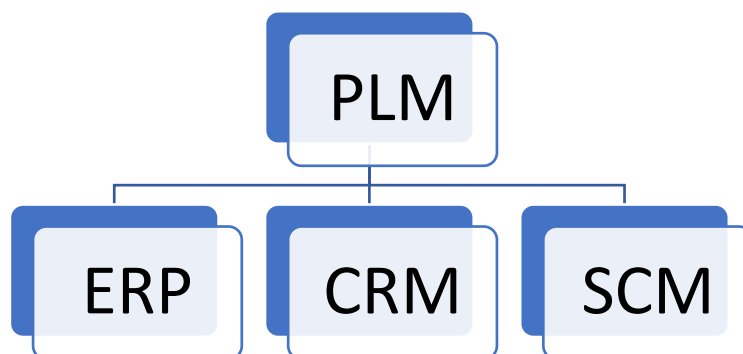


Рисунок 1 – PLM-система и ее место в информационной инфраструктуре предприятия:
ERP – контроль ресурсов предприятия; CRM – управление взаимодействием с клиентом;
SCM – контроль цепочки поставок.

ERP, CRM и SCM – представляются в виде диалоговых решений, отражающие материальные аспекты работы с изделием и ведения бизнеса (затраты, закупки, остаток на складе, производственный цикл изделия).

Основными компонентами PLM-системы на предприятии являются:

PDM – система, предназначенная для хранения и управления данными об изделии, является основой PLM;

CAD – отвечает за проектирования изделий;

CAE – производит инженерные расчеты;

CAPP – система, предназначенная для разработки техпроцессов;

CAM – система, разрабатывающая управляющую программу для станков с ЧПУ;

MPM – система планирование производства продукта.

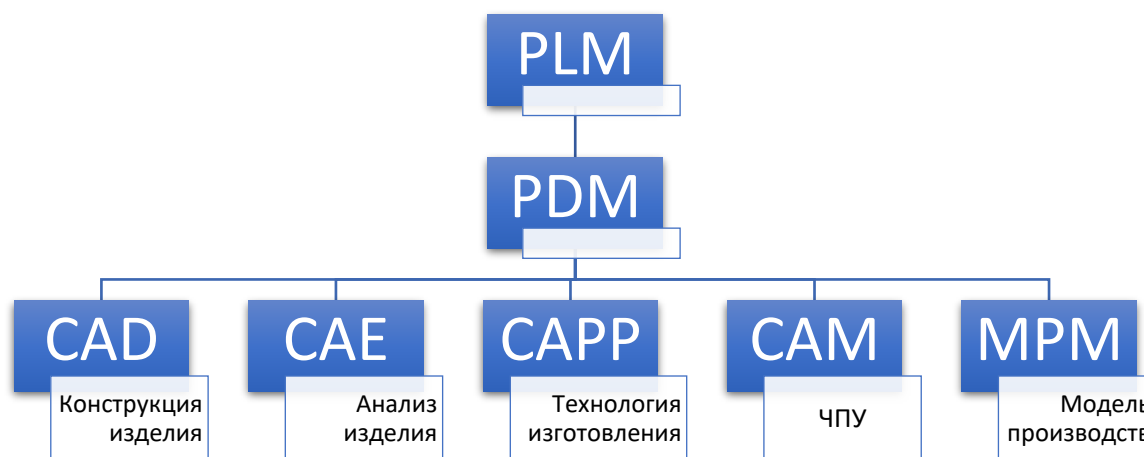


Рисунок 2 – Основные составляющие PLM системы

Рассмотрим один из наиболее мощных программных продуктов управления жизненного цикла производства компании Siemens PLM Software – программу Teamcenter.

Teamcenter – это интегрированный набор PLM и PDM решений, обеспечивающий организацию коллективной работы сотрудников предприятия (группы предприятий) с данными об изделиях и связанных с ними процессах. Использование системы Teamcenter позволяет предприятию резко повысить отдачу от применения CAD/CAM/CAE систем.

Преимущества использования программного продукта Teamcenter:

- Teamcenter не позволяет создавать дублируемый набор данных, тем самым сокращает объем хранимой информации;
- упрощает поиск необходимой информации об изготавливаемой детали;
- позволяет осуществить быстрый просмотр геометрии детали;
- дает уверенность в том, что используются последняя версия данных;
- позволяет легко создавать и изменять структуру изделия (BOM);
- позволяет посмотреть историю разработки и изменения изделия;
- ведение коллективной и согласованной работы в ходе проектирования;
- обеспечивает управление всеми данными, доступом и хранение необходимой информации.

Teamcenter позволяет отслеживать большое количество информации, необходимой на этапах проектирования и производства изделий. Дает возможность поддержки эксплуатации, сопровождения и утилизации технических данных. Объединяет информацию любых форматов и типов, предоставляя её пользователям уже в структурированном виде. Данный программный продукт работает с текстовыми документами, рисунками и чертежами. Позволяет просматривать и управлять геометрическими моделями и наработками, причём доступ к таким данным может осуществляться непосредственно из Teamcentra.

Одной из самых важных составляющих компонентов программы является подсистема (модуль) интеграции с САПР. Работа с САПР в сочетании с программой Teamcenter резко повышает эффективность, за счёт добавления к этим системам возможностей по хранению предыдущих версий. Позволяет прорабатывать альтернативные варианты, механизмы многопользовательской работы над общей моделью сборки, функциональности по обмену информацией между сотрудниками в реальном времени, автоматического ведения состава изделия и управления доступом на основе иерархии сборочной единицы.

По заявлению разработчиков внедрение программного продукта Teamcenter улучшает следующие показатели:

1. Время на проектирование уменьшается на 45%;
2. Затраты на выполнение проектов сокращаются на 20 – 25%;
3. Ошибки при передаче данных снижаются на 80 – 90%;
4. Время на планирование сокращается на 60%;
5. Время на поиск информации сокращается на 40%;
6. Стоимость получения нужной информации снижается на 20 – 60%;
7. Время на изменение нормативно-технической и иной документации снижается на 30%;
8. Стоимость технической документации уменьшается на 30%.

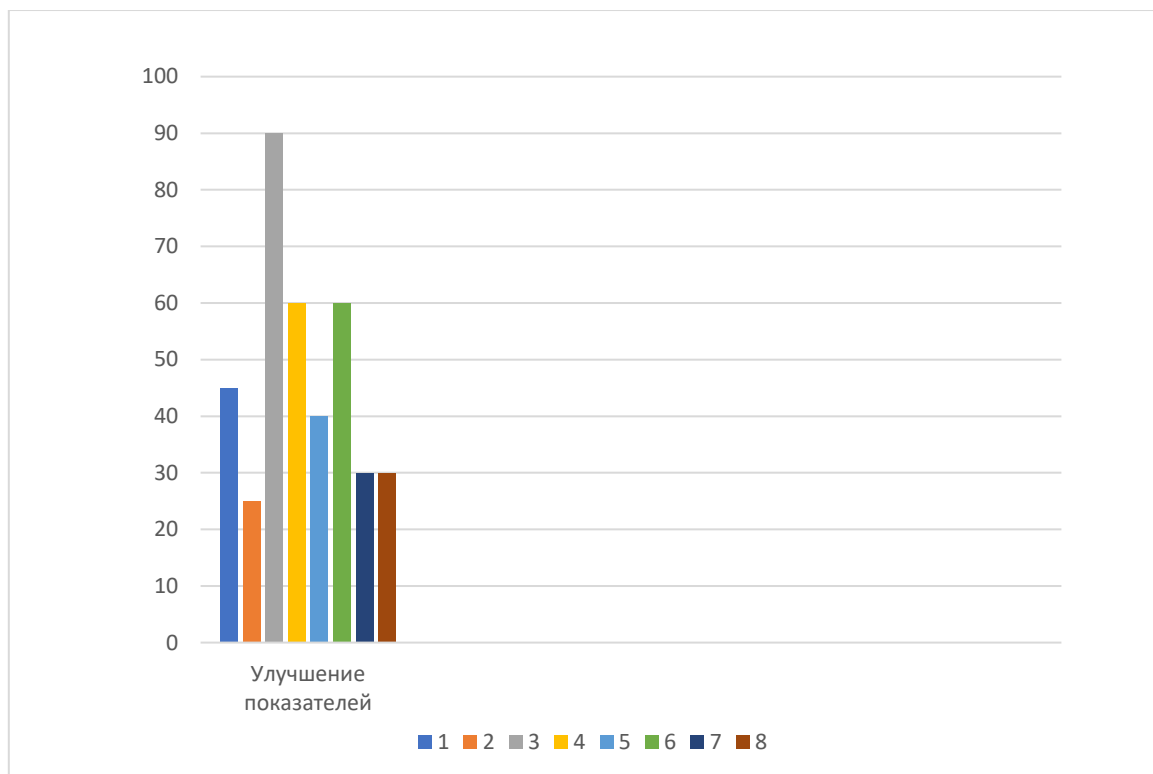


Рисунок 3 – Показатели улучшения при внедрении Teamcenter

Вывод: Внедрение такого программного продукта как Teamcenter значительно облегчит работу по поиску и просмотру необходимой информации, а также создаст единые правила для ведения данной базы их администраторам.

Внедрение программы Teamcenter уменьшит время над работой проекта, сократит вероятность брака и повысит надежность изготавливаемой продукции. А это значит, что внедрение таких программ в производстве является неотъемлемой составляющей преуспевающих на сегодняшний день организаций.

Литература:

1. Артемов И.В. О необходимости внедрения автоматизированных систем технологической подготовки производства на крупном машиностроительном предприятии, 2005. № 53. С.12-18.
2. В. Г. Хомченко, А. В. Федотов X 76 Автоматизация технологических процессов и производств: Учеб. пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. 488 с.
3. Веретельник Ю.В., Миргородский Ю.Я., Пелешко Е.В., Ткачук Н.А. Параметрические

модели элементов сложных систем как основа построения специализированных расчетных систем, 2003. № 1. Том 2. С.3-8.

4. Капустин Н.М., Дьяконова Н.П., Кузнецов П.М. Автоматизация машиностроения. М: Высшая школа, 2002. 223 с.

5. Каталог эффективных решений автоматизированного проектирования и подготовки производства [Текст]: Решения АСКОН: М.: АСКОН-М, 2001. 44 с.

6. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования [Текст]: Учебник для вузов / И. П. Норенков. М.: Изд-во МГТУ, 2000. 360с.

7. САПР в технологии машиностроения [Текст]: Учебное пособие. Ярославль: Яросл. гос. техн. ун-т, 1995. 298 с.

8. Ткачук Н.А., Пономарев Е.П., Миргородский Ю.Я., Веретельник Ю.В., Гриценко Г.Д. Специализированные системы для автоматизированного проектирования, исследования и изготовления транспортных средств специального назначения и элементов технологических систем, 2003. № 12. Т.1. С.166-171.

9. Яблочников Е.И. Автоматизация технологической подготовки производства в приборостроении / Учебное пособие. СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2002. 92 с.

Об авторах

Николаев Иван Семенович (Россия) – магистрант кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование», ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»,
Меньшиков Алексей Сергеевич (Россия) – магистрант кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование», ФГБОУ

ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»

Воронов Виктор Владимирович (Россия) – магистрант кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование», ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»

Шиляев Сергей Александрович (Россия) – профессор кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование», ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»,

УДК; 629.12.014.6

Сергей Пышнев

к.т.н., доцент.

Чанг ли Ю

Ph.D., доцент.

Харбинский технологический институт, Вейхай, КНР

СТАБИЛИЗАЦИЯ ПРОДОЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Sergey Pyshnev

Ph.D., associate Professor

Chang-li Yu

Ph.D., associate Professor

Harbin Institute of Technology, Weihai, P. R. China

STABILIZATION OF LONGITUDINAL MOTION OF UNDERWATER VEHICLE

Annotation. The mode of longitudinal motion of attached underwater vehicles under the action of propulsors is considered. The behavior of the devices in the aqueous environment and methods of stabilizing their movement are analyzed. Since among the machines it is possible to find both well-streamlined bodies and low-mobility platforms carrying equipment open to water, approaches to solving this problem differ. Often, the devices are required to have increased maneuverability, and the walking is sidelined. From here approaches to selection of power armament and propulsion-steering complex are formed. When calculating statics and dynamics, there are features that distinguish underwater vehicles from conventional floating objects. For them, in most cases, high stability cannot be achieved. It is necessary to provide either excessive volumes inside the pressure hull, not used for equipment accommodation, or additional buoyancy units made of light material, located outside the pressure hull of the apparatus. The ability to lower the centre of gravity by moving the equipment is also limited. Therefore, there is a problem in providing the necessary stability both in static and dynamic, although for an underwater vehicle the concept of rollover differs significantly from surface vessels. The method of selection in the first approximation of the minimum required metacentric altitude for binding systems is proposed. Ways of stability regulation and its rationing are proposed.

Keywords: stability, underwater vehicle, motion stabilization, metacentric height, stability regulation.

Introduction

When designing attached underwater vehicles, the question arises about the use of special devices or structural measures stabilizing their movement in different planes. The main movements of the apparatus are horizontal and vertical displacement. Disturbances in movement have different causes. This can be poor hydrodynamic balancing, lateral flow, housing asymmetry, etc. The nature of the flow related to the difference in speed and shape of the body also differs. In fact, among the machines there can be found well-streamlined bodies designed for movement at high relative speeds, and low-mobility platforms carrying

equipment, open to the action of water and designed to perform works in the local space.

Numerous researchers have studied the stability of underwater vehicles. Professor. A. Basin, in a fundamental work on stability and controllability of ships [1] as early as 1949, gave generalized formulas for calculating the steering devices of surface vessels, which can be used to assess automatic stability of traffic, in relation to surface objects. Pantov E., and a group of researchers in 1973 formulated the main mathematical provisions of the theory of movement of autonomous underwater vehicles [2], but their work is rather staged and gives a wide field for researchers. Greiner L. in 1978 in his work on hydrodynamics and

power engineering of underwater vehicles [3] offers several private solutions for choosing the shape and stabilizing devices of autonomous underwater vehicles. However, the author of the monograph considers mainly well-streamlined bodies without touching on the issues of poorly streamlined structures. On the contrary, S.Devnin 's work on aerodynamics of bad-flowing structures of 1983 [4], Y. Wojtkunsky 's directories of 1985 [5] and V. Droblenkov of 1984 [6], gives numerous data on resistance coefficients and joined masses for bodies of various shapes, which can be applied in calculations. Academician M. Ageev in a monograph on automated underwater vehicles [7] in 1981 gave practical recommendations for the design of autonomous PA, but the issues of control and stability of the movement remained unsolved. Professors B.Slyzhevsky[8] gives a number of original theoretical justifications for determining static and dynamic stability of AUV, but from a practical point of view the technique offered by him is quite complex and does not allow for comparative analysis of the results. The author of this work also solved a number of private tasks on stability of AUV movement [9].

The purpose of this article is to develop a methodology for determining the metacentric height for different types of underwater vehicles at the initial stages of design. Design methods are proposed, which allow to simplify procedure of selection of metacentric height determining character of apparatus motion in interested modes.

It is important to note that actually we consider group of underwater objects which form - badly streamline bodies with rather low speeds of movement which have $Re \leq 0.5 \times 10^6$ and ratios of L/B B/H about 1.0; They have no waterline in underwater position, and stability is determined only by mutual position of center of gravity and center of buoyancy. Therefore, the static stability diagram has positive stability arm values and a sinusoidal view provided that the center of gravity is below the center of buoyancy.

$$M_B = G h \sin \Theta = G(p + Z_c - Z_g)$$

The G -displacement values, h -metacentric height, p , Z_c , Z_g (metacentric radius, center-of-magnitude and center-of-gravity applications) at the incline maintain constant values, regardless of the angle of incline. Positive stability at inclination from 0 to 180 degrees is provided by condition $Z_c > Z_g$; at which the vehicle is always stable. The greatest restoring moment arises at angle of heel of $\Theta = 90$ degrees. Despite this, however, the center of buoyancy of the greatest allowed tilts is limited by operational requirements.

The underwater vehicle family includes many varieties. They are of architectural and structural type, including hull shape, structural elements, motion systems, control systems and component equipment. The NPA motion equations in this case will be fair if the yaw and trim coals are small and practically do not exceed 10 degrees. In general, the coordinates of the center of gravity Z_g , the center of magnitude Z_c , and the center of lateral resistance X_{gh} do not coincide. Vertical or transverse stability of the vehicle shall be ensured provided

$$Z_c - Z_g > 0; \quad (1)$$

This is a necessary but not sufficient condition for sustained longitudinal movement. In addition, we impose a restriction: the center of lateral resistance X_{hg} should be more aft than X_g and X_c . In fact, we need to find out at what values

$$Z_c - Z_g = h; \text{ and } X_s - X_{hg} > 0;$$

Stable motion in preset direction. When designing underwater vehicles, typical stability calculations often have to be supplemented by experimental data. As such an experiment, design studies and in-kind tests of the general arrangement and weight load of five underwater vehicles of poor flow shape with displacement from 32 to 400 kg were carried out. The general location of each of the projects was developed and the weight load composition was determined. Each of the variants was refined and had positive stability, which could be changed by means of cargoes. Basin and in-kind tests were carried out to determine the metacentric height of each of the projects, which at a given speed provided its horizontal and vertical movement with a roll of not more than 3-5 degrees. Determination of the position of the center of gravity and arm of stability was accompanied by graphical studies and calculations according to the admiralty formula. Data from technical specifications and other documents for equipment were used in calculating the weight of the machines. In-kind experiments were processed as tables and graphs.

For convenience of comparative analysis of the level of required stability, the LBH module, which is the product of the main dimensions of the object, was executed. General view and diagrams of the layout of «Scarabey», «Diaf 300 "and" Posseidon-M " projects are shown in figures 1, 2, 3. Different speed modes of movement are considered to show dynamics of required change h .

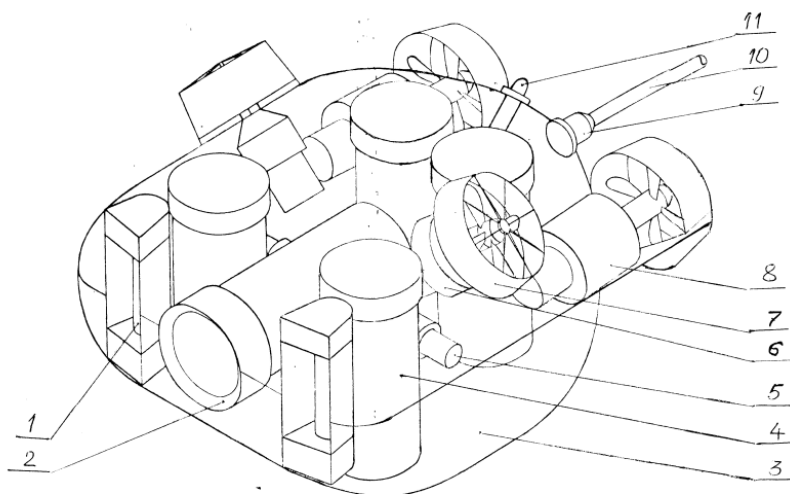


Fig. 1- General view and layout of ROV "Scarabey": working depth, m - 200; overall dimensions of the ROV, m - 0.78 x 0.60 x 0.55; ROV speed, m/s: cruise - 1.6; Vertical - 1.2; h.

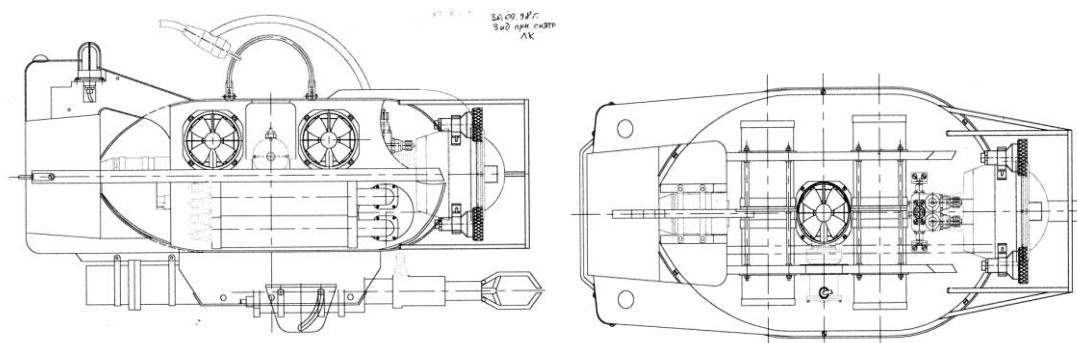


Fig. 2- General view and layout of multi-purpose ROV "Diaf 300" operating depth, m - 300; overall dimensions of the ROV, m - 1.20 x 0.66 x 0.68; ROV speed, m/s: cruise - 2.6; Vertical - 1.2; ROV weight, kg - 83.

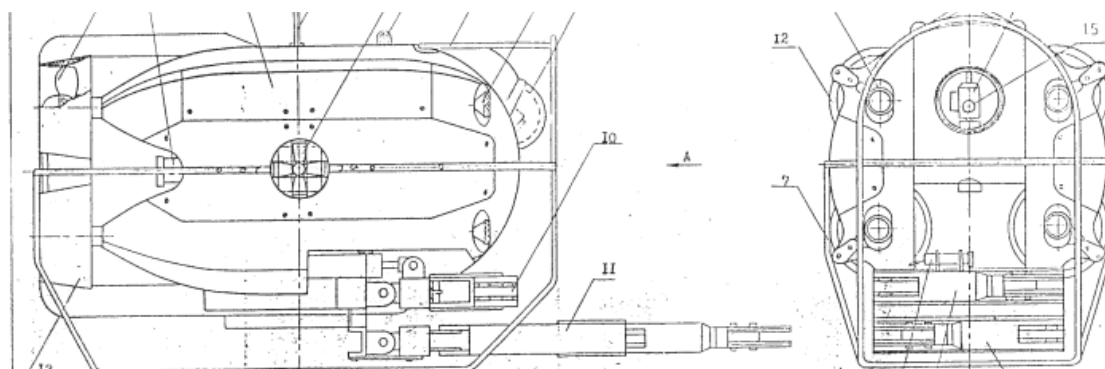


Fig. 3- General view of ROV "Posedon -M" layout and characteristics: working depth, m - 600; overall dimensions of the ROV, m - 1.55 x 1.10 x 1.0; ROV speed, m/s: cruise - 2.2; Vertical - 1.50; ROV weight, kg - 240.

The processing of the results of the in-kind tests of the above-mentioned series of projects carried out during the period of 1995- 2008 made it possible to summarize the results and make the assumption that in order to obtain satisfactory design results the stability of the devices must meet the minimum requirements,

with a positive value h of the metacentric height. The main dimensions and cubic module of the five projects are given in table 1. Measurement results h presented in Figure 6 make it possible to predict with certain assumptions the minimum required value of metacentric altitude.

Table 1

General Dimensions and cubic project module

LxBxH,m	0,68x0,58x0,40	0,78x0,60x0,55	1,2x0,66x0,68	1,55x1,10x1,0	1,70x1,20x1,00
LBH,m ³	0,157	0,258	0,539	1,705	2.040

Graphs of change of metacentric altitude h corresponding to different speeds are shown in Fig. 4. These h values guarantee minimum sufficient stability of the apparatus during horizontal and vertical movements. For early design calculations, you can use the graph approximation (Fig. 4).

$$h = 0,098(v)^{0,67} (LBH)^{0,5}; \quad (2)$$

where v - design speed of the vehicle, m/s

With regard to static and dynamics calculations, there are features that distinguish the apparatus from conventional floating objects. Possibilities of decrease

in the center of gravity of an object are limited to motions of the equipment. In the design it is necessary to provide either excessive volumes inside the pressure hull, not used for equipment accommodation, or additional buoyancy units made of light material, located outside the pressure hull of the apparatus. In this regard, there is a problem with compensation for the action of external forces both in static and dynamic, although for an underwater vehicle the concept of rollover takes on a different content, because roll can reach 180°. If it is possible to provide an arm of vertical stability of about 7-8% of the height of the apparatus structure, this can be considered an acceptable result.

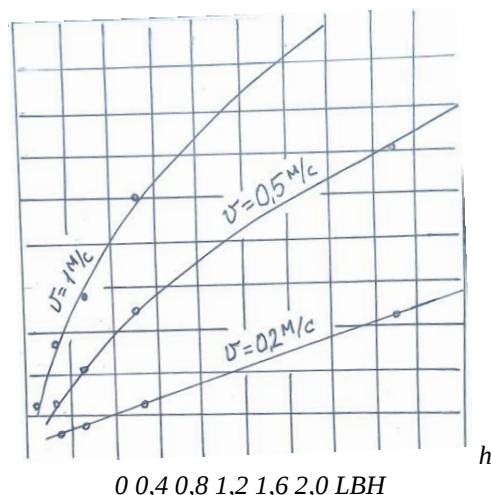


Fig. 4. Dependence of metacentric height h on dimensions and speed of ROV movement while providing the condition of its stable movement

In general, the condition of steady movement of ROV is defined by the expression

$$M_w > M_o;$$

Where M_w and M_o recover and rollover moments acting on the moving object. With this condition in mind, consider at what ratios of geometric dimensions and mass distribution along the length and height of the apparatus the ratio (5) is fulfilled.

In addition to the problem of low stability, underwater technological vehicles are characterized by contact interaction with other objects. It is necessary to suppress the reaction from the object of work and to maintain the spatial position of the apparatus. This will contribute to the effective implementation of the task. Contacts can be unpredictable, there may be bursts of effort in magnitude and time of action. It is necessary to react to them, and in any control system there are such negative effects as delay of signals, inertia of actuators, inaccuracies of mathematical models of processes and software. In this connection, it is advantageous, in addition to means for controlling the position of the apparatus, to provide fixing devices on the apparatus using various physical principles - mechanical grips, pneumatic suckers, electromagnets, etc. It is obvious that issues of stability of underwater vehicles, as well as issues of buoyancy, cannot be solved in isolation. In close association with them will be tasks of dynamics, and parameters of component devices and systems.

The issue of evaluation and assignment of dynamic stability contains many unresolved theoretical issues. One is damping accounting. For surface vessels, damping is generally not taken into account. This is justified because of the small damping moment compared to the recovery moment at transverse inclination. It is also known that real dynamic loads for surface vessels very rarely lead to rollover. Their maximum restoring moment occurs at roll 55-60°, and for underwater objects dynamic equilibrium occurs at roll about 90° degrees and is caused by smaller external trimming moment. If to introduce restriction on dynamic angle of heel, for example, to accept $\psi < 75^\circ$, then the ratio between the maximum permissible external moments even more favors accounting of damping. Taking into account the assessment on two criteria - by moment and by angle, it can be argued that the real dynamic stability of the underwater vehicle, as quality, is significantly higher than that determined under the traditional approach.

Under action of suddenly applied trimming moment the device acquires increasing angular speed and angular acceleration. In the first step of tilting, the velocity increases from zero to maximum, and then in the second step falls to zero when dynamic equilibrium occurs. The zero velocity of the second stage corresponds to the highest dynamic roll. At the same time large projecting parts play a positive role, increasing the period of inclination. The motion of the

vehicle is described by a linear differential equation of the second order.

$$(1 + k_{55}) \psi'' + \psi k + GH\psi = M$$

The resistance at angular movements in the longitudinal plane is significant and similar external effects should be taken into account by separate verification calculations.

The situation is slightly different with the second group, with a large extension of the hull. In most cases the circular form of the case of the device at relative lengthening of $L/D \geq 5$ possesses small metacentric height and dependence of hydrodynamic characteristics

on kinematic parameters of the movement. Many autonomous vehicles (AUV) have both fixed and movable horizontal and vertical rudders (ailerons). At turning of planes by angles δ_L and δ_R , trimming moment of control is determined by their average value, and rolling moment $-\delta_r = 0,5(\delta_L + \delta_R)$ by difference $\Delta\delta_r = \delta_L - \delta_R$. Another structural feature of the AUV is that in a single-shaft propulsion system, the propulsor creates a tipping moment causing the apparatus to roll. And only with two coaxial screws with opposite rotation can this be avoided. The two-shaft arrangement is devoid of this disadvantage. Thrust is oriented along O_x axis. Accompanying trimming and heeling moments that could play the role of additional perturbations are excluded

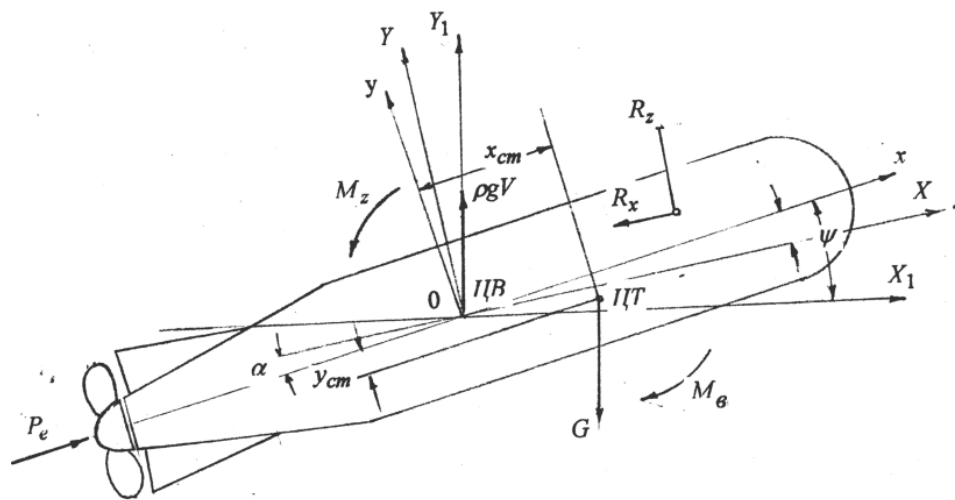


Figure 7. - Action of external forces on the maneuvering autonomous underwater vehicle

The external forces and moments represented by a system of 6 equations must be supplemented by general relationship equations. This model is used to analyze the deep maneuvering of the vehicle, roll and trim. Small maneuvering and stabilization modes can be investigated by simplified linearized equations. When drawing up equations of AUV dynamics, bear in mind that its shape of frames may not correspond to circular shape. In order to increase stability of the apparatus, the skids are designed in the form of a vertically elongated ellipsoid with a developed stern in the form of stabilizers, vertical rudders and ailerons (Fig. 7). Therefore, nondiagonal elements must also be considered in the matrix of joined masses and moments of inertia. In the case of symmetry of the apparatus with respect to the longitudinal axis, in addition to diagonal coefficients of the connected masses λ_{11} , λ_{22} , λ_{33} , λ_{44} , λ_{55} , λ_{66} , the significant values are $\lambda_{26} = \lambda_{62}$ and $\lambda_{35} = \lambda_{53}$. The equations of the dynamics of the spatial motion of the AUV in general form are converted into a system of 6 differential equations [10]. During movement there are small fluctuations of state variables (angles of attack and drift, yaw, roll and trim) and control actions (angles of vertical and horizontal rudders movement). The assumption of small Euler angle values allows for simplified coupling equations. With good hydrodynamic balancing of the apparatus, when the

point of application of displacement force is reached with the center of mass, the equations of lateral and longitudinal movement of the AUV are independent. The specificity of underwater vehicles is evident in the absence of positional moments in the equations of on-board and keel rolling. There are also no positional forces in the vertical displacement equation. This means that the apparatus has very low static stability and its stable movement, as well as maneuvering, can be provided by vertical and horizontal rudders [9, 10].

The use of mathematical modeling in the initial stages of design is time consuming and not always justified. In most cases, it is proposed to use a simplified methodology for assessing the stability of the AUV and constructive measures to ensure sustainable movement in a given direction. The second part of the experimental work consisted of towing non-navigational torpedo-shaped models with circular frames, the relative elongation changed from 4.6 to 8.8. The area of feed stabilizers also changed. The metacentric height of the towed objects was kept constant at 10% of the hull diameter. Like previous reasoning, let us turn to condition (3).

The tipping and restoring moments can be represented as (5), (6). Where v_x is the translational velocity; S_x is the area of the projection of the apparatus onto the X_Y plane; S_{st} is the area of stabilizers; X_h and

X_{st} coordinate points of lateral resistance of the housing and stabilizers.

$$M_{Boc} = 0,5\rho(v_x)^2 S_{ct} C_y(x_c - x_{ct}) \sin\psi \quad (6)$$

$$M_{omp} = 0,5\rho(v_x)^2 S_x C_x(x_c - x_{gh}) \sin\psi \quad (5)$$

The lift factor of the shaped stabilizer varies at different angles of attack of the incoming flow α . In the range of 3-10 degrees, formula (7) can be recommended for the evaluation of B_c [11, 12]

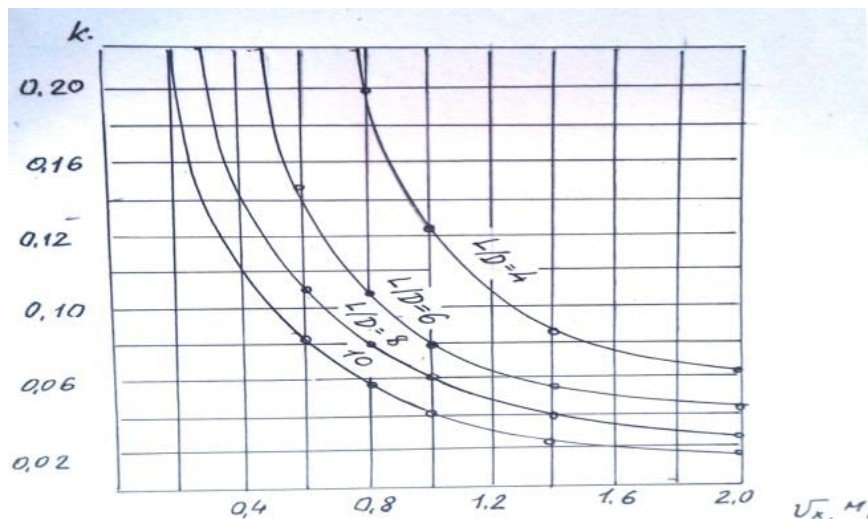


Рисунок 8. Зависимости коэффициента k_x от скорости аппарата и относительного удлинения L/D .

$$C_y = (1,1Re10^{-7} + \frac{6\alpha}{57,3} - 0,15);$$

As a result of working with formulas (5) and (6), you can plot relationship dependencies $S_{st}/(Sh) = k_x$ as a function of the speed and elongation of the vehicle. These graphs can be approximated by formula (8).

$$k_x = (0,015 \ 0,36D/VxL) \quad (8)$$

The k_x coefficient with a relative error of 7-10% allows to assign the area of stabilizing devices for the AUV in the range of speeds of 1-4 knots.

Conclusions

Analysis of experimental data of design variants of models and natural objects indicates that:

1. The greatest influence on the selection of the area of stabilizers is the speed of operation of the apparatus, to a lesser extent the external shape and the ratio of the main dimensions L/H or L/D .

2. Constraints (2) and (8) can be used to estimate the stability of the initial design stage, which, with an accuracy of 7-10%, allow to determine the required value of metacentric height or area of stabilizers at the early stages of the design.

3. As the size of the vehicle increases, the possibility of varying the position of the centres of gravity and magnitude expands.

4. For an AUV with a well-streamlined body shape, the area of stabilizing devices depends mainly

on speed and weakly on the relative distance of the body asymptotically approaching k_x to 2%.

List of References

1. Basin A.M., Stability Theory on Course and Turnability of Ships. L.: Gosteh theories, 1949 g.226 p. 110-114s.
2. Pantov E., Mahin N., Sherememetov B., Foundations of the Theory of Movement of Underwater Vehicles. L.: Shipbuilding, 1973. -211. page 45-54.
3. L. Greiner, Hydrodynamics and Energy of Underwater Vehicles, L.: Shipbuilding, 1978, 256 p. 26-38.6.
4. Devnin S.I., Aerodynamics of Bad Flowing Structures, Reference Manual. L.: Shipbuilding, 1983. 126 page 76 - 83.
5. Woitkunsy Y.I. Handbook on ship theory (in three volumes) L.: 1985 PDF/J Wu, Rus.768 pp. 389-394.
6. Droblenkov V.F., Yermolayev A.I., Moor N.P. et al. Ship Theory Handbook. Moscow, Voyzdlat, 1984 - 589 pp. 267-271.
7. Ageev M.D., Kasatkin B.A., Kiselev L.V. et al. Automatic underwater vehicles. - Leningrad: Shipbuilding, 1981, 234str, il.
8. Slizhevsky. N.B., Walking and controllability of underwater equipment. Tutorial. -Nikolayev: UGMTU 1998. -148c. p. il.
9. Vashedchenko A.N., Pyshnev S.N., Rodichev A.P. Some calculations in the design of underwater vehicles. Tutorial - Nikolayev, UGMTU, 1997, 66 c.23-38.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Maharramova T.A.

PhD student of the department of mathematics
Nakhchivan State University

THE OSCILLATION PROPERTY THE SOLUTIONS DEGENERATE NONLINEAR ELLIPTIC EQUATIONS.

Summary. We establish oscillation property the solutions of a degenerate non-divergence nonlinear elliptic equations. Keywords: nonlinear, elliptic, degenerate.

Аннотация. Установлены осцилляционные свойства решений вырожденных нелинейных эллиптических уравнений. Ключевые слова: нелинейный, эллиптический, вырожденный.

1.Introduction.

Let we is consider in some ball $B_{2r} \subset R^n$ with radius $2r, r \geq 1$, at centr is 0, a solution $u(x)$ in $C(\bar{B}_{2r}) \cap W_{loc}^{2,n}(B_{2r})$ of nonlinear elliptic equation of non-divergence type

$$\sum_{i,j=1}^n a_{ij}(x, u(x), Du(x)) D^2 u(x) + f(x, u, Du(x)) = 0, \quad (1)$$

for a. e. $x \in B_{2r}$. Here $a_{ij} = a_{ji}$, i. d. $A(x, y, p)$ set of symmetric matrices of size $m \times n$ and $\forall y \in R, \forall x, p, \xi \in R^n$ coefficients satisfying

$$\begin{cases} \Lambda^{-1} \lambda(p) \omega(x) |\xi|^2 \leq (\xi, A(x, y, p) \xi) \leq \Lambda \lambda(p) \omega(x) |\xi|^2 \\ f(x, y, p) \leq \frac{1}{k} \Lambda (1 + \lambda(p)) (1 + |p|) \end{cases} \quad (2)$$

For some $\Lambda \geq 1, k > 1$ and some continuous mapping $\lambda: R^n \rightarrow R_+$, for which there exist λ_0 and $M > 0$ such that $\lambda(z) \geq \lambda_0$ for $|z| \geq M$. $\omega(x)$ A_p -is Makenxoupt weight function (see [1]). Let $u: \bar{B}_{2r} \rightarrow R$ be a bounded and continuous solution of (1).

This type results for solution of divergence form equation De Giorgi and Nash ([2,3]) is obtained. In paper [4, 5] for non-divergence equations correspondingly results by Krylov and Safonov is obtained. Serrin [6] and Ladyzhenskaya, Uraltseva [7], De Giorgi and Nash estimates have been shown to hold

for quasilinear elliptic equations of divergence type is investigated.

The goal of this paper is to prove a similar result for degenerate quasilinear elliptic equations of non-divergence form. Our results new and expands to a non-divergence form as

$$\|Du\|^{p-2} \omega(x) \cdot \sum_{i,j=1}^n [I_n + (p-2)(|Du|^{-2} \cdot Du) D^2 u]$$

here I_n –is the identity matrix of size n .

Theorem. Let $A(x, y, p)$ and $f(x, y, p)$ be coefficients independent of y fulfilling (2) with respect to some $\Lambda \geq 1, \lambda: R^n \rightarrow [0,1], \lambda_0 \in [0,1]$ and $M > 0$. Let $u: \bar{B}_{2r} \rightarrow R$ be also a continuous solution of the equation (1). There exist two constants $\theta \in (0,1)$ and $C \geq 0$, only depending on n, λ, λ_0 and M , such that for any $\rho \in (0,1)$, for any hypercubes $\Omega_{\frac{\rho}{8}}$ and Ω_ρ of same center and radii $\frac{\rho}{8}$ and ρ , with $\Omega_{\frac{\rho}{8}} \subset \Omega_\rho \subset \Omega_{\frac{\rho}{2}}$

$$osc_{\Omega_{\frac{\rho}{8}}} u \leq \gamma osc_{\Omega_\rho} u + C_s r \left(1 + \sup_{\Omega_\rho} |u| \right), \quad (3)$$

where $osc_{\Omega_\rho} u = \sup_{\Omega_\rho} u - \inf_{\Omega_\rho} u$

Before we give some axillary result for proving Theorem.

Lemma. Let $\tau: R^n \rightarrow R^{n \times n}$ be a Lipschitz continuous mapping such that

$$\Lambda^{-1} \bar{\lambda}(x) \omega(x) |\xi|^2 \leq (\xi, a(x) \xi) \leq \Lambda \bar{\lambda}(x) \omega(x) |\xi|^2, \quad (4)$$

$a(x) = \tau \cdot \tau^*(x)$, for some $\Lambda \geq 1$ and some mapping $\bar{\lambda}: R^n \rightarrow [0,1]$. Let $(\Omega, F, (F_t)_{t \geq 0}, P)$ also denote a filtered probability space satisfying the usual

conditions endowed with an $(F_t)_{t \leq 0}$ Brownian motion $(W_t)_{t \geq 0}$, α be a positive real and Q_1 be some hypercube of R^n of radius 1.

Then for any $\mu \in (0,1)$, there exist some positive constants $\varepsilon(\mu), R(\mu)$ and $((\Gamma_p(\mu))_{1 \leq p < 2})$, only depending on d, α, Λ and $\mu, \rho \in (0,1)$ (and on $\bar{\lambda}$ in (4) and on Q_1), such that, for any $\rho \in (0,1)$ and $x_0 \in Q_{\rho/8}$, we can find an integrable n -dimensional $(F_t)_{t \geq 0}$ progressively measurable process $(b_t)_{t \geq 0}$ such that both $(b_t)_{t \geq 0}$ and the process X , solution to the SDE

$$X_t = x_0 + \int_0^t b_s ds + \int_0^t \sigma(X_t) X_s dB_s, t \geq 0$$

fulfill $\forall t \geq 0, \bar{\lambda}(X_t) \geq \alpha \Rightarrow b_t = 0 \forall p \in [1,2), E \int_0^{+\infty} |b_t|^p dt \leq \Gamma_p(\mu) \rho^{p-2}$ And, for any Borel subset $V \subset Q_s$

$$|Q_\rho \setminus V| \leq \mu |Q_\rho| \Rightarrow P \{T_V < (R(\mu) \rho^2) \cap S_{Q_\rho}\} \geq \varepsilon(\mu),$$

T_V being the fast hitting time of V $\vee S_{Q_\rho}$ the first exit time from Q_ρ by X ($|\cdot|$ Lebesgue measure).

This lemma is proved in [9].

Now, we prove Theorem.

Proof Theorem . We set $m_- = \inf_{\Omega_r} u$ and $m_+ = \sup_{\Omega_r} u$ Changing u into $-u$ if necessary, we can assume that

$\left\{x \in \Omega_r : u(x) \leq \frac{(m_+ + m_-)}{2}\right\} \geq \frac{1}{2} |\Omega_r|$. Let $u : \bar{B}_{2r} \rightarrow R$ be also a continuous solution of the equation (1). Setting $w = (\bar{u}^{\varepsilon+\delta})_\delta$ for $\delta > 0$ and $\varepsilon > 0$ and for some arbitrarily chosen bounded and uniformly continuous extension $\bar{u}$ of u to the whole R^n . Changing λ_ε into $\lambda_\varepsilon/4$, $\wedge$ into $4\wedge$ and λ_0 into $\lambda_0/4$, we can assume that λ_ε in $(0,1/2]$ valued. The, we can apply Lemma 1 to $A_\varepsilon(x) = 2A_\varepsilon(x, D_w(x))$. Indeed since $A_\varepsilon(x)$ is smooth and uniformly and D_w is Lipschitz continuous, the symmetric square root τ of A_ε is also

Lipschitz continuous: condition (4) in Lemma is then easily checked with $\bar{\lambda}(x) = 2\lambda_\varepsilon(D_w(x))$. Obviously, the hypercubes to which the theorem is applied are $\Omega_{\frac{\rho}{8}}$ and Ω_ρ and the initial condition x_0 is some arbitrary point in $\Omega_{\frac{\rho}{8}}$. Moreover, the parameters α and μ are respectively chosen equal to λ_0 and to $1/2$. The resulting processes are

denoted by $(b_t)_{t \geq 0}$ and $(x_t)_{t \geq 0}$ and the constants $R(\frac{1}{2})$ and $\lambda(\frac{1}{2})$ are denoted by R_0 and λ_0 . We then consider

$V = \left\{x \in \Omega_r : u(x) \leq \frac{(m_+ + m_-)}{2}\right\}$. Using the notations of Lemma 1, we also define τ as the stopping time

$T \wedge (R_0 \rho^2) \cap S_{\Omega_r}$. We wish to apply Itô-Krylov's formula to $(W(X_t))_{t \geq 0}$. The point is that W is not in $C^2(R^n)$ but in $C^{1,1}(R^n)$. Since the diffusion matrix of X is uniformly elliptic, we have in mind to apply the Itô-Krylov formula that holds for functions with Sobolev derivatives. There is then another problem: it requires the drift $(b_t)_{t \geq 0}$ to be bounded. We thus define, for any $d \geq 1$, the Itô process

$$X_t^d = x_0 + \int_0^t w(x) \tau(X_s) dW_s + \int_0^t b_s 1_{\{|b_s| \leq d\}} ds.$$

Since $(b_t)_{t \geq 0}$ belongs to $L_1(\Omega \times R_+)$, it is clear that $E[\sup_{t \geq 0} |X_t^0 - X_t|]$ tends

to 0 with d . Expanding $(W(X_t^n))_{t \geq 0}$ and taking the expectation (τ is bounded):

$$w(x_0) = E(w(X_\tau^n)) - E \int_0^\tau \left[\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (A_\varepsilon(X_s))^2 Dw(X_s^d) + (b_s, Dw(X_s^d)) \right] 1_{\{|b_s| \leq d\}} ds.$$

Since w is a subsolution of the regularized version of (1)

$$-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (A_\varepsilon(X_s))^2 Dw(X_s^d) \leq -f(X_s^d + \varepsilon Dw(X_s^d), Dw(X_s^d)) + 2(\Lambda \omega(x) + M).$$

thence

$$W(x_0) \leq E[W(X_\tau^d)] + E \int_0^\tau (3\omega \Lambda + 2M + \Lambda \omega(x) |Dw(X_s^d)| - (b_s, Dw(X_s^d)) \cdot 1_{\{|b_s| \leq d\}} + K_\varepsilon |X_s^d - X_s|) ds \quad (4)$$

where K_ε is a constant depending on the Lipschitz constant of A_ε and on the bound of $D^2 W$. It is then plain to let $d \rightarrow +\infty$ in (4). The only problem is to

get an estimate for the integral of $Dw(X_s^d) Dw(X_s^d)$. Setting $\lambda = w - \inf w$, it is easily checked that λ^2 satisfies in B_2

$$-\sum_{i=1}^n \left(a_i(y, D_i w(y)) D_i^2(w^2)(y) \right) + 2 < a_i(y, Dw(y))(y, Dw(y), Dw(y)) < \\ < 2w(y)f(y + Dw(y), Dw(y)) \leq 4w(y)(\Lambda w(x) + \mu)$$

for a.e. $y \in B_{\frac{3}{2}}$. Repeating the proof (4) and letting tend $t_0 \rightarrow +\infty$, we obtain is proved.

The result is now clear: with probability greater than or equal to λ_0 , X_τ is in V so that $u(X_\tau) \leq \frac{(m_+ + m_-)}{2}$; when X_τ is not in V , $u(X_\tau) \leq m_+$. Thus, $u(x_0) \leq \lambda_0 \frac{(m_+ + m_-)}{2} + \left(1 - \frac{\lambda_0}{2}\right) (m_+ + m_-) + C_\rho \left(1 + \sup_{Q_\rho} |u|\right)$. Finally,

$$u(x_0) - m_- \leq \left(1 - \frac{\lambda_0}{2}\right) (m_+ + m_-) + C_\rho \left(1 + \sup_{Q_\rho} |u|\right).$$

This is true for any $x_0 \in Q_{\frac{\rho}{8}}$ so that

$$\operatorname{osc}_{Q_{\frac{\rho}{8}}} u \leq \left(1 - \frac{\lambda_0}{2}\right) \operatorname{osc}_{Q_\rho} u + C_\rho r \left(1 + \sup_{Q_\rho} |u|\right)$$

Theorem is proved.

References.

1. Canillo S., Weeden R. Weighted poincare and Sobolev inequalities. Nonlinear Analysis, 107, pp.1151-1226.
2. De Giorgi E. Sulla differenziabilita e l analiticita delle estremali degli integrali multipli regolari. Mem. Accad. Sci. Torino Cl. Sci. Fis. mat. Natur. 3(1957), pp.25-43.
3. Nash J. Continuity of solutions of parabolic and elliptic equations. Amer. J. Math. 80 (1958). 931-954.
4. Krylov N., Safonov M. An estimate for the probability of a diffusion process hitting a set of positive measure. Dokl. Akad. Nauk SSSR. 245(1979), 18-20.
5. Krylov N., Safonov M. A property of the solutions of parabolic equations with measurable

coefficients. Izv. Akad. nauk SSSR. Ser. Mat. 44(1980), 161-175.

6. Serrin J. Local behavior of solutions of quasilinear equations. Acta Math. 111 (1964), 247-302.

7. Ladyzhenskaya O., Ural'tseva N., Solonnikov V. Linear and quasilinear equations of parabolic type. Amer. Math. Society, providence, R.I. 1967.

8. Gilbarg P., Trudinger N. Elliptic partial differential equations of second order. Springer-Verlag, Berlin. 1983.

9. T. Gadjiev, T. Maharramova, Holder estimates for the solutions of degenerate nonlinear elliptic equations of non-divergence type. Visnyk of the Lviv University. Series Appl. Math. and Informatics. Issue 25. 2017, p. 64-67.

УДК 510

Геворкян Грант Араратович

Научный сотрудник Института механики НАН РА, к.т.н,
Ереван – 19, пр. Маршала Баграмяна 24Б, Институт Механики,
Тел. (374 10) 390 301 (дом.), (374 96) 390 315 (моб.)

ОБ ОДНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ТРИГОНОМЕТРИИ

Gevorgyan Hrant Ararat

Researcher at the Institute of mechanics
of the National Academy of sciences of the Republic of Armenia
Yerevan – 19, ave. Marshal Baghramyan 24B, Institute of Mechanics,
Phones: (374 10) 390 301 (home), (374 96) 390 315 (mob.)

Аннотация. В предлагаемой статье приводится самобытная формулировка параболических тригонометрических функций, а также, исходя непосредственно из алгебро-геометрических предпосылок, обсуждаются их основные свойства и особенности.

Abstract. In the present paper an original formulation of parabolic trigonometric functions are brought, and also, proceeding directly from algebraic-geometric premises, their basic properties and particularities are discussed.

Մույն հոդվածում տրված է պարաբոլիկ եռանկյունաչափական ֆունկցիաների յուրահատուկ ձևակերպում, ինչպես նաև, ելնելով անմիջականորեն երկրաչափական նախադրյալներից, քննարկվում են դրանց հիմնական հատկություններն ու առանձնահատկությունները:

Ключевые слова: парабола, гипербола, окружность, эллипс, тригонометрия.

Keywords: parabola, hyperbola, circle, ellipse, trigonometry.

1. Введение. Нынче, в эпоху перенасыщенности теоретических знаний, черпаемых главным образом из математики, актуальные исследования в области геометрии, казалось бы, далеко переступили за пределы евклидовой геометрии. Однако выясняется, что в пределах евклидовой геометрии по сей день остаются немаловажные вопросы, требующие серьезного внимания и надлежащего осмысления.

Как известно, современные обозначения синуса и косинуса знаками $\sin$ и $\cos$ были впервые введены И. Бернулли в письме к Л. Эйлеру. Последний пришел к выводу, что эти обозначения весьма удобны, и стал употреблять их в своих работах. Впоследствии Эйлер ввел сокращенные обозначения других тригонометрических функций.

Первое появление гиперболических функций историки обнаружили в трудах английского математика А. Муавра, датированных 1707 годом. Современное определение и обстоятельное их исследование выполнил, исходя из рассмотрения единичной гиперболы, В. Риккати в 1757 г. в труде «Opusculorum»; он же и предложил их обозначения: Sh и Ch . Независимое открытие и дальнейшее исследование свойств гиперболических функций было проведено И. Ламбертом в 1768 г., который установил широкий параллелизм формул обычной и гиперболической тригонометрии.

Современная наука не может довольствоваться арсеналом математики, приобретенным несколько веков назад, а порывается все дальше. Поскольку парабола и эллипс являются коническими сечениями так же, как и окружность и гипербола, то поему бы не существовать наряду с циркулярной и гиперболической также и параболической и эллиптической тригонометриями? В интернет помещен неопубликованный научный ресурс, озаглавленный «Параболо-тригонометрические функции» («The Parabolic-Trigonometric Functions»), авторами которого являются Даттоли Дж., Мильяроти М., Кваттромини М. и Рикки П.Е., что служит наглядным свидетельством проводимых исследований в этом направлении. В предлагаемой статье предпринимается попытка пролить некоторый свет на эту первую часть

вышеуказанной проблематики, а именно – на вопрос о существовании параболической тригонометрии.

2. Основные положения циркулярной и гиперболической тригонометрий. Известно, что традиционные тригонометрические функции синуса и косинуса выражают фундаментальную связь между углами произвольного прямоугольного треугольника посредством *основного тригонометрического тождества*:

$$\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1, \quad (1)$$

являющегося непосредственным следствием *теоремы Пифагора*, а также определений основных тригонометрических функций, т.е. $\cos \alpha = \frac{a}{c}$ и $\sin \alpha = \frac{b}{c}$ (рис. 1, а). Отсюда и происхождение названия первичных тригонометрических функций, которые здесь и далее будем именовать *циркулярными тригонометрическими функциями*.

Теперь переходим к рассмотрению основного тождества, связывающего гиперболические функции косинуса и синуса:

$$\cosh^2 \alpha - \sinh^2 \alpha = 1, \quad (2)$$

откуда нетрудно заключить, что тождество (2) выражает не что иное, как перифраз основного тригонометрического тождества (1) для случая мнимых углов треугольника (рис. 1, б). В самом деле, с учетом основоположной гипотезы $i^2 = -1$, будем иметь:

$$\begin{aligned} \cos^2(i\beta) + \sin^2(i\beta) &= \cosh^2 \beta + i^2 \sinh^2 \beta \\ &= \cosh^2 \beta - \sinh^2 \beta = 1. \end{aligned}$$

С другой стороны, прямоугольный треугольник с мнимыми углами должен быть в то же время и с комплексными длинами сторон; действительно, как видно из рис. 1, (б), тогда имеют место следующие преобразования:

$$\left(\frac{a + ia'}{c + ic'} \right)^2 + \left(\frac{b + ib'}{c + ic'} \right)^2 = \left(\frac{(a + ia')(c - ic')}{c^2 + c'^2} \right)^2 + \left(\frac{(b + ib')(c - ic')}{c^2 + c'^2} \right)^2 = 1.$$

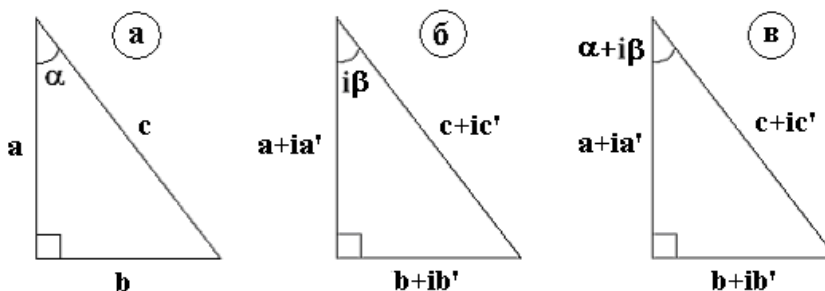


Рис. 1. Схема перехода от циркулярной тригонометрии к гиперболической

Сравнивая треугольники на рис. 1, (а и б), приходим к недоумению: почему длины сторон обобщенного прямоугольного треугольника комплексные, а углы – только мнимые? В самом деле, если обобщенный прямоугольный

треугольник – это треугольник с комплексными длинами сторон, то он и углами должен располагать комплексными (рис. 1, в). Но как в таком случае будет удовлетворяться основное гиперболическое тождество (2)? Имеем

$$\begin{cases} \cos(\alpha + i\beta) = \cos\alpha \cos(i\beta) - \sin\alpha \sin(i\beta) = \cos\alpha \operatorname{ch}\beta - i\sin\alpha \operatorname{sh}\beta; \\ \sin(\alpha + i\beta) = \sin\alpha \cos(i\beta) + \cos\alpha \sin(i\beta) = \sin\alpha \operatorname{ch}\beta + i\cos\alpha \operatorname{sh}\beta, \end{cases}$$

откуда заключаем:

$$\begin{aligned} \cos^2(\alpha + i\beta) + \sin^2(\alpha + i\beta) &= (\cos\alpha \operatorname{ch}\beta - i\sin\alpha \operatorname{sh}\beta)^2 + (\sin\alpha \operatorname{ch}\beta + i\cos\alpha \operatorname{sh}\beta)^2 = \\ &= \operatorname{ch}^2\beta (\cos^2\alpha + \sin^2\alpha) - \operatorname{sh}^2\beta (\cos^2\alpha + \sin^2\alpha) = \operatorname{ch}^2\beta - \operatorname{sh}^2\beta = 1, \end{aligned}$$

что в точности совпадает с основным гиперболическим тождеством (2), расписанным по отношению к мнимой части β угла $\alpha + i\beta$. Отсюда напрашивается вывод: в комплексных углах обобщенного треугольника действительная часть α является как бы «спящей», покамест его мнимая часть β отлична от нуля, т.е. $\beta \neq 0$; когда же $\beta = 0$, то и $a' = b' = c' = 0$, вследствие чего обобщенный прямоугольный треугольник вырождается в обыкновенный прямоугольный треугольник с действительными сторонами и с углом при вершине, равным «проснувшейся» действительной части α комплексного угла $\alpha + i\beta$.

В то же время становится очевидным, что комплексная модель прямоугольного треугольника никоим образом не противоречит V аксиоме Евклида о параллельных прямых: как следует из вышеизложенного, прямоугольный треугольник с мнимыми углами и комплексными сторонами оказывается как бы «наложенным» на прямоугольный треугольник с действительными углами и сторонами на одном и том же плоском двумерном евклидовом пространстве, причем сумма углов этих треугольников как в первом, так и во втором случае равна 180° (рис. 2).

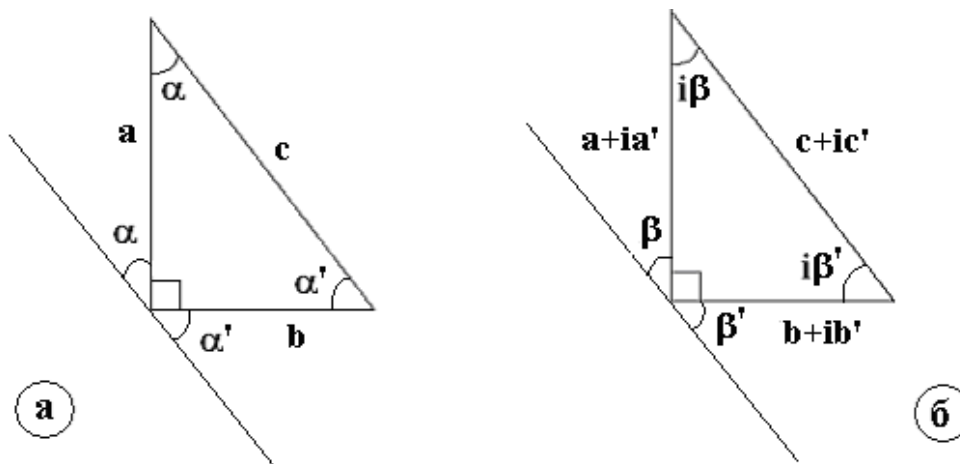


Рис. 2. Иллюстрация аксиомы Евклида о параллельных прямых

В силу удачно проведенного выше обобщения прямоугольного треугольника с действительными сторонами и углами на случай прямоугольного треугольника с комплексными сторонами и мнимыми углами возникает резонный вопрос, не являются ли гиперболические функции естественными обобщениями циркулярных тригонометрических функций? Главным аргументом в пользу этого предположения выступает то обстоятельство, что при $a' = b' = c' = 0$ комплексный прямоугольный треугольник вырождается в действительный! Однако, тем не менее, алгебра не может дать исчерпывающего ответа на этот вопрос.

3. Геометрическая интерпретация циркулярных и гиперболических тригонометрических функций. Всем хорошо известно, что циркулярные тригонометрические функции берут начало от канонического уравнения окружности (рис. 3, а):

$$x^2 + y^2 = a^2, \quad (3)$$

откуда после почленного деления на величину радиуса a сводится к уравнению (1).

Как известно [1], каноническое уравнение равносторонней гиперболы записывается в следующем виде:

$$x^2 - y^2 = a^2. \quad (4)$$

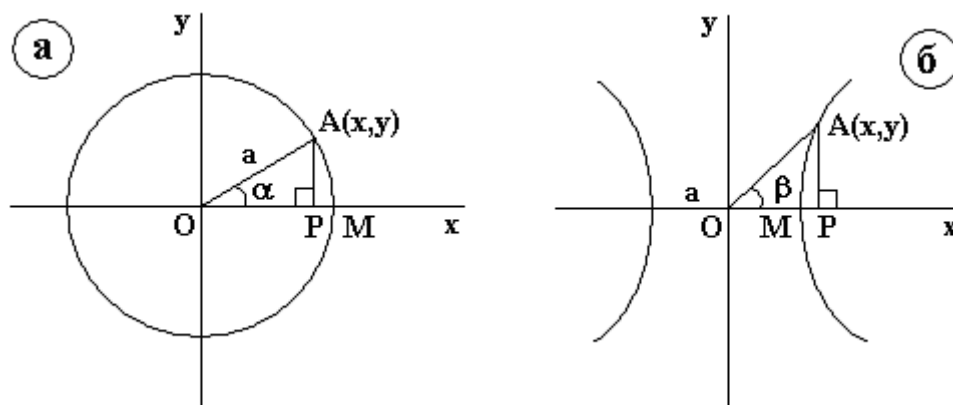


Рис. 3. Геометрическая интерпретация циркулярных и гиперболических функций

Выражения для гиперболических тригонометрических функций Ch и Sh можно получить путем представления площади криволинейного треугольника $\tilde{\Delta}AMO$ через координаты текущей точки $A(x, y)$ (рис. 3, б) [2]. Имеем

$$S_{AMP} = \int_a^x \sqrt{x^2 - a^2} dx = \frac{1}{2}xy - \frac{1}{2}a^2 \ln \frac{x + \sqrt{x^2 - a^2}}{a},$$

далее

$$S_{AMO} = \frac{1}{2}xy - S_{AMP} = \frac{1}{2}a^2 \ln \frac{x + \sqrt{x^2 - a^2}}{a} = \frac{1}{2}a^2 \ln \frac{x + y}{a}.$$

В итоге, после несложных преобразований, получаем:

$$\begin{cases} \frac{x}{a} = \frac{e^{S/a^2} + e^{-S/a^2}}{2} = \frac{e^{\beta} + e^{-\beta}}{2} = Ch\beta; & (5) \\ \frac{y}{a} = \frac{e^{S/a^2} - e^{-S/a^2}}{2} = \frac{e^{\beta} - e^{-\beta}}{2} = Sh\beta, & (6) \end{cases}$$

где S – удвоенная площадь $\tilde{\Delta}AMO$, т.е. $S = 2S_{AMO}$.

Вследствие вышеприведенных формулировок (5) – (6) получает определенность основное гиперболическое тригонометрическое тождество:

$$Cp^2(\beta) - Sp^2(\beta) = 1. \quad (7)$$

4. Формулировка параболических тригонометрических функций. Каноническое уравнение [1] параболы с вершиной в точке $M(a, 0)$ (рис. 4) записывается в виде:

$$y^2 = 2p(x - a). \quad (8)$$

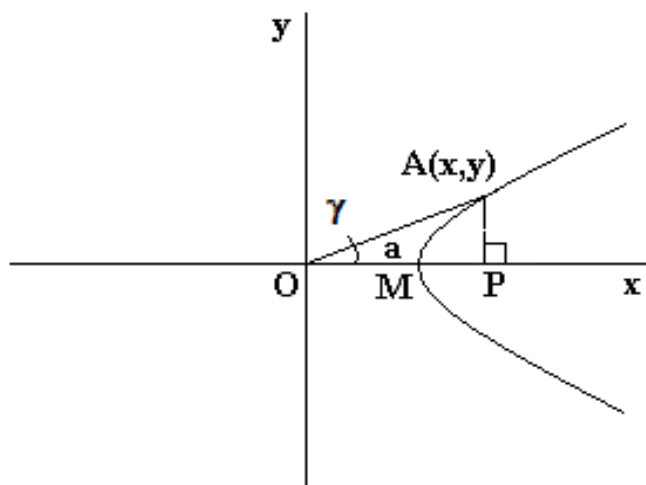


Рис. 4. Геометрическая интерпретация параболических функций

Как и в рассмотренном выше случае, выражения для параболических тригонометрических функций Cp и Sp можно получить путем представления площади криволинейного

треугольника $\tilde{\Delta}AM_0$ через координаты текущей точки $A(x, y)$ (рис. 4). Имеем

$$S_{AMP} = \int_a^x \sqrt{2p(x-a)} dx = \frac{2}{3} (x-a) \sqrt{2p(x-a)} = \frac{2}{3} (x-a)y,$$

откуда

$$S_{AMO} = \frac{1}{2} xy - S_{AMP} = -\frac{1}{6} xy + \frac{2}{3} ay = -\frac{1}{12p} y^3 + \frac{1}{2} ay.$$

Полагая, как и раньше, $S = 2S_{AMO} = a^2\gamma$, где γ – угол, выраженный в радианах, а также нормируя параметр p уравнения (8) равенством $p = a/2$,

приходим к следующему кубическому уравнению относительно координаты y текущей точки $M(x, y)$ (рис. 4):

$$-\frac{1}{6a^2p} y^3 + \frac{1}{a} y = \gamma, \quad \text{или} \quad -\frac{1}{3a^3} y^3 + \frac{1}{a} y = \gamma,$$

а следовательно, и относительно функции параболического синуса $Sp(\alpha) = y/a$, т.е.

$$Sp^3(\gamma) - 3Sp(\gamma) + 3\gamma = 0. \quad (9)$$

Поскольку пересечение прямой с параболой возможно более чем в одной точке, то искомое значение параболического синуса должно естественным образом ассоциироваться с первым из возможных пересечений. Вообще же говоря, искомый корень кубического уравнения (9) должен определяться из совокупности т.н. «неприводимого случая» формулы Кардано, при котором имеют место три различных и действительных корня, т.к. в окрестности точки $M(a, 0)$ дискриминант кубического уравнения (8) $D < 0$ [3]. Получаем

$$\begin{cases} Sp_1(\gamma) = \xi + \frac{1}{\xi}; \\ Sp_2(\gamma) = \varepsilon \left(\xi + \frac{1}{\xi} \varepsilon \right); \\ Sp_3(\gamma) = \varepsilon \left(\xi \varepsilon + \frac{1}{\xi} \right), \end{cases} \quad (10)$$

где $\varepsilon = \frac{1}{2}(-1 + i\sqrt{3})$, а ξ – один из кубических корней в формуле Кардано.

Вследствие определения функции параболического синуса $Sp(\gamma)$ может быть без труда вычислена и функция параболического косинуса $Cp(\gamma)$ из следующего основного параболо-тригонометрического тождества:

$$Cp(\gamma) - Sp^2(\gamma) = 1. \quad (11)$$

Нетрудно заметить из рис. 3, что область определения параболо-тригонометрических функций косинуса и синуса значительно уступает области определения соответствующих гиперболических функций. Так, для осуществленной выше нормировки посредством равенства $p = a/2$ эта область определения харак-

теризуется углом обхвата параболы касательными с угловыми коэффициентами, равными $k_{1,2} = \pm \arctg 0.5 \approx \pm 27^\circ$.

Как непосредственно следует из уравнения (9), все корни кубического уравнения (10) являются по определению алгебраическими числами. Из этого следует, что все значения функций параболического синуса выражаются алгебраическими числами. Легко заметить из уравнения (11), что функция параболического косинуса также принимает значения исключительно в алгебраических числах.

5. Упразднение трансцендентных чисел. В силу вышеизложенного представляется возможным исключить трансцендентные числа из множества действительных чисел R . Положим, что переменная β принимает строго трансцендентные значения. Путем введения трансцендентной единицы t , например, следующим образом:

$$t = \frac{\pi}{3.141592654}, \quad (12)$$

где 3.141592654 в (12) – алгебраическое число, преобразуем формулу Эйлера

$$e^{i\beta} = \cos \beta + i \sin \beta, \quad (13)$$

которая с учетом обозначения $\beta = t\gamma$ приводится к виду

$$a^{i\gamma} = \cos \beta + i \sin \beta = \cos(t\gamma) + i \sin(t\gamma), \quad (14)$$

где a и γ – алгебраические числа, β – трансцендентное число, а t и i – трансцендентная и мнимая единицы.

В самом деле, на основании теоремы Линдемана о степенной функции степень $e^\beta = e^{t\gamma}$ выражается алгебраическими числами, а значит, выражается в алгебраических числах также и степень e^t . Далее легко доказывается, что при всех трансцендентных значениях аргумента в формулах

(13) и (14) функции $\sin$ и $\cos$ принимают исключительно алгебраические значения: для этого достаточно принять в формуле (14) $\beta = -\beta$, а затем полученный результат почленно прибавить к формуле (14).

Теперь, возвращаясь к проведенному во втором пункте обобщению прямоугольного треугольника с действительными сторонами и углами на случай прямоугольного треугольника с комплексными сторонами и мнимыми углами в контексте с гиперболической тригонометрией, убеждаемся, что указанное обобщение одинаковым образом остается в силе и в связи с параболической тригонометрией, в которой, однако, уже не остается места для трансцендентных чисел, а мнимая единица i уступает место *транс-мнимой единице*, определяемой следующим образом:

$$i_t = ti. \quad (15)$$

6. Заключение. Поскольку гиперболические тригонометрические функции могут принимать как алгебраические, так и трансцендентные значения, приходим к заключению, что математический интерес выдвинутой параболической тригономет-

рии сводится к своего рода «фильтрации» алгебраических чисел. В связи с этим напрашивается чрезвычайно важный для всей математики в целом вопрос о состоятельности иррациональных алгебраических и трансцендентных чисел вообще и о сомнительности их, казалось бы, неизбежной роли в составе континуума.

Литература

[1] Привалов И.И. Аналитическая геометрия. – М.: Наука. Физматлит, 1966. – 272 с.

[2] Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – М.: Наука, 1977. – 874 с.

[3] Cardano G. Ars magna or the rules of algebra. Translated in English, 1545. – 291 p.

Автор выражает признательность профессорам Белубекину М.В., Казаряну К.Б. и Аветисяну А.С. за ценные замечания

Автор выражает признательность рецензенту статьи Геворкяну Л.З. за профессионально проведенную рецензию

Материал поступил в редакцию 1 декабря 2017 г.

#12 (52), 2019 część 6
Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe
(Warszawa, Polska)
Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce. W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Peter Clarkwood (University College London)

#12 (52), 2019 part 6
East European Scientific Journal
(Warsaw, Poland)
The journal is registered and published in Poland. The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Peter Clarkwood (University College London)

Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)
Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)
Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)
Kehan Schreiner(Hebrew University)
Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)
Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)
Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)
Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)
Redaktor naczelny - Adam Barczuk

1000 kopii.

Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warszawa, Polska»

Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe

Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warszawa, Polska

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)
Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)
Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)
Kehan Schreiner(Hebrew University)
Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)
Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)
Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)
Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)
Editor in chief - Adam Barczuk

1000 copies.

Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland»

East European Scientific Journal

Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com>