ТОЧНАЯ НАУКА

естественнонаучный журнал

XX Международная научная конференция "Техноконгресс"

Международная заочная естественнонаучная конференция с публикацией в РИНЦ

t-nauka.ru

Кемерово 2018

СБОРНИК СТАТЕЙ ДВАДЦАТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ТЕХНОКОНГРЕСС»

22 января 2018 г.

ББК Ч 214(2Рос-4Ке)73я431

ISBN 978-5-9500488-8-3

Кемерово УДК 378.001. Сборник статей студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава. По результатам XX Международной научной конференции «Техноконгресс», 22 января 2018 г. www.t-nauka.ru / Редкол.:

Никитин Павел Игоревич - главный редактор, ответственный за выпуск журнала.

Баянов Игорь Вадимович - математик, специалист по построению информационно-аналитических систем, ответственный за первичную модерацию, редактирование и рецензирование статей.

Артемасов Валерий Валерьевич - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей.

Зимина Мария Игоревна - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей.

Нормирзаев Абдукаюм Рахимбердиеви - кандидат технических наук, Наманганский инжинерно-строительный институт (НамМПИ)

Безуглов Александр Михайлович - доктор технических наук, профессор кафедры математики и математического моделирования, Южно-российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И .Платова,

Наджарян Микаел Товмасович - кандидат технических наук, доцент, Национальный политехнический университет Армении.

Шушлебин Игорь Михайлович - кандидат физико-математических наук, кафедра физики твёрдого тела Воронежского государственного технического университета.

Равшанов Дилшод Чоршанбиевич - кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технология, машины и оборудования полиграфического производства», Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими.

Крутякова Маргарита Викторовна – доцент кандидат технических наук, Московский политехнический университет.

Гладков Роман Викторович - кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации вооружения и военной техники Рязанского гвардейского высшего воздушно-десантного командного училища

А.О. Сергеева (ответственный администратор)[и др.];

Кемерово 2018

В сборнике представлены материалы докладов по результатам научной конференции.

Цель – привлечение студентов к научной деятельности, формирование навыков выполнения научно-исследовательских работ, развитие инициативы в учебе и будущей деятельности в условиях рыночной экономики.

Для студентов, молодых ученых и преподавателей вузов.

Издательский дом «Плутон» www.idpluton.ru e-mail: admin@idpluton.ru
Подписано в печать 22.01.2018 г.
Формат 14,8×21 1/4. | Усл. печ. л. 3.2. | Тираж 300.

Все статьи проходят рецензирование (экспертную оценку).
Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых статей.
Авторы статей несут полную ответственность за содержание статей и за сам факт их публикации.
Редакция не несет ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи.
При использовании и заимствовании материалов ссылка обязательна.

Оглавление

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН СНИЖЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ СИГОВЫХ РЫБ НА ЯМАЛЕ..3
Антропов Д.А., Набиуллина Ф.З.

2. ВАРИАЦИИ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ CODESYS.....8
Татинцян А.А., Моногаров С.И.

3. СПОСОБЫ ПЕЧАТИ НА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ.....13
Равшанов Д.Ч., Баюлюк Е.Б.

4. СВЯЗЬ УДАРНЫХ ВОЛН С СОЛНЕЧНЫМИ ВСПЫШКАМИ.....16
Фисенко М.И.

5. СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ ТИОМОЧЕВИНЫ И ИХ ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ.....21
Балтабаев У.А., Сокижонов И.С.

6. САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ КАРТЫ КОХОНЕНА КАК НЕЛИНЕЙНЫЙ МЕТОД ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ……24
Пересунько П. В., Сорока Е. О., Харитонов А. Ю.

7. КЛАССИФИКАЦИЯ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ НА ОСНОВЕ РЕЛЕВАНТНОСТИ ЗАДАЧЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБТЕКАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ВЯЗКОЙ СЖИМАЕМОЙ СРЕДЕ……30
Степанов К.А.

Статьи XX Международной научной конференции «Техноконгресс»

Антропов Данил Андреевич
Antropov Danil Andreevich
группа ОНГС -16

Набиуллина Флорида Загидулловна
Nabiullina Florida Zagidullovna
Научный руководитель
преподаватель экологии Государственного
бюджетного профессионального образовательного учреждения
«Тарко-Салинский профессиональный колледж» ЯНАО г. Тарко-Сале
E-mail: florida.nabiullina@mail.ru

УДК 504.75

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН СНИЖЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ СИГОВЫХ РЫБ НА ЯМАЛЕ

STUDY ON THE CAUSES DECREASE IN THE POPULATION WHITEFISH ON THE YAMAL

Аннотация:В работе отмечено, что численность большинства рыб в водных объектах Ямала имеет тендецию к снижению. Выявлены факторы снижения рыб: природные и антропогенные. Отмечено, что существенными антропогенными факторами являются: промышленное освоение Севера, незаконный вылов промышленных запасов сиговых и т.д. Отмечены и положительные результаты в решении проблемы. Автор делает выводы, что только комплексное решение выявленных проблем, приведет к восстановлению ценных промысловых рыб.

Annotation: In the work of the noted that the strength of most of the fish in water objects Yamal has conveyed to decrease. Factors reducing fish identified: natural and anthropogenic. It was noted that significant anthropogenic factors, which cause great damage to fisheries resources are: the industrial development of the North, the illegal catch of industrial stocks of whitefish, etc. Marked and positive results in addressing the problem. The author concludes that only a comprehensive solution to the problems identified, will lead to the restoration of valuable commercial fish.

Ключевые слова: экология, популяция, сиговые, водный бассейн, замор, маловодье, нефтегазовый комплекс, браконьерство.

Keywords : ecology, population, whitefish, water basin, fish kills, shortage of water, oil and gas complex, poaching.

Введение

«Экология стала самым громким
словом на Земле, громче войны и стихии»
(В. Распутин)

Ситуация с охраной окружающей среды в стране остается тревожной. Поэтому, 2017-й год объявлен в России Годом экологии, одной из главных задач Года экологии является сохранение биологического разнообразия. В связи с этим, я решил изучить состояние биологического разнообразия своего края. Исследования показывают, что ввиду интенсивного промышленного освоения Ямала, в водных обьектах снижается численность большинства ценных промысловых видов рыб, особенно сиговых. Сиговые рыбы на долю являются наиболее чувствительными к изменениям среды обитания. В связи с этим, я решил провести исследование по изучению сиговых рыб и посвятить Году экологии.

Цель исследования: изучить состояние рыбных ресурсов Ямала и выяснить - какие причины влияют на снижение численности, какие меры необходимо принять для сохранения популяции сиговых рыб. Достижение цели стало возможным через решение следующих **задач:**

- провести анализ научной литературы по выявлению причин снижения численности рыб
- влияние природных и антропогенных факторов
- обоснование причин снижения численности промысловых рыб в Пуровском районе
- меры по охране и рациональному использованию рыбных ресурсов на Ямале

Объект исследования: сиговые рыбы Ямала

Предмет: отражение причин на снижение численности сиговых рыб

Научная новизна: своевременность и важность научного исследования проблемы сегодня, так как завтра может быть поздно.

Практическая значимость: проведенное исследование позволило определить степень воздействия различных причин на сиговых рыб, на основании которой даны комплексные рекомендации по дальнейшей охране.

Гипотеза исследования: если своевременно принять комплексные меры, то можно восстановить численность ценных промысловых рыб на Ямале.

Методы исследования: работа с источниками, документами, атласом ЯНАО; экскурсии в природоохранные ведомства и организации: МКУ "Управление агропромышленного комплекса Пуровского района"; Управление природно-ресурсного регулирования Администрации Пуровского района; совхоз Верхне-Пуровский; ООО «Пур-рыба» и встреча с руководителями и сотрудниками; наблюдение; проведение фото- и видеосъемок.

Основная часть

I. Сиговые рыбы, характеристика, значение. Почему сиговых много на Ямале?

Ямал - территория богатая рыбными ресурсами. Большая часть рыб относится к ценным промысловым видам рыб из семейства сиговых. Сосредоточены они в Обь-Иртышском бассейне. Всего на территории Ямало - Ненецкого округа в водных объектах обитают до 38 видов рыб, из них в ценное промысловое значение имеют более 30 видов рыб. Сиговые являются полупроходными рыбами, то есть адаптация рыб к условиям обитания в водоемах складываются из миграций (нагульных, нерестовых и зимовальных), направленных на поиск оптимальных условий реализации жизненного цикла, в т.ч. в период острого дефицита растворенного в воде кислорода в зимний период. Ежегодно после или до ледохода сиговые стаями плывут вверх по реке, некоторые проникают в нижние притоки, остальные плывут в верхнюю часть бассейна. К концу лета достигают мест кладки икры, и размножаясь, возвращаются на зимние места. Этот путь - туда и обратно может составить до 7000 километров.

Мне всегда было интересно узнать, почему на Ямале больше сиговых? Во-первых, это связано, с тем, что в Обь-Иртышском бассейне имеются оптимальные условия и к нагулу, и к размножению. Нагул сигов должен формироваться в богатой органическими веществами водоемах, а для нереста необходима чистая вода. Во-вторых, места нагула и нереста разделены огромными пространствами и условия в них резко различные, что позволяет удовлетворить требования рыб и в период нагула, и в период нереста. Поэтому, в Обь-Иртышском водном бассейне много сиговых рыб.

Характеристика промысловых рыб Обь-Иртышского бассейна.

Запасы рыб Обь-Иртышского бассейна по промысловой ценности и рациональному использованию можно разделить на 3 группы: первая - стерлядь, муксун, нельма, чир, тугун, запасы которых находятся в напряженном состоянии, задача - восстановление запаса. Вторая группа - пелядь (сырок), сиг-пыжьян, омуль – запасы в удовлетворительном состоянии, задача - интенсивное использование. Третья группа - запасы находятся в хорошем состоянии, численность превышает оптимальную; задача промышленного рыболовства - сокращение запаса. (Богданов, 1999). Осетр сибирский и таймень занесены в Красную Книгу Тюменской области, ЯНАО, ХМАО. Решается вопрос о занесении в Красную Книгу муксуна. Сиговые рыбы обладают высокой пищевой и биологическойценностью, широко применяются и в повседневном рационе, и диетическом питании. Высокое содержание в рыбе протеина, жира, минеральных веществ делают ее незаменимым продуктом. Нежное и вкусное мясо сиговых рыб очень ценится и идет в пищу как свежим, так соленым и копченым. Необходимо отметить, что рыба составляет основу для

формирования и выживания коренных малочисленных народов Севера. Последние 30 лет наблюдается снижение численности ценных сиговых рыб. Я решил исследовать, каковы причины снижения?

II. Причины снижения численности сиговых

I. Природные факторы.

Изучив различные документы рыбодобывающих предприятий, я сделал выводы, что одной из причин снижения численности сиговых может являться низкий уровень воды в Обь-Иртышском бассейне. Исследования показали, с 2009 по 2012 год наблюдался длительный период пониженной водности, при этом в 2012 году наблюдался аномально низкий уровень воды и короткий срок залития поймы паводковыми водами. Это отрицательно повлияло на длительность нагула рыб, снижению выживаемости личинок, малым приростом массы рыб, плодовитости. Пониженная водность в этот период особенно отразилась на популяцию муксуна.

В 2011-2012 годах после аномально маловодного лета наблюдался замор рыб, который также повлиял на снижение численности рыб. Замор рыб происходит. Таким образом, пониженная водность отрицательно влияет на основные биологические показатели рыб: численности и массе. Заморные явления вызывают гибель рыб из-за нехватки кислорода.

2. Антропогенные факторы.

Ямало-Ненецкий автономный округ располагает уникальными запасами сырья. Здесь разведано более двухсот месторождений, где осуществляется добыча, переработка, транспортировка углеводородного сырья. Сегодня регион обеспечивает не только себя, но и Европу. По наличию запасов углеводородного сырья нет равных Ямалу.

Но вместе с тем, от воздействия нефтегазового комплекса зависит экологическая ситуация в Обь-Иртышском бассейне. В частности, трассы нефтегазопроводов проходят в местах обитания рыб, что приводит к загрязнению водоемов нефтепродуктами; нарушается состояние водоемов от рытья траншей; повышается мутность воды; нарушаются пути миграции рыб; действуют электромагнитные поля трубопроводов.

Трассы газопроводов имеют большую протяженность по дну Обской губы. Любая авария на проложенных трубопроводах, особенно в зимнее время, может привести к гибели рыбы. Повышенная зона мутности будет создаваться в период проведения строительных работ. При взмучивании воды гибнут кормовые организмы, а также ухудшаются условия зимовки ихтиофауны.

Нарушение путей миграции рыб может быть вызвано строительством. Например, месторождение Каменномысское находится на основных путях миграции рыб, обитающих в Обской губе и данный фактор может существенно сказаться на воспроизводстве ценной промысловой ихтиофауны.

Дноуглубительные работы с изъятием большого объема грунта в короткие сроки при строительстве Морского порта Сабетта могут нанести непоправимый ущерб экосистеме Обской губы.

Увеличивается незаконный вылов рыб (браконьерство), которая наблюдается еще с 1990-х годов, когда рыбные ресурсы интенсивно начало использовать население, задействованное при освоении нефтегазовых месторождений Ямала. По этому поводу ученый-биолог, начальник отдела эколого-сырьевых исследований Госрыбцентра по Тюменской области Андрей Константинович Матковский прокомментировал: «Браконьеры уже начали добывать муксуна шестидесятой сетью, то есть, размер ячеи 60 миллиметров. Это первый признак того, что запас находится в неудовлетворительном состоянии. В правилах рыболовства по ЯНАО разрешалось муксуна добывать сетями с ячеей 70 миллиметров. Сейчас такого муксуна практически не осталось, нагрузка очень высокая, ловят молодых рыб шестидесятками и пятидесятками 6-7 летних особей, а муксун созревает в 8-9 лет. Если раньше муксун хоть один раз в жизни успевал нереститься, сейчас ему и одного раза не дают. Это рыба, которая только готовится к нерестовой миграции, а она сразу попадает в сети». (Матковский А.К., 2012)То есть, произошло сокращение возрастного ряда, которое привело увеличению доли рыб младших возрастов.

Из-за увеличения промысловой нагрузки кроме муксуна. снизилась численность нельма, чира, пеляди, сига-пыжьяна, ряпушки, корюшки.

Следует отметить, что в целях снижения отрицательного воздействия на биологические ресурсы и среду обитания, предприятиями осуществляются компесационные мероприятия в виде выпуска определенного количества молоди рыбы в естественные водные объекты

рыбохозяйственного значения. Компенсация ущерба возможна только в объеме 50% от необходимого количества.

Вывод: На графике показано сокращение численности и массы муксуна в водоемах за период с 2002 по 2013 год. Таким образом, пониженная водность отрицательно влияет на основные биологические показатели рыб: численности и массе. Заморные явления вызывают гибель рыб из-за нехватки кислорода. Из графика видно, что численность частиковых (малоценных) рыб также падает, основными причинами снижения численности являются природные и антропогенные факторы. (Приложение 1,2).

III. Состояние рыбных ресурсов в Пуровском районе.

Пуровский район является частью Ямало-Ненецкого автономного округа. Живя и учась здесь, я не мог не обратить внимание на вопрос, а каково состояние рыбных ресурсов у нас? Для этого я посетил природоохранные организации и ведомства.

Иван Владимирович Крючков, начальник Управления природно-ресурсного регулирования Администрации Пуровского района, при встрече пояснил, что водные обьекты Пуровского района представляет бассейн реки Пур. Он условно делится на 3 части – нижний Пур (от Тазовской губы до поселка Старый Уренгой, средний Пур (от поселка Старый Уренгой до слияния рек Еркан-Наде-Пур и Еты-Пур, Пяку-Пур и Вынга-Пур и верхний Пур - от перечисленных притоков и выше. Нижний Пур - богатый район для нагула особенно сиговых рыб: пелядь, чир, муксун, ряпушка. Карповые - язь, плотва, сорога, елец (чебак); щука, окунь, ерш многочисленны и реже встречаются налим и нельма. Промысловое значение имеют сиг-пыжьян, пелядь, чир (щокур), муксун и нельма. У остальных рыб промысловое значение незначительное. Для реки Пур также характерны заморные явления. Интенсивность замора в бассейне Пура наиболее сильная, в конце ноября количество растворенного в воде кислорода снижается до минимума и обитание рыб становится невозможным. Заморные явления зависят от многих причин - высота снежного покрова, климат, уровень воды.

Чтобы узнать, какие предприятия в нашем районе занимаются рыбодобычей, я направился в Управление агропромышленного комплекса Пуровского района. Михаил Алексеевич Быстров, директор Управления пояснил, что на территории района хозяйственную деятельность ведут пять сельскохозяйственных общин: Харампуровская, Сугмутско-Пякутинская, Пяко-Пуровская, Еты-Яля, Ича; совхоз «Верхнепуровский, совхоз «Пуровский». Изучив деятельность предприятий по рыбодобыче по иформации, которую предоставили в Управлении агропромышленного комплекса, я выяснил, что за последние пять лет в целом по району объем вылова рыб незначительно снижается, что связано с промышленным освоением района, маловодьем, заморными явлениями. Отмечу, в 2016 году совхоз «Верхнепуровский» при плане 110 тонн, добыча составила 190 тонн, по словам директора Надира Беюкагаевича Гаджиева перевыполнение плана стало возможным благодаря тому, что на двух рыбоучастках поставили холодильные установки за счет чего увеличили добычу, что положительно повлияло на вылов по району в 2016 году. Но следует учесть, что доля сиговых в промысле снижается.

Переработкой рыбы в Пуровском районе занимается ООО «Пур-рыба». Чтобы изучить как перерабатывается рыба в ООО «Пур-рыба» я направился туда, меня встретила заместитель директора по производству Жукова Виктория Ивановна. Она пояснила, что сырьем снабжают сельскохозяйственные общины, работающие на территории Пуровского района, а также рыба поставляется из Тазовского рыбзавода, Селькупа, Красноселькупской Тольки. То есть, весь объем продукции производится на местной рыбе. В ассортименте сиговых, в частности муксуна, стало меньше, так как объемы вылова сиговых падают.Частиковых поступает больше, потому что, объемы вылова которых не сильно упали. Весь процесс переработки производится на современном шведском оборудовании с использованием современных технологий переработки рыбной продукции. Ассортимент продукции состоит из 150 наименований – продукция холодного, горячего копчения; соленая и вяленая рыба, 15 видов пресервов и т.д. В основном торгуем в Тарко-Сале, магазин «Северная бухта», Губкинском, Новом Уренгое, Ноябрьске. Есть планы открыть специализированный магазин в Тюмени в микрорайоне Ямальском.

Вывод: За последние годы в АПК Пуровского района показатели по добыче рыбы, если снижены, то незначительно, что достигается применением новых технологий по рыбодобыче. Следует учесть, что доля сиговых в промысле района снижается.

Меры по охране и рациональному использованию рыбных ресурсов на Ямале В связи со снижением биологических ресурсов требуются специальные охранные меры – создание охраняемых

территорий; изменение правил рыболовства в водоемах, касающиеся ограничения и запрета вылова некоторых ценных видов рыб; проведение искусственного воспроизводства запасов сиговых рыб. Проведение мониторинга состояния и численности водных объектов. Строительство заводов по искусственному разведению рыб. Предотвращение браконьерского улова. Планируется ввести в строй первый для Ямала рыбоводный завод сиговых на р. Собь. В Ямало-Ненецком автономном округе имеется четырнадцать охраняемых территорий.

Заключение

1. В процессе анализа научной литературы и решения первой задачи я определил эколого-биологические особенности сиговых рыб, состояние их запасов и высокий уровень пластичности в новых условиях среды.
2. В ходе решения второй задачи я определил факторы и выяснил действие факторов на жизнестойкость молоди и взрослых особей сиговых.
3. В результате достижения третьей задачи исследовал состояние запасов ценных промысловых рыб в Пуровском районе и изучил деятельность рыбодобывающего предприятия ООО «Пур-рыба».

Исследования показывают, что в водоемах Ямала обитает до 38 видов, 30 из которых имеют промысловое значение. Основу рыбных ресурсов составляют ценные в промысловом отношении сиговые рыбы. Результаты исследований свидетельствуют, что на Ямале в настоящее время наблюдается значительное снижение запасов муксуна, чира (щокур), нельмы, осетра, в меньшей степени – ряпушки, ерша, налима, пеляди. Причинами являются как естественные природные факторы: маловодье, замор, так и антропогенное воздействие: неконтролируемый браконьерский вылов, промышленное освоение, приносящий ущерб рыбным ресурсам; перелов в местах освоения. В связи со снижением биологических ресурсов требуются специальные охранные меры – создание охраняемых территорий; изменение правил рыболовства в водоемах, касающиеся ограничения и запрета вылова некоторых ценных видов рыб; проведение искусственного воспроизводства запасов сиговых рыб.

Библиографический список:

1. Википедия - сводная энциклопедия (Электронный ресурс). Сиги. //http// Wikipedia. Org.
2. Жизнь животных. А.Брем. Издательство «Астрель», 2012
3. Кузнецов В.В., Кузнецова Е.Н. Экология и систематика сиговых рыб, Москва, 2011.
4. Е.Д. Васильева. Рыбы России. Справочник. Москва, 1999.
5. Научный вестник ЯНАО. Биологические ресурсы ЯНАО и проблемы их рационального использования. Салехард, 2009.
6. Ямальский меридиан. Пять миллионов муксунят. Новый Уренгой, 2017 .
7 Ю. С. Решетников. «Экология и систематика сиговых рыб. Издательство «Наука»
8. Управление Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Тюменской области. Оценка воздействия на окружающую среду. Тюмень, 2015.
9. Федеральное агенство по рыболовству, Госрыбцентр. Обоснование причин снижения запасов промысловых запасов. Салехард, 2016.

Татинцян Александр Арсенович
Tatintsyan Alexandr Arsenovich
студент
Армавирский механико-технологический институт
E-mail: sasha-868@yandex.ru

Моногаров Сергей Иванович
Monogarov Sergej Ivanovich
кандидат технических наук, доцент
Армавирский механико-технологический институт

УДК 004.42

ВАРИАЦИИ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ CODESYS

VARIATIONS OF SOLUTIONS FOR AUTOMATION OF PRODUCTION PROCESSES IN THE SOFTWARE COMPLEX CODESYS

Аннотация: В данной статье будут рассмотрены две задачи по автоматизации технологических процессов и два способа их решения, посредством различных инструментов программного обеспечения CODESYS и его языков CFC и ST: первая – автоматизация пуска реверсивного двигателя, вторая – управление ленточным конвейером.

Abstract: In this article, two tasks on automation of technological processes and two ways of solving them will be considered, using various tools of the CODESYS software and its CFC and ST languages: the first is the automation of starting the reversing motor, the second is the control of the belt conveyor.

Ключевые слова: автоматизация, двигатель, ленточный конвейер, CODESYS.

Keywords: automation, engine, belt conveyor, CODESYS, PLC.

Введение

В предыдущих статьях мы рассмотрели такое программное обеспечение как Codesys, познакомились с его интерфейсом, изучили основные элементы и создали простую программу для практического закрепления навыков.[1, 5] Для программирования в Codesys, возможно использование нескольких языков, но ранее мы рассматривали только лишь язык функциональных блоков – “CFC”. Одно из преимуществ данного языка является то, что логика работы программы легко понимаема, и весь цикл работы виден перед глазами. Имея необходимые функциональные блоки, достаточно правильно соединить их входы и выходы для того, чтобы получить необходимую программу управления тем или иным технологическим процессом. Но одну и ту же программу возможно написать на разных языках, или используя несколько языков, это может помочь при решении сложных задач. Поэтому необходимо знать, что есть не один путь для их решения, все будет зависть от поставленных требований. В данной статье мы рассмотрим некоторые вопросы по автоматизации процессов их различные способы реализации на языке “CFC” и “ST”.

Первой задачей рассмотрим программу управления реверсивным пуском двигателя. Один из вариантов ее исполнения (рис. 1) был представлен и пояснен в одной из предыдущих статей [2, 3].

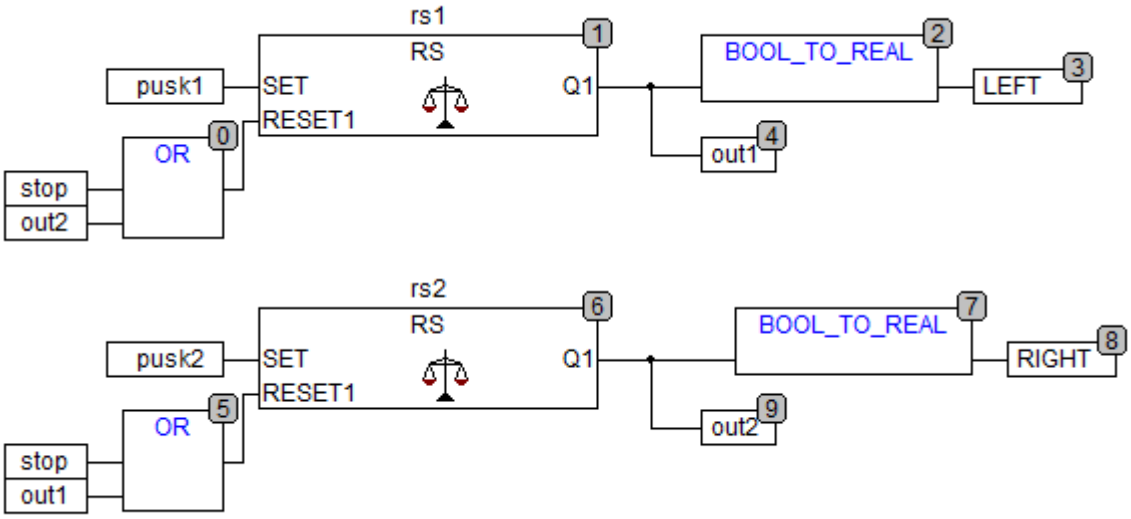


Рисунок 1 - Программа управлений реверсивным пуском двигателя на триггерах

В другом варианте реализации данной программы (рис. 2) отсутствуют триггеры, но вместо них мы использовали инверсию, которая отвечает за логическую операцию “НЕ”. Здесь также присутствуют три переменные входа, отвечающие за пуск в одну и другую стороны двигателя, а также за его остановку, и две переменные выхода, обозначающие вращение двигателя влево и вправо. Принцип работы программы заключается в следующем: на вход блока “AND” подаем три команды, первая – отвечает за пуск двигателя в том или ином направлении, вторая – команда остановки двигателя и третья – переменная, означающая пуск двигателя в противоположном направлении. Важно заметить, что последние две команды подаются через инверсию, то есть если она передает логическую единицу, то на вход будет поступать логический нуль. Таким образом, при присвоении только лишь первой команде логической единицы на вход блока “AND” поступает все три, и двигатель начинает вращаться. Третья команда предназначена для защиты от двойного включения. То есть, если двигатель уже вращается в одном направлении, то на противоположный блок “AND” подастся нуль и будет невозможным запустить двигатель в другом направлении.

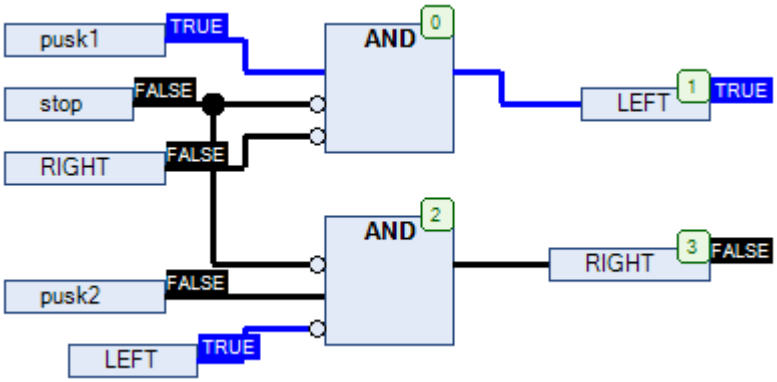


Рисунок 2 - Программа управления реверсивным пуском двигателя на инверсии

Таким образом, мы создали одну программу, но разными способами, что показывает гибкость языка “CFC” и различные возможные его инструменты.

Теперь рассмотрим решение одной задачи сначала на языке “CFC”, а затем на языке “ST”. На рисунке 3 показана схема управления двигателями многосекционного конвейера, перемещающего насыпные грузы из правого бункера в левый. Электропривод конвейеров осуществляется от асинхронных короткозамкнутых двигателей М1, М2, М3. Во избежание завалов грузов пуск конвейеров начинается с включения двигателя М1 нажатием кнопки КнП1. Контактор К1, срабатывая, своими главными контактами подает питание на двигатель М1. Затем последовательно, нажатием кнопок КнП1 и КнП3, включающих контакторы К2 и К3. пускаются двигатели М2 и М3. Пуск двигателя М2 раньше пуска М1 невозможен, так как в цепи катушки контактора К2 находится замыкающий блок-контакт контактора К1. Аналогично сблокированы двигатели М2 и М3. Общая остановка всех конвейеров производится нажатием кнопки КнС1.[3, 26]

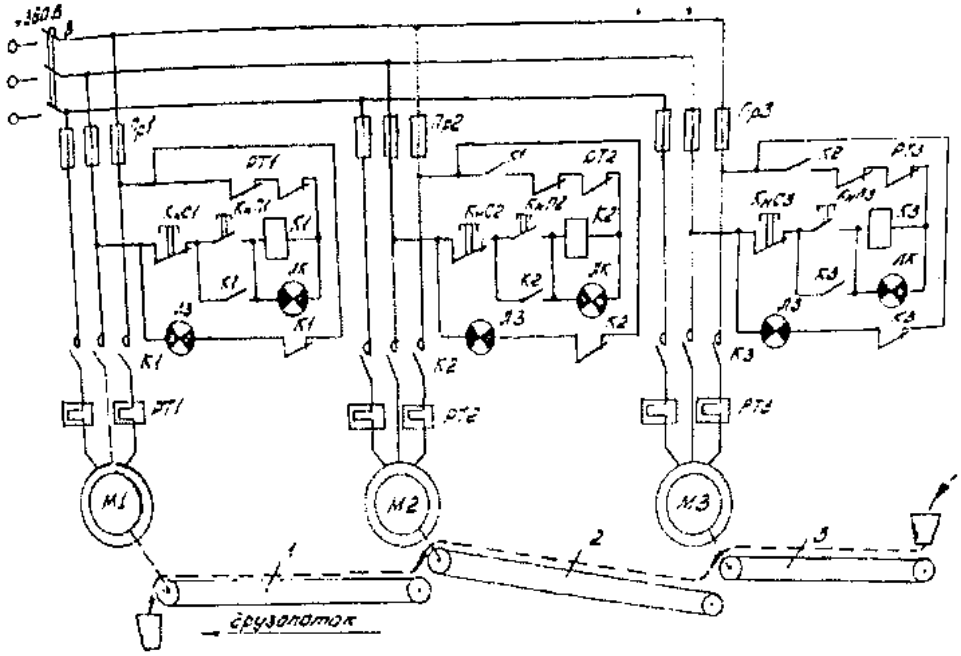


Рисунок 3 – Схема управления многосекционным конвейером

На основе данной схемы сформулируем задачу. Нам необходимо реализовать программу управления пуском и остановкой ленточного конвейера, состоящего из трех ступеней, в двух режимах: автоматическом и ручном. В первом необходимое условие является то, что три ленты конвейера должны включатся друг за другом с небольшой задержкой. В ручном режиме включение ступеней конвейера не зависят друг от друга и могут управляться отдельно. Также одним из условий работы является то, что при включенном ручном режиме невозможно запустить автоматический, но не наоборот.

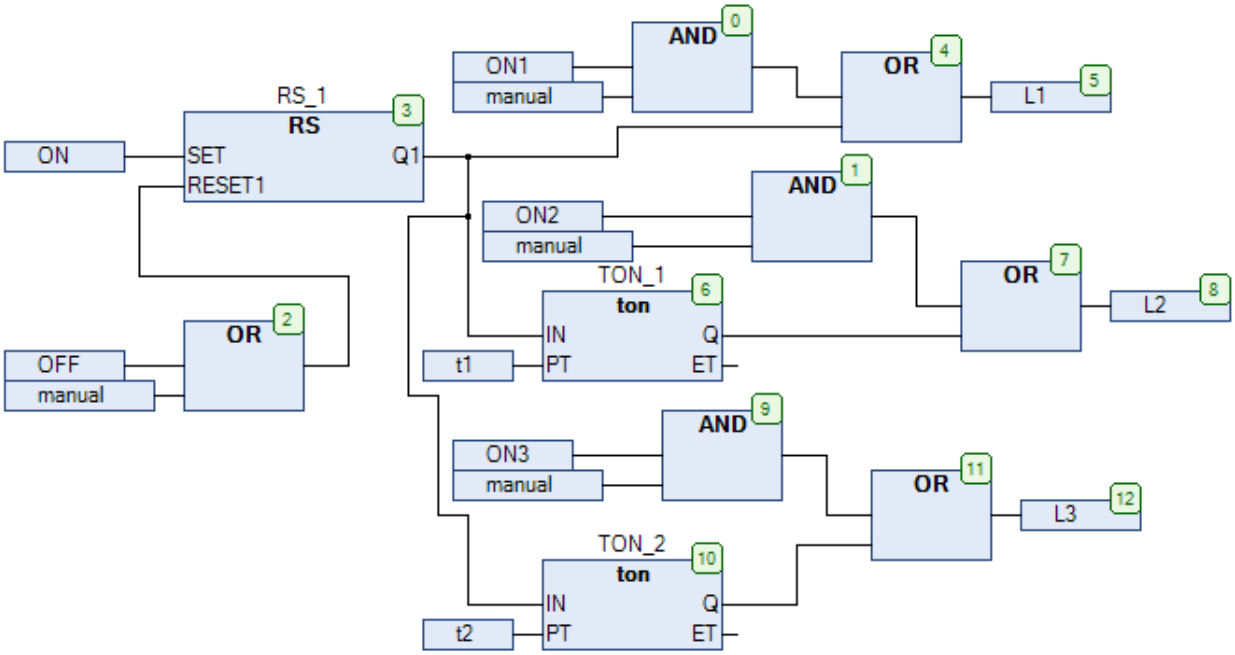


Рисунок 4 – Программа управление ленточным конвейером на языке “CFC”

В данной программе нам необходимо реализовать два способа управления конвейером – это ручной и автоматический. В автоматическом режиме три линии конвейера включаются друг за другом, начиная с нижней, с небольшой задержкой. В ручном режиме каждую линию конвейера можно включить независимо от другой, например для каких-либо проверок. Три выходных блока “L1”, “L2” и “L3”, отображают работу линий конвейера. Для запуска автоматического режима работы служит входной блок “ON”. После его включения на вход “SET” RS-триггера поступает единица, посредством чего включается первая линия “L1”. Затем, после определенной задержки, установленной с помощью таймера “TON”, включаются остальные линии. Для отключения работы

конвейера служит входной блок “OFF”. Он передает логическую единицу на вход “RESET” RS-триггера, и работа прекращается. Входной блок “manual” служит для включения ручного режима управления. Запуск и остановка линий конвейера производиться посредством входных блоков “ON1”, “ON2” и “ON3”. Важно заметить, что при включении ручного режима будет невозможно запустить автоматический, так как на вход “RESET” RS-триггера будет подана логическая единица.

Теперь рассмотрим данную программу, только реализованную на языке “ST” (Structured Text). Это язык высокого уровня, для сравнения похож на Паскаль. Для работы в нем необходимо знать, как записываются основные команды: AND, OR, NOT, IF, THEN, ELSE, WHILE и т. д. Рассмотрим код программы представленный на рисунке 4.

```
0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003     L1: BOOL;
0004     L2: BOOL;
0005     L3: BOOL;
0006     ON: BOOL;
0007     OFF: BOOL;
0008     manual: BOOL;
0009     ON1: BOOL;
0010     ON2: BOOL;
0011     ON3: BOOL;
0012     OFF1: BOOL;
0013     IN: BOOL;
0014     PT: TIME;
0015     TONInst2: TON;
0016     TONInst1: TON;
0017 END_VAR
0018
0019
0020
0021
0022
0023
```

а

```
0001 (*Ручной режим*)
0002 IF manual=TRUE AND ON1=TRUE THEN
0003 L1:=TRUE; ELSE L1:=FALSE;
0004 END_IF
0005 IF manual=TRUE AND ON2=TRUE THEN
0006 L2:=TRUE;  ELSE L2:=FALSE;
0007 END_IF
0008 IF manual=TRUE AND ON3=TRUE THEN
0009 L3:=TRUE;  ELSE L3:=FALSE;
0010 END_IF
0011 (*Автоматический режим*)
0012 IF manual=TRUE THEN
0013 ON:=FALSE;
0014 END_IF
0015 IF ON=TRUE AND manual=FALSE THEN
0016 L1:=TRUE;
0017 END_IF
0018 IF manual=FALSE THEN
0019 TONInst1(IN := L1, PT:= T#3s);
0020 L2:=TONInst1.Q;
0021 TONInst2(IN := L2, PT:= T#3s);
0022 L3:=TONInst2.Q;
0023 END_IF
```

б

Рисунок 5 - Программа управление ленточным конвейером на языке “ST”.
а) объявление переменных б) листинг программы

В начале прописан код управления в ручном режиме. Рассмотрим значения команд:
“IF” – если;
“THEN” – тогда;
“ELSE” – иначе;
“END_IF” – конец команды если;
“manual” – ручной режим;
“ON” – автоматический режим;
“TRUE” - истина (логическая единица);
“FALSE” – ложь (логический нуль);
“AND” - и;
“ON1”, “ON2”, “ON3” - кнопка включения первой, второй и третьей линии конвейера соответственно;
“L1”, “L2”, “L3” – три линии конвейера.

Во второй, пятой и восьмой строках записаны условия включения каждой линии конвейера с первой по третью соответственно. В двенадцатой строке мы указываем условие отключения автоматического режима при включении ручного. В пятнадцатой строке записано условие включения автоматического режима, то есть первой линии конвейера. Для включения последующих линий с некоторой задержкой нам необходимо прописать команду, включающая таймер “TON”, она показана в девятнадцатой и двадцать первой строке. Команда “TONinst” – это название таймера, в скобках переменной “IN” присваиваем переменную после включения, которой у нас начнётся отсчет времени, в нашем случае это “L1”. Переменной “PT” присваиваем время задержки, как показано на

рисунке. Затем, присваиваем той переменной, которой хотим дать значение “TRUE” после того, как пройдет заданное время, команду: L2:=TONInst1.Q.

Таким образом, мы создали программу управления включением ленточного конвейера на двух языках “CFC” и “ST”. В каждом есть свои плюсы и минусы, и каким путем пойти решать вам.

Заключение

В данной статье мы рассмотрели решения нескольких задач разными способами, это говорит о том, что программный комплекс Codesys очень гибок и имеет множество возможностей для автоматизации различных технологических процессов.

Библиографический список:

1. Начало работы в CODESYS / Татинцян А.А., Моногаров С.И. // Молодежный научный форум: технические и математические науки. 2016. № 11 (40). С. 188-194.

2. Изучение программы реверсивного пуска двигателя в CODESYS / Татинцян А.А., Моногаров С.И. // В сборнике: СБОРНИК СТАТЕЙ КОНФЕРЕНЦИИ сборник статей студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава по результатам Международных научных конференций. 2017. С. 154-156.

3. Исследование электрических аппаратов в схеме управления многосекционным конвейером / Моногаров С.И. // Электрические аппараты. Методические указания по выполнению лабораторных работ, 2015 г.

Равшанов Дилшод Чоршанбиевич
Ravshanov D.C.
окончил ТТУ им. акад. М.С. Осими в 2009 года, к.т.н., доцент кафедры «Технология, машины и оборудование полиграфического производства», автор более 35 научных методических работ. Область научных интересов - печать на полимерных пленках.
Тел: (+992) 919-39-49-09, 93-807-66-44, E-mail: 234-56-57@mail.ru

Баюлюк Евгений Борисович
Bablyuk E.B.
д.т.н., с.н.с., Заведующий кафедрой «Технологии и управление качеством в полиграфическом и упаковочном производстве» Высшая школа печати и медиаиндустрии Московского политехнического университета. Область научных интересов – физикохимия поверхности.
Тел: +7 499 976-31-53, E-mail: bablyuk.evgeny@yandex.ru

УДК 691.175.5/.8

СПОСОБЫ ПЕЧАТИ НА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ

PRINTING METHODS ON POLYMERIC FILMS

Аннотация: В статье рассматривается способы печатание на полимерных пленках. Преимущества и недостатки данных видов печати.

Abstract: In the article methods of printing on polymer films are considered. Advantages and disadvantages of these types of printing.

Ключевые слова: полимер, качество, флексография, офсет, глубокая, трафарет.

Key words: polymer, quality, flexography, offset, deep, stencil.

Качество печати на полимерных пленках складывается из четырех составляющих: качества материалов, используемой технологии печати, квалификации персонала и, собственно, самого печатаемого изображения. Структура и цветовой охват изображения задают нам направление выбора способа печати и используемых материалов. Например, текст с высотой символа менее 1 мм практически не удастся удобочитаемо воспроизвести методом флексографской печати. То есть для выбора запечатываемого материала нам нужно ориентироваться на его потенциальную разрешающую способность, которая зависит от рельефа поверхности, величины деформации растровой точки на этом материале и его геометрической стабильности (важно не само отсутствие деформаций, а их обратимость во времени). В полиграфическом процессе краска закрепляется посредством приложения давления печати, вследствие этого происходит деформация растровой точки или штрихового элемента. Величина деформации зависит от давления печати, наличия проскальзывания печатающего элемента, шероховатости поверхности, наличия микропор (причем важно, горизонтальных или вертикальных) и, как следствие, впитываемости, вязкости краски, скорости ее закрепления на поверхности, краскопереноса, зависящего от краевого угла смачивания краской поверхности полимерной пленки. В ракурсе данной работы имеет значение качество, т. е. стабильность и величина краскопереноса. На практике часто случается неравномерный нестабильный краскоперенос и, как правило, проблему решают увеличением давления печати. При этом возникает целый ряд изменений технологического процесса: меняется оптическая плотность плашечных цветов, увеличивается деформация растровой точки на оттиске, что неблагоприятно сказывается на градационной зависимости. Если речь идет о флексографском способе печати, то возросшее давление способно за короткий тираж повредить растровые элементы в светах изображения. А поврежденные 1–3%-ные растровые элементы будут накапливать на себе краску и нерегулярно передавать ее на материал. В глубокой печати несогласованность поверхностного натяжения краски, формы и запечатываемого материала могут привести и вовсе к отсутствию краскопередачи.

Для печати на полимерных пленках используются разные способы печати, но преимущественно это офсетная, флексографская и глубокая печать или их сочетания. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Между основными из них развернулась конкурентная борьба на рынке оказания полиграфических услуг. Все больше позиций завоевывает флексография. По

мнению специалистов [1,2], флексографская печать на 90% используется при печати на полимерных пленках. Свои достоинства и свою нишу рынка имеет трафаретная печать. Все больше мы узнаем о печати упаковок и этикеток перспективными цифровыми способами. Выбор способа печати определяется не только технологическими показателями, но и экономическими. Например, в зависимости от размера тиража могут быть экономически целесообразны: струйная, цифровая, трафаретная, офсетная, флексографская или глубокая печать.

Для решения вопросов с поверхностным натяжением запечатываемой полимерной пленки используются два подхода: либо применение многослойных систем с нанесением адгезионного слоя (в полиграфии часто называемым праймером), либо активация рулонного материала непосредственно в технологической линии печати. Широко применяемые в настоящее время коронирующие установки настраиваются поставщиком только на один тип материала, например, двухосноориентированную однослойную пленку из ПП. Отсутствие настроек даже базовых параметров активации коронным разрядом, таких как, напряжение на электродах, зазор между электродами, форма и материал электрода, ток разряда, атмосфера газоразрядного промежутка, приводит к невозможности управления процессом. Неправильно настроенная коронная установка, как минимум, приводит к необоснованным затратам электроэнергии и повышенному выбросу озона в атмосферу и, как максимум, может привести к дуговому пробою запечатываемого материала и выходу установки из строя.

Возрастание экологических норм и требований в ряде государств приводит к частичному и, в будущем, полному переходу на технологии, в процессе которых не происходит каких-либо вредных выбросов в окружающую среду, в том числе в виде тепла. К таким процессам можно отнести печать красками на основе водных латексов полимеров и сополимеров и красками, закрепляющимися излучением (УФ- отверждаемые). Поверхностное натяжение воды составляет 72 мН/м, а в латексной краске присутствуют различные электролиты, несколько уменьшающие это значение, но для достижения стабильного качества поверхностная энергия запечатываемой полимерной пленки должна быть на 7–10 мН/м больше. Смачиваемость – необходимое, но недостаточное условие для качественной печати. После полного закрепления краски проверяют еще и адгезию краски к полимерной пленке. Уровень гидрофилизации поверхности и адгезионной способности полимерных пленок не постоянен во времени, в процессе хранения активированной пленки любого типа эффект от обработки снижается. Поэтому наибольший эффект от активации пленки коронным разрядом достигается непосредственно перед печатью [3].

Обработка поверхности пленок пламенем, а также химическое травление часто используются для литых или выдувных полимерных изделий [1]. Обработку пламенем полимерных пленок и бумаги почти полностью вытеснила активация с помощью коронного разряда.

Глубокий способ печати. Согласно мнению большинства людей, сталкивавшихся с данным видом печати, он является не только одним из самых качественных из всех способов печати на полимерных пленках, но и одним из самых дорогих, в смысле подготовки производства и изготовления печатных форм. Но тиражостойкость данных печатных форм выше чем при других видов печати, это один из преимуществ глубокой печати. Данным способом печати хорошо передаются градиенты цвета и фотографии, используемые в дизайне.

Офсетный способ печати. Суть этого способа заключается в использовании двух компонентов (вязкой краски и увлажняющего раствора), плоских металлических печатных форм с избирательной адгезией к печатным и пробельным элементам, за счет химических свойств ее поверхности, трехцилиндровой печатной секции, где, кроме формного и печатного цилиндра, используется промежуточный офсетный цилиндр с эластичным резинотканевым покрытием.

Достоинства офсетной печати: высокое качество печати, низкая себестоимость, большое разнообразие используемых красок, высокая производительность, удобная технология изготовления печатных форм, быстрая настройка печати на листовых материалах разного формата и толщины, возможность многокрасочной печати в несколько прогонов на оборудовании с малым количеством печатных секций.

К недостаткам офсетного способа печати можно отнести сложную конструкцию машин, проблематичность печати на невпитывающих материалах (полимерных пленках, фольге и т.п.), неполное использование формата листа, невозможность совмещения большого количества отделочных операций в одной машине, большие габариты оборудования для производства этикеток

массовыми тиражами, необходимость дополнительных площадей для машин и складирования полуфабрикатов.

Трафаретный способ печати. Существуют и менее распространенные способы печати, которые, стоит рассмотреть, чтобы представить себе полноценную картину рынка оборудования для печати этикетки. Один из этих способов – трафаретная печать. Она представляет собой передачу изображения с использованием печатной формы, представляющей собой сетку (трафарет), сквозь ячейки печатающих элементов которой с помощью ракеля, продавливается печатная краска. Существуют разновидности этого способа: классическая, трафаретная и ротаторная печать. Благодаря тому, что при трафаретной печати можно получать на оттиске слой, толщина которого во много раз больше, чем на оттиске офсетной печати, изображения получаются яркими и насыщенными.

Флексографский способ печати. Сама технология флексографической печати постоянно совершенствуется: использование УФ-краски, высоколиниатурных анилоксовых валиков, тонких полимерных плёнки, цифрового способа изготовления печатных форм позволяет достигать очень высокого результата. Главное преимущество флексографии, по сравнению с другими видами печати, является возможность печатать изображение на полимерных пленках и самоклеящихся материалах [4].

Преимущества флексографии. Прежде всего - это гибкая фотополимерная форма, с которой краска под низким давлением переносится непосредственно на запечатываемый материал. Именно от нее **флексография** и получила свое название. Такая форма имеет целый ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с формой, используемой в других типах печати. Она сочетает в себе простоту изготовления (процесс, несколько похожий на изготовление офсетной формы) с высокой тиражестойкостью, присущей форме при высокой и глубокой печати. Тиражестойкость фотополимерной формы превышает тиражестойкость обычной монометалической офсетной формы на порядок и составляет 1-2 миллионов оттисков. Эластичность формы позволяет ей работать и как декель, что исключает процесс приправки, а также печатать на материалах с такой грубой фактурой, на которой печать офсетным способом вообще невозможна. Как следствие, **флексографские машины** дают возможность использовать очень широкий диапазон материалов.

Флексография идеально подходит для изготовления всех видов этикетки и упаковки. Но сфера ее применения стремительно расширяется. Сегодня множество различных видов полиграфической продукции во всем мире печатают, используя **флексографию,** это журналы, рекламная продукция, книги, газеты и газетные вкладки.

Библиографический список:

1. Лукин Ю. Обработка поверхности коронным разрядом // Флексоплюс. 2002, № 3

2. Лукин Ю. Обработка поверхности коронным разрядом // Флексоплюс. 2002, № 4 (28).

3. Равшанов Д.Ч. Обоснование параметров оборудования для обработки полимерных запечатываемых материалов коронным разрядом. Канд. дисс., Москва, МГУП, 2013 г., 127 с.

4. Хайди Толивер-Нигро, Технология печати. – М., 2006. – 232 с.

Фисенко Михаил Иванович
старший научный сотрудник, лаборатория магнитной гидродинамики, Уссурийская астрофизическая обсерватория ДВО РАН, г.Уссурийск, с. Горнотаежное.
Fisenko Mikhail Ivanovich
is the senior research associate, laboratory of a magnetohydrodynamics, the Ussuriysk astrophysical observatory FEB RAS, Ussuriysk, the village of Gornotayezhnoye.

УДК 524

СВЯЗЬ УДАРНЫХ ВОЛН С СОЛНЕЧНЫМИ ВСПЫШКАМИ

CONNECTION OF SHOCKWAVES WITH SOLAR FLASHES

Аннотация: сделано открытие ударных волн при наблюдениях солнца как звезды квазинулевым методом. Ударные волны связаны с солнечными вспышками в H_a.

Summary: discovery of shockwaves at observations of the sun as stars is made by a quasizero-deflection method. Shockwaves are bound to solar flashes in Ha.

Ключевые слова: ударные волны, солнечные вспышки

Keywords: shockwaves, solar flashes.

Солнечные вспышки являются наиболее энергичными событиями в солнечной системе, но по сравнению с общей мощностью солнца они едва заметны. По данным наблюдений на СОХО авторами [1] показано, вспышка в На дает большой вклад в видимую область солнечного спектра и что общая энергия, излучаемая вспышкой превышает на два порядка величину энергии вспышки, излучаемой в мягкой рентгеновской области.. Эти результаты имеют значение для нашего понимания солнечно-вспышечной активности и изменчивости нашей звезды. Ими также показано, что вспышки происходят на фоне звуковых волн в фотосфере и непрерывных колебаний грануляции. В течение длительного периода солнечный поток считался постоянным, и только недавно спутниковые эксперименты показали, что он меняется непрерывно. На изменения солнечного потока влияют подповерхностная конвекция на солнце и эруптивные события. На самых коротких интервалах времени колебания с периодом 300 сек. дают вклад в поток солнца 0.003% и самые сильные солнечные вспышки до 0.015%[2]. Исходя из этого, на наш взгляд, целесообразна попытка поиска подобных колебаний в глобальном потоке солнца, как звезды, и возможную связь колебаний с явлениями солнечной активности.

Измерения потока солнца проведены на горизонтальном солнечном телескопе АЦУ –5 в параллельном пучке в период с 1980 по 1984 г. г., длина волны максимальной чувствительности приемника излучения 1.6мкм. При измерениях был использован нулевой (компенсационный) метод, из сигнала вычиталась постоянная составляющая, а оставшаяся часть усиливалась.

Инфракрасное излучение на солнце возникает в условиях термодинамического равновесия и характеризуется истинной кинетической температурой. Оно образуется в различных слоях солнечной атмосферы от самых глубоких, наблюдаемых на 1.6 мкм частей фотосферы до уровня температурного минимума в хромосфере, наблюдаемого в миллиметровой области. Из-за ограниченного пространственного разрешения многих инфракрасных измерений в качестве хорошей оценки $B\lambda(\mu=1)$ часто берётся $F\lambda$, поскольку значение $R\lambda(\mu)$ по поверхности диска мало меняется из-за малости градиента $\partial T(\tau\lambda = 1) / \partial\lambda$. $B\lambda(\mu = 1)$ - монохроматическая яркость в центре диска, $F\lambda$ - полный солнечный поток и относительное изменение яркости от центра к лимбу $R\lambda(\mu) = B\lambda(\mu) / B\lambda(1)$, где $\mu = \cos\theta$ [3]. Наблюдения проводились в широкой полосе и в области длин волн более 1 мкм. Калибровка проводилась по центру солнца в фокусе Ньютона серым клином и набором калиброванных диафрагм.

Абсолютный поток определялся из известного распределения энергии в непрерывном спектре солнца по данным Лабса и Неккела [4]. В качестве регистрирующего устройства использовался компенсационный самописец G1 B1.Нелинейность 0.2 %, отклонение измерительных диапазонов 1%, постоянство нулевой точки 0.1%. Стандартный компенсационный самописец действует по принципу компенсатора тока или компенсатора напряжения с непрерывным автоматическим уравниванием.

Ударные волны.
2 февраля 1983 года.

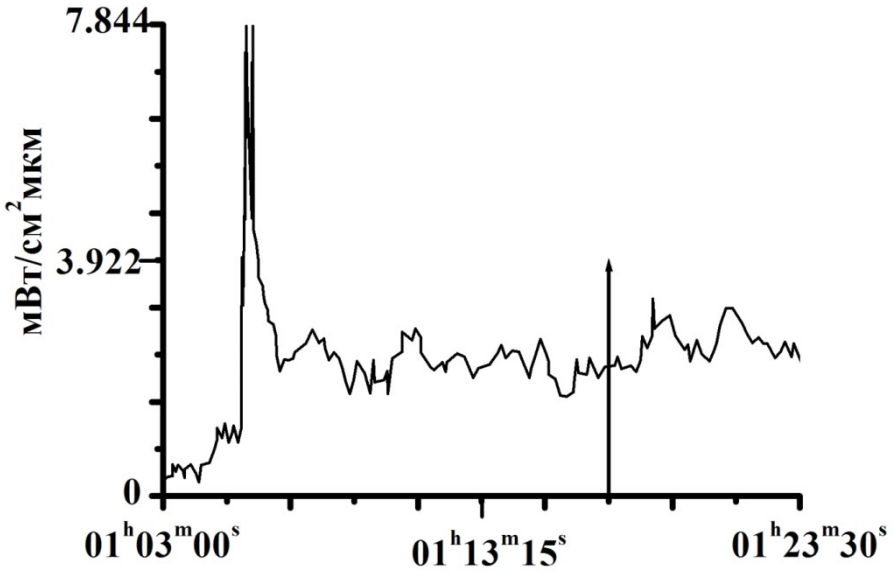


Рис.1
2 февраля 1983 года.

Ударная волна, поток равен 7,844 мВт/ см^{2}мкм, или 2.71*10^{-2} или 1.46*10^{32} эрг/сек.Вертикальной стрелкой показано начало поярчания в линии На.

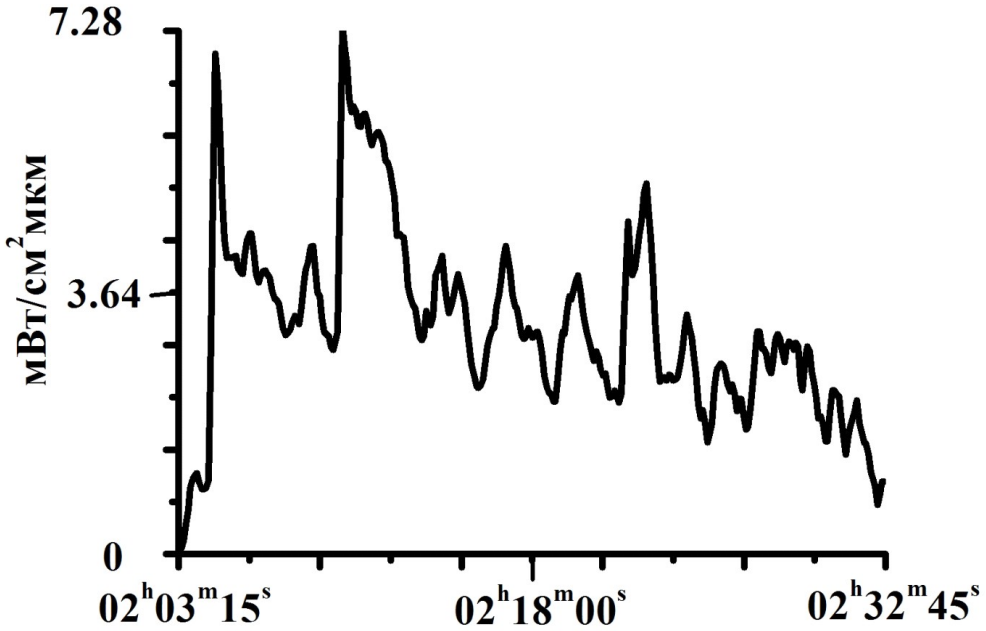


Рис.2.
2 февраля 1983 года.

Ударная волна появилась после солнечной вспышки. Вспышка по данным наблюдений VORO – начало 01^h 51^m, конец 02^h 00^m, максимум 01^{h}52^m.Координаты вспышки S16E11, балл SF.Вспышка имела вид нескольких ярких точек, Отчетливые вариации интенсивности возникли после вспышки.

Вспышка с волной ударной 7.28 мВт/cm^{2}мкм или 2.5*10^{-2} или 0.96*10^{32} эрг/сек. Ударная волна появилась после вспышки. За фронтом видно возникновение еще одной ударной волны, за ней возник волновой фронт. Длительность ударной волны 29 минут 30 секунд. . 4 февраля 1983 года

по данным магнитной обсерватории Владивосток началась большая магнитная буря с внезапным началом. Время начала 16 часов 14 минут. Время запаздывания порядка 61 час 44 минуты.

26 января 1983 года.

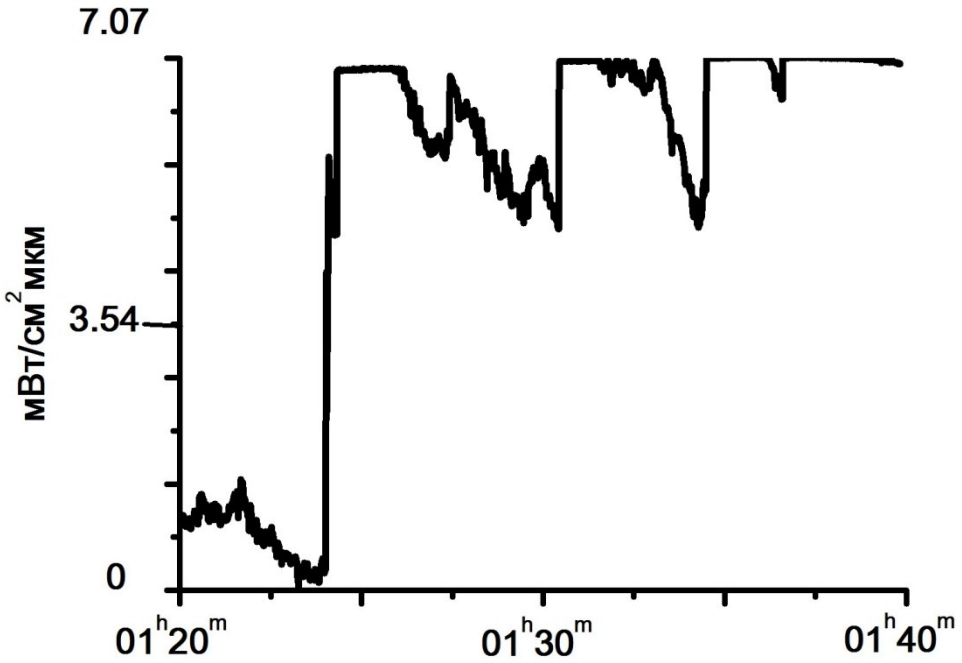


Рис.3

Ударная волна появилась после вспышки. По данным VORO – начало вспышки $01^h\ 04^m$, конец $01^h\ 22^m$, максимум $01^h\ 10^m$.Координаты вспышки N06E35,балл SN. По данным PURP вспышка закончилась в $01^h\ 29^m$, координаты отличны от данных VORO на один градус. В конце волны ее начались взрывы. Они связаны с появлением во вспышечных узлах ярких кернов. Пример такого процесса приведен на Рис.4.

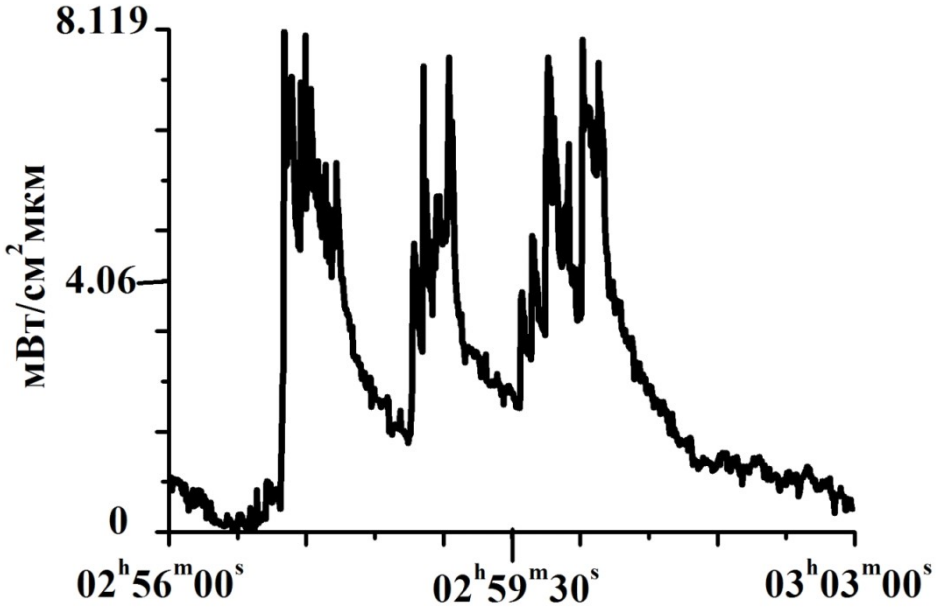


Рис.4.

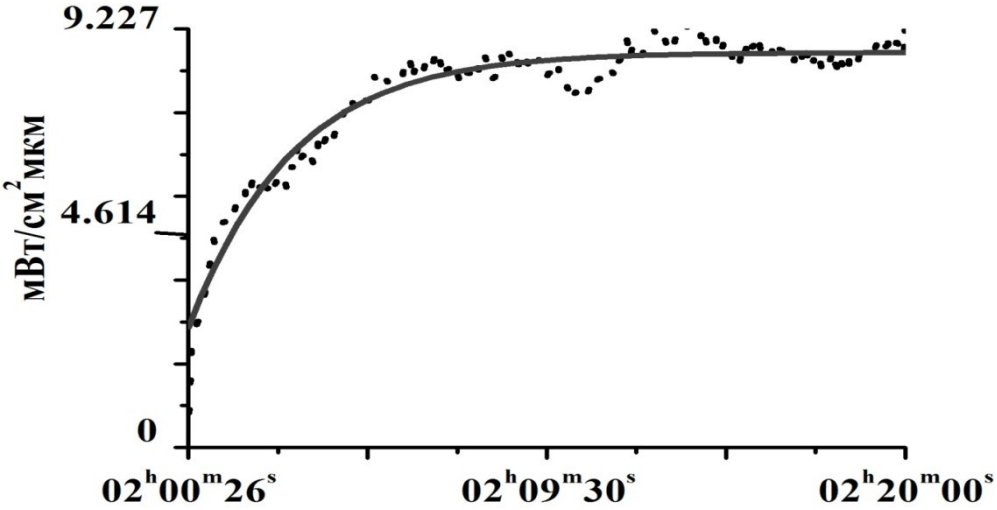


Рис.5.

На рисунке представлена ударная волна за 20 марта 1981 года.. Поток равен 9.23 мВт/см^2 мкм или 3.2 * 10 $^{-2}$ или 1.24 *10^{32} эрг/сек. Магнитная буря началась 24 марта 1981 года.

Моделирование обнаруженных на солнце процессов может привести к созданию новых, мощных источников энергии.[5]. Интересным является вопрос о связи ударных волн на солнце и началом магнитных бурь.

Существующие в настоящее время воззрения на солнечно - земные связи говорят о следующем - существует наблюдательный факт, который называют всплытием нового магнитного потока. Поэтому действительную первопричину выбросов и вспышек следует искать в недрах, а не в атмосфере Солнца. Солнечные вспышки и корональные выбросы массы есть продукт самоорганизации в открытой физической системе, охватывающей большие и не вполне очерченные объемы, а не в изолированном участке солнечной короны. Поэтому такие представления как “первичное энерговыделение” полностью лишены какого-либо определенного физического смысла и отражают лишь преждевременные и наивные попытки локализовать явление во времени и пространстве, рассматривая его на манер точечного взрыва.

Кроме “разрывов по направлению” существуют скачки типа фронтов “ударных волн”, которые определяются тем, что одновременно, на протяжении нескольких минут, происходит внезапное возрастание скорости, плотности ветра и величины магнитного поля. Все наиболее сильные корональные выбросы массы и солнечные вспышки имеют сложную геометрию и непосредственно инициируются избытком свободной энергии в нижних слоях солнечной атмосферы, приносимой туда из-под фотосферных слоев, а не накоплением, перераспределением и сбросом ее вниз из верхней короны, как это ошибочно полагали многие исследователи до недавнего времени без достаточных оснований.

Особый интерес представляют самые мощные нелинейные явления и структуры типа ударных волн, разрывов и т.п [6].

Библиографический список:

1.Kretzschmar Matthieu, de Wit Thierry Dudok, Schmutz Werner, Mekaoni Sabri, Hochedez Jean – Fran Çois, Dewitt Steven. The effect of flares on total solar irradiance// Nature Physics 2010.V6, P. 690 – 692.

2. Claus Fröhlich, Juditth Lean. Solar Radiative output and its Variability: Evidend and Mechanisms – [Электронный ресурс] – Режим доступа.- URL: rivernet.nsu.edu/courselocker /PaleoClimate/Frohlich Lean SolIrd overviev.pdf

3.Лена П. Инфракрасные наблюдения Солнца.// Инфракрасная и субмиллиметровая астрономия. М.: Мир, 1979. С.106-117.

4.Уайт О. Поток энергии солнца и его изменения. Москва: Мир,1980.С.558.

5. Journal of Physical Science and Application 7(1) (2017)35-38 DOI : 10.17265/2159-5348/2017.01.005 Shock Waves in the Solar Atmosphere

6. Fisenko. M.I. UAFO, FEB RAS 692533,Russia. http://textarchive.ru/c-1458156-p5.html

Балтабаев Убайдулла Абдувакилович
Baltabaev Ubaydulla Abduvakilovich
доктор хим. наук профессор

Сокижонов Исмоил Сокижон угли
Sokizhonov Ismoil Sokizhon ugli
бакалавр
Ташкентского государственного стоматологического института, кафедра “Медицинской и биологической химии”
Узбекистан г. Ташкент
E–mail: ismoil.maxkamov1102@gmail.com

УДК 547.496.3

СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ ТИОМОЧЕВИНЫ И ИХ ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ

SYNTHESIS OF THIOUREA DERIVATIVES AND THEIR ANTI-INFLAMMATORY ACTIVITY

Аннотация: Синтезированы производные тиомочевины реакцией замещенных бензоилизотиоцианатов и α–аминокислотой – метионином в среде диметилформамида. Изучена противовоспалительная активность полу-ченных соединений. Установлено, что N–(мета–йодбензоил) – N^I метионил–тиомочевина обладает значительно большей широтой противовоспа-лительного действия и представляет несомненный практический интерес.

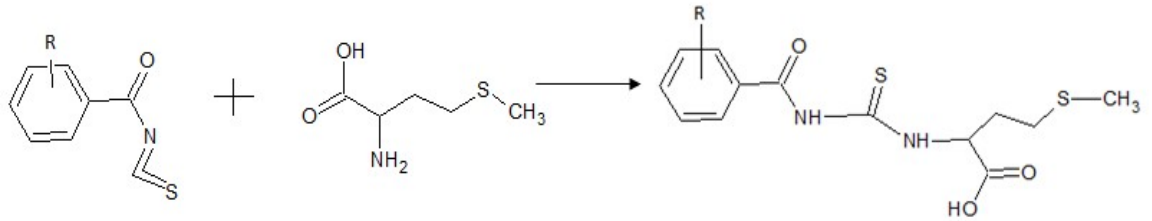
Abstract: The thiourea derivatives were synthesized by the reaction of substituted benzoyl isothiocyanates and α–amino acid – methionine in a dimethylformamide medium. The anti–inflammatory activity of the obtained compounds was studied. It has been established that N– (meta–iodobenzoyl) –N^I–methionyl–thiourea has a much greater latitude of anti–inflammatory action and is of undoubted practical interest.

Ключевые слова: тиомочевина, замещенные бензоилизотиоцианаты, α–аминокислоты, метионин, N–(мета–йодбензоил) – N^I метионил–тиомочевина, противовоспалительная активность,

Keywords: thiourea, substituted benzoyl isothiocyanates, α–amino acids, methionine, N– (meta–iodobenzoyl) –N^I–methionyl–thiourea, anti–inflammatory activity

Как известно, среди производных тиомочевины имеются физиологически активные соединения, которые обладают антимикробной, противотуберкулезной, противоязвенной и противовоспалительной активностью [1–4].

С целью получения соединений, обладающих противовоспалительными свойствами, нами синтезированы производные тиомочевины реакцией замещенных бензоилизотиоцианатов с α–аминакислотой – метионином в среде диметилформамида по схеме



Полученные соединения I–XIII (табл.1) представляют собой белые кристаллы, раство-римые в большинстве органических растворителей и нерастворимые в воде.

Строение синтезированных соединений подтверждено аналитическими данными и ИК–спектроскопией.

На ИК–спектрах имеется сходные полосы поглощения характерные для C=S, NH–CS,

N–CS–N, CH=CH арила, C=O, OH, NH и CH связей. Так, на ИК–спектре соединения II имеется полоса поглощения в области 1115см$^{-1}$, присущая валентным колебаниям C=S связи, полоса поглощения в области 1330см$^{-1}$, свидетельствует о наличии N–CS–N связи, полоса в области 1480см$^{-}$

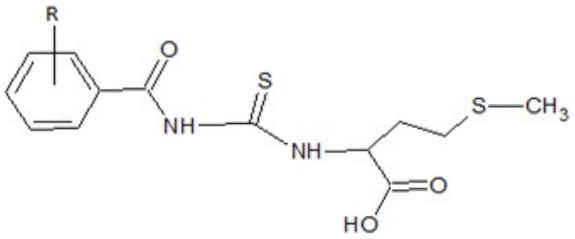
[1] соответствует валентным колебаниям NH–CS группы. Для CH=CH групп фенила характерна полоса поглощения в области 1610 см$^{-1}$. Области поглощения 1710 см$^{-1}$ и 1580 см$^{-1}$ характерны для C=O связи. Для CH, OH и NH групп характерны полосы поглощения в области 2930 см$^{-1}$, 2610 см$^{-1}$, 3400 см$^{-1}$ соответ-ственно.

Изучение противовоспалительных активности соединений I–XII проводили на белых крысах обоего пола весом 140–180 г. Воспаление вызывали 1%–ным раствором форма-лина, который вводили под апоневроз голеностопного сустава в количестве 0,2мл. Объем лапки крыс измеряли онкометрически 3 раза до и через 3, 6 часов после введения форма-лина.

Испытуемые соединения применяли перорально с помощью металлического зонда в виде суспензии на хлопковом масле в дозах 50, 100 и 200 мг/кг. Препараты вводили 1до вызывания воспаления, то есть за 2 часа до введения формалина.

Таблица 1

Физико–химическая характеристика производных тиомочевины общей формулы



№	Значение R	Выход %	Тем. плав.	R*f*	Формула
I	2–Cl	72	148–9	0.75	$C_{13}H_{15}N_2O_3S_2Cl$
II	3–Cl	75	153–4	0.62	$C_{13}H_{15}N_2O_3S_2Cl$
III	4–Cl	82	161–2	0.83	$C_{13}H_{15}N_2O_3S_2Cl$
IV	2–Br	69	133–4	0.69	$C_{13}H_{15}N_2O_3S_2Br$
V	3–Br	72	174–5	0.64	$C_{13}H_{15}N_2O_3S_2Br$
VI	4–Br	78	214–5	0.73	$C_{13}H_{15}N_2O_3S_2Br$
VII	2–I	66	139–40	0.54	$C_{13}H_{15}N_2O_3S_2I$
VIII	3–I	70	172–3	0.75	$C_{13}H_{15}N_2O_3S_2I$
IX	4–I	74	185–6	0.68	$C_{13}H_{15}N_2O_3S_2I$
X	2–NO_2	75	190–1	0.73	$C_{13}H_{15}N_2O_5S_2$
XI	3– NO_2	78	175–6	0.66	$C_{13}H_{15}N_2O_5S_2$
XII	4– NO_2	86	171–2	0.61	$C_{13}H_{15}N_2O_5S_2$

Для сравнения были взяты известные противовоспалительные средства – бутадион (Butadion), индометацин (Indometacin) и вольтарен (Voltaren). Они использовались в дозах, при которых вызывают наиболее выраженный противовоспалительный эффект. (табл. 2).

В результате проведенных исследований установлено, что все вещества (I–XII) в опре-деленных дозах проявляют отчетливую противовоспалительную активность. Среди них сравнительно менее активным оказались соединения, которые в пределах дозы 50–200мг/кг снижают интенсивность воспалительного процесса примерно на 17,5–25%. Более сильное противовоспалительное действие оказывают соединения III, VII–XII. В дозах 50–200 мг/кг они подавляют формалиновый отек на 27–45%. Довольно сильный противовоспалительный эффект вызывает соединение VIII, так в дозах 50 и 100 мг/кг через 6 часов оно подавляет воспаление соответственно на 71,6% и 79,1%. Дальнейшее увеличение дозы препарата не приводило к заметному усилению наблюдаемого эффекта. В то время как бутадион в дозе 100мг/кг угнетает воспаление на 28,1%, индометацин в дозе 10 мг/кг– на 36,4%, вольтарен в дозе 25мг/кг – на 43,2% .

Острую токсичность испытуемых соединений определяли вычислением $ЛД_{50}$ по методу Литчфильда и Уилкоксона. Белым мышам массой 18–25г вводили изучаемый препарат перорально. Каждую дозу проверяли на 6 животных. За подопытными животными наблю-дали в течение 24 часов.

Испытания показали что $ЛД_{50}$ соединений находится за пределами 2000мг/кг, тогда как $ЛД_{50}$ бутадиона равняется 430 мг/кг, индометацина –47мг/кг, вольтарена 370мг/кг.

Сопоставление этих данных показывает что испытуемое соединение VIII оказалось менее токсичным, чем бутадион в 4,6 раза, индометацин – в 42,6 и вольтарен – в 5,4 раза.

Таким образом установлено, что из испытуемых новых производных тиомочевины только соединение VIII, то есть N–(мета–йодбензоил)–N^{I}–метионил–тиомочевина обладает зна-чительно большей широтой противовоспалительного действия и представляет несомненный практический интерес.

Экспериментальная часть. N–(пара–бромбензоил) – N^{I} – метионил–тиомочевина. В четырехгорлую колбу емкостью 250мл, снабженную обратным холодильником с хлоркальциевой трубкой, автомешалкой, термометром, капельной воронкой помещают раствор состоящий из 1,64г (0,011моля) метионина в 20мл диметилформамида, нагревают до температуры 55–60 °С, при постоянном перемешивании прибавляют по каплям 2,42г (0,01 моля) пара–бромбензоилизотиоцианата в 20мл диметилформамида. Реакционную смесь выдерживают в течение 5 часов при температуре 85°С.

Таблица 2.

Противовоспалительная активность производных тиомочевины

Соединение	**Противовоспалительная активность %**	**Острая токсичность $ЛД_{50}$ мг/кг**
I	21	>2000
II	17,5	>>
III	33,7	>>
IV	19,2	>>
V	25	>>
VI	28	>>
VII	38,5	>>
VIII	79,1	>>
IX	27	>>
X	36,1	>>
XI	39	>>
XII	45	>>
Бутадион (Butadion)	28,1	430
Индометацин (Indometacin)	36,4	47
Вольтарен (Voltaren)	43,2	370

По окончании реакции смесь охлаждают и добавляют 150–200мл воды. Образовавшейся осадок отфильтровывают, промывают водой и 10% раствором соляной кислоты. Полу-ченный продукт сушат при температуре 40–50°С. Перекристаллизованный из бензола N–(пара–бромбензоил)– N^{1} – метионил–тиомочевина имеет температуру плавления 214–215°С выход 2,8г (60% от теории). Полноту очистки контролируют методом ТСХ на окиси алюминия. Остальные соединения получены аналогично.

Библиографический список:

1. Горак О., Горак Ф., Противотуберкулезные свойства некоторых производных п–этоксифенилтиомочевины // Жур. Мед. промышленности. 1963.Вып.2. С.11–12.

2. Пат. 367 (РУз) 1–(п–хлорбензоил) –3– (карбоксиэтил)–тиомочевина, проявляющая противовоспалитнльную активность / Балтабаев У.А., Махсумов А.Г., Зокиров У.Б. // Официальный бюллетень. 1993. №2.

3. Балтабаев У.А., Джураев А.Д., Махсумов А.Г. Новые производные тиомочевины и их биологическая активность // Жур. Химия и химическая технология. –2007. –№1. –С.23–26.

4. Балтабаев У.А., Джураев А.Д., Нозимова И.Э. Синтез экологически чистых производных тиомочевины, тиокарбаматов и их биологическая активность // Республиканская научно–техническая конференция «Нетрадиционные химические технологии и экологические проблемы ». –Фергана. –27–28.11. 2015. –С.21–22.

Пересунько Павел Викторович
Peresunko Pavel Viktorovich
студент 2 курса магистратуры по направлению «Программная инженерия», ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Сорока Евгения Олеговна
Soroka Eugenia Olegovna
студент 3 курса бакалавриата по направлению «Программная инженерия», ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Харитонов Андрей Юрьевич
Kharitonov Andrey Yurievich
студент 1 курса магистратуры по направлению «Информатика и вычислительная техника», ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

УДК 004

САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ КАРТЫ КОХОНЕНА КАК НЕЛИНЕЙНЫЙ МЕТОД ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ

SELF-ORGANIZING MAP AS NONLINEAR PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS

Аннотация: В работе рассмотрены самоорганизующиеся карты как нелинейный метод главных компонент. Делается обзор методов проецирование точек на карту, а также предоставляется описание программы, которая реализует различные методы нелинейных методов главных компонент.

Annotation: Self-organizing map as nonlinear principal component analysis was considered. A review on the different methods of projecting points on map was made. Therefore, software that implement different method of nonlinear principal component analysis is presented.

Ключевые слова: Самоорганизующиеся карты кохонена, нелинейный метод главных компонент, проецирование многомерных данных

Keywords: Self-organizing map, nonlinear principal component analysis, multidimensional data projection.

На текущий момент нейронные сети используются в разных областях [1, 2]. Самоорганизующиеся карты (self-organizing map, далее – SOM) являются одним из классов искусственных нейронных сетей. В картах самоорганизации нейроны ставятся в узлах одно- или двумерной решетки. Допускаются решетки большей размерности, но, как правило, их используют реже, так как такие решетки сложнее интерпретировать. В ходе конкуренции нейроны избирательно настраиваются на различные входные образы (точки). В результате положения нейронов упорядочиваются относительно друг друга, создавая значимую систему координат [3].

Самоорганизующиеся карты обладают следующими свойствами [4]:

- на каждом этапе представления каждый поступающий фрагмент информации сохраняется в своем контексте;
- нейроны, которые работают с близкими областями информации, так же близко расположены друг с другом на решетке, соединяясь, таким образом, короткими синаптическими связями;
- пространственное положение выходных нейронов в топографической карте соответствует конкретной области признаков данных, выделенных из входного пространства [5].

Самоорганизующиеся карты Кохонена часто используют для отображения кластеров. Обычно для каждого нейрона карты вычисляют среднее расстояние до k ближайших нейронов, и полученное распределение расстояний отображают в виде двухцветной полутоновой карты. На ней же отмечают и сами точки обучающей выборки. На такой карте хорошо видно, сколько кластеров выделено, и в

каких местах карты они расположились. Эта карта называется унифицированной матрицей расстояний [6].

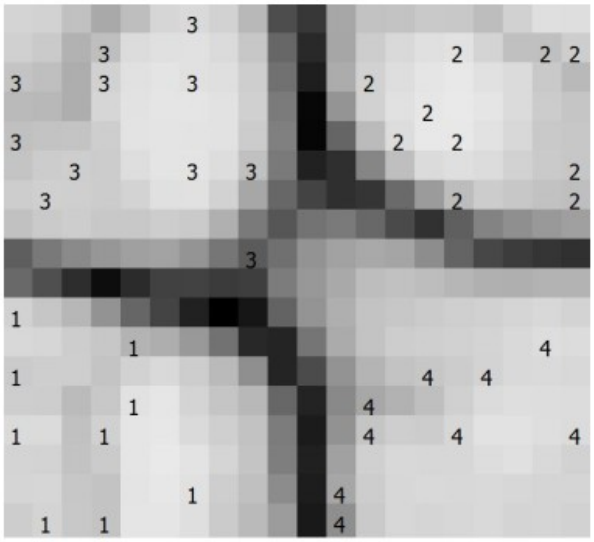


Рисунок 1.а. Пример унифицированной матрицы расстояний

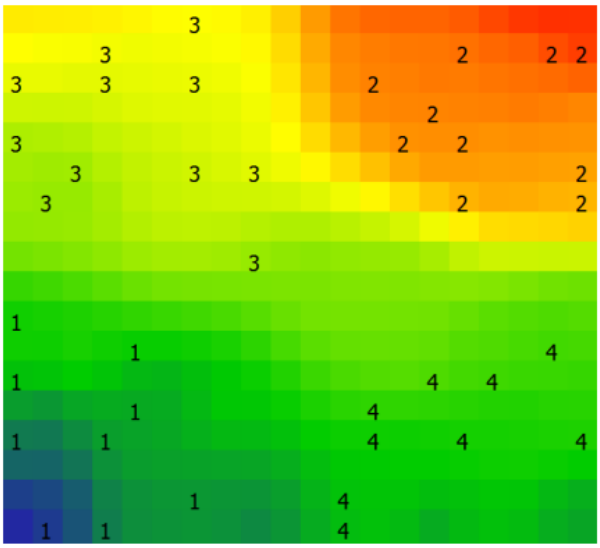


Рисунок 1.б. Пример карты признака

Так же можно построить карту для определенного признака. После выбора признака, рисуется цветная карта, где красный цвет означает высокую интенсивность этого признака, а синий – низкую интенсивность. Пример такой карты можно увидеть на рисунке 1.б. для той же выборки, что и на рисунке 1.а.

Помимо этого, проецировать вектора можно на сами нейроны. Для этого строится плоскость. Ее размеры равны размерам двумерной решетки. Для каждого входного образа необходимо найти самый ближайший нейрон. Координаты этого нейрона и будут координатами этой точки в выходном пространстве. Однако этот метод проецирование теряет точность, так как проецирует непрерывные данные в дискретное пространство. Поэтому в [7] был предложен другой метод проецирования.

Предположим, что двумерная карта самоорганизации построена. Из выборки возьмем вектор $\acute{x}$, который надо спроецировать на эту карту. Новые координаты вектора $\acute{x}_X$ на карте можно получить следующим образом: сначала берется координата по оси X (горизонтальная ось карты), а потом координата по оси Y (вертикальная ось карты). На рисунке 2 изображен процесс нахождения проекции вектора из трехмерного пространства на двумерную решетку.

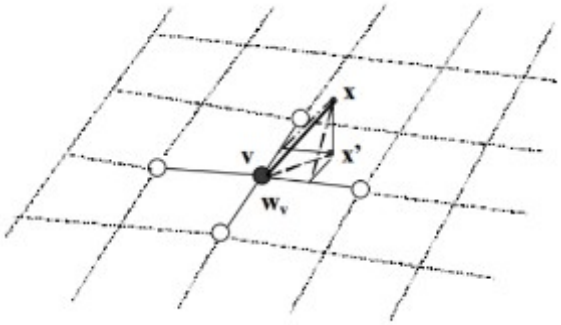


Рисунок 2 – Проекция точек на сетку

Введем обозначение для весов нейрона на двумерной решетке. Веса нейронов будут обозначаться символом $\gamma_{i,j}$, где первый индекс является координатой нейрона по оси X, а вторая – координата по оси Y.

Первым делом необходимо найти победивший нейрон по следующему условию:

$$\gamma_{i_v, j_v} = \arg\max_{i,j} \left\| \acute{x} - \acute{w}_{i,j} \right\|,$$

где $\acute{w}_{i,j}$ – вес нейрона на двумерной решетке, $\acute{x}$ – входной пример.

Если координата победившего нейрона по горизонтали равна нулю, то для получения положения $\acute{x}_X$ вектора $\acute{x}$ в новом пространстве по оси X используется следующая формула:

$$\acute{x}_X = max\left(\frac{(\gamma_{1,j_v} - \acute{x})(\gamma_{1,j_v} - \gamma_{2,j_v})}{\|\gamma_{1,j_v} - \gamma_{2,j_v}\|^2}, 0\right).$$

Если координата победившего нейрона по горизонтали равна ширине сети, то для получения положения $\acute{x}_X$ вектора $\acute{x}$ по оси X используется следующая формула:

$$\acute{x}_X = i_v - max\left(\frac{(\gamma_{i_v,j_v} - \acute{x})(\gamma_{i_1,j_v} - \gamma_{2,j_v})}{\|\gamma_{i_v,j_v} - \gamma_{i_v-1,j_v}\|^2}, 0\right).$$

Если победивший нейрон находится не на краях сетки, тогда необходимо найти какой из нейронов, γ_{i_v-1,j_v} или γ_{i_v-1,j_v}, находится ближе всего к вектору x. Если нейрон $\gamma_{i_v,-1\,j_v}$ближе к вектору $\acute{x}$, то тогда для расчета используется следующая формула:

$$\acute{x}_X = i_v + max\left(\frac{(\acute{x} - \gamma_{i_v,j_v})(\gamma_{i_v,j_v} - \gamma_{i_v-1,j_v})}{\|\gamma_{i_v,j_v} - \gamma_{i_v-1,j_v}\|^2}, 0\right).$$

Если нейрон γ_{i_v-1,j_v} ближе к $\acute{x}$, то используется другая формула:

$$\acute{x}_X = i_v - max\left(\frac{(\acute{x} - \gamma_{i_v,j_v})(\gamma_{i_v,j_v} - \gamma_{i_v+1,j_v})}{\|\gamma_{i_v,j_v} - \gamma_{i_v+1,j_v}\|^2}, 0\right).$$

Точно так же вычисляется положение вектора $\acute{x}_Y$ по горизонтали. Используя этот метод проекции данных на карту, мы получаем уже не дискретное, а непрерывное выходное пространство.

Для исследования возможности SOM как нелинейного метода главных компонент была создана программа, реализующая алгоритм SOM. Данные на вход подаются как файлы формата CSV.

Применим алгоритм SOM к ирисам Фишера. Загрузив данные, перейдем на вкладку SOM. Установим параметры самоорганизующейся карты. Запускаем алгоритм и ждем его остановки. Главное окно с унифицированной матрицей расстояний после остановки алгоритма изображено на рисунке 3.

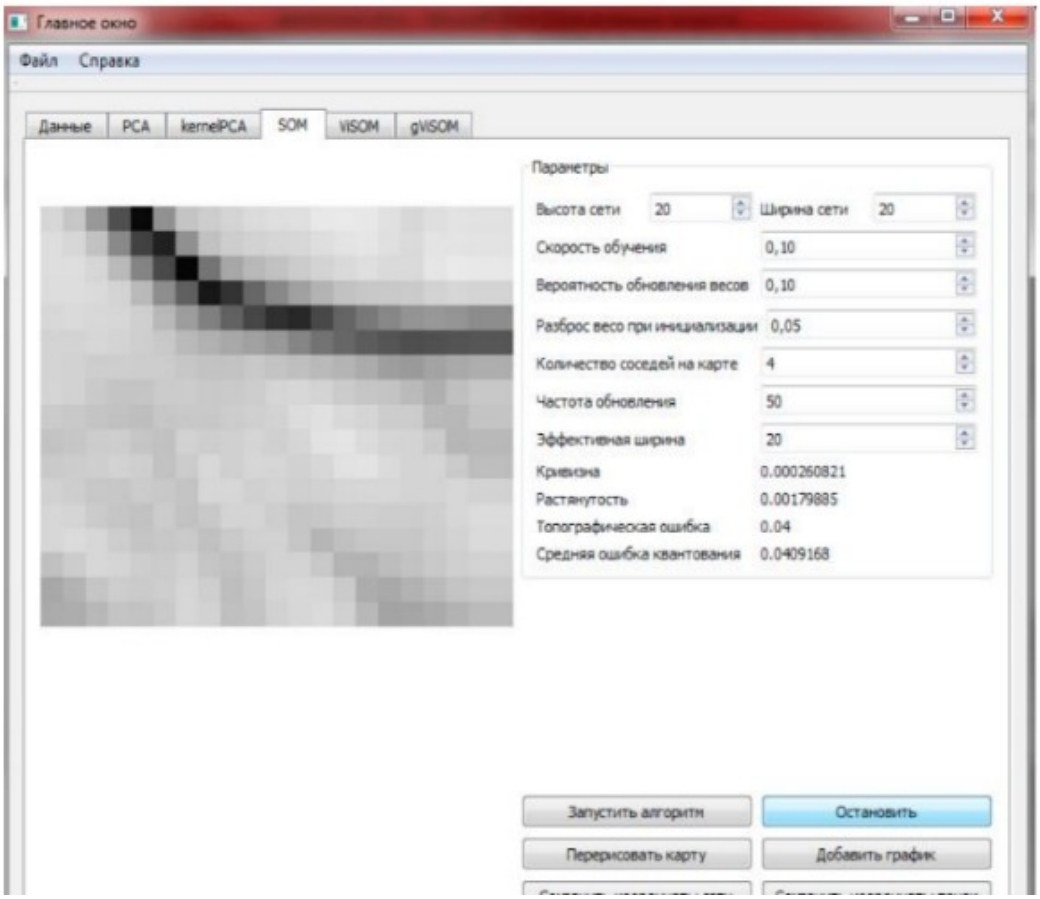


Рисунок 3 – Главное окно после выполнения алгоритма SOM

Добавим несколько графиков. Окно выбора графика изображено на рисунке 4.

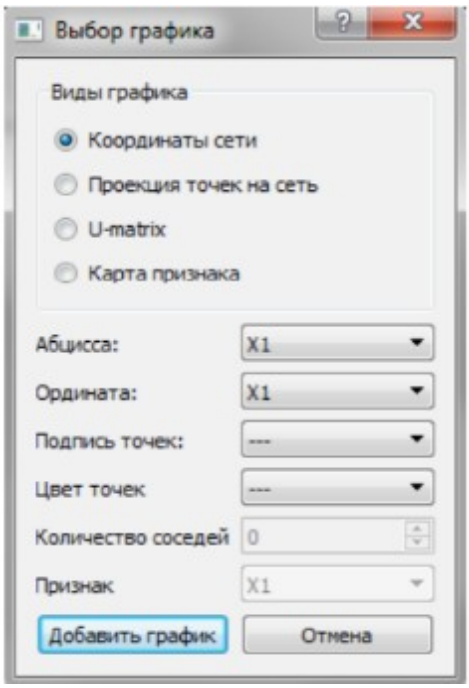


Рисунок 4 – Выбор графика для SOM

На рисунке 5 изображена проекция сети (карты), построенной на исходных данных, на двумерное пространство. Проекция точек на карту показана на рисунке 6.

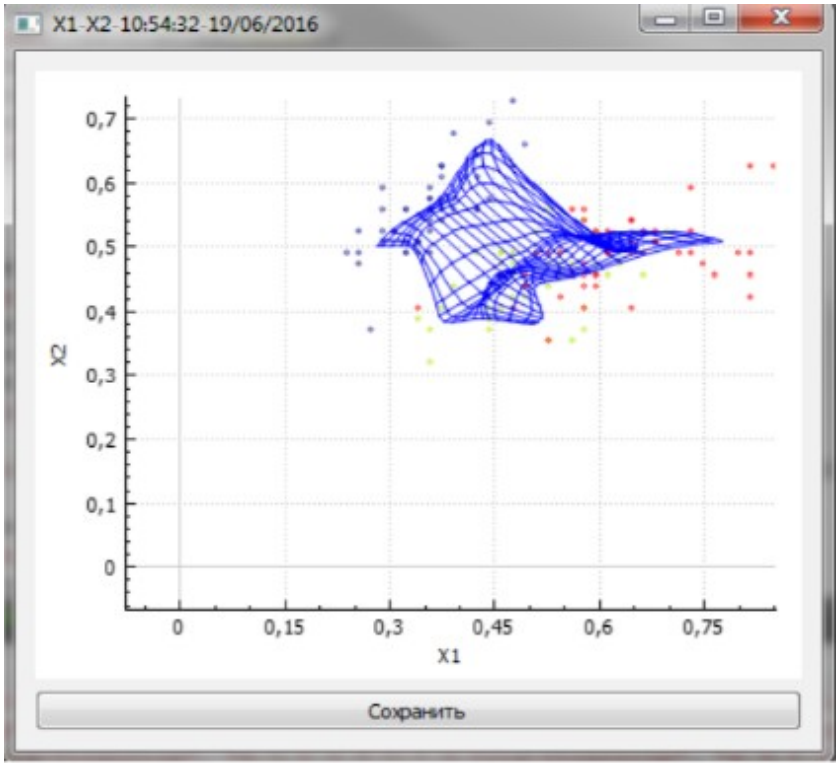


Рисунок 5 – Сеть в исходном пространстве. Красный цвет – ирис виргинский, зеленый – ирис разноцветный, синий – ирис щетинистый

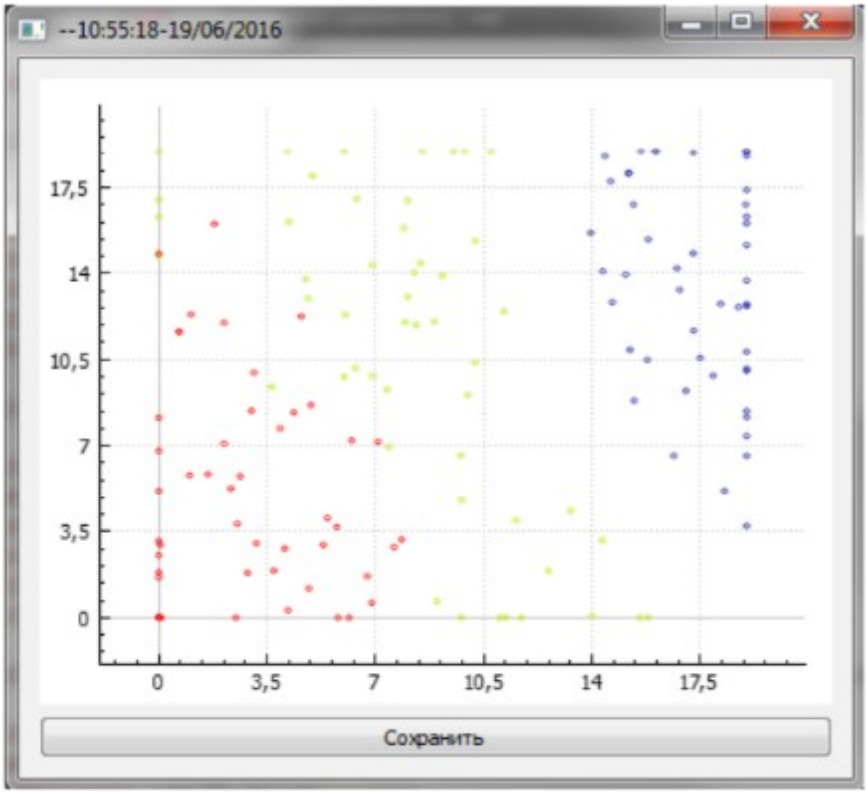


Рисунок 6 – Проекция точек на карту

Нарисуем унифицированную матрицу расстояний и карту первого признака с проекциями точек на них, изображенные на рисунках 7.а. и 7.б. соответственно.

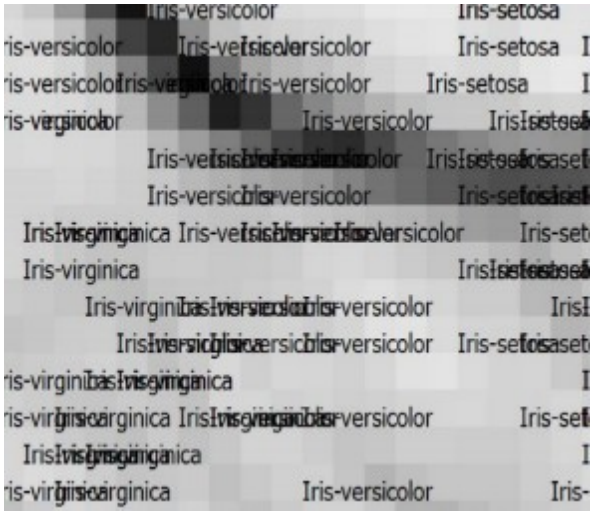


Рисунок 7.а – Унифицированная матрица расстояний

Рисунок 7.б – Карта признака X1

По карте признака X1 видно, что карта хорошо упорядочена. Однако, по проекции на рисунке заметно, что множество точек спроецировано на грани карты. Естественно, локальное расстояние между точками плохо сохранено. В качестве минуса SOM как нелинейного метода главных компонент можно отметить то, что сетка, на которую проецируются данные, сильно деформируется в изначальном пространстве, создавая плохие компоненты в пространстве.

Библиографический список:

1. Бухтояров, В. В., Данилов, А. К., Иванов, Н. В., Тынченко, В. С. Нейросетевая система диагностики нефтеперекачивающего оборудования //Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – №. 5. – С. 164-166.

2. Антамошкин О.А., Кукарцев В.В. Обобщенная модель агента распределенной мультиагентной системы поддержки принятия решений //Информационные технологии и математическое моделирование в экономике, технике, экологии, образовании, педагогике и торговле. – 2016. – № 8. – С. 5-54.

3. Kohonen T. The self-organizing map / T. Kohonen // Proceedings of the Institute of Electrical and E1ectronics Engineers. – 1990. – №78. С. 1464-1480.

4. E.I. Knudsen Computational maps in the brain. / E.I. Knudsen, S.D. Esterly // Annual Review of Neuroscience. – 1987. № 10, С. 41-65.

5. Kohonen T. Improved versions of learning vector quantization, IEEE International Joint Conference on Neural Networks. – 1990. – №1, С. 545 – 550.

6. Самоорганизующиеся карты Кохонена — математический аппарат [Электронный ресурс] : BASEGROUP LABS. Технологии анализа данных. Режим доступа : http://www.rusal.ru/aluminium/history

7. Yin, H. Resolution Enhancement for the ViSOM/ H. Yin // IEEE Transactions on Neural Networks. – 2002. – №11, С. 147 - 152.

Степанов Кирилл Александрович
Stepanov Kirill Alexandrovich
аспирант
Национальный исследовательский Томский государственный университет
kirill.stepanov.90@mail.ru

УДК 53

КЛАССИФИКАЦИЯ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ НА ОСНОВЕ РЕЛЕВАНТНОСТИ ЗАДАЧЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБТЕКАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ВЯЗКОЙ СЖИМАЕМОЙ СРЕДЕ

CLASSIFICATION OF NUMERICAL METHODS BASED ON RELEVANCE OF PROBLEM OF MODELING OF FLOW OF FLYING APPARATUS IN A VISCOUS COMPRESSED MEDIUM

Аннотация: проанализированы численные методы с позиций релевантности задаче моделирования летательных аппаратов, обтекаемых сжимаемой вязкой средой. Получена классификация, в которой группы методов, выделенные по способу решения интегрального уравнения, поделены на подгруппы релевантных данной задаче численных методов моделирования и нерелевантных ей методов.

Abstract: Numerical methods are analyzed from positions of relevance to the problem of modeling aircraft flying in a compressible viscous gas. A classification is obtained in which the groups of methods identified by the method of solving the integral equation are divided into subgroups of numerical methods that relevant to the given problem and methods that are irrelevant to it.

Ключевые слова: задача моделирования обтекания, сеточные методы, бессеточные методы, комбинированные численные методы.

Key words: flow modeling problem, mesh methods, meshless methods, combined numerical methods.

Численные методы моделирования обтекания позволяют анализировать большое количество вариантов решения задач оптимизации летательных аппаратов (ЛА), обеспечивают комплексную оптимизацию параметров ЛА, уменьшают временные и материальные затраты при проведении исследований. Виртуальные расчетно-экспериментальные исследования решают фундаментальные научные проблемы и приводят к ценным практическим результатам. Однако выбор численного метода, релевантного задаче моделирования обтекания, является непростым из-за их многообразия, наличия различных вариантов реализации и большого множества решаемых с их помощью задач. Проблема выбора осложняется еще и тем, что в ходе одного исследования элементы летательного аппарата могут моделироваться разными способами, и на отдельных этапах моделирования ЛА могут использоваться отличающиеся друг от друга расчетные алгоритмы. Можно выделить четкие этапы развития численных методов: линейная теория в 60-е годы XX века, нелинейная теория полного потенциала скорости в 70-е годы, уравнения Эйлера в 80-х годах и уравнения Навье-Стокса, осредненные по Рейнольдсу, с 90-х годов. Задачи, описываемые уравнениями Навье-Стокса, существенно отличаются нелинейностью, малым параметром при старшей производной (обратная числу Рейнольдса величина) и областями сложной геометрии [1, 2], которые могут быть еще и бесконечными, как при обтекании летательных аппаратов. Хотя прослеживается положительная корреляция между временем создания метода и его релевантностью задаче моделирования, пристального внимания заслуживают и методы, созданные в первой половине XX века.

Актуальность анализа численных методов на основе их релевантности задаче моделирования обтекания ЛА газом с учетом сжимаемости и вязкости обусловлена двумя причинами: 1) отсутствием публикаций, описывающих самодостаточные для моделирования численные методы, при огромном количестве работ о численных методах, используемых в моделировании; 2) нет работ с подробным перечнем численных методов, которые подходят для решения задач моделирования обтекания ЛА с учетом сжимаемости и вязкости. Анализировались численные методы, являющиеся самодостаточными, т.е. способными выполнить расчет обтекания без применения других методов в качестве обязательных структурных компонентов. Основным параметром оценки для принятия

решения о релевантности выступила применимость для вязкой сжимаемой среды с разрывами, дополнительно для ускорения принятия решения рассматривались вид схемы интегрирования, используемое уравнение расчета давления, выполнение условия Куранта, вид плотности, возможность расчета в трехмерном пространстве.

Большинство анализируемых методов представляют собой целое семейство иногда довольно различающихся по реализации модификаций с общим названием. В качестве анализируемого варианта выбирался классический, наиболее широко представленный. Некоторые модификации рассматривались отдельно, если их применение в задачах моделирования сопоставимо с методом-основой. Каждый вариант численного метода при выборе под конкретную задачу обязательно анализируется с позиций точности и быстроты расчетов, но подобные оценки на основе релевантности метода в целом сделать невозможно: точность и быстрота расчетов имеет индивидуальную оценку релевантности для каждой задачи моделирования и оценивается субъективно каждым исследователем, ее решающим. Выбранные для анализа параметры релевантности каждого метода, вошедшего в классификацию, оценивались с позиций принципиальной достижимости, без оценочных градаций типа «мало-много», определяемых конкретной задачей моделирования.

Любая классификация численных методов будет несколько условной, поскольку сложно провести четкую границу: одни в определенных условиях становятся частными случаями других. С определенной долей условности методы расчета обтекания ЛА можно классифицировать по различным основаниям: а) тип аэродинамических особенностей, б) место расположения, в) способ удовлетворения граничным условиям; г) метод решения интегрального уравнения и другим. При выборе численного метода, релевантного задаче моделирования обтекания ЛА, важнейшим критерием является способ решения интегрального уравнения. Если за основание деления взять способ решения интегрального уравнения, то численные методы можно условно разделить на 3 группы: 1) сеточные или эйлеровые, в которых расчет ведется на неподвижной сетке; 2) бессеточные или лангранжевы, где сетка движется вместе с частицами среды (условно бессеточные) или же вообще отсутствует (полностью бессеточные); 3) комбинированные, соединяющие в определенной мере преимущества сеточных и бессеточных методов. Данная последовательность методов типична для обзоров в научно-исследовательской и учебной литературе, поэтому именно она определила последовательность представления результатов проведенного анализа на основе их релевантности.

Сеточные методы (mesh methods)

Сеточные методы достаточно развиты и описаны в литературе, проводятся ежегодно конференции международного уровня для обсуждения их проблематики. С их помощью можно решить разнообразные задачи аэрогидродинамики. При этом на расчеты тратится сравнительно много машинного времени. Возникают существенные сложности, если обтекаемое тело движется или деформируется и в ходе расчета сильно изменяется форма расчетной области. При моделировании внешнего обтекания безграничной области трудно перейти к ограниченной расчетной области и задать граничные условия специального вида.

В сеточных методах задачи моделирования решаются с помощью трех вариантов использования сеток. В первом варианте используется стандартный метод связных сеток, адаптированных к геометрии твердого тела. Во втором варианте применяется метод гибридных (другой вариант названия - химерных, от английского «chimera») сеток: сетка на первом уровне строится во всей области, сетка на втором уровне лишь около каждого твердого объекта. Отличительный признак третьего варианта – метод декартовых сеток. Твердое тело пересекает регулярную декартовую сетку по некоторым ячейкам, в результате появляется два типа ячеек: нормальные, находящиеся вне тела целиком, и усеченные, через которые проходит поверхность тела. Подробный анализ преимуществ и недостатков большинства сеточных методов представлен в работе И.С. Меньшова и М.А. Корнева [3].

Отличием сеточных методов является дискретизация поверхности моделируемого объекта и окружающего его пространства. При этом возникает задача моделирования явления турбулентности, решаемая либо прямым численным моделированием турбулентности, либо моделированием крупных или отсоединенных вихрей, либо с применением уравнений Рейнольдса, замкнутых при помощи моделей турбулентности. Проведенный анализ релевантности сеточных методов осуществлен в последовательности, заданной способом построения приближенного решения. Вначале проанализированы сеточные методы с непосредственной аппроксимацией самого

дифференциального уравнения или соответствующих ему интегробалансных соотношений. Затем выполнена оценка релевантности сеточных методов, использующих вариационные формулировки, эквивалентные исходной дифференциальной краевой задаче.

Анализ выявил нерелеватность часто используемого для вязких течений метода конечных разностей (МКР), или метода сеток в более ранней литературе и FDM в англоязычной. В МКР область решения покрывается расчетной сеткой, а дифференциальные уравнения в частных производных аппроксимируются их конечно-разностными аналогами в последовательностях узлов счетной области. Искомые величины – значения переменных в некоторых точках, узлах конечно-разностной сетки. Ошибка уменьшается как h^N, где h — шаг сетки и N — порядок метода. Привлекательность МКР обусловлена его приложимостью к любой системе дифференциальных уравнений, но операция учета граничных условий часто оказывается громоздкой и трудно программируемой. Поскольку точность получаемого численного решения является полностью зависимой от размерности сетки, определяющей узловые точки, то требуется работать с системами алгебраических уравнений высокого порядка. Возникают определенные сложности с использованием конечно-разностных формул на сложных неструктурированных сетках. МКР предъявляет жесткие требования к качеству расчетных сеток, что существенно ограничивает его применение в сложных прикладных задачах и часто обуславливает его нерелевантность задаче моделирования обтекания летательных аппаратов. МКР считается универсальным [4], хотя с этим сложно согласиться. Он не применим к задачам с разрывами параметров, так как при переходе к области сложной геометрии нужно генерировать новую сетку и заменять сложные участки границы более простыми, например отрезками прямых. Дополнительные погрешности в приближенном решении возникают из-за сноса условий на бесконечности на удаленный от обтекаемого тела контур. Следовательно, требуются модификации для обеспечения его релевантности анализируемому классу задач.

В подгруппу релевантных отнесен метод конечных (контрольных) объемов (МКО и FVM в англоязычном варианте, или интегро-интерполяционный метод). Счетная область R в нем разбивается на конечные (контрольные) непересекающиеся объемы, причем внешние грани граничных ячеек принадлежат границам счетной области. Используется интегральная форма исходных дифференциальных уравнений, которые аппроксимируются на каждом элементарном объеме, значения газодинамических параметров на гранях ячеек линейно доопределяются по значениям в узловых точках. Результирующая система линейных алгебраических уравнений выводится из законов сохранения массы, импульса и энергии для каждого конечного объема. Изменение параметров по времени в узлах конечно-разностной сетки определяется с помощью соотношений, учитывающих изменение параметров в соседних конечных объемах. Такой подход обеспечивает второй порядок аппроксимации по пространственным координатам. Искомыми величинами выступают средние по некоторым объемам, ячейкам расчетной сетки. Ошибка уменьшается как и в МКР. Релевантным анализируемой задаче вариантом МКО является метод Годунова со схемами сквозного счета газодинамических течений, имеющих разрывы параметров внутри расчётной области. Путем решения задачи о распаде произвольного разрыва определяются потоки через боковые грани.

Характеристику релевантного получил и классический проекционно-сеточный метод конечных элементов (МКЭ или FEM), предложенный Р. Курантом в 1943 году. При реализации МКЭ исследуемое тело разбивается на подобласти простого очертания, называемые конечными элементами. Решение на каждом конечном элементе записывается как суперпозиция небольшого числа базисных функций. Основой численной модели метода выступают вариационные принципы механики, чаще других принцип минимума потенциальной энергии. Искомые величины – коэффициенты разложения решения на каждом конечном элементе. Популярность МКЭ для решения эллиптических уравнений и систем, возникающих при математическом моделировании упругих конструкций, объясняется его механической ясностью и широкими практическими возможностями. Этот высокоэффективный метод с широким диапазоном применимости характеризуется сравнительной легкостью учета реальных граничных условий. Недостатки МКЭ вызваны тем, что в трехмерных задачах с удаленными границами при реализации схемы дискретизации всего тела неизбежно получается слишком много конечных элементов, в которых не все неизвестные переменные изменяются непрерывно. В расчетной области криволинейные участки и границы

заменяются вписанными в них ломанными, такой учет геометрии в некоторых исследованиях может оказаться недостаточно точным.

Метод граничных элементов (МГЭ, английский вариант BEM) создан в Англии, в Саутгемптонском университете. Его называют также методом граничных интегральных уравнений и панельным методом. Панелями называют фрагменты контура профиля или поверхности, которые для удобства интегрирования заменяются линиями или поверхностями простой формы. МГЭ релевантен по отношению к задачам моделирования в вязкой сжимаемой среде и имеет важные только ему присущие преимущества. Он пригоден для моделирования тел произвольной формы и позволяет переходить от бесконечной области к постановке задачи на ограниченном многообразии с размерностью, меньшей на единицу. Интегральное представление решения полностью удовлетворяет условиям на бесконечности. Решив интегральное уравнение, исследователь получает возможность вычисления значений переменных в любой точке расчетной области, а решение полностью непрерывно повсюду в ней. Есть три варианта МГЭ: а) прямой (неизвестные функции в интегральных уравнениях – это реальные, имеющие физический смысл переменные задачи), полупрямой и непрямой. МГЭ ранее широко использовался, но с начала 90-х годов XX века его стали заменять другими методами, так как при моделировании профиля произвольной формы применение МГЭ затруднено и может стать источником ошибок. Он может комбинироваться с другими методами, что существенно расширяет область совместного применения, например, у МГЭ проявляются четко выраженные преимущества в областях больших размеров, а МКЭ удобен для включения объектов конечного размера и прогнозов возможного решения в зонах быстрого изменения свойств.

Основой релевантного анализируемому классу задач комплексного метода граничных элементов (КМГЭ) выступает аппроксимация границы дискретными граничными элементами. Граничные интегралы вычисляются с использованием комплексных переменных, что упрощает расчеты и повышает эффективность моделирования физических процессов в сравнении с вещественными переменными. Область применения КМГЭ ограничена двумерными задачами. Его отличительная черта – использование интеграла Коши, ставшего основой построения метода граничных интегральных уравнений. Исследователи при выборе метода должны учесть существенный недостаток МКЭ, МГЭ, КМГЭ, заключающийся в невозможности дальнейшего продолжения расчетов после изменения связности расчетной области, например, после обрушения ударной волны.

Метод жидкости в ячейках (FLIC) разработан на основе комбинированного метода частиц в ячейках (МЧЯ) для моделирования движения сплошной среды путем упразднения дискретных частиц с сохранением большинства преимуществ МЧЯ. Оба метода релевантны анализируемой задаче моделирования.

Основа релевантного метода спектральных элементов (МСЭ) – замена искомой функции на функциональный ряд ортогональных функций, являющихся собственными функциями задачи Штурма-Лиувилля, определённой на $\Omega=(-1,1)$. В результате исходные дифференциальные уравнения в частных производных заменяются обыкновенными дифференциальными уравнениями для коэффициентов разложения искомых функций по некоторому базису. Эти коэффициенты в любой момент времени помогают восстановить искомое решение, а алгоритм быстрого преобразования Фурье ускоряет восстановление. Преимущества МСЭ: а) хорошая точность, которая бывает экспоненциальной $O(c^N)$, где $0 < c < 1$; б) простота использования, особенно при нахождении производных высоких степеней; в) эффективность в отношении памяти. Но на краях расчетной области точность уменьшает феномен Гиббса; выше на степень свободы, чем в разностных методах, потребность в вычислительных ресурсах; метод плохо работает в задачах с нестандартной геометрией и отличными от периодических граничными условиями.

Таким образом, релевантными задаче моделирования обтекания ЛА в вязкой сжимаемой среде признаны семь сеточных методов: конечных (контрольных) объемов (МКО), Годунова, конечных элементов (МКЭ), жидкости в ячейках (FLIC), спектральных элементов (МСМ), граничных элементов (МГЭ) и комплексный метод граничных элементов (КМГЭ).

Построение расчетной сетки обтекаемого твердого тела сложной геометрии иногда занимает время, сопоставимое со временем счета самой задачи. Критичными могут стать затраты на создание сеток в задачах с многократными изменениями геометрии обтекаемого твердого тела. Проблема заметно усложняется в расчетах обтекания подвижных препятствий. Тогда используются методы

скользящих или деформирующихся сеток с перестройкой сетки на каждом временном шаге. Разработка методов моделирования без описания поверхности твердого тела расчетной сеткой расширяет область применения вычислительной аэродинамики и является актуальным направления развития исследований.

Бессеточные методы (meshless methods)

Группа бессеточных методов в физико-механических задачах о движении материального континуума не применяет расчетные сетки, а моделирует путем исследования взаимодействий условных частиц с определением интегральной или другой математической процедуры, восстанавливающей физические параметры континуума по текущему состоянию множества частиц. Отношение соседства частиц не фиксировано: частицы-соседи в начальный момент времени могут со временем оказаться далеко друг от друга. Выделяют условно бессеточные и полностью бессеточные методы. Условно бессеточными являются метод естественных соседей (Natural Element Method, NEM) и обобщенный метод естественных соседей (General NEM, GNEM), являющийся комбинацией MFEM и NEM. Полностью бессеточными являются три метода: 1) метод сглаженных частиц (Smooth Particle Hydrodynamics, SPH); 2) Incompressible SPH (ISPH) и 3) бессеточный метод конечных элементов – MFEM. Характерными представителями этой группы являются также полунеявный метод движущихся частиц (Moving Particle Semi-implicit, MPS) [5]. В некоторых обзорах бессеточных методов, например [6], они разделяются на методы с аппроксимацией решения дифференциального уравнения в сильной (методы коллокации) и слабой форме (вариационные принципы), а также на методы гладких частиц с интегральными формами представления.

Метод естественных соседей (NEM) разработан Л. Траверсони в 1994 году, первым из условно бессеточных методов нового поколения, для решения задач теории пластичности. NEM в стационарных задачах моделирует как обычный сеточный метод Галёркина, а в нестационарных задачах применяется подход Лагранжа: на каждом временном шаге по найденному положению узлов на предыдущем шаге строится сетка, определяющая новую структуру соседей для каждой узловой точки области, где решается аппроксимированная система уравнений. Благодаря такой особенности он сохраняет некоторые преимущества классического метода Б.Г. Галёркина: а) простоту функций формы в области определения, б) непрерывность между элементами и в) легкость введения граничных условий. NEM имеет и все достоинства бессеточных методов, так как функции формы зависят только от положения узловых точек. Дискретная система уравнений получается способом взвешенных невязок в интегральной форме. Интегралы берутся в треугольных элементах, образующих с текущим узлом пары его естественных соседей. Идея NEM заключается в использовании интерполяций Сибсона и Лапласа, базирующихся на диаграмме Вороного с единственностью разбиения и выпуклостью всех ее элементов. Интерполяция Сибсона использует меры размерности пространства, что обеспечивает более гладкие результаты в сравнении с интерполяцией Лапласа, использующей меры с размерностью, меньшей на 1, чем у соответствующего пространства, каждая мера дополнительно делится на линейный размер. Алгоритм реализации NEM: 1) для каждого узла определяется множество естественных соседей; 2) генерируются треугольные элементы; 3) по методу Галёркина записывается слабая форма уравнений, вычисляются функции формы и их производные, используя интерполяцию Сибсона, для вычисления интегралов применяются квадратуры Гаусса. NEM разработан для несжимаемой среды и поэтому классифицирован как нерелевантный анализируемому классу задач моделирования.

Обобщенный метод естественных соседей (GNEM) сочетает в себе свойства МКЭ и NEM. GNEM удовлетворяет условия LBB (Ladyzhenskaya-Babuska-Brezzi) для совместной аппроксимации, что обеспечивает невырожденность решения. Он применяется только для несжимаемой среды, поэтому является нерелевантным анализируемому типу задач моделирования ЛА.

Метод Монте-Карло (en Monte Carlo method), или метод статистических испытаний, был введен Э. Ферми для вычисления многомерных интегралов. Этот расчетный численный способ решения исследовательских задач на основе моделирования случайных величин и формализованного описания неопределенности почти с идеальным параллелизмом, но с невысокой точностью. В методе Монте-Карло для целевой случайной величины генерируется набор случайных значений, а затем на его основе рассчитываются требуемые значения. Этот способ на основе статистических данных и различного рода ограничений формирует имитационные модели и создает множество сценариев реализации исследовательских задач, обеспечивая выбор наиболее вероятных. Релевантен задаче моделирования ЛА в вязкой сжимаемой среде, но потребует больших вычислительных затрат.

Особое положение среди всех бессеточных методов занимает созданный в 1977 году метод сглаженных частиц (SPH) и его более поздние модификации (MLSPH, RKPM, MPS, ISPH и другие) В SPH движения сплошной среды моделируются на основе дискретного представления множеством условно материальных частиц сферической формы с ядром сглаживания. Численная аппроксимация функции проводится по методу интегрирования Монте-Карло, но точки с известным значением функции не генерируются случайным образом, а представлены набором частиц в пространстве. Точность аппроксимации и соответственно точность решения прямо пропорциональны плотности точек и равномерности их распределения. Идея SPH заключается в дискретизации сплошной среды конечным набором частиц, движущихся со скоростью потока и допускающих произвольную связность между собой. Все функции системы уравнений движения представлены интегралами по некоторой области течения (области сглаживания) от этих функций с весовой функцией Дирака, заменяемой затем финитной функцией (функцией ядра). Финитная функция может быть аналитически продифференцирована. Полученная система обыкновенных дифференциальных уравнений решается численным методом. Перебор всех частиц в пространстве имеет квадратичный порядок сложности и практически не реализуется. Поэтому в SPH сокращение времени на поиск соседних частиц является исключительно важным, учитывая их произвольное перемещение в пространстве и возможность свободно перемешиваться. Для экономии времени можно разбить пространство на ячейки и суммировать только по частицам в соседних ячейках. Построенная сетка является вспомогательной, не предназначена для аппроксимации, не влияет на получаемое решение, и метод SPH остается бессеточным. Следовательно, SPH – это эффективный бессеточный лагранжевый численный способ расчетов структуры течений с неизвестной свободной границей, в частности высокоскоростных процессов в средах с существенно изменяющейся при интенсивном динамическом нагружении топологией моделируемых объектов. Ввиду ограничений по области применения и из-за сложности математического аппарата SPH в основном служит для проверки точности других методов. Метод несжимаемых сглаженных частиц (Incompressible Smoothed Particle Hydrodynamics, ISPH) моделирует с использованием сглаженных частиц для несжимаемых сред и, в отличие от классического метода SPH, полностью удовлетворяет условию несжимаемости. Результаты сравнительного анализа и оценка релевантности SPH и ISPH представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение методов SPH и ISPH

Параметры сравнения	SPH	ISPH
Релевантность	Релевантный	Нерелевантный
Схема интегрирования	Явная	Неявная
Уравнение расчета давления	Уравнение состояния	Уравнение Пуассона
Условие Куранта	Скорость звука	Максимальная скорость частиц
Вид плотности	Переменная	Постоянная

К группе полностью бессеточных относится полунеявный метод движущихся частиц (MPS), который используется для расчётов течений вязкой несжимаемой среды. Применяется подход Лагранжа к моделированию динамики сплошной среды. MPS разработан сотрудниками Токийского университета, возглавляемыми профессором С. Кошизука (S. Koshizuka) в 1996 году. Его принцип похож на базовый принцип SPH: дискретизация сплошной среды набором частиц, аппроксимирующих малый объём среды. В отличие от SPH интеграл приближается конечной суммой по частицам, введена количественная плотность частиц, используется другая формула аппроксимации градиента функции, функция ядра применяется в качестве весовой. MPS не подходит для моделирования обтекания в сжимаемой среде, т.е. классифицируется нами как нерелевантный.

Основой бессеточного метода конечных элементов (MFEM) служит классический МКЭ. Для аппроксимации неизвестных функций применяются функции формы Лапласа. Дискретизация расчетной области выполняется элементами расширенной триангуляции Делоне, что обеспечивает единственность разбиения и, как следствие, единственность результата интерполяции. MFEM

включен в подгруппу бессеточных методов, нерелевантных анализируемому классу задач, так как применяется только для несжимаемой внешней среды.

В сравнительно небольшой области с ненулевой завихренностью, возникающей при моделировании внешнего обтекания тел, могут быть особенно результативны бессеточные лагранжевы вихревые методы (en vortex methods): в случае решения плоских задач – метод дискретных вихрей и метод вязких вихревых доменов; для моделирования пространственных течений – метод вихревых рамок, метод вихревых отрезков и их модификации. Вихревые численные методы различаются моделями турбулентности, способами моделирования процесса конвекции, схемами расчета поля скорости течения, способами моделирования вязкой диффузии в свободном потоке и схемами учета граничных условий для завихренности. Они имеют достоинства методов частиц (particle methods): а) применимы к задачам с большими деформациями и изломами, т.к. легко вычисляют связности между узлами; б) легко программируются и стыкуются с системами автоматизированного проектирования; в) можно управлять точностью вычислений для областей с особенностями; г) достаточно точно представляют геометрический объект. Частицами выступают элементарные поля завихренности – вихревые элементы, с помощью которых моделируется распределение завихренности в области течения. Общее количество N вихревых элементов может быть достигать 5-7-значное число. Частица – вихревой элемент – переносит завихренность, которая индуцирует в окружающем пространстве скорость по закону Био-Савара. Каждый вихревой элемент влияет на поле скоростей во всем пространстве, а суммарное поле скоростей находится как сумма влияний всех вихревых элементов. По известным положениям вихревых элементов вычисляется давление в любой точке течения. Область течения с завихренностью (вихревой след), обычно достаточно компактна, поэтому вычислительные ресурсы концентрируются именно в ней, а не распыляются по всей сетке, которая в задачах внешнего обтекания намного превышает размеры вихревого следа. Для решения задач аэродинамики в вихревых методах используется интегральная процедура восстановления кинематических и динамических полей движущейся несжимаемой среды.

Получена следующая классификация вихревых методов. В подгруппу релевантных задаче моделирования обтекания ЛА в вязкой сжимаемой среде вошли 2 вихревых метода:

1) авторами метода вязких вихретепловых доменов (с двумя вариантами аббревиатур ВВТД и ВТД) являются сотрудники Института механики МГУ П.Р. Андронов, С.В. Гувернюк и Г.Я. Дынникова [7]. Он основан на бессеточных подходах к численному моделированию произвольных плоских движений вязкой несжимаемой среды и движений погруженных в нее тел, учитывающих теплопередачу и тепловую конвекцию. Этот метод для сопротивляющейся вязкой среды создан путем обобщения лагранжева метода вязких вихревых доменов (МВВД), эффективно рассчитывающего нестационарные двумерные течения вязкой несжимаемой среды [8]. Вихревые поля, эволюционирующие соответственно уравнениям Навье-Стокса сжимаемой среды, представлены дискретным набором вихревых лагранжевых частиц, а температурные поля – набором тепловых лагранжевых частиц. В постановке задачи нет внешних массовых сил и динамические процессы не зависят от тепловых. Лагранжевы частицы возникают на обтекаемых поверхностях и перемещаются относительно среды с диффузионной скоростью по законам диффузии завихренности и тепла;

2) метод диффузной скорости (en diffusion velocity method) – это бессеточный вихревой численный метод моделирования плоскопараллельных течений вязкой сжимаемой среды. Поле завихренности представляется вихревыми частицами с фиксированной формой и шириной ядер, которые перемещаются со скоростью, равной сумме скорости среды и диффузионной скорости.

Четыре самодостаточных вихревых методов моделирования обтекания признаны в результате анализа нерелевантными указанной задаче из-за игнорирования вязкости и/или учета несжимаемости:

1) Л. Розенхедом (L. Rosenhead) в 1931 году предложен метод дискретных вихрей (МДВ), в английском варианте en method of discrete vortices, MDV. МДВ использует в качестве вычислительных элементов перемещающиеся вихри. Он эффективен при расчете двумерных несжимаемых невязких течений с ламинарным и турбулентным отрывами потока, в которых влиянием вязкости можно пренебречь. К таким течениям относится течение около плохообтекаемых тел;

2) на решении дифференциальных уравнений Навье-Стокса для вязкой несжимаемой среды базируется метод вязких вихревых доменов (МВВД) (enviscous vortex method) и представляет

течения набором дискретных дипольных элементов в лагранжевых координатах, по которым полностью восстанавливаются гидродинамические поля давления и скорости. Через введение векторной функции плотности диполей выражаются скорость и завихренность в поле течения. Выведенные уравнения эволюции плотности диполей эквивалентны уравнениям Навье-Стокса, и граничные условия сформулированы в виде интегрального уравнения. Использование дипольного представления завихренности обеспечивает соленоидальность вихревого поля и позволяет построить численную схему с сохранением гидродинамического импульса;

3) в методе вихревых отрезков, разработанного для несжимаемой среды, производится разбиение области на непересекающиеся ячейки. В каждой из них размещается вихревой отрезок заданной длины – вортон. Вортоны-отрезки описываются интенсивностью и координатами двух характерных точек, которые движутся по траекториям частиц. Обычно в качестве этих точек выбирают концы отрезка. Однако при вычислении скоростей вблизи краев вортонов получаются большие погрешности в ходе нахождения скорости изменения вектора его интенсивности. Все же вортон-отрезок представляется более продуктивным элементом для моделирования вихревых трубок, так как он может естественным образом удлиняться и укорачиваться;

4) метод вихревых рамок для описания процесса генерации завихренности использует вспомогательные замкнутые вихревые рамки, составленные из вихревых отрезков. С их помощью на поверхности тела формируется расчетная схема, удовлетворяющая граничному условию непротекания. Так в ходе расчета возникает необходимость перехода от вспомогательных вортонов на теле к вортонам, воссоздающим вихревой след. Этот переход достаточно сложен, может потеряться точность и устойчивости счета, а также потребуются дополнительные вычислительные ресурсы. Чтобы построить расчетную схему на теле без вспомогательных вортонов применяется метод дискретных вихрей с замкнутыми вихревыми рамками. Каждая вихревая рамка моделирует отдельный ею охватываемый элемент вихревой поверхности, обеспечивая аэродинамическую замкнутость вихревой системы. Условие постоянства циркуляции по замкнутым контурам обтекаемого объекта удовлетворяется в данной схеме автоматически.

Мезоскопические методы (en mesoscopic methods) основаны на промежуточном представлении о континууме как о молекулярном веществе и сплошной среде. В релевантном методе решеток Больцмана решение задач аэродинамики и теплообмена достигается в рамках кинетических уравнений Больцмана. Он отличается легкостью распараллеливания, возможностью моделирования многофазных потоков и потоков в пористых средах. Первые коммерческие продукты на его основе стали появляться приблизительно в 2010 году. Уравнение Больцмана описывает изменения плотности распределения частиц разреженных газов по скоростям в каждой точке пространства со временем. Проинтегрировав распределение частиц по скоростям в данной точке, можно получить плотность и макроскопическую скорость в ней. Макроскопически уравнение Больцмана эквивалентно уравнению Навье-Стокса. Хотя для плотных сред уравнение Больцмана не применимо, но если его смоделировать, то можно будет смоделировать и уравнение Навье-Стокса для этих сред. Основная идея состоит в замене нижележащего уровня абстракций для плотных сред физически неправильной реализацией для разреженных газов, верно описывающей верхний уровень (макроскопическое уравнение Навье-Стокса).

Бессеточные методы позволяют достаточно точно воспроизводить кинематику течений, однако получение динамических характеристик для расчета аэродинамических нагрузок, является трудоемкой задачей. Общие недостатки бессеточных методов проявляются в сравнительно невысокой точности и трудности введения граничных условий. Возможность легко моделировать обтекание произвольно движущихся и деформирующихся тел выступает важным преимуществом бессеточных методов. Это позволяет ставить и удобно решать сопряженные задачи, когда поток среды влияет на движение тела, а тело – на движение среды.

Таким образом, подгруппа методов, релевантных задаче моделирования обтекания ЛА в вязкой сжимаемой среде, состоит из пяти выше описанных бессеточных методов: Монте-Карло, сглаженных частиц (SPH), вязких вихретепловых доменов (ВВТД), диффузной скорости и решеток Больцмана.

Комбинированные методы (combined methods)

Анализ релевантности комбинированных методов имел специфические трудности. Во-первых, комбинированными численными методами принято называть метод хорд и касательных, метод Ньютона, которые не являются самодостаточными методами моделирования, а используются

как элементы расчетного алгоритма. Во-вторых, комбинированными численными способами моделирования обтекания ЛА часто позиционируются методы с несопоставимо узкой широтой применения, иногда представленной лишь в одном диссертационном исследовании.

Комбинированными в полном значении этого понятия можно считать методы, сочетающие в себе сеточный и бессеточный подходы и использующие преимущества каждой из методологий. Они могут сохранять преимущества классических сеточных методов (простота функции формы в области определения, непрерывность между элементами, простота введения граничных условий), но обладать всеми преимуществами бессеточных методов, так как функции формы зависят только от положения узловых точек. Самодостаточные комбинированные методы проанализированы в хронологической последовательности их возникновения.

Метод «частиц в ячейках» (МЧЯ или PIC) разработан Ф. Харлоу (F. H. Harlow) [9] в Лос-Аламосской национальной лаборатории Министерства энергетики США в середине 50-х годов XX века. Это релевантный универсальный гибридный метод, сочетающий интегрирование уравнений движения частиц с решением уравнений на разностной сетке при определении действующей на частицы силы. Моделируемая среда в МЧЯ заменяется системой частиц фиксированной массы (молекул исследуемого газа) конечного числа N, распределенных в начальный момент времени в ячейках неподвижной эйлеровой сетки соответственно начальным координатам. Применяется расщепление физических процессов на временном шаге Δt. Эволюция совокупности частиц на Δt проходит два этапа: 1) на этапе столкновительной релаксации изменяется внутреннее состояние совокупности частиц, находящихся в ячейках предположительно в неподвижности; 2) на этапе бесстолкновительной релаксации смещаются частицы без изменения внутреннего состояния системы пропорционально их скоростям и шагу по времени, взаимодействуя с границей контрольного объема и поверхностью канала.

Метод маркеров и ячеек (Marker-and-Cell, MAC) предложен в работах Ф. Харлоу и Дж. Уэлча (J. E. Welch) (1965 год) и Уэлча с соавторами (1966 год). MAC проявляет себя как один из наиболее эффективных алгоритмов решения нестационарных задач динамики вязкой несжимаемой среды со сложной геометрией и большими деформациями. Он отличается использованием смешанного эйлерова-лагранжева подхода. Исследуемая область разбивается неподвижной разнесенной эйлеровой сеткой на ячейки. Одновременно с целью определения положения свободной поверхности и визуализации течения используется лагранжева сетка частиц-маркеров, переносимых полем скоростей. Используется полная система уравнений Навье-Стокса с простейшими физическими переменными, составляющими скорости и давления. Уравнения количества движения основаны на разностной схеме с разностями вперед по времени и центральными разностями по пространственным переменным. На каждом временном шаге итерационными методами решается разностное уравнение Пуассона для давления, удовлетворяющее условию несжимаемости. С его помощью возможно также решение стационарных задач с установившимся течением методом установления по времени. Первоначально разработанная для прямоугольной декартовой системы координат методика впоследствии была распространена на цилиндрическую систему в случае осевой симметрии. В связи с удовлетворением условия несжимаемости MAC отнесен к подгруппе нерелевантных комбинированных методов.

Метод вихревых частиц в ячейках (vortices-in-cells, VIC), напротив, является релевантным. Он пригоден для течений с ламинарным и турбулентным отрывами потока, если влияние вязкости мало. Создается одна или несколько однородных сеток, в ячейках которых располагаются вихревые частицы. Достоинства VIC: сравнительно небольшой объем памяти для хранения вложенных сеток вплоть до отсутствия в случае одной однородной сетки, удобство применения процедур ускорения расчета поля скорости, и меньшие затраты времени на ее вычисление. Для выполнения требуемых операций с быстрым преобразованием Фурье потребуется $O(N*\log_2(N))$. Недостатки VIC: большая численная вязкость по сравнению с лагранжевыми методами вследствие перераспределения вихрей в ячейки сетки. Алгоритм вихревых частиц в ячейках для плоских течений идеальной несжимаемой среды был впервые представлен Дж.П. Кристенсеном (J.P. Christiansen) в 1973 году.

Метод частиц, или лагранжево-эйлеровых частиц, опубликован в 2001 году А.М. Франком. Данный метод классифицирован как релевантный, поскольку он строится на свободно-лагранжевой модели по принципу наименьшего принуждения Гаусса и представляет собой некоторый специальный вариант метода Галёркина. Принцип Гаусса дает ряд преимуществ: численная схема получается полностью консервативной и устойчивой, а массовые внутренние и поверхностные силы

вычисляются в естественных эйлеровых координатах. Использование частиц позволяет легко отслеживать границы раздела, причем произвольное изменение связности течения и границ не увеличивает алгоритмическую сложность.

Таким образом, релевантными анализируемому классу задач моделирования оказались 3 комбинированных метода частиц: «частиц в ячейках», вихревых частиц в ячейках и лагранжево-эйлеровых частиц. Комбинированный метод маркеров и ячеек отнесен к подгруппе нерелевантных задаче моделирования обтекания летательных аппаратов в вязкой сжимаемой среде.

Библиографический список:

1. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: Учебное пособие. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Физматлит, 2003. – 736 с.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с.
3. И.С. Меньшов, М.А. Корнев, Метод свободной границы для численного решения уравнений газовой динамики в областях с изменяющейся геометрией // Матем. моделирование, 26:5 (2014). – С. 99-112.
4. Дегтярев, А. А. Метод конечных разностей / А. А. Дегтярев. – Самара: Изд-во СГАУ, 2011 .– 83 с.
5. ГОСТ Р 57700.6-2017. Численное моделирование физических процессов. Термины и определения в области бессеточных методов численного моделирования [Текст]. – Введён 2018-05-25. – М.: Стандартинформ, 2017. – 22 с.
6. Колодяжный В.М. Бессеточные методы в задачах моделирования физических процессов / В.М. Колодяжный, О.Ю. Лисина // Пробл. Машиностроения. — 2010. — Т.13, №3. — С. 67-74.
7. Андронов П.Р, Гувернюк С.В., Дынникова Г.Я. Лагранжев численный метод решения двумерных задач свободной конвекции. // Труды четвёртой Российской национальной конференции по теплообмену, т.3. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – С. 38-41.
8. Роуч П. Вычислительная гидродинамика / Roache Patrick J.; Пер.с англ. В.А. Гущина, В.Я. Митницкого; Под ред. П.И. Чушкина. – М.: Мир, 1980. – 616 с.
9. Harlow F.H. The particle-in-cell computing methods for fluid dynamics. – Methods Comput. Phys., 1964. –Vol.3, pp. 319-343. DOI 10.1007/BF00230516.

Научное издание

Коллектив авторов

Сборник материалов XX Международной научной конференции «Техноконгресс»

ISBN 978-5-9500488-8-3

Техниконаучный журнал «Техноконгресс»

Кемерово 2018