

Научный центр «LJournal»

Рецензируемый научный журнал

**Современные достижения
научно-технического прогресса**

№3(8), Май 2023

Peer-reviewed scientific journal
«Modern achievements scientific and technological progress»
May 2023, №3(8)



Самара, 2023

T33

Рецензируемый научный журнал «Современные достижения научно-технического прогресса» №3(8), Май 2023 - Изд. Научный центр «LJournal», Самара, 2023 – 44 с.

Peer-reviewed scientific journal «Modern achievements scientific and technological progress» May 2023, №3(8), - Scientific center "LJournal", Samara, 2023 - 44 pages.

doi журнала: 10.18411/sdntp

doi номера: 10.18411/sdntp-05-2023

Современные достижения научно-технического прогресса - это рецензируемый научный журнал, в который включены результаты научных исследований из самых важных областей научных знаний.

Периодичность выхода журнала – 6 раз в год. Такой подход позволяет публиковать самые актуальные научные статьи и осуществлять оперативное обнародование важной научно-технической информации.

Информация, представленная в журнале, опубликована в авторском варианте. Орфография и пунктуация сохранены. Ответственность за информацию, представленную на всеобщее обозрение, несут авторы материалов.

Метаданные и полные тексты статей журнала передаются в наукометрическую систему ELIBRARY.

Электронные макеты издания доступны на сайте научного центра «LJournal» - <https://ljournal.org>

© Научный центр «LJournal»
© Университет дополнительного
профессионального образования

© Scientific center "LJournal"
© The university of additional
professional education

УДК 001.1
ББК 60

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Чернопятов Александр Михайлович
Кандидат экономических наук, Профессор

Ильященко Дмитрий Павлович
Кандидат технических наук

Андреева Ольга Николаевна
Кандидат филологических наук, Доцент

Попова Наталья Владимировна
Кандидат педагогических наук, Доцент

Вражнов Алексей Сергеевич
Кандидат юридических наук

Чебыкина Ольга Альбертовна
Кандидат психологических наук

Мирошин Дмитрий Григорьевич
Кандидат педагогических наук, Доцент

Овчинников Евгений Леонтьевич
Кандидат биологических наук

Пузыня Татьяна Алексеевна
Кандидат экономических наук, Доцент

Байрамова Айгюн Сеймур кызы
Доктор философии по техническим наукам

Теплухин Владимир Клавдиевич
Доктор технических наук, Профессор

Романова Ирина Валентиновна
Кандидат экономических наук, Доцент

Гуткевич Елена Владимировна
Доктор медицинских наук

Аширапов Баходурджон Пулотович
Кандидат филологических наук, Доцент

Царгородцев Евгений Леонидович
Кандидат технических наук, доцент

Дробот Павел Николаевич
Кандидат физико-математических наук, доцент

Абасова Самира Гусейн кызы
Кандидат экономических наук, Доцент

Ханбабаева Ольга Евгеньевна
Кандидат сельскохозяйственных наук, Доцент

Ерыгина Анна Владимировна
Кандидат экономических наук, Доцент

Петраш Елена Вадимовна
Кандидат культурологии

Ефременко Евгений Сергеевич
Кандидат медицинских наук, Доцент

Жичкин Кирилл Александрович
Кандидат экономических наук, Доцент

Ларионов Максим Викторович
Доктор биологических наук, Доцент

Лыгин Сергей Александрович
Кандидат химических наук, Доцент

Шамутдинов Айдар Харисович
Кандидат технических наук, Профессор

Хачатурова Карине Робертовна
Кандидат педагогических наук

Григорьев Михаил Федосеевич
Кандидат сельскохозяйственных наук

Ершова Ирина Георгиевна
Кандидат технических наук

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ I. ЭНЕРГЕТИКА	5
Баган С., Важнов С.А., Калимов А.Г., Миневи́ч Т.Г. Оптимизация конструкции сверхпроводникового индуктивного накопителя энергии для систем возобновляемой энергетики.....	5
Филиппов В.В. Анализ научно-технических работ по автоматическому управлению теплоэнергетических установок	9
 РАЗДЕЛ II. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ	 12
Антоневич В.А., Антоневич Г. Б., Гамова Н.А. Расчет массы агрегатов летательного аппарата при его проектировании	12
Антоневич В.А., Антоневич Г. Б., Гамова Н.А. Расчет геометрии крыла летательного аппарата при его проектировании	15
 РАЗДЕЛ III. ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА	 19
Вяткин С.И., Долговесов Б.С. Метод реконструкции по одному изображению криволинейных поверхностей	19
 РАЗДЕЛ IV. СТРОИТЕЛЬСТВО	 25
Пестов М.А., Придвижкин С.В. Автоматизация акустического расчета вентиляционных систем в среде Autodesk Revit.....	25
Раскоша Т.А., Говердовская Л.Г. Технологические аспекты применения МАК-технологии	29
 РАЗДЕЛ V. НАУКИ О ЗЕМЛЕ	 32
Абызбаев М.А. Подземное скважинное выщелачивание урановой руды на месторождениях	32
Нгуен Т.Х., Тран Т.Т. Исследовать и предложить фоновые значения некоторых металлов в качестве основы для оценки уровней загрязнения металлами почвенной среды Вьетнама	34
 РАЗДЕЛ VI. ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ	 40
Vukreeva E.E., Sitnik P.V., Kolycheva V.B. Comparative analysis of industrial ethane pyrolysis methods for the ethylene production.....	40

РАЗДЕЛ I. ЭНЕРГЕТИКА

Баган С., Важнов С.А., Калимов А.Г., Миневи́ч Т.Г.

Оптимизация конструкции сверхпроводникового индуктивного накопителя энергии для систем возобновляемой энергетики

Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого
(Россия, Санкт-Петербург)

doi: 10.18411/sdntp-05-2023-01

Аннотация

В статье рассматривается задача оптимизации параметров конструкции многослойной катушки, входящей в состав сверхпроводникового индуктивного накопителя энергии. Устройства такого типа необходимы для устойчивой и надежной работы систем возобновляемой энергетики. Целью работы является определение условий, при которых запасенная энергия накопительной системы достигает максимального значения при фиксированном расходе сверхпроводникового материала. Состояние рассматриваемого устройства определяется на основе модели критического состояния высокотемпературных сверхпроводников второго поколения и уравнений электромагнитного поля в интегральной форме. Оптимизационные расчеты проводились с использованием одной из реализаций алгоритма фейерверков, обладающего высокой эффективностью и устойчивостью.

Ключевые слова: возобновляемая энергия, высокотемпературные сверхпроводники, критический ток, сверхпроводниковый индуктивный накопитель энергии, оптимизация.

Abstract

In this paper we consider the problem of optimizing the design parameters of a multilayer winding, which is a part of a superconducting inductive energy storage device. Elements of this type are necessary for the stable and reliable operation of renewable energy systems. The main goal of the work is to determine the conditions under which the stored energy of the considered system reaches its maximum value at a fixed amount of the used superconducting material. The state of the device under consideration is determined at the basis of the critical state model of high-temperature superconductors and the equations of the electromagnetic field in the integral form. Optimization calculations were carried out using one of the versions of the fireworks algorithm, which has high efficiency and stability.

Keywords: renewable energy, high temperature superconductors, critical current, superconducting inductive energy storage device, optimization.

Введение. В настоящее время наблюдается активное развитие и внедрение систем возобновляемой энергетики, в частности солнечные и ветровые электростанции. Генерация электроэнергии этими системами существенно зависит от погодных условий и характеризуется значительной нестабильностью, что заметно усложняет их интеграцию в электрические сети и подключение к локальным потребителям. Для сглаживания осцилляций генерируемой мощности на практике применяются промежуточные накопители энергии. В качестве таких устройств используются электрохимические батареи, суперконденсаторы, гидроаккумуляторы, механические накопители, некоторые другие [1]. В последнее время особый интерес вызывают перспективные сверхпроводниковые индуктивные накопители энергии (СПИН). Они обладают целым рядом преимуществ, в частности, способностью быстрого отклика на возможные возмущения в электрической сети, малыми потерями, длительным сроком службы [2] – [3]. Основными элементами СПИН являются катушки индуктивности, в которых энергия запасается в форме магнитного поля, создаваемого циркулирующим в них незатухающим электрическим током. При проектировании подобных устройств необходимо провести

оптимизацию геометрических параметров их конструкции с целью обеспечения максимальной запасаемой энергии при минимальных расходах сверхпроводниковых материалов.

Конструкция СПИН. Для создания СПИН могут быть использованы различные сверхпроводниковые материалы. Условно такие материалы могут быть разбиты на две группы: низкотемпературные сверхпроводники (НТСП), которые требуют для охлаждения температур порядка нескольких градусов по шкале Кельвина, и высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП), которые сохраняют нулевое сопротивление при температуре кипения жидкого азота (77°K). В связи с относительно низкой стоимостью криогенных систем для охлаждения ВТСП более перспективным представляется использование сверхпроводников именно этого типа. В последнее время разработана технология производства относительно недорогих ленточных высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП 2-го поколения), что сделало практическое применение проводников этого типа наиболее перспективным. Структура такой сверхпроводниковой ленты (производства компании SuperPower Inc. [4]) показана на рисунке 1.

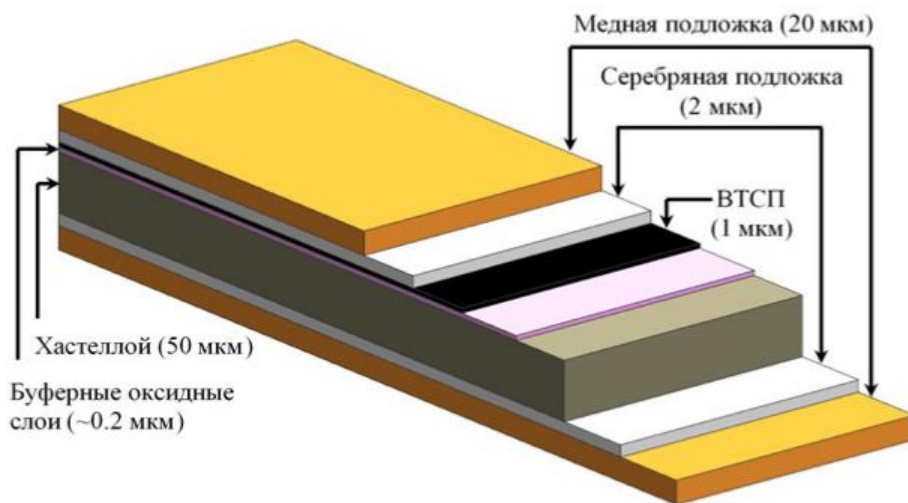


Рисунок 1. Структура высокотемпературной сверхпроводниковой ленты (ВТСП 2-го поколения).

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что при общей толщине ленточного проводника порядка 100 микрометров сверхпроводниковый слой имеет толщину только около 1 микрона.

На рынке доступны ВТСП ленты шириной 12 мм и длиной до 500 м. Поскольку состыковка ленточных проводников на практике возможна только за пределами обмотки, ограничение по длине является критическим при разработке катушек для СПИН. На рисунке 2 приведена структура простейшего сверхпроводникового накопителя энергии, состоящего из двух плоских катушек.

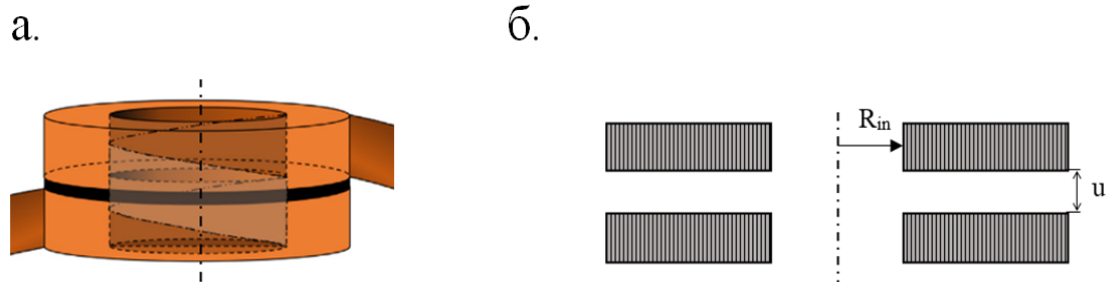


Рисунок 2. а) двухслойная сверхпроводниковая катушка;
б) поперечное сечение двухслойной сверхпроводниковой катушки.

Именно эта конструкция, а также накопительные системы с большим числом слоев, рассматриваются в рамках настоящей статьи.

Математическая модель сверхпроводниковой катушки. Известно, что максимально возможный ток в сверхпроводниках ограничен некоторым критическим значением, зависящим от интенсивности магнитного поля. Это свойство заложено в семействе критических моделей сверхпроводниковых материалов [4]. Для лент ВТСП 2-го поколения чаще всего используется модель Кима, которая характеризуется соотношением

$$J_c = \frac{J_{c0}}{\left(1 + \frac{\sqrt{k^2 B_{\parallel}^2 + B_{\perp}^2}}{B_0}\right)^{\alpha}}$$

где B_0 , J_{c0} , k , α — константы материала, B_{\parallel} и B_{\perp} являются соответственно параллельной и перпендикулярной составляющими магнитной индукции относительно поверхности ленты. В свою очередь индукция магнитного поля, а также значение векторного магнитного потенциала внутри сверхпроводникового материала может быть вычислена на основе закона Био-Савара. Совместное решение этих уравнений позволяет определить критический ток и его распределение в сверхпроводниковой ленте. Подробно этот подход к определению состояния сверхпроводниковой системы описан в [5] – [6]. Зная распределения плотности тока и магнитной индукции внутри обмотки, можно рассчитать запасенную в ней энергию:

$$W = \frac{1}{2} \int_V A(M) J(M) dV$$

где V , $J(M)$ и $A(M)$ — соответственно объем катушки, плотность тока и векторный магнитный потенциал в точке M в катушке.

Оптимизация конструкции СПИН. Оптимизация размеров двухслойной сверхпроводниковой катушки была проведена для случая использования ленты SCS12040 производства компании SuperPower Inc. Параметры модели критического состояния для этой ленты приняты равными $J_{c0} = 2,85 \cdot 10^{10}$ А/м²; $B_0 = 42,65$ мТл; $\alpha = 0,7$; $k = 0,29515$ при 77° К [4]. Для двухслойной катушки были взяты два параметра оптимизации: внутренний радиус катушки R и расстояния между слоями d . Оптимизация проводилась с использованием алгоритма фейерверков, впервые предложенным в 2010 году Тань Ин и Чжу Юаньчунем [7]. Метод хорошо известен простотой реализации и эффективностью при решении задач оптимизации в электротехнике. В основе соответствующего итерационного алгоритма лежит набор операций, имитирующих явление фейерверков, включая генерацию искр во время взрыва, мутацию фейерверков, отбор лучших наборов искр для следующей итерации.

В процессе проведения расчетов и исследования рабочих характеристик применяемого оптимизационного метода была проведена его модернизация. После проведения серии численных экспериментов были изменены принципы отбора наиболее перспективных искр при переходе от предыдущей итерации к последующей. Новые критерии отбора, в отличие от стандартного алгоритма, усиливают функцию исследования удаленных областей расчетной области на первых итерациях и, наоборот, сокращают исследуемое пространство на последних. Благодаря сделанным изменениям удалось сократить общее количество итераций на 30% - 40% при сохранении точности решения оптимизационной задачи.

Была проведена серия оптимизационных расчетов для сверхпроводниковых катушек различной конфигурации. В частности, сравнение проведено для накопителей, состоящих из двух, четырех и шести плоских катушек (слоев). Свободными параметрами, которые полностью определяют геометрию накопителя и которые изменялись в процессе оптимизации, принимались внутренние радиусы катушек, а также расстояния между слоями. Поскольку оптимальная конструкция рассматриваемой системы обладает симметрией относительно медианной плоскости, количество свободных параметров вдвое меньше, чем суммарное

количество этих характеристик. Основные результаты проведенных исследований приведены в Таблице 1.

Таблица 1

*Оптимальные характеристики сверхпроводниковых накопителей
с различным числом плоских слоев.*

<i>Характеристики</i>	<i>2-слойная катушка</i>	<i>4-слойная катушка</i>		<i>6-слойная катушка</i>		
<i>Количество параметров</i>	2	4		6		
<i>Запасаемая энергия, Дж</i>	718,10	2348,2		3858,2		
<i>Внутренний радиус, мм</i>	227,1	266,0	342,9	381,5	374,4	263,2
<i>Расстояние между слоями, мм</i>	49,7	22,0	20,2	33,1	9,4	10,6

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что запасенная в накопителе энергия увеличивается быстрее, чем количество слоев в обмотке. Так, при увеличении количества слоев (а соответственно и используемое количество сверхпроводникового материала) в три раза накопленная энергия увеличивается в 5.4 раза.

Заключение. Оптимизация параметров конструкции сверхпроводниковой катушки является ключевым этапом разработки СПИН. В предлагаемой работе эта задача решается для накопителей с различным числом слоев путем применения алгоритма фейерверков с улучшенной стратегией выбора перспективных искр на каждой итерации оптимизационной процедуры. Энергия магнитного поля, запасаемая сверхпроводниковым накопителем и используемая в качестве целевой функции оптимизации, существенно зависит от распределения плотности тока в катушке. Это распределение рассчитывалось на основе совместного решения уравнения критического состояния сверхпроводника и уравнения Био-Савара.

Для оптимизации геометрических характеристик магнитного накопителя был применен алгоритм фейерверков. В результате проведения серии численных экспериментов была проведена модификация алгоритма за счет изменения стратегии выбора наиболее перспективных искр. Полученные результаты показали, что модифицированный алгоритм фейерверков быстрее сходится к области глобального экстремума и сокращает время поиска оптимального результата.

Разработанная оптимизационная процедура была применена для решения ряда модельных задач применительно к двухслойным и многослойным сверхпроводниковым катушкам. В качестве параметров оптимизации принимались внутренний радиус обмотки и расстояние между слоями. В наилучшем варианте была получена конструкция СПИН, содержащая шестислойную катушку и позволяющая накапливать энергию до 3858.2 Дж.

1. G. S. Chawda, A. G. Shaik, M. Shaik, S. Padmanaban, J. B. Holm-Nielsen, O. P. Mahela, P. Kaliannan, Comprehensive review on detection and classification of power quality disturbances in utility grid with renewable energy penetration // IEEE Access, 8 (2020) 146807–146830.
2. P. Mukherjee, V. V. Rao, Superconducting magnetic energy storage for stabilizing grid integrated with wind power generation systems // J. Mod. Power Syst. Clean Energy, 7(2) (2019) 400–411.
3. Xinjie, S. Ming, Optimization design of SMES solenoids considering the coil volume and the magnet volume // IEEE Trans. Appl. Supercond., 18(2) (2008) 1517–1520.
4. W. Yuan, Second-generation high-temperature superconducting coils and their applications for energy storage // Springer London, London (2011).
5. Баган С., Говор В. М., Калимов А. Г., Моделирование распределений магнитного поля и плотности тока в сверхпроводниковых индуктивных накопителях энергии // Известия НТЦ Единой энергетической системы. 2022. Т. 2. № 87. С. 94–102.
6. Калимов А. Г., Баган С., Говор В. М. Моделирование критического состояния сверхпроводниковых катушек в индуктивных накопителях энергии // Глобальная Энергия. 2022. Т. 28. № 3. С. 7–17.
7. Y. Tan, Y. Zhu, Fireworks algorithm for optimization, Advances in Swarm Intelligence. ICSI 2010 // Lecture Notes in Computer Science, 6145 (2010) 355–364.

Филиппов В.В.**Анализ научно-технических работ по автоматическому управлению
теплоэнергетических установок***Всероссийский институт научно-технической информации
Российской академии наук
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/sdntp-05-2023-02

Аннотация

Рассмотрены направления по совершенствованию систем автоматического управления и регулирования теплоэнергетических установок. Значительное внимание уделено развитию прогностического управления на электростанциях, в системах теплоснабжения, инженерных системах зданий. Наиболее часто применяется нечеткое адаптивное управление в теплоэнергетике, доказавшее свою эффективность на практике. Проводится внедрение систем автоматического управления тепловыми процессами в режиме он-лайн с использованием искусственных нейронных сетей и интеллектуальных модулей.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления, теплоэнергетические установки, регулирование теплоэнергетических установок, прогнозирующее управление.

Abstract

The directions enhancement of automatic control and regulation automatic control systems of heat power plants is dedicated. Special attention was paid to development of predictive control on power stations, in heating systems, building engineering systems. Fuzzy predictive control most commonly used in thermal power engineering and proves its efficiency in practice. Systems of automatic control in heating systems in real time using artificial neural networks and intelligent modules.

Keywords: automated control systems, heat and power plants, regulation of heat power plants, predictive control.

Трудно переоценить значение исследований, проведенных за последние годы в области совершенствования автоматизированных систем управления (АСУ) и регулирования теплоэнергетическими установками (ТЭУ). В целях качественного улучшения АСУ для ТЭУ разрабатывается подход комплексного адаптивного управления с использованием микропроцессорных устройств как на стадии генерации тепловой энергии (ТЭЦ, блочные миникотельные и т.д.), ее распределения в рамках города, района и т.д., так и потребления (здания, сооружения, квартиры и т.п.). Это позволяет существенно сократить расходы генерирующих компаний на производство энергии, снизить распределительным сетям издержки на доставку продукта конечному потребителю. Также выигрывают управляющие компании, в значительной мере экономя на проведении дорогостоящих ремонтов сетей и оборудования, поскольку информационные технологии выявляют любое отклонение в системе от установленного рабочего режима. Выигрывает и потребитель услуг, у которого в новых условиях появляется возможность оптимизировать свои финансовые расходы, получая исчерпывающую информацию он-лайн. Помимо финансовой стороны от внедрения в практику цифровизации следует отметить рост энергоэффективности и сокращение уровня выброса диоксида углерода в атмосферу.

Внедрение глобальных вычислительных сетей, элементов искусственного интеллекта, интернета вещей необходимо для оптимизации технологических процессов, управления циклом жизни оборудования с использованием прогностических алгоритмов диагностики, а также применения методов адаптации оборудования к текущим условиям работы, что особенно важно для теплоэнергетики, характеризующейся распределенной структурой и повышенными требованиями к надежности и устойчивости к отказам.

Одним из узловых моментов совершенствования управления сложными нелинейными динамическими системами является разработка алгоритмов прогнозирующего управления. Двухэтапная схема оптимизации и прогностического управления в режиме он-лайн позволяет минимизировать потребление электроэнергии теплогенераторами и снизить эксплуатационные расходы, что показано в реальных условиях работы ТЭЦ (1).

Как известно, нечеткое адаптивное управление используется для аппроксимации неизвестных параметров и неопределенности системы с целью компенсации влияния ошибок моделирования и внешних возмущений на систему. Метод нечеткого адаптивного управления в скользящем режиме с учетом характеристики большой инерции, чистого гистерезиса и большого выброса использован при регулировании температуры в своде доменной печи (2). Результаты моделирования показывают, что по сравнению с ПИД-управлением и обычным управлением в скользящем режиме управление в нечетком адаптивном скользящем режиме позволяет сократить время настройки до 35 сек. после подавления помех, а перерегулирование может быть уменьшено до 12,1%.

Тем не менее, в практике регулирования температуры перегретого пара на угольных электростанциях все еще успешно применяется ПИД-управление со стабильным подавлением внешних возмущений. В этом случае ПИД-регулятор настраивается на критерий стабильности Nyquist и обучается на основе нейронной сети для сглаживания колебаний температуры (3).

Исследования показывают, что прогнозирование отопительной нагрузки является одной из важнейших задач в управлении системой теплоснабжения. В связи с этим следует отметить работу, где представлен метод расширения данных для улучшения прогнозирования тепловой нагрузки теплового пункта с использованием алгоритма TimeGUN (4). С его помощью генерируются данные временных рядов, что позволяет дополнить и предоставить достаточные и качественные данные для обучения модели прогнозирования.

Распределенное оптимальное управление, развернутое в полевых сетях управления, привлекает все большее внимание в связи с быстрым развитием Интернета вещей (IoT), включая его приложения в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Информационные задержки относятся к временным задержкам при обмене информацией между устройствами, интегрированными в сети связи. Проведенное исследование влияния задержки информации на эффективность управления для систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха с использованием моделирования методом Маркова показывает, что информационные задержки существенно влияют на скорость сходимости и точность управления распределенными оптимальными стратегиями управления как для будущих сетей управления на базе Интернета вещей, так и для текущих сетей управления на базе локальных сетей (5).

Повышение эффективности управления зданиями, позволяющее значительно улучшить энергосбережение, является предметом исследований в технологически развитых странах (6). В современных зданиях используются различные инженерные системы (кондиционирование воздуха и механическая вентиляция, динамическое затемнение и регулируемое освещение и др.). Эти системы обычно управляются индивидуально, без учета их взаимодействия, влияющего на общую энергетическую эффективность здания и комфорт потребителей. Использование же системы прогнозирующего управления моделью (model predictive control, MPC), которая включает многоцелевую схему MPC, позволяет обеспечить скоординированное управление несколькими службами здания для общей оптимизации энергоэффективности, теплового и визуального комфорта в помещении, а также гибридную модель для прогнозирования визуального комфорта в помещении и мощности освещения.

В предложенной модели прогнозирования на основе глубокой нейронной сети предикативного содержания диоксида углерода в помещении и управления вентиляцией использован метод обучения с подкреплением для быстрого и точного управления (до 8%) и снижения энергопотребления до 21,8% по сравнению с известными методами регулирования (7).

Разрабатываются также системы АСУ тепловыми процессами на энергообъектах с помощью управления подавления поступающих помех в режиме он-лайн в качестве базовой технологии. Процесс активного управления подавлением помех (active disturbance rejection control (ADRC) в тепловых процессах рассматривается в качестве конкурентноспособной

альтернативы пропорционально-интегрально-производной (PID) на тепловых электростанциях (8). Использование ADRC в тепловых процессах на примерах угольных и атомных электростанций, газовых турбин позволяет обеспечить надежное управление с расширением модели системы с помощью дополнительной фиктивной переменной состояния, представляющей все, что пользователь не включает в математическое описание процесса. Виртуальное состояние оценивается в режиме он-лайн и используется в управляющем сигнале, чтобы отделить систему от реальных возмущений, действующих на объект. Эта функция подавления помех дает возможность пользователю применять рассматриваемую систему с помощью более простой модели. В результате оператору не требуется точное аналитическое описание системы, а надежность и адаптивность данного метода позволяют применять его в тех случаях, когда полное знание системы недоступно.

Для управления автоматизированной автономной системой энергообеспечения, работающей с n -ым количеством источников теплового излучения, расположенных в среде со сложной инфраструктурой, возможно применение интеллектуального модуля. В работе (9) использована функциональная схема, отображающая взаимосвязь между параметрами внешней среды и элементами объекта управления с целью определения ограничений при синтезе законов управления, направленных на оптимизацию работы систем энергообеспечения. Декомпозиция функциональной схемы отображает объекты имитационной модели для расчета потребления преобразованной энергии, полученной излучением от источника. Интеллектуальный модуль управления как система оценивания потенциала источников теплового излучения реализован на базе нечеткой логики.

Продолжаются исследования и разработки новых контроллеров с использованием современных технологий, таких как прогнозирующие контроллеры на основе модели ИНС. Такие контроллеры применяются, например, в системе регулирования газотурбинных двигателей. Новые конструкции и эксплуатация современных газотурбинных двигателей становятся все более и более сложными, поскольку для достижения безопасной и идеальной работы двигателя необходимо одновременно выполнять несколько ограничений и режимов управления. Контроллер с прогнозированием нелинейной модели (non-linear model predictive controller, NMPC) с входом и многими выходами (multi-input multi-output, ММО), базирующийся на модели нейронной сети, разработан для выполнения требований управления газотурбинным двигателем на основе авиационного двигателя Siemens SGT-A65, используемым для выработки электроэнергии (10). Он интуитивно ясен при использовании и способен решать проблемы в одном алгоритме.

1. A.La Bello and etc. Optima management and data-based predictive control of district heating systems: The Novate Milanese experimental case-study. *Contr.Eng.Pract.* 2023, 132, p.105429.
2. Feng X. and etc. Fuzzy Adaptive Sliding Mode Control Strategy for Vault Temperature of Hot Blast Stove. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2021, 06.
3. Hiaoming L. and etc. Robust regulation for superheated steam temperature control based on data-driven feedback compensation. *Applied Energy*, 2022, 325, p.119918.
4. Zhang Yun. and etc. Data augmentation for improving heating load prediction of heating substation based on TimeGAN. *Energy*, 2022, 260, p.124919.
5. Bing S. and etc. Impacts of uncertain information delays on distributed real-time optimal controls for building HVAC systems deployed on IoT-enabled field control networks. *Applied Energy*, 15 October 2021, v.300, p. 117383.
6. Yang S. and etc. Model predictive control for integrated control of air-conditioning and mechanical ventilation, lighting and shading systems. *Applied Energy*, 2021, v.300, 12, p. 117325.
7. Chunhiao L. and etc. A proactive 2-stage indoor CO₂-based demand-controlled ventilation method considering control performance and energy efficiency. *Applied Energy*, 2023, 329, p.120288.
8. Zhenlong Wu and etc. On transitioning from PID to ADRC in thermal power plants. *Control Theory and Technology (IF)*, Pub Date : 2021-03-16, DOI: 10.1007/s11768-021-00032-4.
9. Болдырев В.В. и др. Разработка интеллектуального модуля управления автоматизированной автономной системой энергообеспечения. *Учен. зап. КнАГТУ*, 2021, № 3, с. 9-18.
10. Ibrahim M.A. Nonlinear generalized predictive controller based on ensemble of NARX models for industrial gas turbine engine. *Energy (IF7.147)*, Pub Date : 2021-05-10, DOI: 10.1016/J. Energy, 2021, p. 120700.

РАЗДЕЛ II. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Антоневич В.А., Антоневич Г. Б., Гамова Н.А.

Расчет массы агрегатов летательного аппарата при его проектировании

Оренбургский Государственный Университет

(Россия, Оренбург)

doi: 10.18411/sdntp-05-2023-03

Аннотация

Решение задачи расчета массы агрегатов летательного аппарата при его проектировании можно осуществить с помощью нахождения массовых параметров. Расчеты массовых характеристик самолета – один из первичных этапов проектирования. Дальнейшие параметры формы агрегатов, особенности их схем и используемый материал зависят от результатов данных расчетов. С помощью вычислений проводят параметрический анализ и осуществляют выбор оптимальных массовых значений агрегата.

Представим расчет фактической массы основных элементов самолета по отдельности и летательного аппарата в целом. Изучение студентами теоретического материала по спецпредмету и приобретение навыков решения отдельных математических задач, а также применения комплекса полученных знаний способствовали вычислению представленных в статье расчетов. Расчет массовых характеристик позволил осуществить выбор оптимальных параметров агрегата при его проектировании.

Ключевые слова: расчет массы, параметрический анализ, проектирование.

Abstract

The solution of the problem of calculating the mass of the aircraft units during its design can be carried out by finding the mass parameters. Aircraft mass characteristics calculations are one of the primary design stages. Further parameters of the shape of the aggregates, the features of their schemes, and the material used depend on the results of these calculations. With the help of calculations, parametric analysis is carried out and the optimal mass values of the aggregate are selected.

Imagine the calculation of the actual mass of the main elements of the aircraft separately and the aircraft as a whole. The study by students of theoretical material on a special subject and the acquisition of skills in solving individual mathematical problems, as well as the application of a complex of acquired knowledge, contributed to the calculation of the calculations presented in the article. The calculation of the mass characteristics made it possible to select the optimal parameters of the unit during its design.

Keywords: mass calculation, parametric analysis, design.

В настоящее время разрабатывается концепция образования, основной идеей которой является усиление практического аспекта подготовки студентов за счет интеграции процессов формирования теоретических знаний и развития практических умений [2]. Покажем в статье как используются математические знания при вычислении типовых расчетов массовых характеристик, проводимых при проектировании воздушных аппаратов типа L-410. Let 410 «Turbolet» - многоцелевой двухмоторный самолёт для внутренних воздушных линий. Это узкофюзеляжный самолет с круглой формой фюзеляжа и трапециевидной формой крыла. Оперение самолета представлено схемой с центральным вертикальным оперением и трапециевидной формой горизонтального оперения. В таблице 1 представлены общие данные L-410.

Таблица 1

Статистические данные проектируемого воздушного судна.

Вид данных	№ п/п	Характеристики	Название самолета
			L-410
1	2	3	4
1	2	3	4
Весовые данные	7	$m_0(m_{взл})$, т,	4,05
	8	$m_{взл\ max}$, Т,	6,6
	9	$m_{г\ max}$, Т,	1,3
	10	$m_{груз.\ max}$, Т	1,8
	11	$n_{пасс}$, чел,	19
	12	P_0 , кг/с	1030
Данные СУ	13	$m_{дв}$, кг,	122,5
	14	Число и тип двигателей,	2хТВД
	15	$P_{0СУММ}$, кг/с,	2060

Расчет основных массовых параметров проводится на основе исходных данных, взятых из таблицы 1. Используя следующие формулы, вычислим взлетную массу самолета и ее составляющие.

Для того, чтобы найти массу экипажа $m_{эк}$, кг, воспользуемся формулой:

$$m_{эк} = 80 \cdot n_{эк} = 80 \cdot 2 = 160 \text{ кг.}$$

где $n_{эк}$ - количество экипажа = 2.

Осуществим расчет массы коммерческой нагрузки $m_{гр}$, кг:

$$m_{гр} = 120 \cdot n_{пас} = 120 \cdot 19 = 2,28 \text{ т.}$$

где $n_{пас}$ - количество пассажиров.

Расчет коммерческой нагрузки позволяет определить предельные значения полезной работы самолета и её размещение, при котором центровка самолета находится в диапазоне допустимых полетных центровок, обеспечивает безопасность в полете и устойчивость на земле [5].

Исходя из данной модификации самолета на борту может находиться 19 пассажиров, масса которых рассчитывается как среднее значение веса человека (80 кг) и максимально возможной массы багажа (40 кг).

Вычислим относительную массу топлива:

$$m_{мот} = a + \frac{b \cdot L}{V} = 0,002 + \frac{0,0035 \cdot 1500}{320} = 0,018.$$

где L - дальность полета = 1500 км;

V - скорость полета = 320 км/ч;

a = 0,002;

b = 0,0035.

Для определения массы конструкции самолета, используют формулу:

$$m_k = 0,3 \cdot m_0 = 0,3 \cdot 4050 = 1215 \text{ кг.}$$

где m_0 - масса пустого ВС.

Для расчета масса крыла [3]:

$$m_{кр} = 0,393 \cdot m_k = 0,393 \cdot 1215 = 477,495 \text{ кг.}$$

Масса крыла определяется весом её составных частей: нервюр, стрингеров, лонжеронов, обшивки, профилей и так далее [1]. Рассчитывается как произведение процентного коэффициента (39%) на массу пустого самолета.

Для дальнейшего расчета массовых характеристик рассчитаем массу отдельных составных частей самолета, а именно фюзеляжа, оперения и шасси.

$$m_{ф} = 0,357 \cdot m_k = 0,357 \cdot 1215 = 433,755 \text{ кг.}$$

$$m_{оп} = 0,066 \cdot m_k = 0,066 \cdot 1215 = 80,19 \text{ кг.}$$

$$m_{ш} = 0,184 \cdot m_k = 0,184 \cdot 1215 = 223,56 \text{ кг.}$$

Для нахождения массы топлива воспользуемся формулой:

$$m_T = 0,17 \cdot m_0 = 0,17 \cdot 4050 = 688,5 \text{ кг.}$$

Относительные массы конструкции ($m_{к от}$) и силовой установки ($m_{сy от}$) определяются по данным формулам:

$$m_{к от} = \frac{m_k}{m_0} = \frac{1215}{4050} = 0,3;$$

$$m_{сy от} = \frac{m_{сy}}{m_0} = \frac{122,5}{4050} = 0,03.$$

где $m_{сy}$ - масса силовой установки;

$$m_{сy} = 122,5 \text{ кг.}$$

Относительная масса оборудования принимается равной среднестатистической для дозвуковых пассажирских магистральных средних самолетов: $m_{об от} = 0,12$.

В таблице 2 представлены основные расчетные значения масс агрегатов самолета.

Таблица 2

Значения масс агрегатов самолета.

№	Параметры	Обозначения	Единицы измерения	Значения
1	Масса пустого ВС	m_0	кг	4050
2	Масса коммерческой нагрузки	$m_{гр}$	т	2,28
3	Масса экипажа	$m_{эк}$	кг	160
4	Масса конструкции	m_k	кг	1215
5	Масса крыла	$m_{кр}$	кг	477,495
6	Масса фюзеляжа	$m_{ф}$	кг	433,755
7	Масса оперения	$m_{оп}$	кг	80,19
8	Масса шасси	$m_{ш}$	кг	223,56
9	Масса топлива	m_m	кг	688,5
10	Масса силовой установки	$m_{сy от}$	кг	0,116
11	Масса двигателя	$m_{дв}$	кг	122,5

Далее можно анализировать степень влияния тех или иных параметров на показатели качества системы [4]. Взлетная масса самолета в нулевом приближении определяется по формуле:

$$m_0 = \frac{m_{гр} + m_{эк}}{1 - (m_{к от} + m_{сy от} + m_T от + m_{об от})} =$$

$$= \frac{2280 + 160}{1 - (0,3 + 0,116 + 0,17 + 0,12)} = 4598,5 \text{ кг.}$$

Расчет массовых характеристик воздушного судна является одним из важнейших этапов проектирования летательного аппарата. На его основе выбирается дальнейший материал, конструкция и возможная коммерческая нагрузка самолета в целом. Проведение данных расчетов студентами повышает качество их математического образования, уровень ответственности за саморазвитие в компетентно – ориентированной парадигме образования. У студентов изменяется ценностно – смысловое отношение к профессиональному образованию, они приобретают практические навыки использования математического аппарата в области будущей деятельности инженера. В результате повышается интерес студента к

изучению прикладной математики, именно в процессе такой деятельности студенты могут объективно оценить личностный потенциал, раскрыть перспективы и возможности развития

1. Андрюшкин, А. Ю. Проектирование технологического процесса производства деталей общего и специального машиностроения / А. Ю. Андрюшкин, О. О. Галинская. — Санкт-Петербург: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2016. — 72 с. — ISBN 978-5-85546-987-5. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/98200>.
2. Гамова, Н.А. Индивидуальная самостоятельная работа студентов по математике/ Н.А. Гамова, Н.В. Кулищ, И.П. Томина // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2016. – № 1. – С. 3-8.
3. Дорогов А.В. Особенности расчёта массовых характеристик фюзеляжа беспилотного транспортного самолёта вертикального взлёта и посадки // Труды МАИ. - 2008. - №31. - С. 1-11.
4. Смирнов В.Ю. Аэродинамическая совместимость воздушного судна и грузов // Труды МАИ. - 2007. - №28. - С. 1-8.
5. Шнырев А.Г. Определение рациональной массы полезной нагрузки сельскохозяйственного самолета // Труды МАИ. - 2006. - №22. - С. 1-13.

Антоневич В.А., Антоневич Г. Б., Гамова Н.А.

Расчет геометрии крыла летательного аппарата при его проектировании

*Оренбургский Государственный Университет
(Россия, Оренбург)*

doi: 10.18411/sdntp-05-2023-04

Аннотация

Процесс проектирования воздушного судна предполагает нахождение наиболее рационального решения многокритериальной задачи путем анализа возможных вариантов и детальной проработки самого предпочтительного из них. Одним из первичных этапов проектирования является расчет геометрии крыла летательного аппарата. От данных расчетов зависят дальнейшие параметры формы агрегатов, особенности их конструктивно-силовых схем, используемый материал для создания воздушного судна. Данные расчеты позволяют в процессе проектирования проводить параметрический анализ и осуществлять выбор оптимальных параметров агрегата.

В статье рассмотрены типовые расчеты геометрических и летных параметров крыла летательных аппаратов, проводимые при проектировании воздушного судна. Изучение теоретического материала и приобретение навыков решения отдельных задач, а также применение комплекса полученных знаний и приобретенных математических вычислительных навыков способствовали вычислению представленных в статье расчетов.

Ключевые слова: параметры крыла, расчет массы, воздушное судно.

Abstract

The aircraft design process involves finding the most rational solution to a multi-criteria problem by analyzing possible options and working out in detail the most preferred of them. One of the primary design stages is the calculation of the geometry of the aircraft wing. Further parameters of the shape of the units, the features of their structural power schemes, the material used to create the aircraft depend on these calculations. These calculations allow in the design process to carry out parametric analysis and to select the optimal parameters of the unit.

The article considers typical calculations of the geometric and flight parameters of the wing of aircraft, carried out in the design of an aircraft. The study of theoretical material and the acquisition of skills for solving individual problems, as well as the application of a set of acquired knowledge and acquired mathematical computational skills, contributed to the calculation of the calculations presented in the article.

Keywords: wing parameters, mass calculation, aircraft.

Покажем, как осуществить расчет геометрии крыла летательного аппарата при его проектировании, используя математические методы и подходы при решении данной задачи [3]. Рассмотрим типовые расчеты геометрических и летно-технических характеристик, проводимые при проектировании воздушного судна типа L-410. Let 410 «Turbolet» – многоцелевой двухмоторный самолёт для внутренних воздушных линий. Узкофюзеляжный самолет с круглой формой фюзеляжа и трапециевидной формой крыла, представляет собой вид с центральным вертикальным оперением и трапециевидной формой горизонтального оперения. В таблице 1 представлены общие данные L-410.

Таблица 1

Статистические данные проектируемого воздушного судна.

Вид данных	№ п/п	Характеристики	Название самолета
			L-410
1	2	3	4
Геометрические данные	1	$S_{кр}, м^2,$	34,86
	2	$L_{кр}, м,$	19,98
	3	$\chi, ^\circ,$	2°20
	4	$\lambda, м,$	11,45
	5	$\eta, м,$	1,91
1	2	3	4
	6	$l_{ф}, м,$	14,42
	7	$d_{ф}, м,$	1,876
	8	$\lambda_{ф}, м,$	7,64
	9	$S_{ф}, м^2,$	109,23

Рассмотрим расчет геометрических и летных параметров крыла на основе исходных данных, взятых из таблицы 1.

Значение удельной нагрузки на крыло, соответствует максимальной взлетной массе самолета и рассчитывается по формуле:

$$p_0 = \frac{G_{он}}{S_{кр}} = \frac{4598,5}{34,86} = 131,9 \text{ кг/м}^2.$$

где $G_{он}$ - максимальная взлетная масса = 4598,5 кг;

$S_{кр}$ - площадь крыла [1].

Длина концевой хорды крыла вычисляется по формуле:

$$b_{к} = \frac{2 \cdot S}{l \cdot (\eta + 1)} = \frac{2 \cdot 34,86}{19,98 \cdot (1,91 + 1)} = 1,2 \text{ м.}$$

где η - сужение крыла = 1,91 м;

l - длина крыла = 19,98 м.

Для того, чтобы рассчитать длину корневой хорды крыла, воспользуемся формулой:

$$b_{корн} = \eta \cdot b_{к} = 1,91 \cdot 1,2 = 2,3 \text{ м.}$$

Вычислим координату средней аэродинамической хорды (САХ) по размаху крыла (Z_a) [2]:

$$b_a = \frac{l}{6} \cdot \frac{\eta + 2}{\eta + 1} = \frac{19,47}{6} \cdot \frac{1,91 + 2}{1,91 + 1} = 4,47 \text{ м.}$$

Найдем значение геометрического удлинения крыла [4]:

$$\lambda = \frac{l^2}{S} = \frac{19,98^2}{34,86} = 11,45.$$

Проведем расчет эффективного удлинения крыла:

$$\lambda_{эф} = \frac{\lambda}{1 + \delta_{несж}} = \frac{11,45}{1 + 0,024} = 11,18.$$

где $\delta_{несж}$ - безразмерная величина, вычисляемая по формуле:

$$\begin{aligned} \delta_{несж} &= 0,02 \cdot \frac{\lambda}{\cos x} \cdot \left(3,1 - \frac{14}{\eta} + \frac{20}{\eta^2} - \frac{8}{\eta^3} \right) = \\ &= 0,02 \cdot \frac{11,45}{0,99} \cdot \left(3,1 - \frac{14}{1,91} + \frac{20}{1,91^2} - \frac{8}{1,91^3} \right) = 0,024. \end{aligned}$$

где x - угол стреловидности крыла = 2° .

Для расчета геометрии крыла летательного аппарата найдем дополнительные характеристики, а именно – сужение крыла (8), площадь крыла (9) и среднюю толщину крыла (10):

$$\eta = \frac{b_{корн}}{b_{к}} = \frac{2,3}{1,2} = 1,92.$$

$$S = 2 \cdot \frac{b_{корн} + b_{конц}}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot \frac{2,3 + 1,2}{2} \cdot \frac{19,98}{2} = 34,86 \text{ м}^2.$$

$$C_{ср} = \frac{h_0 + h_{к}}{b_{корн} + b_{к}} = \frac{0,27 + 0,12}{2,3 + 1,2} = 0,1.$$

где h_0 - высота корневого сечения крыла;

$h_{к}$ - высота концевой сечения крыла.

Характеристики высот корневого (h_0) и концевой ($h_{к}$) сечений крыла вычисляются по формулам (11) и (12):

$$h_0 = b_{корн} \cdot c_0 = 2,3 \cdot 0,12 = 0,27.$$

$$h_{к} = b_{к} \cdot c_{к} = 1,2 \cdot 0,1 = 0,12.$$

где c_0 и $c_{к}$ - относительная толщина корневой и концевой части крыла ($c_0=0,12$; $c_{к}=0,1$).

Объема крыла рассчитаем по формуле [5]:

$$W_{кр\max} = K_{w\max} \cdot \frac{C_{ср} \cdot S^{\frac{3}{2}}}{\lambda^{\frac{1}{2}}} = 0,74 \cdot \frac{0,1 \cdot 122,4^{\frac{3}{2}}}{1,91^{\frac{1}{2}}} = 4,8.$$

где $K_{w\max}$ - максимальное аэродинамическое качество:

$$K_{w\max} = \frac{4}{9} \cdot \frac{2 \cdot \eta \cdot \eta_c + \eta + \eta_c + 2}{(\eta + 1) \cdot (\eta_c + 1)} = \frac{4}{9} \cdot \frac{2 \cdot 1,91 \cdot 2,3 + 1,91 + 2,3 + 2}{(1,91 + 1) \cdot (2,3 + 1)} = 0,7.$$

где η_c - сужение крыла при виде спереди:

$$\eta_c = \eta \cdot \frac{c_0}{c_{к}} = 1,9 \cdot \frac{0,12}{0,1} = 2,3.$$

Полученные геометрические и летные характеристики крыла представим в таблице 2.

Таблица 2

Основные геометрические и летные характеристики крыла.

№	Параметры	Обозначения	Единицы измерения	Значения
1	Удельная нагрузка на крыло	ρ_0	кг/м^2	131,9
2	Площадь крыла	S	м^2	34,86
3	Геометрическое удлинение крыла	λ	-	11,45
4	Эффективное удлинение крыла	$\lambda_{эф}$	-	11,18
5	Длина концевой хорды крыла	b_k	м	1,2
6	Длина корневой хорды крыла	$b_{корн}$	м	2,3
7	Средняя аэродинамическая хорда	$СAX$	м	4,47
8	$СAX$ по размаху крыла	Z_a	м	4,47
9	Средняя толщина крыла	C_{cp}	м	0,1
10	Объем крыла	$W_{кртаx}$	м^3	4,8

Расчет геометрических параметров крыла требуется для определения дальнейшей формы крыла, максимального веса самолета и его полезной нагрузки, которую выдержат крылья в рейсовом полете. Полученные данные необходимо учитывать при возможном запуске в производство модификации самолета L-410, Let 410 «Turbolet». Проведение представленных расчетов геометрии крыла летательного аппарата способствует приобретению студентами практических навыков использования математического аппарата в области будущей деятельности инженера. В случае, когда прикладное ориентированное задание и способ его решения понятны студентам, наблюдается существенный интерес с их стороны к обучению. В результате повышается мотивация к изучению математики, у студента формируются необходимые компетенции.

1. Андрюшкин, А. Ю. Проектирование технологического процесса производства деталей общего и специального машиностроения / А. Ю. Андрюшкин, О. О. Галинская. — Санкт-Петербург: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2016. — 72 с. — ISBN 978-5-85546-987-5. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/98200>.
2. Артамонов Б.Л. Определение аэродинамических характеристик профиля по полюре крыла конечного размаха. // Научный вестник МГТУ ГА. – 2014. - №200. – С. 28-35.
3. Гамова, Н.А. Индивидуальная самостоятельная работа студентов по математике/ Н.А. Гамова, Н.В. Кулиш, И.П. Томина // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2016. – № 1. – С. 3-8.
4. Старцев Э.А. Метод расчета аэродинамических характеристик крыла и систем «корпус-крыло» // Вестник ЮУрГУ. – 2011. - №31. – С. 15-22.

РАЗДЕЛ III. ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Вяткин С.И., Долговесов Б.С.

Метод реконструкции по одному изображению криволинейных поверхностей

Институт автоматизации и электрометрии СО РАН

(Россия, Новосибирск)

doi: 10.18411/sdntp-05-2023-05

Аннотация

Предложен метод реконструкции по изображению криволинейных поверхностей. С помощью метода интерактивно определяется силуэт объекта и затем вычисляется согласованная с силуэтом 3D-модель в заданном пользователем объеме. В отличие от известных подходов к реконструкции одного ракурса, предлагаемый метод не имеет ограничения по глубине и требует меньше вычислений на порядок. Трехмерные модели с высоким разрешением могут быть сгенерированы в интерактивном режиме.

Ключевые слова: реконструкция по одному ракурсу, численная оптимизация, карта высот, взвешенные минимальные поверхности.

Abstract

A reconstruction method based on the image of curved surfaces is proposed. Using the method, the silhouette of the object is interactively determined and then a 3D model consistent with the silhouette is calculated in the volume specified by the user. Unlike the known approaches to the reconstruction of a single angle, the proposed method has no depth limitation and requires less calculations by an order of magnitude. High-resolution 3D models can be generated interactively.

Keywords: single-angle reconstruction, numerical optimization, elevation map, weighted minimal surfaces.

Введение

Реконструкция 3D-формы из одного ракурса изображения представляет собой очень привлекательную задачу, поскольку она служит основой для формирования новых представлений об объекте, наблюдаемом на одном изображении, но из другой точки зрения, с другой текстурой и освещением. По сравнению с большинством других задач компьютерного зрения реконструкция по одному ракурсу является крайне некорректной проблемой. Как следствие, необходимо сделать дополнительные предположения о том, что геометрия объекта, например, кусочно-плоскостная [1], форма из текстуры [2], форма из затенения [3] или форма из расфокусировки [4]. Хотя такие подходы были предназначены для создания правдоподобных 3D-моделей, они имеют ограничения на применимость к объектам в реальных образах. Более того, многие из этих подходов сложные по вычислениям и проблематичны для использования в интерактивном режиме. Алгоритмы реконструкции на основе силуэта хорошо работают для довольно большого набора объектов и изображений. Работа для реконструкции криволинейных поверхностей описана в [5], хотя эти реконструкции ограничены формой объектов. Работа [6] посвящена реконструкции произвольных криволинейных поверхностей и обобщению класса реконструируемых объектов. На практике, однако, только объекты при достаточно простой топологии могут быть реконструированы за счет использования параметризованного представления поверхности. Более того, необходимый объем вводимых пользователем данных значительно высок. В [7] используют карту глубины для расчета гладкой минимальной поверхности, которая подчиняется определенным пользователем ограничениям. Однако, для реконструкции объем необходимого пользовательского ввода значителен. В [8] двумерная

поверхность генерируется из входного силуэта, затем может быть использована, например, при создании шрифтов. Инфляция в такой формулировке является не интуитивной, локальный параметр границы силуэта существенно отличается от интуитивного представления задания глобального объема. Кроме того, существуют основанные на обучении подходы, такие как описаны в [9], которые изучают значения глубины патчей изображения из базы данных. В работе [10] описан метод реконструкции единого вида, основанный на множествах Чигера: он направлен на вычисление силуэта - последовательных минимальных поверхностей заданного пользователем объема и обеспечивает правдоподобные реконструкции для большого количества реальных объектов. Концепция минимальных поверхностей фиксированного объема является интуитивно понятной и полезной парадигмой для вычисления правдоподобных одномерных реконструкций. Однако метод [10] имеет ряд преимуществ и недостатков. Объемное представление накладывает сильные ограничения на память и время выполнения. Даже с эффективным GPU-ускорением требуется около секунды времени вычислений для реконструкции невысокого разрешения. Вследствие этого, 3D-модели с более высоким разрешением не могут быть созданы на интерактивных скоростях. Хотя метод, описанный в [10], обеспечивает точные объемно-последовательные решения, алгоритм базируется на основе выпуклой релаксации и порогового значения. В отсутствие пороговой теоремы метод не гарантирует получения глобально минимальной поверхности заданного объема. Кроме того, не ясно, действительно ли последующее пороговое значение решения приводит к пространственно-когерентной структуре, а не к разбросанному набору вокселей. Метод по существу вычисляет карту глубины, тем не менее в работе [10] используется полностью объемное представление. Требуемая дискретизация возможных значения глубины накладывает ограничение на возможное разрешение в направлении Z .

Постановка задачи

Ставится задача оптимизации подхода с набором Чигера для реконструкции по одному ракурсу изображения. В частности, необходимо разработать алгоритм вычисления реконструкций, в котором будут устранены вышеперечисленные недостатки:

- предлагаем решить вышеуказанную проблему с помощью карты высот. Как следствие, можно допустить пространственно-непрерывный набор значений глубины.
- из-за 2D-представления имеем существенное сокращение времени вычислений и требований к памяти (квадратный, а не кубический). Предлагаемый метод позволяет делать вычисления на порядок быстрее, даже при более высоких разрешениях.
- в отличие от алгоритма, представленного в работе [10], предложенный метод не требует выпуклой релаксации и определения порога. Как следствие, алгоритм доказуемо вычисляет непротиворечивые по силуэту минимальные поверхности заданного объема.

Описание метода

Минимальные поверхности фиксированного объема

Для двумерной формулировки предположим, что пользователь в интерактивном режиме извлек силуэт объекта с помощью интерактивного интерфейса инструмента сегментации, как в работе [11]. Пусть $S \subset \mathbb{R}^2$ силуэт объекта, то есть точки изображения плоскости, соответствующей внутренней части объекта. Далее восстановим правдоподобную оценку состояния объекта.

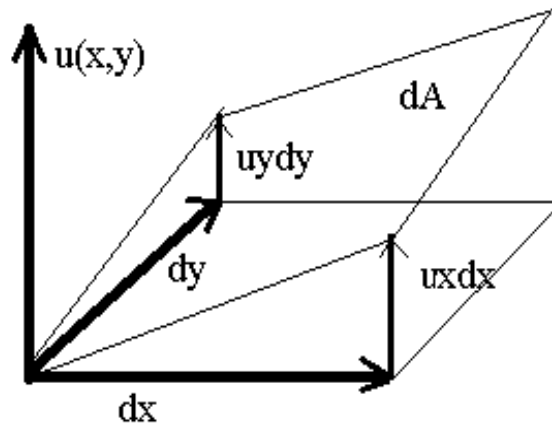


Рисунок 1. Площадь бесконечно малого элемента поверхности dA и частных производных от U .

Трехмерная геометрия определяется с помощью последовательных поверхностей силуэта минимальной площади и заданного пользователем объема. При этом не известно истинная глубина объекта в любой точке. Вместо того чтобы указывать отдельные значения глубины, пользователь просто предоставляет объем, который является произведением площади силуэта и среднего значения глубины объекта. Интуитивно такой подход к реконструкции с одним ракурсом соответствует воздушному шару, помещенному внутри области с ограниченным силуэтом и раздуваемому до заданного объема.

Поверхность объектов будет представлена с помощью карты высот

$$u : S \rightarrow \mathfrak{R} , S \subset \Psi \quad (1)$$

присвоение значения глубины $u(x, y)$ каждой точке $(x, y) \in S$ силуэта, который встроен в плоскость изображения Ψ . Как показано на схематическом графике (рис. 1), бесконечно малая величина площади поверхности элемента, представленная в виде функции u задается с помощью

$$d\Gamma = \left| \begin{pmatrix} dx \\ 0 \\ u_x dx \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ dy \\ u_y dy \end{pmatrix} \right| = \sqrt{1 + |\nabla u|^2} dx dy \quad (2)$$

Общая площадь поверхности, обозначенная через Γ , будет

$$P(u) = \int d\Gamma = \int_S \sqrt{1 + |\nabla u|^2} dx dy \quad (3)$$

Реконструировать минимальную поверхность объема V можно, решив задачу минимизации

$$\min_{u \in C} P(u), \quad L = \left\{ u \mid \int_S u dx = V \right\} \quad (4)$$

Ограничение объема по U является линейным ограничением, таким образом домен оптимизации - выпуклый. Функционал P – выпуклый, потому что для любых функций u_1 и u_2 и любых $\beta \in (0, 1)$ имеем:

$$P(\beta u_1 + (1 - \beta)u_2) = \int \sqrt{1 + |\nabla(\beta u_1 + (1 - \beta)u_2)|^2} dx = \beta P(u_1) + (1 - \beta)P(u_2) \quad (5)$$

Двумерная формулировка – выпуклая. Таким образом можно напрямую вычислять глобально оптимальные решения с помощью (4).

Минимизация энергии

Минимизация выпуклой задачи (4) может быть достигнута решением условия Эйлера-Лагранжа, заданного с помощью уравнения с частными производными

$$\frac{dP}{du} = -div \left(\frac{1}{\sqrt{1 + |\nabla u|^2}} \nabla u \right) = 0 \quad (6)$$

Это уравнение нелинейной диффузии. Серые значения в изображении интерпретируются как карта высот. Вместо использования данных, применяем глобальное объемное ограничение и специальные условия границ, которые зависят от входного силуэта. Далее покажем, как эти ограничения изменены и включены в численную оптимизацию уравнения (6). Для численной оптимизации используем метод описанный в работе [12]. С помощью коэффициента диффузии $g(x)$ за несколько итераций можно решить полученную разреженную систему линейных уравнений

$$\operatorname{div}(g(x)\nabla u) = 0 \quad (7)$$

Реализация

Вычисляем итерации алгоритма оптимизации и проецируем текущее решение обратно выпуклому множеству S функций с предварительно описанным объемом. Ортогональная проекция функции u' на S может быть описана как следующая оптимизационная задача

$$\min_u \frac{1}{2} \int_S \|u - u'\|^2 dx, \quad \int_S u dx = V \quad (8)$$

Введя множитель Лагранжа $\sigma \in \mathcal{R}$ и вычисляя частные производные соответствующих функций Лагранжа получаем следующие условия

$$0 = u - u' + \sigma \quad \forall x \in S \quad (9)$$

$$0 = \int_S u dx - V \quad (10)$$

Подставим (9) в (10)

$$u = u' + \left(\frac{V - \int_S u' dx}{\int_S dx} \right) \cdot f_S \quad (11)$$

- простая схема обновления для проекции объема, f_S - функция 1 в каждой точке $X \in S$. Это означает, что остаточный объем равномерно распределен по всем значениям функции u в S .

Рассмотрим граничное условие. Для того, чтобы гарантировать согласованность силуэта, индуцируемого множеством S , применяем граничные условия Дирихле на границе силуэта ∂S и граничные условия Неймана, если силуэт совпадает с границей изображения $\partial \Psi$:

$$u(x) = 0 \quad \forall x \in \partial S, \quad \frac{du}{dx}(x) = 0 \quad \text{if } x \in \partial \Psi \quad (12)$$

Таким образом обеспечивается согласованность силуэта и объекты, соприкасающиеся к границе изображения вырезаются ортогонально плоскости изображения. Это означает, что поверхности объектов продолжают равномерно распределяться по границам изображения.

Взвешенные минимальные поверхности

Без дополнительных ограничений к решению, задача (4) обладает степенью гладкости по определению. Для того, чтобы можно было реконструировать негладкие объекты, нужно добавить локальные веса к энергетическому функционалу. Уравнение (3) расширяется

$$P(u) = \int_S \mathcal{G}(x) \sqrt{1 + |\nabla u|^2} dx \quad (13)$$

Положительно то, что введение весовой функции $\mathcal{G} : S \rightarrow \mathbb{R}^+$ не влияет на выпуклость энергии.

Задача двумерного фиксированного объема минимальной поверхности, определяется уравнением (4), расширяется с помощью взвешивания функция, как показано в уравнении (13), и является выпуклой.

Кроме того, это расширение легко интегрируется в численный метод оптимизации [12]. Добавление веса к поверхности значительно расширяет класс возможных реконструкций. Установка всех весов $\mathcal{G}(x) = 1$ приводит к исходному значению формулировки в уравнении (3).

В реализации используем это, однако в качестве параметра по умолчанию пользователь может локально адаптировать этот поверхностный параметр.

Результаты

Распараллеливание. Метод минимизации был распараллелен на графическом процессоре GPU 470 GTX. Это включало в себя шаг проекции, поскольку он может быть применен к каждому пикселю независимо, как только будет известна разница между целевым и текущим объемом. Был протестирован метод на нескольких реальных изображениях, сравнили полученные результаты с другими известными методами, оценили внешний вид, время вычисления, объем работ из пользовательского ввода. Так как нельзя получить истинные значения глубины из одного образа, то не ставилась задача решения абсолютного сходства с исходными данными. Скорее стремились к правдоподобию реконструкции. Причем так как обратные стороны объектов естественно невидимы во входном изображении, то реконструкции должны быть симметричными (рис. 2). Это может быть достигнуто путем простого зеркального отображения вычисленных значений глубины вдоль плоскости изображения. С помощью этой эвристики можно получить замкнутые представления объектов из карт глубины.



Рисунок 2. Алгоритм вычисляет оптимальные силуэтно-консистентные минимальные поверхности заданного объема в интерактивном режиме; слева направо: исходное изображение, реконструированные объекты с текстурой.

Сравним результаты с предыдущими полученными с помощью методов [6] и [7]. Метод [7] присутствует в сравнении, потому что он ограничен реконструкцией карты глубины, в то время, как другие методы фокусируются на криволинейных объектах. Все подходы являются глобально оптимальными и вычисляют реконструкции на интерактивных частотах кадров. В основном эти методы отличаются необходимым количеством вводимых пользователем данных. В методе [7] у пользователя есть разнообразие выбора для поверхностных манипуляций, таких как положение и нормальные ограничения, разрывные ограничения, плоская область ограничения и ручное разделение сетки. Многие из этих ограничений необходимы для сложных реконструкций, приводящих к временам моделирования от нескольких минут до нескольких часов, даже для опытных пользователей.

Метод [6] нуждается в кратком изложении входных данных и экспертных знаний. Пользователь должен назначить детали от контурных линий к линиям в пространстве параметров, что становится сложным для объектов более высокого уровня. В результате чего топология ограничена вторым уровнем. Поэтому при реконструкции объектов высшего порядка проявляются колебания поверхности. Более того, для объемной инфляции пользователю необходимо определить набор ограничений интерполяции. На последующих этапах пользователю может потребоваться добавить дополнительные ограничения для реконструкции изгибов поверхности. С другой стороны, в отличие от предлагаемого подхода, метод [6] может справиться лучше с некоторыми изображениями, в которых плоскость симметрии объекта не параллельна плоскости изображения. Поскольку для предлагаемого

метода требуется меньше памяти и вычислительного времени, можно использовать входные изображения со значительно более высоким разрешением. Это приводит к более высоким детализированным силуэтам и реконструкциям. Кроме того, когда вычисляются непрерывные значения глубины, можно добиться хорошей гладкости поверхности.

Заключение

Представлен метод реконструкции по одному ракурсу, основанный на минимизации площади поверхности для заданных объемов. В отличие от известного объемного подхода, предложенное 2D-решение имеет три преимущества: Во-первых, разрешение в трех измерениях имеет двузначную точность, во-вторых, вычисления являются оптимальными. В-третьих, 2D-формулировка резко сокращает объем памяти и время вычислений (примерно на порядок). Для большого разнообразия объектов с хорошим разрешением изображения, правдоподобные реконструкции вычисляются за доли секунды. Этот метод хорошо подходит для интерактивного 3D моделирования из изображения. Поскольку целевой объем является единственным свободным параметром модели, предложенный метод также превосходит многие другие известные подходы в отношении необходимой суммы параметров из пользовательского ввода.

1. Liebowitz D., Criminisi A., Zisserman A. Creating architectural models from images // In Proc. Eurographics, V. 18, pp. 39–50, 1999.
2. Li D., Hu D., Sun Y., Hu Y. 3D scene reconstruction using a texture probabilistic grammar // Multimedia Tools and Applications, 10.1007/s11042-018-6052-z, 77, 21, (28417-28440), (2018)
3. Zheng Q., Chellappa R. Estimation of illuminant direction, albedo, and shape from shading // Physics-Based Vision: Principles and Practice: Shape Recovery, V. 3, Lawrence B. Wolff, Steven A. Shafer, Glenn E. Healey (Eds.) 2002
4. Favaro P., Soatto S. A geometric approach to shape from defocus // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 27(3):406–417, 2005.
5. Chuang J.H., Ahuja N., Lin C.C., Tsai C.H., Chen C.H. A potential-based generalized cylinder representation // Computers & Graphics, V. 28, № 6, pp. 907-918, December 2004.
6. Prasad M., Fitzgibbon A. Single View Reconstruction of Curved Surfaces // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06), 17-22 June 2006, New York, NY, USA, DOI: 10.1109/CVPR.2006.281
7. Zhang L., Dugas-Phocion G., Samson J.-S., Seitz S.M. Single view modeling of free-form scenes // In Proc. International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 990–997, 2001.
8. Joshi P., N. Carr A. Repousse: Automatic Inflation of 2D Artwork // EUROGRAPHICS Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling (2008), C. Alvarado and M.- P. Cani (Editors), http://pushkarjoshi.org/pdf/JC_SBIM2008.pdf
9. Hassner T., Basri R. Example based 3D reconstruction from single 2D images // In Proc. International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Workshop, page 15. IEEE Computer Society, 17-22 June 2006, New York, NY, USA, DOI: 10.1109/CVPRW.2006.76
10. Toppe E., Oswald M.R., Cremers D., Rother C. Image-based 3D Modeling via Cheeger Sets // In Proc. Asian Conference on Computer Vision, ACCV 2010, pp. 53-64, Queenstown, New-Zealand, November 2010.
11. Unger M., Pock T., Cremers D., Bischof H. TVSeg - Interactive Total Variation Based Image Segmentation // British Machine Vision Association, BMVC (2008), pp. 1-10. Leeds, UK, Sep 2008.
12. Vogel C.R., Oman M.E. Fast, robust total variation based reconstruction of noisy, blurred images // IEEE Transactions on Image Processing, V. 7, № 6, pp. 813–824, June 1998. DOI: 10.1109/83.679423

РАЗДЕЛ IV. СТРОИТЕЛЬСТВО

Пестов М.А., Придвижкин С.В.

Автоматизация акустического расчета вентиляционных систем в среде Autodesk Revit

Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина

(Россия, Екатеринбург)

doi: 10.18411/sdntp-05-2023-06

Аннотация

Предложена методика акустического расчета системы вентиляции при разных условиях месторасположения источников шума и рассматриваемого помещения. Определен октавный спектр вентиляционного шума в расчетных точках, уровень звукового давления на пути распространения шума по системе вентиляции, рассчитано снижение уровня звукового давления на разных участках.

Ключевые слова: акустический расчет, система вентиляции, шум, воздуховод, поворот, решетка, вентилятор, расчетная точка, уровень звукового давления.

Abstract

A method of acoustic calculation of the ventilation system under different conditions of the location of noise sources and the room under consideration is proposed. The octave spectrum of ventilation noise at the calculated points, the sound pressure level along the path of noise propagation through the ventilation system, and the decrease in the sound pressure level at different sites are calculated.

Keywords: acoustic calculation, ventilation system, noise, duct, turn, grille, fan, design point, sound pressure level.

Автоматизированный акустический расчет системы вентиляции является важным инструментом для обеспечения комфортного звукового окружения в зданиях. Звук от вентиляционных систем может стать причиной неприятных ощущений и дискомфорта для людей, которые работают или живут в зданиях, особенно если уровень шума превышает нормы.

Автоматизация акустического расчета системы вентиляции позволяет инженерам быстро и точно оценить шум, создаваемый вентиляционной системой, и предложить способы уменьшения уровня шума до приемлемых значений. Это помогает улучшить качество жизни людей, работающих или проживающих в зданиях, а также сократить расходы на исправление проблем, связанных со шумом.

Кроме того, автоматизация акустического расчета системы вентиляции позволяет существенно сократить время, затрачиваемое на проектирование и разработку вентиляционных систем, что может быть критически важным при выполнении проектов с ограниченными сроками. Таким образом, автоматизация акустического расчета системы вентиляции является важным инструментом для повышения эффективности проектирования и обеспечения комфортной жизни людей в зданиях.

При проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха необходимо проводить акустический расчет. Он поможет определить спектр шума, который будет генерироваться воздухом и вентиляционными устройствами в различных точках помещения. Задача расчета заключается в сопоставлении этого спектра с допустимыми гигиеническими нормами и выборе мероприятий по снижению уровня шума до требуемого уровня. После выбора мероприятий проводится поверочный расчет, который позволяет определить ожидаемые уровни звукового давления в расчетных точках с учетом эффективности принятых мер. Все эти шаги являются неотъемлемой частью проектирования систем вентиляции и

кондиционирования воздуха и необходимы для обеспечения комфортного и безопасного пребывания людей в помещении.

Для проведения расчетов по оценке уровня шума необходимо иметь данные об уровнях звуковой мощности оборудования в октавных полосах с определенными среднегеометрическими частотами. В качестве альтернативы, для ориентировочных расчетов можно использовать скорректированные уровни звуковой мощности в дБ. Расчетные точки для определения уровня шума располагаются в зонах проживания людей, в том числе в местах установки вентиляционных систем, в помещениях, обслуживаемых системой вентиляции, в зонах, в которых проходят воздуховоды, а также в зонах приема и выброса воздуха, либо только приема для рециркуляции.

Для создания плагина учитывалось несколько вариантов нахождения источника шума в зависимости от рассматриваемого помещения.

Пример 1. Источник шума (генерирующая шум решетка, плафон, автономный кондиционер и т.п.) находится в рассматриваемом помещении. Уровни звукового давления, в расчетной точке, следует определять по формуле:

$$L = L_{p_{\text{окт}}} + 10 * \lg\left(\frac{\Phi}{4 * \pi * r^2} + \frac{4}{B}\right)$$

где Φ - фактор направленности излучения источника шума; r - расстояние от геометрического центра источника шума до расчетной точки или рабочей зоны, м; B - постоянная помещения.

Если в помещении находится несколько источников одинаковой звуковой мощности, то уровни звукового давления в выбранной расчетной точке определяют по формуле:

$$L = L_{p_{\text{окт}}} + 10 * \lg\left(\frac{\Phi}{4 * \pi * n} * \left(\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} + \dots + \frac{1}{r_i^2}\right) + \frac{4}{B}\right)$$

Где r_1, r_2, r_i - расстояния от отдельных источников шума до расчётной точки; n - число источников шума.

Постоянная помещения рассчитывается по формуле

$$B = S * \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

где S - общая площадь потолка, стен и пола, м²; α - средний коэффициент звукопоглощения всех поверхностей.

Таблица 1

Средний коэффициент звукопоглощения для поверхностей.

Помещения	Характеристика поверхностей помещений	Значения α
Театры, лекционные залы	мягкие	0,4
Концертные залы, магазины, рестораны, школы, жилые дома	средние	0,2
Спортивные залы, производственные помещения фабрик и заводов	твердые	0,1

Пример 2. Расчетная точка находится в вентилируемом помещении, которое надо изолировать от шума. Шум от вентилятора или генерирующего шум дросселя, тройника и т. п. распространяется по воздуховодам и излучается в помещение через воздухораспределительное или воздухоприемное устройство (например, решетку). Октавные уровни звукового давления при этом определяют по формуле:

$$L = L_{p_{\text{окт}}} - \Delta L_{p_{\text{в}}} + 10 * \lg\left(\frac{\Phi}{4 * \pi * r^2} + \frac{4}{B}\right)$$

Где $L_{p_{\text{окт}}}$ - октавный уровень звуковой мощности, излучаемой в воздуховод источником шума (например, вентилятор), дБ; $\Delta L_{p_{\text{в}}}$ - суммарное снижение уровня звуковой мощности по пути распространения звука от источника до данного помещения в рассматриваемой октавной полосе, дБ.

Снижение уровней звуковой мощности, дБ, по пути распространения определяют последовательно для каждого элемента сети и затем суммируют

В прямых участках металлических воздуховодов прямоугольного и круглого сечений снижение уровней звуковой мощности следует принимать по рисунку 1.

Поперечное сечение воздуховода	Гидравлический диаметр D_r , мм	Снижение уровней звуковой мощности, дБ, при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Прямоугольное	75 – 200	0,6	0,6	0,45	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	210 – 400	0,6	0,6	0,45	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
	410 – 800	0,6	0,6	0,3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	810 - 1600	0,45	0,3	0,15	0,1	0,06	0,06	0,06	0,06
Круглое	75 – 200	0,1	0,1	0,15	0,15	0,3	0,3	0,3	0,3
	210 – 400	0,06	0,1	0,1	0,15	0,2	0,2	0,2	0,2
	410 – 800	0,03	0,06	0,06	0,1	0,15	0,15	0,15	0,15
	810 - 1600	0,03	0,03	0,03	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

Рисунок 1. Снижение уровня звуковой мощности на прямых участках.

На прямых участках кирпичных и бетонных каналов потери не учитывают, так как вибрация этих каналов вследствие высокой жесткости стенок невелика.

Снижение уровней звуковой мощности в прямоугольных не облицованных и облицованных поворотах воздуховодов можно определять по рисунку 2. При угле поворота, меньшем или равном 45° , снижение уровней звуковой мощности не учитывается.

Для плавных поворотов и прямых колен воздуховодов с направляющими лопатками снижение уровней звуковой мощности можно принимать по рисунку 3.

Место облицовки и ширина поворота D , мм	Снижение уровней звуковой мощности, дБ, при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Без облицовки:								
125	0	0	0	1	5	7	5	3
250	0	0	1	5	7	5	3	3
500	0	1	5	7	5	3	3	3
1000	1	5	7	5	3	3	3	3
2000	5	7	5	3	3	3	3	3
До поворота:								
125	0	0	0	1	5	8	6	8
250	0	0	1	5	8	6	8	11
500	0	1	5	8	6	8	11	11
1000	1	5	8	6	8	11	11	11
После поворота:								
125	0	0	0	1	6	11	10	10
250	0	0	1	6	11	10	10	10
500	0	1	6	11	10	10	10	10
1000	1	6	11	10	10	10	10	10
2000	6	11	10	10	10	10	10	10
До и после поворота:								
125	0	0	0	1	6	12	14	16
250	0	0	1	6	12	14	16	18
500	0	1	6	12	14	16	18	18
1000	1	6	12	14	16	18	18	18

Рисунок 2. Снижение уровня звуковой мощности в поворотах.

Ширина поворота D , мм	Снижение уровней звуковой мощности ΔL_p , дБ, при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
125 – 250	0	0	0	0	1	2	3	3
260 – 500	0	0	0	1	2	3	3	3
510 – 1000	0	0	1	2	3	3	3	3
1100 - 2000	0	1	2	3	3	3	3	3

Рисунок 3. Снижение уровня звуковой мощности в плавных поворотах.

Снижение уровня звуковой мощности при изменении поперечного сечения воздуховода для всех частот определяется по формуле:

$$\Delta L_p = 10 * \lg\left(\frac{(m + 1)^2}{4 * m}\right)$$

Где $m = F_1/F_2$ (F_1, F_2 – площади поперечного сечения воздуховодов до и после изменения сечения, m^2).

При плавном переходе уровень звуковой мощности не учитывается.

Снижение уровней звуковой мощности в разветвлении определяется по формуле:

$$\Delta L_p = 10 * \lg\left(\frac{\sum F_{отв.i}}{F_{отв.i}} * \frac{(m' + 1)^2}{4} * F_{маг}\right)$$

Где $m' = \frac{F_{маг}}{\sum F_{отв.i}^2}$; $F_{маг}$ – площадь поперечного сечения магистрального воздуховода перед разветвлением, m^2 ; $F_{отв.i}$ – площадь поперечного сечения рассматриваемого ответвления, m^2 ; $\sum F_{отв.i}$ – суммарная площадь поперечных сечений всех ответвлений воздуховодов.

При запуске плагина в среде Autodesk Revit, проектировщику откроется отдельное пользовательское окно, где необходимо заполнить данные по выбранному вентилятору (тип и номер вентилятора, поправка на режим работы вентилятора). После нажатия кнопки «рассчитать», произойдет акустический расчет выбранной системы вентиляции. Результат работы плагина указывает на необходимое снижение уровней звукового давления в помещении. Интерфейс плагина показан на рисунке 3.

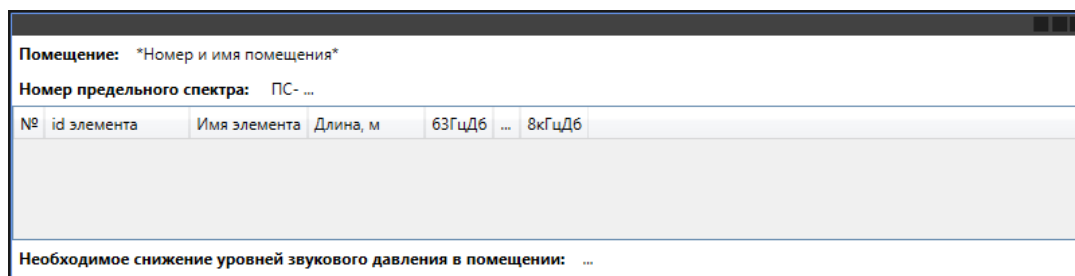


Рисунок 4. Интерфейс плагина для акустического расчета.

Зная необходимый уровень снижения звукового давления в помещении, проектировщик сможет подобрать шумоглушитель, определенного типа и длины.

1. СНиП 23-03-2003. Защита от шума. Госстрой России, 2003
2. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства // Практическое пособие. Под ред. Старовойта И.Г.
3. Справочник по защите шума и вибрации жилых и общественных зданий. Под ред. В.И. Заборова
4. Исакович М.А. Общая акустика, 1973.
5. Гусев В.П. Акустические требования и правила проектирования малозумной системы вентиляции. // АВОК. 2004
6. СП 336.1325600.2017 Системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Правила эксплуатации
7. Расчет и проектирование шумоглушения систем вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления // ред. Шубина И.Л., 2013
8. Осипов Г.Л. Градостроительные меры борьбы с шумом // Стройиздат, 1975
9. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. Для вузов, 2009
10. ГОСТ 12.1.003-83* ССБТ. Шум общие требования безопасности, 2008

Раскоша Т.А., Говердовская Л.Г.
Технологические аспекты применения МАК-технологии

*Самарский государственный технический университет
(Россия, Самара)*

doi: 10.18411/sdntp-05-2023-07

Аннотация

В данной статье рассматривается разработка и описание приготовления модифицирующего концентрата в виде МАК-порошка, обеспечивающий модификацию битума в условиях подрядчика при минимальном дополнительном оборудовании и минимальных инвестициях.

Ключевые слова: МАК-битум, ШМА, а/б смесь, емкость, битум, холодная смесь, СМ-150, СМ-300, вязкость, пористость.

Abstract

This article discusses the development and description of the preparation of a modifying concentrate in the form of MAC powder, which provides bitumen modification in the contractor's conditions with minimal additional equipment and minimal investment.

Keywords: MAC-bitumen, SCHMA, a/b mixture, capacity, bitumen, cold mixture, CM-150, CM-300, viscosity, porosity.

МАК-битум (Multigrade Asphalt Cement) представляет собой модифицированный химически и физически битум с особыми свойствами. По консистенции даже в нагретом состоянии он напоминает желе (или гель), а при нанесении на поверхность частицы камня формирует пленку увеличенной толщины, которая не стекает при повышенных температурах укладки современных а/б смесей. Последняя особенность позволяет применять МАК-битум для приготовления смесей типа ШМА без необходимости добавлять волокна фибры, и минеральные наполнители. МАК-битум остается упругим при высоких летних температурах, надежно связывает каменный скелет, формируемый в смеси после укладки, обеспечивает повышенную стойкость а/б смеси к образованию колеи, имеет увеличенный срок службы и пониженную скорость старения в результате процессов окисления. По сравнению с обычными битумами МАК-битум имеет повышенную температуру размягчения и одновременно более высокую вязкость, измеренную по формальным методикам.

Краткое описание технологии приготовления

Приготовления МАК-битума в промышленных условиях.

Перед началом промышленного производства должна быть известна оптимальная величина добавки МАК-порошка. Основным оборудованием для приготовления МАК-битума является емкость-диспергатор или емкость с механической мешалкой. Обычно применяются емкости с объемом на 5т продукта. Основные особенности конструкции представлены на рис 10.4, масштаб отдельных элементов на рисунке в целом соблюден. По центру емкости установлена мешалка с электроприводом на 3-5 л.с. (мощность зависит от размера емкости, размеров и формы мешалки) и скоростью вращения около 100-200 об/мин. Вал мешалки имеет три ряда лопастей, напоминающих по форме лопасти бытового вентилятора. При вращении мешалки ее лопасти формируют вихрь, затягивающий подаваемый сверху МАК-порошок в объем битума. Стенки емкости могут быть оборудованы симметрично установленными вертикальными ребрами-отбойниками, которые также способствуют завихрению потока битума в емкости. В нижней части емкости расположен змеевик масляного обогревателя. На верхней плоскости емкости расположены два люка: один для подачи МАК-порошка например шнековым устройством, второй для соединения с атмосферой и доступа. Отвод готового продукта осуществляется из нижней части емкости. Некоторые размеры типовой емкости представлены непосредственно на рис 1.

Процедура промышленного приготовления МАК-битума выглядит следующим образом. Исходный битум нагревается до температуры 190-200°C и рассчитывается навеска МАК-порошка для данного количества битума. Порошок подается постепенно при включенной мешалке. В расчете на 5т битума навеска порошка подается шнеком в течение 20 минут. После этого мешалка остается включенной еще как минимум 20 минут. В течение всего процесса осуществляется подогрев продукта с целью поддержания необходимой температуры. Если емкость снабжена насосом, обеспечивающим циркуляцию продукта с отбором из нижней части и возвратом в верхнюю часть, рекомендуется включать внутреннюю циркуляцию.

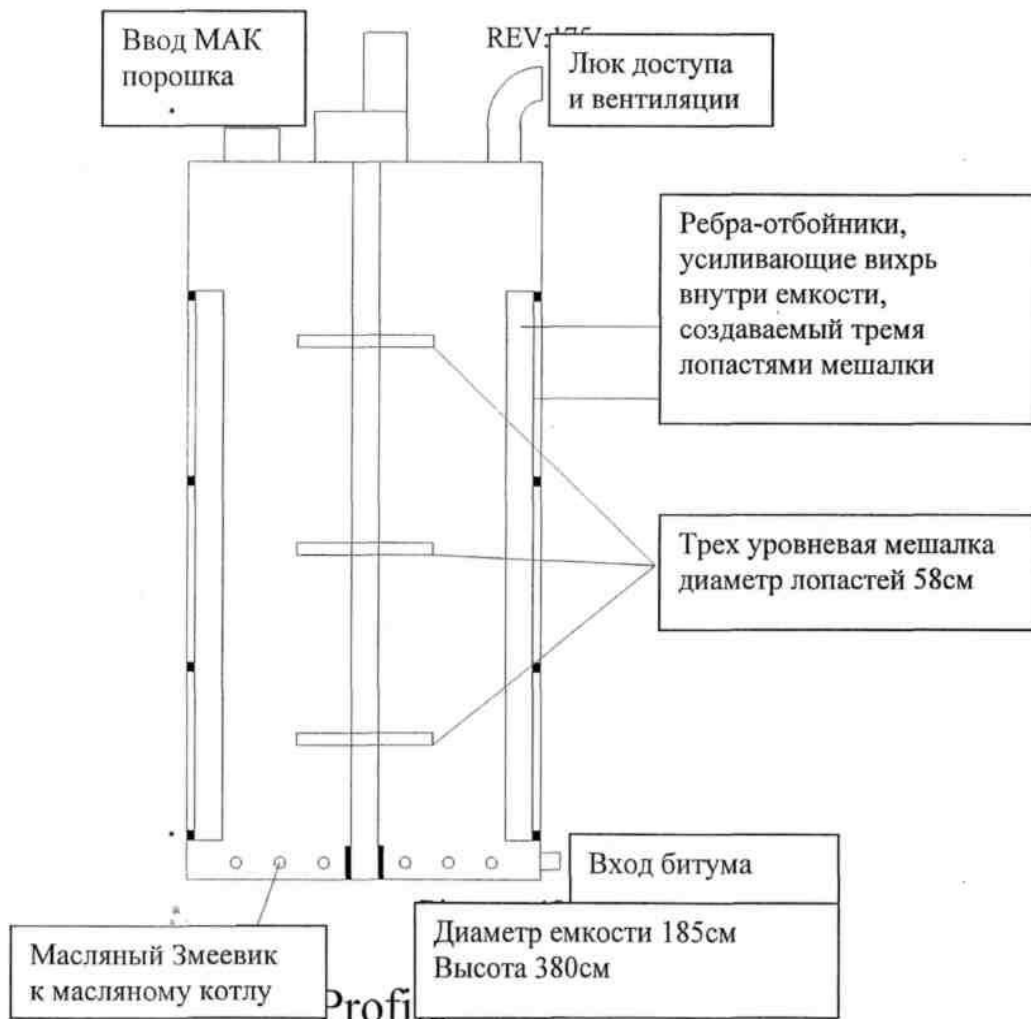


Рисунок 1. Принципиальная схема емкости для приготовления МАК-вяжущего. МАК-вяжущее для приготовления холодных смесей (в том числе для ямочного ремонта).

Широко применяются два вида МАК-вяжущего для приготовления холодных смесей: это продукты СМ-150 и СМ-300. Основное отличие заключается в количестве добавляемого разжижителя, позволяющего применять смеси в холодное время года. При одной и той же температуре СМ-300 является более пластичным вариантом. Основное назначение СМ-300 - это смеси для ямочного ремонта дорожного полотна в осенне-зимнее время, при температурах до -10°C. При более высоких температурах рекомендуется применять ремонтные смеси на основе СМ-150. Однако при ремонте основания полотна (в отличие от ремонта выбоин верхнего слоя), рекомендуется применять смеси на основе продукта СМ-300. На участках с высокой интенсивностью движения предпочтение следует отдавать смеси на основе продукта СМ-150 с закругленным зерновым составом. Таким образом, при окончательном выборе зернового состава смеси и типа вяжущего следует учитывать в комплексе окружающую

температуру, интенсивность движения и категорию дороги. При необходимости могут быть приготовлены смеси с промежуточными характеристиками по отношению к СМ-150 и СМ-300. Для этого изменяется соответствующим образом доля и состав применяемого разжижителя. Иногда в качестве разжижителя применяется смесь дизельного топлива с керосином в пропорции, обеспечивающей итоговую плотность на уровне 0,82 г/см³. При небольшой глубине выбоин (2-3 см) и их небольшом размере уже один слой холодной МАК-смеси дает хороший результат. При более глубоких выбоинах следует укладывать смеси в несколько слоев, причем в нижнем слое применять смеси с увеличенным зерном каменного материала. За счет этого будет обеспечена повышенная стойкость к транспортным нагрузкам.

Выводы

ЩМА на основе МАК-битума (без применения фибры) отлично выполняет свои функции. Однако для того, чтобы максимально реализовать преимущества уже на этапе укладки следует учитывать следующее:

1. Содержание вяжущего должно выдерживаться с достаточной точностью. Неприятностью ЩМА любого типа является выпотевание. Лабораторное определение оптимума дает только исходный уровень, реальные величины оптимума оказывались на 0,3-0,4% ниже. Содержания вяжущего в процессе поиска оптимума можно увеличивать от заведомо меньшей величины, контролируя качество и степень уплотнения на дороге. На практике оптимум всегда ниже, чем лабораторная оценка. Для МАК-битума его оптимальное содержание в смеси оказывалось меньшим, чем для варианта смесей ЩМА на обычном битуме с добавками волокон\фибры.
2. Второй проблемой, также типичной для всех видов ЩМА, является недостаточность достигаемого уплотнения и как результат более высокая остаточная пористость, что провоцирует образование в дальнейшем выбоин и ям. Разумный выбор веса катка может решить проблему, так как позволяет добиться уплотнения смеси уже в начальный момент когда температура смеси еще высока. Укатка должна вестись непрерывно, при температуре смеси не ниже 120°C.

1. ГОСТ 33133-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования.
2. СП 72.13330.2016 Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии. СНиП 3.04.03-85.
3. САМАРАДОРСТРОЙ. МАК-порошок для модификации битумов. Тираж 105 экз., заказ №12/067
4. Научная статья. Ш.И. Мусостов, Э.Н. Сангариева, М.Х. Апаева. Модификация битумов полимерами

РАЗДЕЛ V. НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Абызбаев М.А.

Подземное скважинное выщелачивание урановой руды на месторождениях

Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова
(Казахстан, Караганда)

doi: 10.18411/sdntp-05-2023-08

Аннотация

В статье анализируется разведка и освоение урана с помощью выщелачиванием. Показаны поэтапные работы при добыче и разработке полезного ископаемого от разведки до обогащения. Показаны требования для скважин при работе разработке рудных массивов.

Ключевые слова: скважина, буровая установка, подземное скважинное выщелачивание.

Abstract

The article analyzes the exploration and development of uranium by leaching. The step-by-step work on the extraction and development of minerals from exploration to enrichment is shown. The requirements for wells in the development of ore arrays are shown.

Keywords: well , drilling rig , underground borehole leaching.

На урановых месторождениях перед освоением блоков проводятся разведочные работы. В результате разведочных работ планируется создание и освоение блоков. Освоение урана на геотехнологических площадках с разбивкой на блоки. Каждый год сверлят по два-три блока.

На первых этапах разведки были выполняются следующие работы:

Бурение скважин-по разведочной сети, геофизическое исследование скважин.

Проведено бурение скважин по прямоугольным решетчатым профилям.

Таблица 1

Сложность месторождения.

Группа сложности	Форма залежи руды	Описание залежи руды	Тип выемки	Сетка буровых скважин	
				Категория запасов	
				C ₁	C ₂
1	Роллы	Крупно-средний и разнородный уран распространение слоя линзовидные, рулонные пучки	Разведочная скважина	200-100 м	400-200 м

Поисково-оценочная оценка региона проводится по заданным целям:

- уточнение геологического строения месторождения, уточнение условий концентрации, морфологии, состояния залежи урана и материального состава рудных тел;
- установление пространственных границ залежи вблизи рудных залежей;



Рисунок 1. Откачные и закачные скважины, применяемые подземным способом выщелачивания.

Подготовка полезных ископаемых к добыче состоит из трех основных этапов:

- бурение блочных технологических скважин;
- обвязка скважин наземными или подземными коммуникациями;
- обеспечить выщелачивание полезных ископаемых.[1]

После превращения в раствор через всасывающие пучки собирают продукт в емкость, в которой хранится продуктивный раствор, по линии, принимающей продуктивный раствор. Продукт отгружается через емкость, в которой хранится раствор, на участок обработки раствора. После обработки раствора продукта получают желтый кек или концентрат природного урана. Желтый кек или концентрат природного урана - это конечный продукт предприятия, который упаковывается в специальные контейнеры. Общее содержание урана в этом составе составляет около 45-50%.

Самая главная особенность рядно расположенных скважин заключается в том, что запасы рудных массивов могут быть получены одно, двух или многорядными скважинами.

Основные требования к скважине;

- работа скважин должна быть высокопродуктивной.
- расположение скважин и режим их работы должны быть более высокими, чем показатель извлечения металлов из недр, и слишком низкими расходами растворяющей кислоты.
- сетка расположения скважин должна обеспечивать условия для контроля и управления процессом перемещения растворов в недрах.
- срок службы скважин должен быть не менее срока службы ячеек.
- оборудованные скважины должны полностью охватывать технологические процессы от начала до конца, открывая путь для использования однородного оборудования и инструментов.
- работа скважин должна сохранять окружающую среду чистой, не загрязняя ее.[2]

Буровая установка выбирается в зависимости от глубины скважины, первоначального диаметра, угла падения скважины и рельефа местности, а также от обеспечения района электроэнергией.

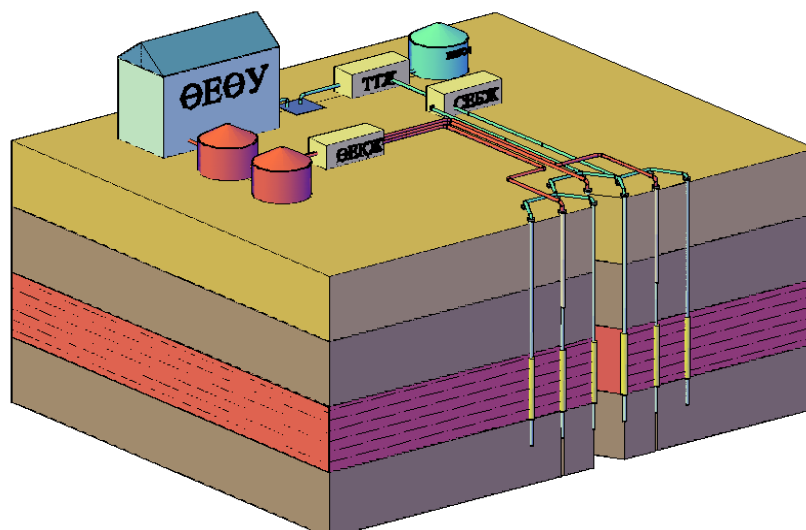


Рисунок 2-Технология выщелачивания урановой руды.

1. Язиков В.Г. // Особенности геологического изучения инфильтрационных месторождений урана при их доразведке и освоении: учеб. пособ. Томск .2012. С. 64.
2. Цой, С., Жусупбеков С.С. // Основы разработки гидрогенных месторождений урана: учеб. пособ. Алматы. 2016. С.320 с.

Нгуен Т.Х.¹, Гран Т.Т.²

Исследовать и предложить фоновые значения некоторых металлов в качестве основы для оценки уровней загрязнения металлами почвенной среды Вьетнама

¹Университет природных ресурсов и окружающей среды Хошимина
(Вьетнам, Хошимина)

²Вьетнамский национальный лесотехнический университет
(Вьетнам, Ханой)

doi: 10.18411/sdntp-05-2023-09

Аннотация

Фоновое значение является мерой для оценки уровня загрязнения. Определение фонового значения существенно влияет на точность классификации загрязнений. В исследовании предложены фоновые значения для шести металлов в трех типах почв в провинции Донгнай, включая: Для Ферралсоль: As - 4,15 мг/кг; Cr-181,5 мг/кг; Pb-5,6 мг/кг; Cd-0,25 мг/кг; Cu-85,04 мг/кг; Zn-115,14 мг/кг. Лувисоль: As-4,57 мг/кг; Cr- 167,5 мг/кг; Pb-6,21 мг/кг; Cd- 0,25 мг/кг; Cu-76,87 мг/кг; Zn-100 мг/кг. Акрисоль - 5,51 мг/кг; Cr- 90 мг/кг; Pb-10,57 мг/кг; Cd- 0,3 мг/кг; Cu-56,43 мг/кг; Zn-85,07 мг/кг. Эти значения могут быть использованы в качестве основы для оценки загрязнения тяжелыми металлами почвы провинции Донгнай, а также некоторые прилегающие районы. Фоновое значение можно использовать в качестве эталона для будущих исследований тяжелых металлов.

Ключевые слова: загрязнение тяжелыми металлами; Фоновое значение; Допустимая предельная концентрация.

Abstract

The background value is a measure to assess the level of pollution. The determination of the background value greatly affects the accuracy of pollution classification. The study proposed background values for six metals in three soil types in Dong Nai province including: For Ferralsol: As-4.15 mg/kg; Cr- 181.5 mg/kg; Pb-5.6 mg/kg; Cd- 0.25 mg/kg; Cu-85.04 mg/kg; Zn-115.14 mg/kg. For Luvisols: As-4.57 mg/kg; Cr- 167.5 mg/kg; Pb-6.21 mg/kg; Cd- 0.25 mg/kg; Cu-76.87 mg/kg; Zn-100

mg/kg. Acrisols: As-5.51 mg/kg; Cr- 90 mg/kg; Pb-10.57 mg/kg; Cd- 0.3 mg/kg; Cu-56.43 mg/kg; Zn-85.07 mg/kg. These values can be used as a basis for assessing heavy metal pollution in the soil of Dong Nai province, as well as some neighboring localities. The background value can be used as a reference for future heavy metal studies.

Keywords: Heavy metal pollution; Background value; Permissible limit concentration.

Введение

Фоновое значение тяжелых металлов в почве — это понятие, которое относится к степени, в которой тяжелые металлы естественным образом присутствуют в почвенной среде, не оказывая негативного воздействия на здоровье человека и окружающую среду. Фоновое значение представляет собой основу для измерения, связанного с антропогенным загрязнением. В мире существует множество методов определения фонового значения тяжелых металлов в почве. Согласно традиционному подходу некоторые авторы определяют фоновые значения тяжелых металлов в почвах на основе анализа образующих их образцов горных пород (Митчелл, 1984). Однако новый подход предполагает, что в отдаленных нетронутых регионах концентрация микроэлементов может выявить естественное состояние почвы (Li et al. 2008). Kabata-Pendias, 2015 использовал в качестве фонового значения среднее содержание элементов в отдельных почвах (Kabata-Pendias, 2015). В 2016 году Лехендра Трипати и его коллеги проанализировали корреляцию между концентрациями микроэлементов в коренных породах и их концентрациями в поверхностных почвах в отдаленном гималайском регионе. Результаты показывают, что существует небольшая разница в концентрации микроэлементов в коренной породе и поверхностном слое почвы (0-10 и 10-20см). Это свидетельствует о тесной зависимости между содержанием микроэлементов в поверхностном слое почвы и в коренных породах. Вышеприведенный анализ показывает, что метод анализа поверхностных проб почвы на незагрязненных участках без признаков загрязнения для определения фонового значения является эффективным, простым в реализации и экономически выгодным методом.

Во Вьетнаме также проводится много исследований загрязнения почвы тяжелыми металлами. Можно упомянуть исследования Pham Binh Quyen и др., 1994 г.; Нгуен Нгок Куинь, Ле Хуи Ба (2001 г.); Хо Тхи Лам Тра и Нгуен Хуу Тхань (2003 г.), Нгуен Нгок Нонг (2003 г.); Тран Тхи Мин Тху и др. (2018). Эти авторы оценили уровень загрязнения почв тяжелыми металлами в городах и районах сельскохозяйственного производства. Общим для этих исследований является то, что оценка уровней загрязнения основана на сравнении с нормативами допустимых концентраций металлов в почве Министерства природных ресурсов и окружающей среды Вьетнама. Однако исследований по определению фонового значения как основы для оценки уровня загрязнения почв не проводилось. Очевидно, что существует огромная разница между естественной фоновой концентрацией и допустимой предельной концентрацией. Например, фоновая концентрация свинца в базальте составляет 5 мг/кг (Mittchell, 1964), по вьетнамскому стандарту QCVN03-МТ: 2015/ВТНМТ допустимая предельная концентрация свинца в сельскохозяйственных почвах составляет 70 мг/кг, в землях жилой застройки составляет 100 мг/кг, а земля промышленной зоны – 300 мг/кг. Как и в некоторых других странах мира, таких как: в Соединенных Штатах ЕРА (Агентство по охране окружающей среды) установило предел содержания свинца в почве на уровне 400 мг/кг для сельскохозяйственных земель и 1200 мг/кг для несельскохозяйственных земель; В Европейском союзе (ЕС) предельное содержание свинца в почве установлено на уровне 100 мг/кг для сельскохозяйственных земель и 300 мг/кг для несельскохозяйственных земель. Это означает, что допустимая предельная концентрация во много раз превышает фоновую концентрацию. Хотя допустимая предельная концентрация тяжелых металлов в почве регламентируется экологическими нормами стран. Это важный показатель для оценки безопасности окружающей среды и пищевых продуктов, а также для обеспечения безопасности здоровья человека и окружающей среды. Однако при оценке уровня загрязнения по ПДК невозможно в полной мере отразить скорость и интенсивность поступления загрязняющих веществ в окружающую среду.

Знание фоновых значений тяжелых металлов может помочь оценить загрязнение и принять эффективные меры по предотвращению загрязнения. Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах может включать методы измерения, факторы, влияющие на исходные значения, подходы и подходы к решению проблемы загрязнения, а также важность смягчения негативных последствий для здоровья человека и окружающей среды. С ростом землепользования и добычи ресурсов понимание фоновых значений тяжелых металлов в почве очень важно для защиты здоровья человека и среды обитания на земле.

Данные и методы исследования

Район горы «Чау Чан», расположенной на юго-востоке провинции Донгнай, образованной на базальтовой скале, представляет собой естественно сохранившийся лесной массив, выбранный для отбора проб для определения фонового значения для Ферралсоль и Лувисоль. Культурный природный заповедник Донгнай, сформированный на сланцах, расположенных на северо-западе, был выбран в качестве образца фона для Акрисоль. Это два отдаленных района, которые никогда не использовались в антропогенной деятельности. Каждый тип почвы был отобран в двух разных местах. Глубина отбора проб от 0 до 25 см. Образцы почвы высушивали на воздухе и просеивали через сито 1 мм для удаления мусора и корней растений. Затем образцы почвы хранили в запечатанном пластиковом пакете с застежкой-молнией до проведения анализа. Значение фона тяжелых металлов для каждой почвы представляет собой среднее значение концентрации этих двух образцов.

Метод анализа почвы: Образец почвы весом 1,0 г расщепляли HNO_3 и HClO_4 в соотношении 9: 4 при 80°C до получения прозрачного раствора [Gaidajis2003]. Переваренный раствор фильтровали через фильтровальную бумагу Whatman № 42, и раствор выдерживали до 25 мл в дважды дистиллированной воде и хранили в бутылке из инертного стекла до анализа. Общее содержание As, Cr, Cd, Cu, Pb и Zn в образцах определяли с помощью прибора ICP-MS (Perkin Elmer Elan 9000).

Результаты и обсуждение

Результаты анализа проб почв приведены в табл. 1. Видно, что чернозем и краснозем формируются на одной и той же материнской породе, концентрации металлов существенной разницы не имеют. Серая почва, образованная на сланцах, по концентрации As и Pb богаче чернозема и краснозема, но имеет более низкое содержание Cr, Cu и Zn.

Таблица 1

Результаты анализа фоновой пробы.

Металлы	Ферралсоль	Лувисоль	Акрисоль
As (мг/кг)	4.15	4.57	5.51
Cr (мг/кг)	181.50	167.65	90.00
Pb (мг/кг)	5.60	6.21	10.57
Cd (мг/кг)	0.25	0.25	0.30
Cu (мг/кг)	85.04	76.87	56.43
Zn (мг/кг)	115.14	100.03	85.07

В этом исследовании мы использовали фоновое значение, полученное в результате анализа образцов верхнего слоя почвы в районе гор Чуа Чан и в культурно-природном заповеднике Донг Най. Несмотря на то, что в этих двух районах деятельность человека не ведется или осуществляется очень мало, из-за долгосрочных последствий войны земля пострадала от большого количества бомб и химических химикатов, а с другой стороны частично из-за осаждения загрязняющих веществ из воздуха ...vv. Поэтому рассмотрение коренных почв этой местности может быть не таким первозданным, как это было до загрязнения. Поэтому, чтобы быть более объективным в выборе фонового значения, мы сравнили фоновое значение изучаемой территории с фоновым значением, определенным Митчеллом (1964) по фоновым концентрациям базальтов и сланцев. Результаты сравнения представлены в таблице 2.

Таблица 2

Значения основных металлов изучаемой территории и фоновые значения по Митчеллу (1964 г.).

<i>Kim loại</i>	<i>Ферралсоль на базальтах</i>	<i>Лувисоль на базальтах</i>	<i>Базальт(по словам Митчела)</i>	<i>Акрисоль на сланце</i>	<i>сланец (по словам Митчела)</i>
<i>As (mg/kg)</i>	4.15	4.57	4	5.51	5
<i>Cr (mg/kg)</i>	181.5	167.65	200	90	90
<i>Pb (mg/kg)</i>	5.6	6.21	5	10.57	20
<i>Cd (mg/kg)</i>	0.25	0.25	0.2	0.3	0.3
<i>Cu (mg/kg)</i>	85.04	76.87	90	56.43	70
<i>Zn (mg/kg)</i>	115.14	100.03	100	85.07	95

Согласно статистическим результатам, представленным в таблице 2, фоновые концентрации металлов As, Cr, Pb, Cu, Zn в районе исследования в основном схожи, а некоторые имеют незначительное обогащение значения по сравнению со значением Mitchell (за исключением значения концентрации Pb в серой почве, которое ниже фонового значения по Митчеллу). Результаты сравнения фоновых значений тяжелых металлов из исследований Виноградова (1959), Боуэна (1979), Ли и соавт. (2008), Sheng и др. (2012) показывают, что фоновые значения тяжелых металлов в почвах одного и того же материнского происхождения несколько различаются в разных регионах мира. По результатам мониторинга концентраций тяжелых металлов в почве провинции Донгнай с 2012 по 2014 г. средние концентрации металлов в 27 пробах сельскохозяйственных почв составляют: As -3,67 мг/кг; Pb-5,86 мг/кг; Cu-74,92 мг/кг; Zn-83,81 мг/кг; Cd-0,24 мг/кг [Отчет о состоянии окружающей среды провинции Донгнай, 2015 г.], все эти значения имеют небольшие отклонения по сравнению с аналитическими фоновыми значениями в таблице 1. Средняя концентрация некоторых металлов даже ниже фонового значения. Это может быть связано с тем, что перенос ионов металлов из почвы к растению выше, чем скорость обогащения этих металлов в почве. Или это также может быть связано с процессом эрозии, вымывающим ионы металлов на участках со склонами. На основании вышеприведенного анализа предполагается, что продукты выветривания подстилающего скального пласта могут быть основным источником металлов в почве на двух участках отбора проб в качестве фоновых значений на исследуемой территории. Таким образом, концентрации металлов, проанализированные в образцах, взятых в культурном природном заповеднике Донгнай и на горе Чуа Чан, можно рассматривать как исходные значения для оценки уровня загрязнения почвы металлами в провинции Донгнай. Результаты этого исследования могут быть использованы в качестве справочного материала для будущих исследований тяжелых металлов.

Ключом к определению уровней загрязнения является выбор исходного значения для сравнения. Обычно исследователи окружающей среды часто используют фоновые значения в качестве основы для сравнения [Григорьев, 2009; Ли и др. 2008; Кабата-Пендиас, 2014; Лехендра Трипати 2016]. Фоновое значение является основой для измерения антропогенного загрязнения. Однако, с точки зрения государственного управления загрязнением окружающей среды, для оценки уровня загрязнения часто используют обнародованные государством пороги допустимых концентраций. Во Вьетнаме QCVN03-МТ:2015/ВТНМТ в настоящее время используется для определения допустимых концентраций металлов в почве. Это приведет к

расхождениям в результатах оценки загрязнения. Допустимая предельная концентрация может во много раз превышать фоновое значение. Хотя значения допустимых предельных концентраций при оценке загрязнения нельзя отрицать, ведь результаты оценки будут отражать уровень воздействия на здоровье человека и окружающую среду. Однако, если при оценке загрязнения используется допустимая предельная концентрация, уровень предупреждений о загрязнении будет снижен, вводя в заблуждение, что окружающая среда все еще находится в хорошем состоянии, в то время как фактические уровни загрязнения увеличиваются до высокого уровня.

Чтобы прояснить этот вопрос, можно использовать общую шкалу классификации загрязнения для рассмотрения уровней загрязнения. В котором индекс загрязнения (PI) для каждого металла определяется по формуле: $PI = C_i/S_i$ - где C_i - измеренная концентрация каждого металла; S_i – фоновое значение. Уровни загрязнения классифицируются следующим образом: отсутствие загрязнения ($PI < 1$), слабое загрязнение ($1 \leq PI < 2$), умеренное загрязнение ($2 \leq PI < 3$), сильное загрязнение ($3 \leq PI < 5$) и очень сильное загрязнение ($PI \geq 5$) [Янг и др., 2011]. Из-за большой разницы между фоновым значением и допустимой предельной концентрацией согласно QCVN03-МТ:2015/ВТНМТ: для свинца допустимая предельная концентрация на сельскохозяйственных землях может превышать 12 раз, на землях промышленной зоны может превышать более 60 умножить на фоновое значение; Для As ПДК превышает 3 раза; Для Cd предельная концентрация более чем в 6 раз превышает фоновое значение. Это означает, что в случае использования фонового значения для определения уровня загрязнения, когда концентрация загрязнителя превышает уровень фоновой концентрации в 3-5 раз для As и Cd, даже до 12 раз для Pb в сельскохозяйственных районах, затем результаты классификации классифицируются как сильное загрязнение ($3 \leq PI < 5$) и очень сильное загрязнение ($PI \geq 5$). В то время как при той же концентрации, но по сравнению с предельной концентрацией, результат классифицируется как незагрязненный ($PI < 1$) или слабозагрязненный ($1 \leq PI < 2$). Понятно, что показатель уровня загрязнения при использовании фонового значения и ПДК сильно различается. Таким образом, определение фонового значения и использование фонового значения в качестве основы для оценки уровней загрязнения в экологических исследованиях будет более точно отражать состояние загрязнения. Оттуда есть более эффективные решения для предотвращения и защиты почвенной среды.

Заключение

Результаты исследований предполагают следующие фоновые значения для некоторых металлов: Для Ферралсоль: As - 4,15 мг/кг; Cr-181,5; Pb-5,6; Cd- 0,25; Cu-85,04; Zn-115,14. Лувисоль: As-4,57 мг/кг; Cr-167,5; Pb-6,21; Cd- 0,25; Cu-76,87; Zn-100. Акрисоль - 5,51 мг/кг; хром-90; Pb-10,57; Cd- 0,3; Cu-56,43; Zn-85,07. Эти значения могут быть использованы в качестве основы для оценки загрязнения тяжелыми металлами почвы провинции Донгнай, а также некоторые прилегающие районы.. Фоновое значение можно использовать в качестве эталона для будущих исследований тяжелых металлов, помогая более реалистично отразить уровень загрязнения почвы тяжелыми металлами.

1. Отчет о состоянии окружающей среды в провинции Донгнай, 2015 г. Департамент природных ресурсов и окружающей среды провинции Донгнай.
2. Хо Тхи Лам Тра и Нгуен Хуу Тхань (2003 г.), «Тяжелые металлы (общие и обменные) в сельскохозяйственных угодьях района Ван Лам, провинция Хунг Йен», Журнал почвоведения, (№ 19).
3. Нгуен Нгок Куинь, Ле Хуй Ба и др. (2001 г.), «Концентрация некоторых тяжелых металлов в рисовой почве из-за влияния промышленности и повседневной жизни в Хошимине», Журнал сельского хозяйства и продовольствия (номер 4)
4. Нгуен Нгок Нонг (2003 г.), «Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в некоторых основных типах почв на северо-востоке Вьетнама», Журнал почвоведения (№ 18/2003 г.).
5. Gaidajis G., 2003. Ambient concentrations of total suspended particulate matter and its elemental constituents at the wider area of the mining facilities of TVX Hellas in Chalkidiki, Greece. J Environ Sci Heal A 38:2509–2520.
6. Kabata-Pendias, Alina, and Barbara Szeke (2015). Trace elements in abiotic and biotic environments. Taylor & Francis.

7. Mitchell, R.L., 1964. Trace Elements in Soils. Chemistry of Soil 2nd, Bear, F.E., (Ed.), Amer. Chem. Soc. Monograph Series, Reinhold Publishing Crop., New York., U.S.A. P. 320-368.
 8. Lekhendra Tripathee, Shichang Kang, Dipesh Rupakheti, Qianggong Zhang, Roshan Man Bajracharya, Chhatra Mani Sharma, Jie Huang, Ayush Gyawali, Rukumesh Paudyal, Mika Sillanpa (2016). Spatial distribution, sources and risk assessment of potentially toxic trace elements and rare earth elements in soils of the Langtang Himalaya, Nepal. *Environ Earth Sci* (2016) 75:1332
 9. Li C, Kang S, Wang X, Ajmone-Marsan F, Zhang Q (2008) Heavy metals and rare earth elements (REEs) in soil from the Nam Co Basin, Tibetan Plateau. *Environ Geol* 53(7):1433–1440
 10. Vinogradov AP (1959) The geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils, 2nd edn. Consultants Bureau, NewYork
 11. Sheng J, Wang X, Gong P, Tian L, Yao T (2012) Heavy metals of the Tibetan top soils: level, source, spatial distribution, temporal variation and risk assessment. *Environ Sci Pollut Res Int* 19(8):3362–3370.
-

РАЗДЕЛ VI. ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bukreeva E.E., Sitnik P.V., Kolycheva V.B.

Comparative analysis of industrial ethane pyrolysis methods for the ethylene production

Far Eastern University
(Russia, Vladivostok)

doi: 10.18411/sdntp-05-2023-10

Abstract

The thermal decomposition of hydrocarbons in tubular furnaces is the main technology for the production of ethylene. Also, there are some alternative pyrolysis types, such as catalytic pyrolysis, oxidative dehydrogenation, pyrolysis with direct heating. This paper summarizes ethylene production via the most used pathways of this process and the comparison of pyrolysis methods is also discussed.

Keywords: ethylene, pyrolysis, hydrocarbons, cracking, thermal furnace.

Аннотация

Термическое разложение углеводородов в трубчатых печах является основной технологией производства этилена. Также существуют некоторые альтернативные виды пиролиза, такие как каталитический пиролиз, окислительное дегидрирование, пиролиз с нагревом от теплоносителей. В данной статье рассматриваются наиболее используемые в промышленности методы проведения пиролиза для производства этилена и приводится их сравнение.

Ключевые слова: этилен, пиролиз, углеводороды, крекинг, трубчатая печь.

Ethylene is one of the most important products in the petrochemical industry. Nowadays ethylene is produced primary by pyrolysis of light hydrocarbons and products of their processing, mainly ethane and naphtha. The most popular pyrolysis raw materials for producing C₂H₄ are ethane and straight-run gasoline (naphtha) [6].

The thermal decomposition of raw material in pyrolysis tubular furnaces is the main industrial pyrolysis technology. However, the need to expand raw material range, reduce the specific consumption of raw materials, as well as specific energy and material costs, led to the development of new methods for pyrolysis processing (Figure 1).

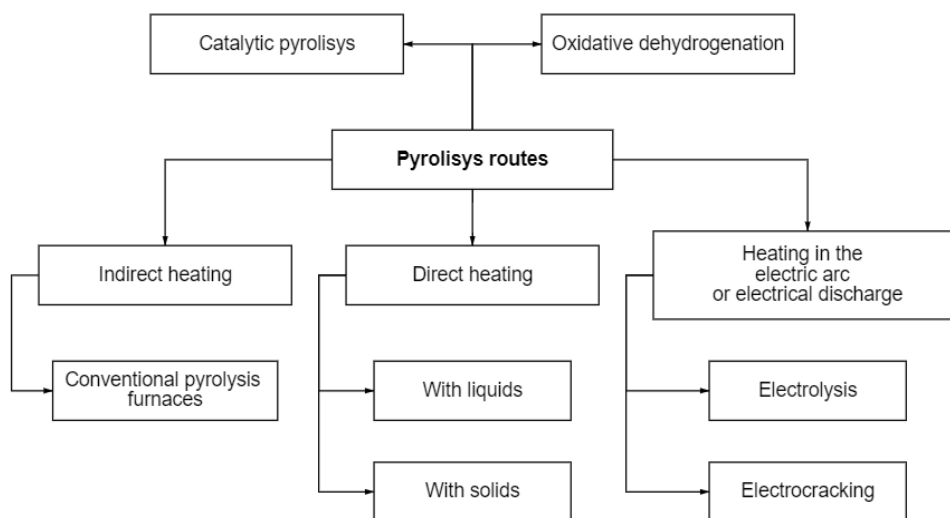


Figure 1. Pyrolysis pathways classification.

The main types of pyrolysis pathways can be conditionally classified into thermal degradation and catalytic dehydrogenation. In addition, thermal processes can be classified as follows: indirect heating, direct heating and heating in the electric arc or electrical discharge. The latter mentioned have not been used on a large-scale in industry due to noncompetitiveness considering high energy consumption [3].

Pyrolysis in the conventional tubular furnaces at high temperatures (up to 1100 °C) is the main industrial process of ethylene production in Russia. The average selectivity of this process is approximately 80% and the conversion is about 70%. The technology has reached a high level of maturity which leads to the fact that the improvements of major product yield and process selectivity are becoming increasingly difficult due to engineering limitations. Generally, ethylene yield is improved by increasing the cracking temperature and reducing the residence time (the residence time should be as small as possible), in other words, by increasing the rigidity of the process. However, pyrolytic reactions are highly endothermic, therefore the ethylene yield is limited by “temperature ceiling” depending on the steel quality of tubes. It is also worth noting that the pyrolysis process in conventional tubular furnaces is quite energy intensive and consumes 40% of all energy in the chemical and petrochemical industries [4; 5].

The main purpose of catalytic pyrolysis is obtaining small-scale of propylene and isobutylene. Generally, catalytic pyrolytic reactions are conducted in the presence of a noble- or heavy-metal catalyst such as platinum or chromium. Through the conducting the process with catalysts operating process temperature may be reduced to 500-700°C leading to lower yields of by-products such as methane, light hydrocarbons C₂-C₄ and aromatics compounds. Consequently, efficiency of production ethylene is being increased. However, due to the high endothermic effect of the reaction, increasing the conversion of ethane requires the use of higher temperature and lower pressure. So, with a decrease in selectivity, the formation of coke increases and the operating contact time increases. The selectivity of catalytic pyrolysis is about 90% and the conversion is extremely low (about 20%). The use of catalytic pyrolysis of an ethane fraction is ineffective on account of low ethylene yield [2].

Oxidative dehydrogenation is a promising technology and as opposed to catalytic pyrolysis it requires the application of oxygen in the reaction zone. Burning of the part of raw materials result in heat releasing, that is consuming for heating other parts of raw materials. /OR Oxidation-catalytic pyrolysis is a promising reaction and it is different from the previous one by the supply of oxygen to the reaction zone for the combustion of partial raw materials resulting in the release of heat used for heating. Eventually, using oxygen there are limits of coke formation on the catalyst and inner wall of the reactor vessel. The oxidative dehydrogenation operating temperature range is approximately 300-700 °C and it is the lowest in the comparison with all methods. The conditions of this pyrolytic process are atmospheric pressure and catalysts presence. Commonly, reducible metal oxide catalyst containing vanadium, molybdenum and lanthanum are used. Exothermic effect of oxidative dehydrogenation combined with lower operating temperature requirements result in considerable energy consumption saving.\OR considerable reduction of energy. In addition, the number of process steps is also reduced due to high selectivity, it is about 98% (conversion is about 30%). The operating temperature rise of the process increases the conversion, but at the same time decreases the selectivity because a part of ethane burns with formation of carbon oxides. Furthermore, there is an unresolved technology problem preventing the large-scale use of this process in industry: to prevent the ignition of the reaction mixture it is necessary to use an inert gas, which will inevitably lead to an increase in capital costs due to an increase in the overall dimensions of the equipment [2].

Pyrolysis with direct heating using liquid heat carriers\OR heat-transfer liquid is a relatively new technology. Because of the high temperatures required for process the application of liquids for direct heating is restricted by the use of molten metals. So, as liquid heat transfers there are used melts of some metals (bismuth, cadmium, lead, tin, etc.) their salts and oxide melts. In addition, even though the technology has several advantages, such as: efficient heat transfer, easy removal of soot and coke from the reaction zone, high ethylene yield. The main disadvantage of this process is the need to heat the liquid and ensure its recirculation. Pyrolysis with direct heating by liquids appropriates for obtaining olefins in processing of plastic wastes, as well as for obtaining pure turquoise hydrogen.

Nevertheless, as for ethylene production the technology has no economic potential, since the conversion and selectivity values are similar to those of the conventional method [7].

Pyrolysis with direct heating with solids is not a new technology as opposed to pyrolysis with direct heating with liquids. Depending on the used catalyst the process operating temperature is reduced to 500-800 °C and the necessary energy for pyrolytic reactions is produced by increasing temperature of heat transfers and coke burning off from transfers' surface (downtime significantly reduces). Zeolite-based catalyst satisfies industrial requirements best (conversion - 40%, selectivity - 40%) but inorganic oxides can also be used (leading to a decrease in ethylene selectivity). Another appropriate catalyst can be inorganic oxides, but the process selectivity and the ethylene yield might be reduced. It has long been known that pyrolysis with direct heating with solids is the main way of obtaining olefins abroad due to the flexibility of process (the possibility to regulate ethylene-propylene ratio yields) and to its energy efficiency [1].

Based on industry requirements, the considered technologies were correlated with each other (Table 1).

Table 1

Comparative analysis of industrial ethane pyrolysis methods for the ethylene production.

<i>Pyrolysis pathways</i>	<i>Selectivity/ conversion, %</i>	<i>Energy capacity, MJ/kg C₂H₄</i>	<i>Emissions</i>	<i>Auxillary chemicals</i>	<i>Availability</i>	<i>Complexity</i>
<i>Conventional tubular furnaces</i>	80/70	3.1	<i>Flue gases</i>	$H_2O/C_2H_6 = 0.5 \text{ kg/kg}$	<i>Stops for coke combustion</i>	<i>Conventional technology</i>
<i>Catalytic pyrolysis</i>	90/20	26.1	<i>High energy capacity = high emissions</i>	$H_2O/C_2H_6 = 1 \text{ kg/kg} + \text{catalyst}$	<i>Increased coking due to shorter contact time</i>	<i>Use of catalysts</i>
<i>Oxidative dehydrogenation</i>	98/30	23.3	<i>High energy capacity = high emissions</i>	$O_2/C_2H_6 = 0.9 \text{ kg/kg} + \text{catalyst}$	<i>Increased coking due to combustion</i>	<i>Necessity of constant safety control</i>
<i>Direct heating with liquids</i>	80/70	3.1	<i>Flue gases</i>	$H_2O/C_2H_6 = 0.5 \text{ kg/kg} + \text{catalyst}$	<i>Stops for coke combustion</i>	<i>Necessity of corrosion prevention</i>
<i>Direct heating with solids</i>	40/40	3.1	<i>Flue gases</i>	$H_2O/C_2H_6 = 0.5 \text{ kg/kg} + \text{catalyst}$	<i>Coke oven burnout is part of the process</i>	<i>Complicated technology</i>

From an engineering point of view, the primary comparison criteria are: maximum yield of the major product, minimum contamination during production, minimum use of auxiliary chemicals and availability. Pyrolysis with direct heating with solids has great potential in terms of major product yield (ethylene). However, to achieve better yield index it's necessary to discover the more appropriate catalyst for ethane as raw material. Pyrolysis with direct heating with liquids and pyrolysis in the conventional tubular furnaces approximately have similar yields, undoubtedly, corrosion protection is needed, and it is also necessary to find solutions to existing technology problems using the first method mentioned above.

Oxidative dehydrogenation could be alternative technology to pyrolysis in the conventional tubular furnaces, but while huge amounts of pure oxygen are used method have a negative impact on costs. In addition, significant investments in air separation equipment are required in the absence of a supplier of oxygen. Catalytic pyrolysis cannot be alternative to either method too due to the extremely low ethylene yield. However, if a more appropriate catalyst can be found perhaps the situation will be allowed to change.

The pyrolysis produced in the conventional tubular furnaces is known to be a rather energy-intensive process. On the other hand, conventional technology is more energy efficient in comparison with the catalytic process and oxidative dehydrogenation, where much more energy is consumed by repeating the process to achieve a higher yield of the major product.

It can be concluded that of all the technologies considered, that only pyrolysis in the conventional tubular furnaces is satisfactory for large-scale industry nowadays. The analysis shows pyrolysis in the conventional tubular furnaces to be almost highly efficient across all criteria. To solve the existing problems of the technology, it seems possible to optimize it through potential scientific breakthroughs in materials science increasing the efficiency of the process.

1. A review on production of light olefins via fluid catalytic cracking / Z. Gholami, F. Gholami, Z. Tišler [et al.] // *Energies*. – 2021. – Vol. 14. – № 4. – P. 1-36.
2. Catalytic dehydrogenation of ethane: A mini review of recent advances and perspective of chemical looping technology / D. Fairuzov, I. Gerzeliev, A. Maximov, E. Naranov // *Catalysts*. – 2021. – Vol. 11. – № 7. – P. 1-15.
3. Moldoveanu S. C. General Information About Pyrolysis / S. C. Moldoveanu // *Pyrolysis of Organic Molecules*. – Elsevier, 2019. – P. 1-33.
4. Production of Ethylene from Ethane Fraction by a Method Alternative to Steam Cracking / I. M. Gerzeliev, D. K. Fairuzov, Z. I. Gerzelieva, A. L. Maksimov // *Russian Journal of Applied Chemistry*. – 2019. – Vol. 92. – № 11. – P. 1549-1557.
5. Recent Advances in Intensified Ethylene Production - A Review / Y. Gao, L. Neal, D. Ding [et al.] // *ACS Catalysis*. – 2019. – Vol. 9. – № 9. – P. 8592-8621.
6. Saito H. Catalytic conversion of ethane to valuable products through non-oxidative dehydrogenation and dehydroaromatization / H. Saito, Y. Sekine // *RSC Advances*. – 2020. – Vol. 10. – № 36. – P. 21427-21453.
7. Techno-Economic assessment of natural gas pyrolysis in molten salts / F. Pruvost, S. Cloete, J. Hendrik Cloete [et al.] // *Energy Conversion and Management*. – 2022. – Vol. 253. – P. 115187.



LJournal

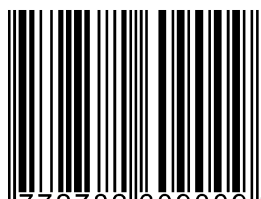
Научно-издательский центр

Рецензируемый научный журнал

**СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА**

№3(8), Май 2023

ISSN 2782-6090



9 772782 609009 >

Подписано в печать 25.05.2023. Тираж 400 экз.
Формат.60x841/16. Объем уч.-изд. л.2,53
Отпечатано в типографии Научный центр «LJournal»
Главный редактор: Иванов Владислав Вячеславович