POLISH JOURNAL OF SCIENCE
№34 (2020)
VOL. 1

ISSN 3353-2389

Polish journal of science:

- has been founded by a council of scientists, with the aim of helping the knowledge and scientific achievements to contribute to the world.
- articles published in the journal are placed additionally within the journal in international indexes and libraries.
- is a free access to the electronic archive of the journal, as well as to published articles.
- before publication, the articles pass through a rigorous selection and peer review, in order to preserve the scientific foundation of information.

Editor in chief –J an Kamiński, Kozminski University
Secretary – Mateusz Kowalczyk

Agata Żurawska – University of Warsaw, Poland
Jakub Walisiewicz – University of Lodz, Poland
Paula Bronisz – University of Wrocław, Poland
Barbara Lewczuk – Poznan University of Technology, Poland
Andrzej Janowiak – AGH University of Science and Technology, Poland
Frankie Imbriano – University of Milan, Italy
Taylor Jonson – Indiana University Bloomington, USA
Remi Tognetti – Ecole Normale Superieure de Cachan, France
Bjørn Evertsen – Harstad University College, Norway
Nathalie Westerlund – Umea University, Sweden
Thea Huszti – Aalborg University, Denmark
Aubergine Cloez – Universite de Montpellier, France
Eva Maria Bates – University of Navarra, Spain
Enda Baciu – Vienna University of Technology, Austria

Also in the work of the editorial board are involved independent experts

1000 copies
POLISH JOURNAL OF SCIENCE
Wojciecha Górskiego 9, Warszawa, Poland, 00-033
email: editor@poljs.com
site: http://www.poljs.com

CONTENT

MEDICAL SCIENCES

Kasokhov T., Alborova A., Mazur A., Tsareva A., Kasokhova V.
THE IMPORTANCE OF INDICATORS OF LOCAL AND SYSTEMIC IMMUNITY IN THE DEVELOPMENT OF OBSTRUCTIVE BRONCHITIS IN CHILDREN AND METHODS OF TREATMENT. LITERATURE REVIEW 3

Habibian R., Maleyev M., Nikitin M.
SURGICAL TREATMENT OF FRACTURES OF THE POSTERIOR EDGE OF THE ACETABULUM 8

Kasokhov T., Sokhieva F., Mazur A., Tsareva A.
INDICATORS OF THE IMMUNITY AND CYTOKINE PROFILE IN CHILDREN WITH RESPIRATORY ALLERGIES.....13

Ertesyan A., Sadykov M., Nesterov A., Grigorieva E.
ADDITIVE 3D-PRINTING TECHNOLOGIES OF METALS IN DENTAL 17

PHYSICAL SCIENCES

Polyakova R., Yudin I.
CALCULATION OF THE MAGNETIC SYSTEM BY SOLVING THE INVERSE PROBLEM 25

TECHNICAL SCIENCES

Avrunin G., Kirichenko I., Shevchenko D., Moroz I.
ANALYSIS OF DYNAMICS BY HYDRAULIC FLUID POWER OF CONCRETE MIXER ON MOTOR-CAR UNDERCARRIAGE 31

Demirsoy D.
RESEARCH AND DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING THE KNOWLEDGE OF SCHOOL STUDENTS 39

Azanov N., Ibdiminov R.
INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEMS IN MANAGEMENT OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS 43

Kasianenko L., Demydov I., Molchenko S.
PRODUCTS OF MODIFICATION OF SUNFLOWER OIL AS BIO-LUBRICANTS 47

Kovalchuk D., Mazur A.
SYNTHESIS AND COMPARATIVE ANALYSIS OF ALTERNATIVE VARIANTS OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS FOR THE PROCESS OF HEAT RECOVERY FROM COMBUSTION PRODUCTS USING HEAT PUMPS.....51

Otroshchenko D., Kachala V.
THE CONCEPT OF A DIGITAL VEHICLE TWIN.....61

Samchenko I., Oliynyk S.
RESEARCH OF SORPTION PROPERTIES OF THE ACTIVATED AND MODIFIED FIBER FOR PROCESSING OF WATER-ALCOHOL BLEND 63

MEDICAL SCIENCES

ЗНАЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕСТНОГО И СИСТЕМНОГО ИММУНИТЕТА В РАЗВИТИИ ОБСТРУКТИВНОГО БРОНХИТА У ДЕТЕЙ И МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Касохов Т.Б.
ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» Минздрава России
ИБМИ ВНЦ РАН
Алборова А.В.
ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» Минздрава России
Мазур А.И.
ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» Минздрава России
Царева А.А.
ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» Минздрава России
Касохова В.В.
ФГБОУ ВО «Северо-Осетинская государственная медицинская академия» Минздрава России

THE IMPORTANCE OF INDICATORS OF LOCAL AND SYSTEMIC IMMUNITY IN THE DEVELOPMENT OF OBSTRUCTIVE BRONCHITIS IN CHILDREN AND METHODS OF TREATMENT. LITERATURE REVIEW

Kasokhov T.
North-Ossetian State Medical Academy IBMI VNC RAS
Alborova A.
North-Ossetian State Medical Academy
Mazur A.
North-Ossetian State Medical Academy
Tsareva A.
North-Ossetian State Medical Academy
Kasokhova V.
North-Ossetian State Medical Academy

Аннотация

В данном обзоре на основании данных из актуальных источников отражены факторы, способствующие развитию одной из самых распространенных бронхолегочных патологий у детей – обструктивном бронхите. Также описаны основные моменты патогенеза, клинических проявлений и лечения этого заболевания. Сделан акцент на процессы аллергического воспаления и на цитокины, являющиеся медиаторами межклеточного взаимодействия. Дисбаланс уровня показателей этих медиаторов является одним из основных моментов в патогенезе обструктивного бронхита у детей. При данной патологии имеет место снижение неспецифической защиты организма, местного и системного иммунитета ввиду происходящих нарушениях в показателях активности фагоцитоза, лизоцима и субпопуляциях лимфоцитов.

Очень важным аспектом в патогенезе бронхиальной обструкции является изменение в показателях цитокинового профиля, что обуславливает более углубленное изучение нарушений в показателях местного и системного иммунитета у детей с данной патологией.

Клинические и лабораторные наблюдения отечественных и зарубежных авторов подтверждают мнение о необходимости включения в комплексную терапию обструктивного бронхита иммуномодулирующих препаратов, действие которых основывается на увеличении количества Т-лимфоцитов, восстановлении бактерицидной активности лейкоцитов, воздействии на гуморальные факторы (активация комплимента, увеличение количества общих и активированных В-лимфоцитов), и фагоцитоз.

Несмотря на растущее количество публикаций и большое внимание педиатров, пульмонологов, аллергологов, иммунологов, заболевания бронхолегочной системы остаются достаточно распространенными среди пациентов детского возраста. Чтобы защитить будущее поколение, ускорить процесс выздоровления и сделать более качественным процесс нахождения в стационаре, необходимо иметь детальный подход к вопросам патогенеза, состояния иммунной системы у детей с обструктивным бронхитом.

Abstract

This review, based on data from relevant sources, reflects the factors contributing to the development of one of the most common bronchopulmonary pathologies in children – obstructive bronchitis. The main points of pathogenesis, clinical manifestations and treatment of this disease are also described. Emphasis is placed on the processes of allergic inflammation and on cytokines, which are mediators of intercellular interaction. The imbalance in the level of indicators of these mediators is one of the main points in the pathogenesis of obstructive bronchitis in children. In this pathology, there is a decrease in nonspecific protection of the body, local and systemic immunity due to violations occurring in the indicators of activity of phagocytosis, lysozyme and lymphocyte subpopulations.

A very important aspect in the pathogenesis of bronchial obstruction is the change in the cytokine profile, which causes a more in-depth study of violations in the indicators of local and systemic immunity in children with this pathology.

Clinical and laboratory observations of domestic and foreign authors confirm the opinion on the need to include in the complex therapy of obstructive bronchitis immunomodulatory drugs, the effect of which is based on an increase in the number of T-lymphocytes, the restoration of bactericidal activity of leukocytes, the impact on humoral factors (activation of compliment, an increase in the number of total and activated B-lymphocytes), and phagocytosis.

Despite the growing number of publications and the great attention of pediatricians, pulmonologists, allergists, immunologists, diseases of the bronchopulmonary system remain quite common among children's patients. In order to protect the future generation, speed up the recovery process and improve the quality of the hospital stay, it is necessary to have a detailed approach to the pathogenesis, the state of the immune system in children with obstructive bronchitis.

Ключевые слова: обструктивный бронхит, бронхиальная обструкция, аллергическое воспаление, цитокины, иммунокоррекция.

Keywords: obstructive bronchitis, bronchial obstruction, allergic inflammation, cytokines, immunocorrection.

Введение.

Обструктивный бронхит, как и другие заболевания бронхолегочной системы у детей разного возраста, получило широкое распространение, особенно в последнее десятилетие [1]. Данное нарушение занимает одно из ведущих мест среди респираторных аллергозов у детей. Рецидивирующие бронхиты обширно распространены у часто болеющих детей. Течение нередко приобретает затяжной характер [2]. Причиной тому могут быть анатомо-физиологические, иммунологические особенности детей.

Важным фактором в развитии обструктивного бронхита у детей являются вирусы гриппа, парагриппа, РС-, адено-, рино- и метапневмовирус. При проникновении вирусов в организм происходит повреждение эпителия, следовательно возникает нарушение мукоцилиарного клиренса, т.е. очищения бронхов. Данный процесс является важнейшей причиной поражения нижних дыхательных путей с развитием бронхитов. Не стоит забывать о бактериальной инфекция, которая присоединяется как раз из-за нарушения мукоцилиарного клиренса. В таком случае возникает необходимость прибегнуть к антибактериальной терапии. Рецидивирующие инфекции нижних дыхательных путей являются причиной формирования бронхиальной гиперреактивности [3].

Огромное значение в этиологии хронических бронхитов имеют полютанты, или летучие вещества, и домашняя пыль, оказывающие механическое и химическое действие на слизистую оболочку бронхов и способные нарушать механизм мукоцилиарного клиренса. Также к полютантам относится и табачный дым, который оказывает вредное воздействие при пассивном и, к сожалению, при активном курении у детей. В состав табачного дыма входят две фракции: газообразная и фракция твердых частиц. В газообразную входит формальдегид, винилхлорид, уретан и др, а во фракцию твердых частиц – никотин, бензопирен, никель, кадмия и др.

К сожалению, промышленно-производственные и бытовые летучие полютанты также оказывают пагубное влияние. К таким веществам относятся соли тяжелых металлов (свинец, кадмий, цинк), которые отличаются иммунодепрессивным влиянием. Данные соли являются ксенобиотиками, с воздействием которых связан рост показателей заболеваемости и смертности детей, формирование синдромов общей экологической дезадаптации, химической гиперчувствительности и сенсибилизации, а иногда – хронической интоксикации. Общим патогенетическим звеном многих экологически детерминированных синдромов и болезней у детей является нарушение иммунобиологической реактивности под влиянием малых дозовых воздействий ксенобиотиков на формирующуюся иммунную систему [4].

Немаловажным моментом в формировании хронических бронхитов является неблагоприятная метеообстановка. Также, нарушение чисто механической функции дыхания через нос из-за патологии носоглотки играет огромную роль в развитии бронхиальной обструкции, особенно у детей раннего возраста.

Особенно важно при изучении патогенеза обструктивного бронхита уделить внимание бронхиальной слизи. Итак, бронхиальная слизь представляет собой сложную смесь секретов, выделяемых слизистыми клетками, подслизистыми железами. Также, в её состав входит секрет поверхностного эпителия, тканевого транссудата и альвеолярного сурфактанта. Доля секрета в бронхиальной слизи составляет 5%, а на долю воды приходится 95%. От воздействия различных инфекционных агентов бронхи защищают иммуноглобулин А, сиаловые кислоты, лизоцим, также входящие в состав бронхиальной слизи. Между тем, в её составе имеется альфа1-антитрипсин, способный противостоять действию протеолитических ферментов. Данная слизь выступает и как биологический протектор, способный окружать реснички бронхиального эпителия.

Из-за действия полютантов возникает гиперфункция секреторных клеток, следовательно начинает вырабатываться повышенное количество слизи, т.е. происходит гиперкриния. Это является естественным ответом на действие инородных агентов, т.к. включается защитная реакция, в результате которой происходит «разведение» данных

чужеродных элементов в большем, чем обычно необходимо, количестве слизи. Логично, что ввиду увеличивающегося количества бронхиальной слизи возникает кашель, что тоже является защитной реакцией, т.к. это способствует выведению патогенных факторов. Но, стоит заметить, что в дальнейшем секрет становится более вязким, следовательно его отведение становится затруднительным. Далее происходит нарушение в механизме мукоцилиарного клиренса из-за слипания уже более вязкого секрета с ресничками. После этого из-за воздействия полютантов реснитчатые клетки начинают терять свои функции, а потом, и вовсе, погибают, что ведет к «оголению» участков. В таких местах мерцательный эпителий уже полностью отсутствует, следовательно мукоцилиарный транспорт прерывается и открываются «ворота» для микробов, которые адгезируются к незащищенным участкам.

Мокрота, выделяемая при данном воспалительном процессе, приобретает слизисто-гнойный характер и трудноотделяется. Такие вещества, как соли свинца, кадмия, цинка не элиминируются макрофагами и могут в течение длительного времени раздражать бронхи. Слизистая оболочка атрофируется, снижается защитная функция эпителия ввиду снижения выработки лизоцима, секреторных иммуноглобулинов, в результате чего происходит нарастание воспалительного процесса [5].

Как считают Чебуркин А.А., Чебуркин А.В. (2008), у детей с экссудативным и лимфатическим типами конституции однократный эпизод бронхообструктивного синдрома реализуется на фоне бронхита. Развивается интоксикация, появляется глубокий кашель. Одышка смешанная с преобладанием экспираторного компонента. При аускультации выслушиваются множественные сухие хрипы на выдохе, крупно- и среднепузырчатые влажные хрипы [6].

По мнению Maclennan C., Hutchinson P. (2006), немаловажным моментом в течении обструктивного бронхита является развитие бронхообструктивного синдрома. Причинами данного синдрома может быть отек, инфильтрация бронха, спазм стенки гладкой мускулатуры бронхиол и, как указывалось ранее, повышенная секреция бокаловидных клеток (гиперкриния) [7].

Изучение различных аспектов патогенеза респираторных аллергозов на протяжении последнего времени обсуждается в литературе все более обширно. Ряд авторов считают очень важным моментом изучение цитокинового профиля у пациентов с обструктивным бронхитом. Они выявили, что выраженный воспалительный процесс в респираторном тракте возникает ввиду дисбаланса цитокинов [8].

Цитокины – секретируемые гликолизированные полипептиды, регулирующие и определяющие природу иммунных ответов. Эти медиаторы включаются практически в каждое звено иммунитета и воспаления: в презентацию антигена, дифференциацию клеток костного мозга, рекрутирование или активацию клеток, экспрессию адгезивных молекул, ответы острой фазы. До сих пор не существует единого мнения о группировании всех описанных цитокинов. По признакам клеточного источника их делят на моно- и лимфокины, по биологической активности – на цитокины, опосредующие гуморальный, клеточный иммунитет, развитие аллергических реакций или обладающие иммуносупрессивными свойствами [9].

Цитокины обладают функцией регуляции воспаления, что является очень важным в патогенезе обструктивного бронхита. Выделяют следующие типы провоспалительных цитокинов:

а) цитокины, обладающие хемотоксической активностью и активирующие клетки воспаления;

б) цитокины, губительно действующие на измененные клетки, усиливающие пролиферацию и дифференцировку клеток воспаления;

в) цитокины, усиливающие пролиферацию и дифференцировку костномозговых предшественников клеток воспаления и выброс их в кровь;

г) цитокины, подавляющие функцию клеток, участвующих в воспалении, и таким образом угнетающие развитие воспалительных процессов [9].

Ряда авторов считают, что из-за воздействия специфических антигенов в тканях возникает дифференцировка Т-хелперов на 2 субпопуляции – Т-хелперы первого и второго типов (Th-1, Th-2), различающихся по антигенам главного комплекса гистосовместимости и продуцируемым цитокинам. Th-1 секретируют преимущественно интерлейкин-1 (ИЛ-1), интерлейкин-2 (ИЛ-2), гамма-интерферон (IFN-γ), факторы некроза опухоли альфа и бетта (TNF-α, TNF-β), принимающие участие в росте и дифференцировке Т и В лимфоцитов, естественных киллеров, противовирусной и антибактериальной защите. Th-2 синтезируют ИЛ-4, ИЛ-5, ИЛ-10, вызывающие преимущественно гуморальные реакции. Th1 клетки, продуцирующие в основном ИЛ-2 и ИНФ-γ, определяются у здоровых людей, тогда как Th-2 тип хелперов, продуцирующие ИЛ-4 и ИЛ-5, выявляются у больных атопическими заболеваниями [10].

Некоторые авторы изучали такие аспекты участия интерлейкинов в патологии аллергических заболеваний как роль в регуляции синтеза IgE и действие интерлейкинов в процессе созревания и дифференцировки В-лимфоцитов, их трансформации в плазматические клетки и активности. Также рассматривалось влияние интерлейкинов на состояние клеток эпителия, гиперплазию и развитие гиперреактивности легких. Затем обсуждались особенности участия интерлейкинов в развитии атопического дерматита. Представляются также некоторые новые данные о механизмах специфической иммунотерапии [11].

Ганковская Л. В., Намазова-Баранова Л. С. и соавт. (2017) в своей работе отметили механизм врождённого иммунитета в патогенезе обструктивного бронхита, а также полиморфизм генов, кодирующих основные Toll-подобные рецепторы, их влияние на предрасположенность, или резистентность организма к возникновению обструктивного

бронхита. Также, они обратили внимание на роль системы врождённого иммунитета и Toll-подобных рецепторах, врождённых лимфоидных клетках, ИЛ-33 [12].

В последние годы появилась острая необходимость в разработке новых и эффективных методов лечения обструктивного бронхита у детей. Но, в свою очередь, основными направлениями терапии бронхиальной обструкции заболевании являются мероприятия по улучшению дренажной функции бронхов, бронхолитической и противовоспалительной терапии [13].

Использование иммунокорригирующей терапии в последнее время обретает немалое распространение и описывается рядом авторов. Сейчас в терапии заболеваний бронхолегочной системы широко используются иммуномодуляторы микробного происхождения, особенно у часто болеющих детей [2, 4, 5, 8, 14].

Следует обратить внимание на препараты - индукторы синтеза интерферонов. Один из них – это циклоферон. Он способен индуцировать синтез ИНФ-α. При действии циклоферона отмечена способность переключать Th0 с синтеза Th2-цитокинов на Th1. Активация Th1 ведет к стимуляции Т-лимфоцитов и макрофагов и развитию иммунного ответа по клеточному типу, который оказывает важное влияние в противовирусной защите [15].

Существуют и иммуномодуляторы вакцинального типа, набирающие популярность в последние годы. Они могут быть системного (бронхо-ваксом, рибомунил, биостим, ВП-4 и др.) или преимущественно топического действия (ИРС-19, имудон). О них будет сказано далее [2, 8, 16].

Бактериальные иммуномодуляторы способны оказывать местное действие на слизистой оболочке верхних дыхательных путей, тем самым осуществляеть активную специфическую иммунизацию в борьбе против большинства из распространенных возбудителей острых респираторных заболеваний. Активной специфической иммунизации характерны такие важные свойства, как эффективность и безопасность, в отличие от неспецифической иммуностимуляции.

Препарат бронхо-ваксом и его аналог бронхомунал, имеют в своем составе лиофилизированный лизат наиболее частых возбудителей острых респираторных заболеваний. Бронхо-мунал рекомендуют при заболеваниях верхних дыхательных путей, для профилактики рецидивирующих заболеваний, заболеваний лор-органов [16]. После прохождения курса лечения данным препаратом происходит улучшение показателей клеточного иммунитета, стабилизация показателей фагоцитоза, снижение уровня IgE, повышение уровня IgA, IgG. Также, клинически мы обнаружили, исходя из собственных наблюдений, что снижается частота острых респираторных заболеваний.

Иммуномодулятор ИРС-19 имеет в составе 18 штаммов лизатов бактерий, которые вызывают наиболее частые инфекции верхних дыхательных путей. Препарат действует непосредственно в месте развития респираторной инфекции. ИРС-19 способен усиливать специфический иммунитет и неспецифические защитные реакции, повышать фагоцитарную активность макрофагов (качественно и количественно усиливая фагоцитоз), повышать активность лизоцима, выработку интерферона. [17].

Виферон используется в терапии обструктивного бронхита у детей, в его состав входят рекомбинантный интерферон α2b, природные антиоксиданты (витамины Е и С). При его использовании происходит быстрое восстановление показателей Т-клеточного звена иммунной системы (CD3, CD4, CD8), особенно при инфекционно воспалительном варианте. При атопическом варианте бронхиальной обструкции после комплексного лечения с использованием виферона происходит уменьшение количества Th2 и содержание IgE, что происходит ввиду перемоделирования иммунного ответа в сторону Th1. При использовании виферона наблюдается усиление выработки IgA и переключение синтеза антител с IgM на IgG [18].

Отечественный иммуномодулятор полиоксидоний обладает широким спектром фармакологического действия (иммуномодулирующий, антиоксидантный, детоксицирующий и мембранопротективный эффекты). При применении полиоксидония у детей с бронхиальной астмой отмечалось снижение частоты ОРВИ и обострений основного заболевания [19].

Иммуномодулятор деринат – это высокомолекулярное физиологически активное природное вещество – вытяжка из молок осетровых или лососевых рыб, а именно низкомолекулярная натриевая соль двуспиральной высокоочищенной деполимеризованной нативной дезоксирибонуклеиновой кислоты. Деринат обладает антиоксидантным и мембрано-стабилизирующим свойствами. Иммуномодулирующие действия Дерината проявляются в увеличении количества лимфоцитов Т-лимфоцитов; в восстановлении бактерицидной активности лейкоцитов; в воздействии на гуморальные факторы (активация комплимента, увеличение количества общих и активированных В-лимфоцитов); в воздействии на фагоцитоз [19, 20].

Ряд авторов проводили исследования, в которых определили, что при аллергических заболеваниях Деринат повышает активность Th-1 клеток и понижает активность Th-2 клеток – ответственных за гуморальный иммунитет. На этом основании можно предположить высокую эффективность применения отечественного иммуномодулирующего препарата Деринат в комплексной терапии респираторных аллергозов у детей [20].

При помощи пиноцитоза и фагоцитоза деринат оказывает хороший иммуномодулирующий эффект. Большая доля препарата может преодолевать ДНК-азный барьер крови и тканей и внедряться в клетки в полимерном состоянии. При данном процессе происходит нейтрализация патогенных свойств ДНК-аз.

Иммуностимулирующий эффект дерината достигается ввиду его способности к активировнию клеток моноцитарно - макрофагальной системы.

Исключительной особенностью иммуномодулирующего действия дерината является его способность иммунорегулирующего действия с проявлением как иммуностимулирующей способности, так и иммунодепрессантных свойств, которые происходят одновременно. Важным иммуномодулирующим свойством Дерината является его способность усиливать образование антител, как к тимусзависимым, так и к тимуснезависимым антигенам. При совместном введении с этими антигенами препарат значительно усиливает антителообразование. Между тем, происходит и активация клеточного иммунитета, следовательно повышается способность естественных киллеров и антиген неспецифических Т-киллеров убивать клетки, зараженные внутриклеточными возбудителями: вирусами, хламидиями, микоплазмами [19, 20].

В наших собственных исследованиях мы прибегнули к иммуномодулятору Исмиген. При его использовании в комплексном лечении заболеваний, сопровождающихся бронхиальной обструкцией, мы получили достоверное повышение активности фагоцитоза, фагоцитарного индекса, спонтанного и стимулированного НСТ-тестов, а также выявилось повышение активности лизоцима [21].

На основании приведенных выше данных можно четко сказать, что обструктивный бронхит является достаточно распространенной патологией среди пациентов детского возраста. Следовательно, возникает необходимость в разработке и последующих исследованиях новых тактик лечения. На наш взгляд, иммунотерапия является достаточно актульным и, что подтверждено нашими собственными исследованиями и работами других отечественных и зарубежных авторов, эффективным методом лечения в комплексе с общепринятой терапией обструктивного бронхита у детей. Аллергическое воспаление играет очень важную роль в патогенезе данной патологии у детей. В таком случае в формировании патологического процесса основополагающую роль играет дисбаланс цитокинов и нарушение показателей местного и системного иммунитета. Акцент на использование иммуномодулирующей терапии в лечении бронхообструктивных патологий является абсолютно оправданным, а использование иммуномодуляторов даст возможность как снизить риск развития и распространенности заболевания, ввиду их профилактического действия, так и быстро и эффективно проводить терапию обструктивного бронхита у детей.

- **Сокращенные обозначения:**
- Аг – Антиген
- Ат – Антитело
- IgE – иммуноглобулин Е
- IgG – иммуноглобулин G
- ОРЗ – Острые респираторные заболевания
- БА – Бронхиальная астма
- СОЭ – Скорость оседания эритроцитов
- Th-1 – Т-хелперы 1 типа
- Th-2 – Т-хелперы 2 типа
- TLR2 – Толл-подобный рецептор 2
- TLR4 – Толл-подобный рецептор 4
- ИЛ4 – интерлейкин-4
- ИЛ5 – интерлейкин-5
- ИЛ8 – интерлейкин-8
- ИЛ10 – интерлейкин-10
- αИНФ – альфа-интерферон
- γИНФ – гамма-интерферон

ИЛ1β – интерлейкин-1-бетта

ИРС-19 – Комплексный препарат бактериальных лизатов

Список литературы

1. Зрячкин Н, Макарова О, Гужинова В, Коптяева Г, Филимонова В, Зайцева Г, Каральская Ж. Комплексная терапия острого бронхита у детей // Врач. 2012. № 8. С. 74-76.

2. Мазур А.И., Царева А.А. Роль местного и системного иммунитета в развитии респираторных аллергозов у детей и оптимизация лечения // Эффективная фармакотерапия. 2019. Т. 15. С. 26-31.

3. Петрова С.И. и др. Растительные препараты в терапии острого бронхита у детей // Вопросы практической педиатрии. 2012. Т. 7. № 5. С. 57–59.

4. Касохов Т.Б. Вторичная иммунная интерфероновая недостаточность при экопатогенном воздействии свинца, кадмия, цинка: автореф. дисс. … докт. мед. наук. М., 1999.

5. Касохов Т.Б., Павловская Л.В. Показатели иммунного статуса у детей с респираторными аллергозами, проживающих в зоне экологического неблагополучия // Advances in Health Sciences Research, volume 16 International Conference on Health and Well-Being in Modern Society. 2019. Vol. 16. P. 133 – 136.

6. Чебуркин А.А., Чебуркин А.В. Доминирующие факторы патогенеза бронхообструкции при острых бронхитах у детей раннего возраста: перспектива терапии // Педиатрия. 2008. № 1. С. 8-9.

7. Maclennan C., Hutchinson P., Holdsworth S. et al. Airway inflammation in asymptomatic children with episodic wheeze // Pediatr. Pulmonol. 2006. № 41. P. 577–583.

8. Касохов Т.Б., Цораева З.А. Роль иммунной системы в развитии бронхиальной астмы у детей, проживающих в зоне экологического неблагополучия, и методы лечения // Современные проблемы науки и образования, 2016. № 3. С. 1–7.

9. Намазова Л.С. Патогенетические основы дифференцированного лечения бронхиальной астмы у детей: автореф. дисс. … докт. мед. наук. М., 2000.

10. Никонова М. Ф., Донецкова А. Д., Сидорович О. И., Лусс Л. В., Ярилин А. А. Особенности экспрессии генов транскрипционных факторов, контролирующих дифференцировку адаптивных субпопуляций CD4+-Т-лимфоцитов при аллергии // Иммунология, 2011. – № 4. С. 189-191.

11. Бережная Н.М., Сепиашвили Р.И. Интерлейкины в патогенезе атопических аллергических заболеваний // Аллергология и иммунология. 2014. Т. 15. № 3. С. 165-168.

12. Ганковская Л.В., Намазова-Баранова Л.С. Особенности экспрессии Toll-подобного рецептора

2 и Toll-подобного рецептора 4 у детей с бронхиальной астмой // Медицинская иммунология. 2017. № 19 (4). С. 431-440.

13. Зайцева О.В. Современные возможности профилактики и лечения острых респираторных заболеваний // РМЖ. 2011. № 23. С. 1458.

14. Нестерова И.В. Проблемы лечения вирусно-бактериальных респираторных инфекций у «часто и длительно болеющих» иммунокомпрометированных детей // Леч. врач. 2009. № 6. С. 26–29.

15. Романцов М.Г., Ершов Ф.И., Коваленко А.Л. Противовирусные препараты для лечения ОРВИ и гриппа у детей // Фундаментальные исследования. 2010. № 9. С. 8-19.

16. Караулов А.В., Кокушков Д.В. Иммуномодуляторы: классификация, принципы и практика применения при инфекциях дыхательных путей у детей // Детские инфекции. 2007. №4. С. 68-70.

17. Лискова Е.В., Федорова Т.О., Укубаева Д.Г., Жеребятьева О.О. Клинико-микробиологическая оценка влияния препарата ИРС 19 при острых респираторных вирусных инфекциях // Вопросы методологии естествознания и технических наук: современный контекст. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции / под общей ред. Е. П. Ткачевой. Белгород: общество с ограниченной ответственностью «Агентство перспективных научных исследований», *2019. С. 58-62.*

18. Симованьян Э.Н. Эффективность использования рекомбинантного интерферона α2b (виферона) при остром обструктивном бронхите у детей // Педиатрия. 2008. Т 87. №1. С. 106-114.

19. Касохов Т. Б., Кайтмазова Н. К. Применение дерината в лечении рецидивирующего бронхита у детей // Аллергология и иммунология. 2007.

20. Каплина Э. Н. Иммунитет. Точка приложения Дерината // Новая аптека. 2009. № 1. С. 56-57.

21. Касохов Т.Б., Цораева З.А., Туриева С.В., Павловская Л.В. Нарушение иммунного статуса у детей с респираторными аллергозами и методы иммунокоррекции // Современные проблемы науки и образования. 2017. №5. С. 1-4.

ОПЕРАТИВНОЕ ЛЕЧЕНИЕ ПЕРЕЛОМОВ ЗАДНЕГО КРАЯ ВЕРТЛУЖНОЙ ВПАДИНЫ

Хабибьянов Р.Я.
д.м.н., заведующий научно-исследовательским отделом ГАУЗ «РКБ МЗ РТ»
Малеев М.В.
к.ф.-м.н., начальник отдела патентной и изобретательской работы ГАУЗ «РКБ МЗ РТ»
Никитин М.А.
врач-травматолог-ортопед ГАУЗ «РКБ МЗ РТ»

SURGICAL TREATMENT OF FRACTURES OF THE POSTERIOR EDGE OF THE ACETABULUM

Habibian R.
head of the research Department of GAUZ "RCH of MZ RT"
Maleyev M.
head of Department of patent and inventive work of GAUZ "RCH of MZ RT"
Nikitin M.
traumatologist-orthopedist of GAUZ "RCH of MZ RT"

Аннотация

Предложен малотравматичный доступ к заднему краю вертлужной впадины для репозиции и фиксации отломков ее верхнего и заднего отделов. Учтена особенность топографической анатомии ягодичной области. Описана техника оперативного вмешательства в зависимости от уровня перелома заднего края вертлужной впадины

Abstract

A low-traumatic access to the posterior edge of the acetabulum is proposed for repositioning and fixing fragments of its upper and posterior parts. The feature of the topographic anatomy of the gluteal region is taken into account. The technique of surgical intervention is described depending on the level of fracture of the posterior edge of the acetabulum.

Ключевые слова: переломы таза, хирургический доступ.

Keywords: pelvic fractures, surgical access.

Переломы заднего края вертлужной впадины, как и чрезвертлужные, чаще всего происходят при, так называемой, травме ускорения, к которым относятся дорожно-транспортные происшествия, падения с высоты. Большая часть травмированных - молодая, трудоспособная часть населения [1, 2]. Такие переломы сопровождаются как вывихами бедренной кости, серьезными смещениями фрагментов кости, так и разрушением суставных поверхностей тазобедренного сустава и хряща. Это является причиной развития деформаций конечностей, деформирующего артроза и контрактур в тазобедренном суставе [3-5].

Анализ пациентов, поступивших после травмы ускорения на лечение в травмцентр ГАУЗ «РКБ МЗ РТ» в последние 5 лет, выявил следующее. Изолированные вывихи бедренной кости были зафиксированы в 12% случаев. У 57% пациентов вывихи бедра сопровождались переломами заднего или

задне-верхнего отдела вертлужной впадины. Переломы переднего края вертлужной впадины встречались гораздо реже – всего в 0,7% случаев. У 31,3% пациентов были выявлены - переломы обеих колонн в различных комбинациях, а также изолированные переломы передней и задней колонны.

Первичная диагностика при поступлении пациента основывается на особенностях фиксации положения нижней конечности и заключается в щадящем обследовании пострадавшего и проведении обзорной рентгенографии таза. В экстренном порядке осуществляется внутривенный наркоз, спинальная или эпидуральная (в зависимости от состояния пациента) анестезия и производится вправление вывиха с контролем стабильности в вправленном суставе. Затем производится окончательная диагностика повреждения тазобедренного сустава. Она включает рентгенографию в обзорной, косой запирательной и подвздошной проекциях (стандартные укладки), компьютерную (обычно рентгеновскую) томографию поврежденной области.

Такой подход позволяет получить полную картину повреждений вертлужной впадины, а именно - характер перелома, размеры отломков, их расположение (в полости сустава или вне его), наличие очагов импрессии и компрессии, особенности дислокации головки бедренной кости.

Принципиальное значения при выборе метода лечения таких повреждений имеет размер отломков края вертлужной впадины.

Краевые переломы вертлужной впадины шириной до 4-5 мм чаще всего - несмещенные или с незначительным смещением. В этом случае остеосинтез не показан.

Сравнительно часто выявляется ширина вертлужной впадины отломков более 5 мм (наш опыт показывает, что она может 30 и более мм). В этом случае после вправления вывихов в тазобедренном суставе смещение отломка (или отломков), чаще всего, сохраняется. Такое смещение можно рассматривать как «шинирующий» эффект коротких наружных ротаторов бедра и малой ягодичной мышцы для смещаемых отломков в процессе вывиха бедра. Оставшееся смещение отломка (или отломков) заднего края вертлужной впадины является, по нашему мнению, абсолютным показанием к их открытой репозиции и стабилизации. Необходим следить за тем, чтобы репозиция была анатомичной, стабилизация должна производится с достаточной компрессией, но при этом нельзя допускать раскол отломка. При несоблюдении этих условий синовиальная жидкость сустава служит интерпонантом, что, в последующем, может привести к замедленному срастанию перелома и, даже, к формированию ложного сустава.

Любая травма, в том числе и перелом заднего края вертлужной впадины, сопровождается компенсированным или субкокомпенсированным нарушением микроциркуляции артикулярных и параартикулярных тканей. Поэтому хирургический доступ к заднему краю вертлужной впадины и к задней колонне при проведении оперативного пособия в данном случае, должен быть, по возможности, малотравматичным, основываться на принципе разумной достаточности в каждом конкретном случае.

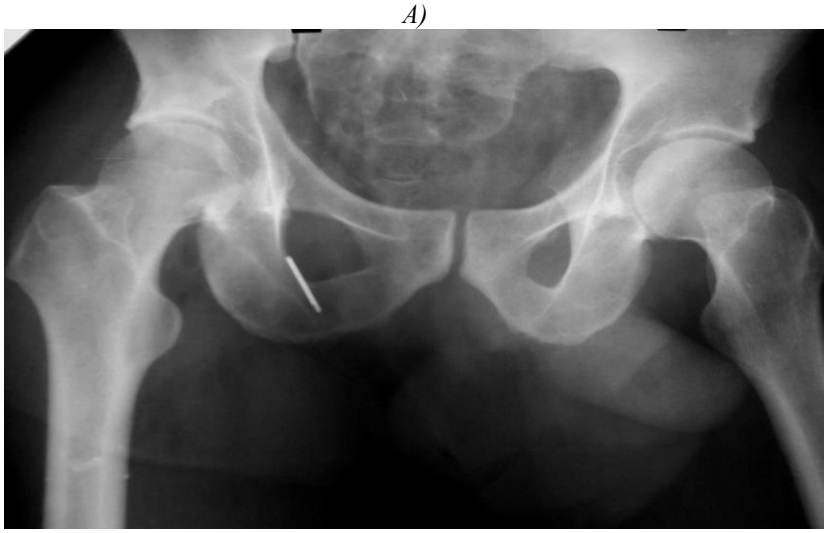
Хорошо известен и достаточно широко используется заднее-наружный доступ к тазобедренному суставу по Кохер-Лангенбеку. Однако его нельзя признать оптимальным, так как он, может сопровождаться остеотомией большого вертела, является довольно травматичным. К тому же такой подход сопровождается кровопотерей до 700 мл.

Нами разработан и используется оригинальный хирургический доступ к заднему краю вертлужной впадины. Этот доступ является анатомичным, он минимально травматичен, обеспечивает достаточный обзор заднего края вертлужной впадины.

В ходе планирования хирургического вмешательства хирург, с учетом результатов рентгенологического (томографического) обследования, должен четко определить расположение отломка (или отломков) относительно однозначно определяемых, «ориентирных», анатомических образований. В данном случае в качестве таких «ориентирных» объектов можно рассматривать большой вертел бедренной кости и дистальный отдел крестцово-подвздошного сочленения. Линия, которая соединяет эти ориентиры, будет соответствовать верхнему краю грушевидной мышцы или надгрушевидному пространству (естественно, с некоторыми допущениями). Отломок вертлужной впадины, лежащий на уровне или выше этой линии, относится к верхнему отделу задней стенки вертлужной впадины. Если отломок проецируется на проведенную линию или ниже ее, значит, он относится к средним и нижним отделам задней стенки.

Если отломок локализуется выше ориентирной линии (рис. 1 а, б), разрез производится в направлении этой линии или несколько выше от проекции основания крестцово-подвздошного сочленения до верхушки большого вертела. Фасция большой ягодичной мышцы вскрывается продольно волокнам. При таком подходе имеется возможность пальпаторно определить наиболее выдающуюся часть отломка. Волокна мышцы тупо разводятся. После этого, в глубине раны можно наблюдать среднюю ягодичную мышцу или нижний ее край. Средняя ягодичная мышца с подлежащей к ней малой ягодичной мышцей отводятся кверху, находящаяся глубже и ниже их грушевидная мышца – книзу. Отломок аккуратно осматривается. При этом надо обратить внимание на то, чтобы не нарушилась его связь с капсульно-связочным аппаратом. Визуально оценивается состояние хряща головки бедренной кости, а также хряща на отломке заднего края. Полость сустава тщательно промывается. Отломок аккуратно устанавливается на свое место по принципу «Зуб в зуб». Затем производится фиксация отломка одним или несколькими винтами, дается необходимая компрессия. Винты устанавливают на максимально возможном (по ситуации) отдалении от субхондрального слоя. Производится проверка стабильности фиксации отломка. Затем рана ушивается.

А)



Б)

Рис.1. Перелом верхнего отдела заднего края вертлужной впадины со смещением отломка. Обзорная рентгенограмма таза. А - заднее-верхний вывих бедра. Б - вправленный вывих бедра.

Для того, чтобы можно было осуществить раннюю активизацию больного в послеоперационном периоде, устанавливается аппарат внешней фиксации по стандартной схеме. Наличие аппарата позволяет стабилизировать тазобедренный сустав, регулировать нагрузку на него. Это создает оптимальные условия как для срастания перелома, так и для расправления или восполнения участков импрессии или компрессии с последующим восстановлением структуры субхондрального слоя (рис. 2, 3).

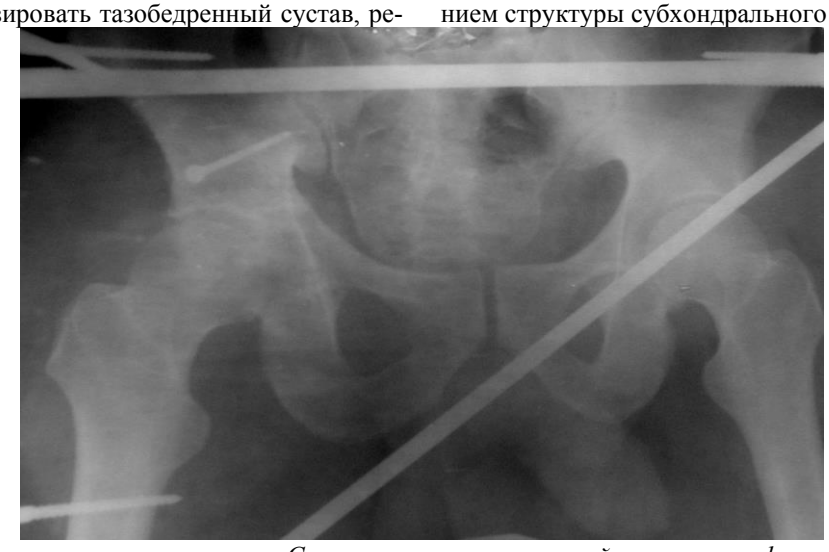


Рис. 2. Обзорная рентгенограмма таза. Состояние после открытой репозиции и фиксации верхнего отдела заднего края вертлужной впадины винтом. Стабилизация и разгрузка тазобедренного сустава в аппарате внешней фиксации.

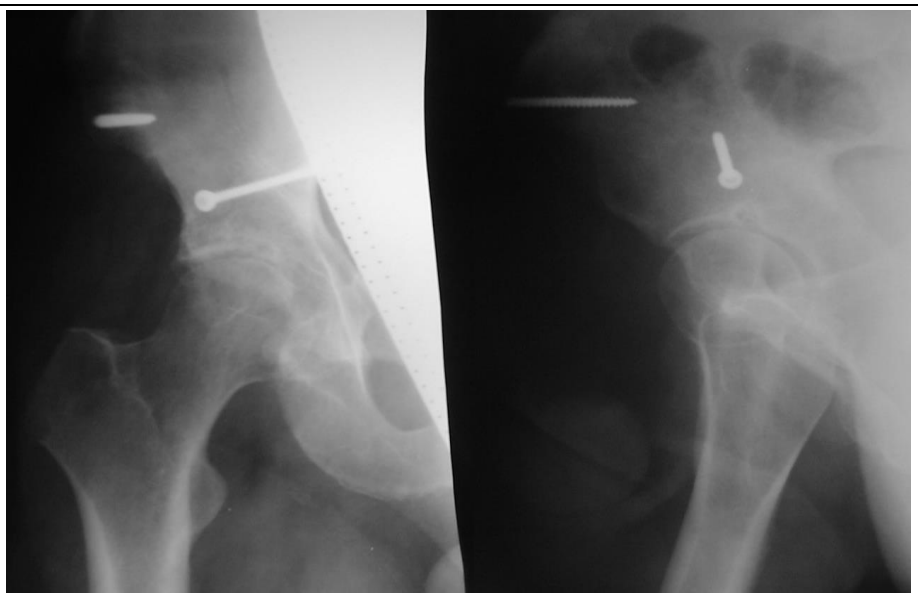


Рис. 3. Рентгенограмма тазобедренного сустава в 2 проекциях (прямая и аксиальная). Срок после оперативного лечения – 6 лет.

При наличии противопоказаний для установки аппарата внешней фиксации, накладывается скелетное вытяжение сроком на 3-4 недели.

Если отломок вертлужной впадины проецируется на уровне или ниже ориентирной линии (рис. 4), разрез производится на 1 см. ниже ее. Волокна большой ягодичной мышцы тупо разводятся. Большая, средняя и малая ягодичные мышцы, а также грушевидная мышца отводятся кверху, в то время как верхняя близнецовая – книзу. Необходимо учитывать, что из малого таза под грушевидной мышцей в проксимальном ее участке выходит седалищный нерв. Производится ревизия состояния хряща головки бедренной кости. Отломок, после тщательного промывания полости сустава, устанавливается на место. Производится его стабильная фиксации, осуществляется необходимая компрессия (рис. 5, 6).

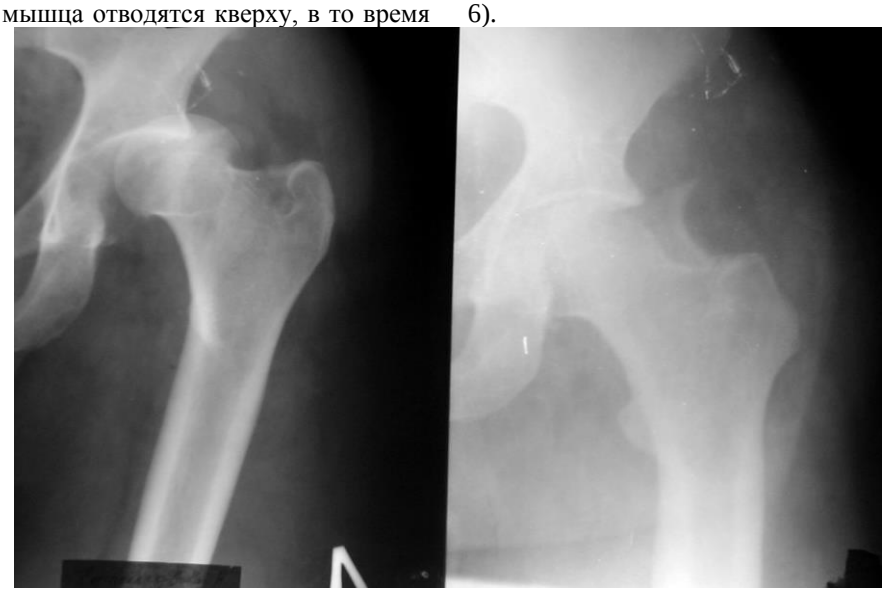


Рис. 4. Рентгенограмма тазобедренного сустава до и после вправления. Перелом среднего отдела заднего края вертлужной впадины со смещением.

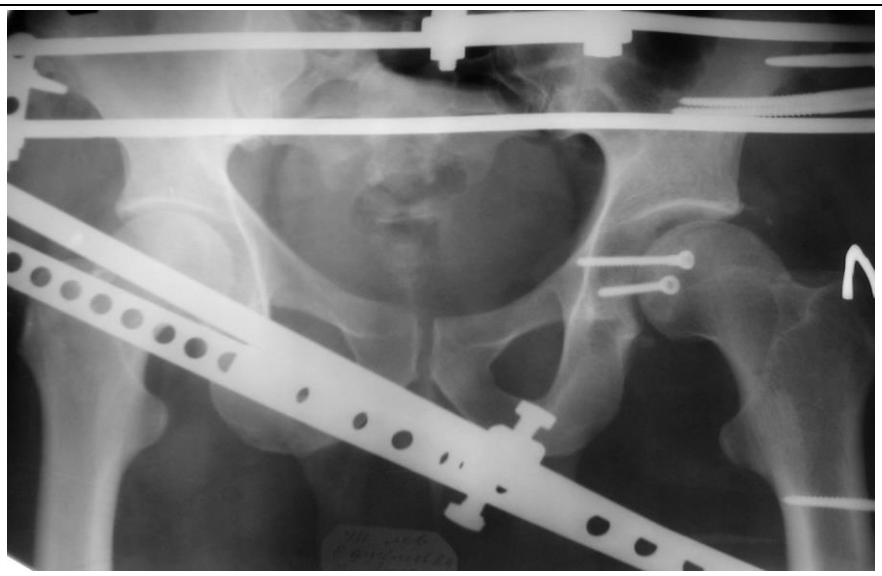


Рис. 5. Обзорная рентгенограмма таза. Состояние после открытой репозиции и фиксации среднего отдела заднего края вертлужной впадины 2 винтом. Стабилизация и разгрузка тазобедренного сустава в аппарате внешней фиксации.

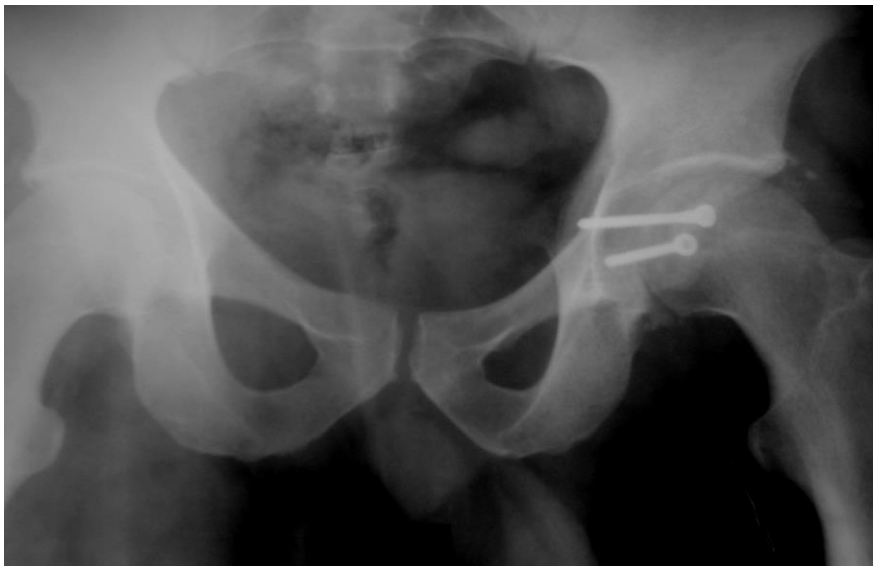


Рис. 6. Рентгенограмма тазобедренного сустава в 2 проекциях (прямая и аксиальная). Срок после оперативного лечения – 3 года.

В ходе операции ассистент хирурга придает конечности наружную ротацию путем удержания ее за голень в этом положении. При таком положении конечности снижается степень натяжения коротких наружных ротаторов бедра. Это делает более широким обзор операционной раны. Кроме того, при ротации бедра снижается вероятность попадания фиксирующего винта в полость сустава. Также, при проведении манипуляций в критической близости к седалищному нерву, ассистент хирурга контролирует двигательную реакцию стопы на раздражение наружной порции седалищного нерва (в дистальных отделах конечности ее представляет малоберцовый нерв).

С использование представленного хирургического доступа к заднему краю вертлужной впадины нами пролечено 68 пациентов. 54 пациента прооперированы на сроках до 2 недель после травмы. На сроках 3-5 недель после операции прооперировано 14 пациентов.

Послеоперационные нейропатии малоберцового нерва были выявлены у 3 пациентов. После проведения реабилитационных мероприятий (электролечение, иглорефлексотерапия, массаж, ЛФК, медикаментозная терапия) неврологический дефицит был устранен на сроках 6-8 месяцев после операции.

На отдаленных сроках наблюдения (2-6 лет) у 5 больных был выявлен коксартроз III степени. Двоим в последующем было произведено эндопротезирование тазобедренного сустава.

Список литературы

1. Ежов Ю.И., Смирнов А.А., Лабазин А.Л. Диагностика и лечение краевых переломов вертлужной впадины // Вестник травматологии и ортопедии. – 2003. - № 3. - С. 72-74.

2. Van der Bosch E.W., Van der Kleyn R., Van Vugt A.B. Functional outcome of internal fixation for

pelvic ring fractures // J. Trauma. -1999. - № 4. - P. 365-371.

3. Лазарев А.Ф., Костенко Ю.С. Большие проблемы малого таза // Вестник травматологии и ортопедии. - 2007. - № 4. - С. 83-86.

4. Мицкевич В.А., Жиляев А.А., Попова Т.П. Распределение нагрузки на нижние конечности при развитии одностороннего и двустороннего коксартроза разной этиологии // Вестник травматологии и ортопедии. – 2001. - № 4. - С. 47-50.

5. Romano L., Frigo C.R., Randelli G., Pedotti C. Analysis of the gait of adults who had residua of congenital dysplasia of the hip // J. Bone Joint Surg. – 1996. - 78A, № 10. - P. 1468-1479.

ПОКАЗАТЕЛИ ИММУНИТЕТА И ЦИТОКИНОВОГО ПРОФИЛЯ У ДЕТЕЙ С РЕСПИРАТОРНЫМИ АЛЛЕРГОЗАМИ

Касохов Т.Б.,
Сохиева Ф.А.,
Мазур А.И.,
Царева А.А.

Институт биомедицинских исследований – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук»,Северо-Осетинская государственная медицинская академия

INDICATORS OF THE IMMUNITY AND CYTOKINE PROFILE IN CHILDREN WITH RESPIRATORY ALLERGIES

Kasokhov T.,
Sokhieva F.,
Mazur A.,
Tsareva A.

Institute of Biomedical Reserches of Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, North-Ossetian State Medical Academy

Аннотация

Неуклонный рост респираторной патологии у детей и высокий риск формирования респираторных аллергозов обусловливают актуальность изучения факторов и механизмов формирования данной патологии в детском возрасте. Важную роль в патогенезе респираторных аллергозов у детей играет дисбаланс уровня показателей цитокинов, участвующих в процессах аллергического воспаления. В частности, нарушение продукции интерферона альфа приводит к рецидивированию респираторных аллергозов. В исследовании проанализированы показатели системного и местного иммунитета, уровни цитокинов и интерлейкинов у 70 детей с респираторными аллергозами и 22 практически здоровых детей. Исследователи изучали клинико-лабораторные и иммунологические показатели, оценивали нарушение местного и системного иммунитета на фоне респираторных аллергозов. Как показали результаты исследования, у детей с такими заболеваниями имеет место нарушение иммунореактивности организма. В целях улучшения показателей цитокинового профиля в схеме комплексного лечения должна быть предусмотрена иммунокоррекция. Кроме того, крайне важно оценивать эффективность проводимой терапии.

Abstract

Currently, the continued growth of respiratory pathology in children entails a high risk of respiratory allergosis formation, which determines the great importance of studying the factors and mechanisms of the formation of this pathology in childhood. An important role in the pathogenesis of respiratory allergies in children has an imbalance in the level of cytokines that are involved in the processes of allergic inflammation. In most cases, the study of alpha-interferon is of great importance, since violations of its production entail recurrent viral infections, which subsequently leads to the recurrence of respiratory allergies in patients. The aim of the study was to obtain these violations in terms of systemic and local immunity in children, as well as studying the level of cytokines and interleukins in children. The object of the study was 70 children with respiratory allergies and 22 healthy children. Patients underwent a study of clinical, laboratory and immunological parameters, as well as a study of local and systemic immunity of children suffering from respiratory allergies. The results obtained indicate a violation of the immunoreactivity of the body of children with respiratory allergies. Violations in the indicators of the cytokine profile lead to the introduction of additional methods for correcting this pathology in children and the inclusion in the complex treatment of immunocorrection methods and evaluating the effectiveness of the treatment for respiratory allergies in children.

Ключевые слова: респираторные аллергозы, иммунитет, цитокины, интерлейкин.

Keywords: respiratory allergosis, immunity, cytokines, interleukin.

Перечень сокращений и обозначений

ИЛ4- интерлейкин-4

ИЛ8- интерлейкин-8

αИНФ – альфа-интерферон

ИЛ1β – интерлейкин-1-бетта

Респираторные аллергозы в детском возрасте довольно обширно распространены и актуальны в педиатрической и пульмонологической практике. В настоящее время продолжающийся рост респираторной патологии у детей, влечет за собой высокий риск формирования респираторных аллергозов, определяет большую значимость изучения факторов и механизмов формирования данной патологии в детском возрасте. В настоящее время распространенность аллергических заболеваний в определённой степени может зависеть от внешних воздействий [1, 2, 3, 11, 12].

Цитокины – секретируемые гликозилированные полипептиды, регулирующие и определяющие природу иммунных ответов у детей. Важную роль в патогенезе респираторных аллергозов у детей имеет дисбаланс уровня показателей цитокинов, которые участвуют в процессах аллергического воспаления. В большинстве случаев исследованию альфа-интерферона придается большое значение, так как нарушения его продукции влекут за собой рецидивирующие вирусные инфекции, что в дальнейшем приводит к рецидивированию респираторных аллергозов у пациентов.

ИЛ1 (эндогенный пироген, лимфоцитактивирующий фактор). Продуцируется главным образом активированными макрофагами, хотя может продуцироваться и другими клетками: эпителиальными, эндотелиальными, глиальными, фибробластами, кератиноцитами. Существуют 2 формы ИЛ-1: ИЛ-1альфа и ИЛ-1бета, которые кодируются разными генами. Повышение уровня ИЛ-1бета в сыворотке и является очень значимым при целом ряде заболеваний, имеющих в своей основе воспаление. При обострении бронхиальной астмы и других аллергических реакциях отмечается повышение продукции ИЛ-1бета мононуклеарами периферической крови. При различных инфекционных заболеваниях острота процесса коррелирует с уровнем продукции ИЛ-1бета.

ИЛ4 (В-клеточный стимулирующий фактор). Продуцируется активированными Т-хелперами 2-го типа. Основная функция состоит в переключении синтеза IgG1 на синтез IgG4 и IgE. Кроме прямого воздействия на выработку IgE, ИЛ-4 усиливает развитие Th2-ответа, путем модулирования дифференцировки Т-клеток. Способствует пролиферации тканевых базофилов. Усиливает пролиферацию В-лимфоцитов. Является антагонистом гамма интерферона. Подавляет продукцию ИЛ1, ИЛ6, ИЛ8 ингибирует цитотоксическую активность Т-лимфоцитов, макрофагов.

ИЛ8 (нейтрофилы активирующий белок-1), относится к семейству хемокинов, продуцируется моноцитами, лимфоцитами, гранулоцитами. Основная функция – активация нейтрофилов усиление хемотаксиса, повышение экспрессии адгезивных молекул, прилипания к эндотелиальным клеткам. Кроме того усиливает экзоцитоз лизосомальных ферментов и повышает экспрессию рецепторов к комплементу.

Исследованию альфа-интерферона придается большое значение, так как нарушения его продукции влекут за собой рецидивирующие вирусные инфекции. Повышение уровня интерферона в сыворотке сопровождается клиническими проявлениями хронической вирусной инфекции. Иногда интерферон-альфа не определяется при исследовании сыворотки, при изучении спонтанной продукции и индуцированной продукции in vitro, что отражает наиболее тяжелую степень нарушений противовирусной защиты организма [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

Субпопуляционный анализ Т-лимфоцитов проводился с использованием моноклональных антител к дифференцировочным антигенам: CD3+ (зрелые Т-лимфоциты), CD4+ (Т-хелперы), CD8+ (Т-супрессоры), CD19+ (В-лимфоциты). Уровень иммуноглобулинов А, М, G, Е – методом ИФА.

Уровень цитокинов определяли методом ИФА по общепринятой методике, на высокоскоростном иммуноферментном автоматическом анализаторе третьего поколения анализаторе Alisei Q.S. (производитель Radim, Италия), тест системами фирмы "Вектор-Бест".

Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью пакета программ Statistica с использованием t-критерия Стьюдента.

- Научно-исследовательская работа выполнялась в лаборатории детской патологии ИБМИ и в пульмонологическом отделении ГБУЗ РДКБ Минздрава РСО – Алания.

Обследовано 70 детей с респираторными аллергозами, поступивших на стационарное лечение в ГБУЗ РДКБ Минздрава РСО – Алания и 22 практически здоровых детей. Пациентам необходимо было установить клинико-диагностическую значимость комплексного изучения клинико-лабораторных и иммунологических показателей, а также проводились исследования местного и системного иммунитета детей, страдающих респираторными аллергозами. При выполнении данной работы использовались общеклинические методы исследования, проводилась работа с медицинской документацией.

Исследование анамнеза выявило, что в 68% случаях родственники детей страдали аллергическими заболеваниями, что свидетельствует о наличии предрасположенности детей к возникновению респираторных аллергозов у детей из семей с аллергопатологией.

Из всех обследованных детей основной диагноз обструктивный бронхит был выставлен в 70% случаев и в 35% случаев - бронхиальная астма.

У обследованных детей из сопутствующей патологии выявлены: аллергический ринит выставлен в 39% случаев, атопический дерматит в 7%.

Обследованные дети имели респираторный аллергоз. У всех детей отмечалось повышение уровня общего Ig E, что свидетельствует о наличии аллергического воспаления у обследованных больных.

Среднее значение уровня Ig E составляет 180 ЕД. ±9,8.

Оценив показатели иммуноглобулинов A, M и G, было выявлено повышение уровня IgA, снижение уровня IgG у больных детей, а также снижение IgM. Сравнительные данные указаны в таблице 1.

Таблица 1.

Показатели иммуноглобулинов у детей

Показатель	**Группа детей с аллергозом n=70**	**Здоровые дети n=22**
IgA, (г/л)	0,42±0,004 p<0,01	1,74±0,43
IgG, (г/л)	6,57±0,42 p<0,001	10,87±0,81
IgM, (г/л)	0,41±0,04 p<0,001	0,8±0,05

p-достоверность различий показателей по отношению к группе здоровых детей
n-количество детей

В ходе работы было исследовано состояние неспецифической резистентности организма. При исследовании системы фагоцитоза, которое включали в себя определение уровней таких показателей как Фагоцитарное число, Фагоцитарного индекса и активности лизоцима. Оценив результаты данного процесса не было выявлено достоверного снижения показателей фагоцитарного индекса и активности фагоцитоза у больных детей. Показатели активности лизоцима были достоверно снижены в группе больных детей по сравнению с группой здоровых детей. Сравнительные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Показатели неспецифических факторов защиты у детей

Показатель	**Группа детей с аллергозом n=70**	**Здоровые дети n=22**
Активность фагоцитоза, (%)	52,17±2,83	48,6±2,1
Фагоцитарный индекс	4,48±0,07	4,67±0,4
Активность лизоцима (%)	22,08±0,38 p<0,001	30,88±1,1

p-достоверность различий показателей по отношению к группе здоровых детей
n-количество детей

Результаты исследования субпопуляций лимфоцитов показали снижение процентного содержания CD3-, CD4-, CD8-лимфоцитов у больных детей. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Показатели субпопуляций лимфоцитов у детей

Субпопуляциия лимфоцитов	**Группа детей с аллергозом n=70**	**Здоровые дети n=22**
CD3 (%)	34,76±0,56 p<0,001	57,8±1,88
CD4 (%)	30,25±0,34 p<0,01	32,1±0,37
CD8 (%)	18,64±0,33 p<0,001	29,27±1,79
CD19 (%)	14,89±0,42 p<0,05	12,07±1,16

p-достоверность различий показателей по отношению к группе здоровых детей
n-количество детей

Выявлено, что у детей повышено содержание CD19-лимфоцитов, что указывает на угнетение бактерицидной функции нейтрофилов.

Анализ содержания провоспалительных цитокинов в сыворотке крови больных детей показал достоверный рост уровней ИЛ-8, ИЛ-1β. Достоверное снижение количества α-ИНФ и достоверный рост содержания ИЛ-4 в сыворотке крови детей с респираторными аллергозами свидетельствуют об угнетении клеточных форм защиты. Все эти данные

свидетельствуют о нарушении иммунореактивности организма детей с респираторными аллергозами и обозначены в таблице 4.

Таблица 4.

Содержание цитокинов в сыворотке крови у детей

Показатель	Группа больных детей n=70	Здоровые дети n=22
ИЛ8	9,89±0,88 p<0,001	4,36±0,78
αИНФ	6,2± 0,45 p<0,01	10,25±1,27
ИЛ1β	8,75±0,76 p<0,001	2,24±0,47
ИЛ4	3,19±0,3 p<0,001	0,73±0,35

p-достоверность различий показателей по отношению к группе здоровых детей
n-количество детей

Выявленные нарушения и дисбаланс в показателях цитокинового профиля и иммунного статуса обуславливают внедрение дополнительных методов коррекции данной патологии у детей и включения в комплексное лечение методов иммунокоррекции и оценки эффективности проводимого лечения при респираторных аллергозах у детей.

Список литературы

1. Геппе Н. А., Мокина Н.А. Современная ингаляционная терапия. Пр. рук. вр. 2016: 122.

2. Германова О.Н. Бронхообструктивный синдром у детей с инфекциями респираторного тракта. Медицинский вестник Северного Кавказа.2010;(4):42-48.

3. Иммунный статус детей с повышенным уровнем сенсибилизации к металлам-аллергенам. Попович Ю.Г. Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2014. Т. 14. № 12. С. 117-121.

4. Иммуногистохимические показатели местного иммунитета у часто болеющих детей. Саидов М.З., Амирова П.Ю., Элькун Г.Б., Джамалутдинов Ю.А. Иммунология. 2006. Т. 27. № 2. С. 108-112.

5. Корреляционные связи показателей иммунного и цитокинового статуса у детей и подростков, больных туберкулезом легких. Вивчар И.С., Залецкий Н.П. Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 601.

6. Лев Н.С. Бронхиальная астма у детей. Стратегия лечения и профилактика. Национальная программа. 3-е изд. 2017:32.

7. Медико-социальная проблема респираторных аллергозов в крупном городе. Руселевич М.В. Социальные аспекты здоровья населения. 2018. Т. 60. № 2. С. 5.

8. Медико-социальныефакторы формирования респираторных аллергозов пыльцевой этиологии у детей. Руселевич М.В., Маликова Л.М., Комаров С.Г., Харина Д.В. Социальные аспекты здоровья населения. 2018. Т. 59. № 1. С. 9.

9. Овсянников Д.Ю. Бронхообструктивный синдром у детей. Астма и аллергия. 2014;(1):7-13.

10. Состояние иммунного статуса у детей с хроническим бронхитом. Шамсиев А.М., Юсупов Ш.А., Юлдашев Б.А., Мухамадиева Л.А. Педиатрический вестник Южного Урала. 2017. № 1. С. 84-89.

11. Amat F., Just J.et al. What lessons can be learned about asthma phenotypes in children from cohort studies. 2015;4(26):300-305. htt:// https: //doi.org/10.1111/mnnc.2015.12359.

12. Cano-Garcinino A. et al. Wheezing phenotypes in young children: an historical cohort study. SLAM Study Group. 2014;1(23):60-66. https: //doi.org/10.4104/pcrj.2014.00008.

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ МЕТАЛЛОВ В СТОМАТОЛОГИИ

Эртесян А.Р.
кандидат медицинских наук,
ассистент кафедры ортопедической стоматологии,
Самарский государственный медицинский университет, Россия, г. Самара
Садыков М.И.
доктор медицинских наук,
профессор кафедры ортопедической стоматологии,
Самарский государственный медицинский университет, Россия, г. Самара
Нестеров А.М.
доктор медицинских наук,
профессор кафедры ортопедической стоматологии,
Самарский государственный медицинский университет, Россия, г. Самара
Григорьева Е.А.
врач стоматолог-терапевт,
ГБУЗ СО «Самарская стоматологическая поликлиника №2», Самара

ADDITIVE 3D-PRINTING TECHNOLOGIES OF METALS IN DENTAL

Ertesyan A.
Ph.D., Instructor of the Department of prosthetic dentistry
Samara State Medical University, Russia, Samara
Sadykov M.
Ph.D., Professor of the Department of prosthetic dentistry
Samara State Medical University, Russia, Samara
Nesterov A.
Ph.D., Professor of the Department of prosthetic dentistry
Samara State Medical University, Russia, Samara
Grigorieva E.
Dentist-therapist, Samara Dental Clinic № 2, Russia, Samara

Аннотация

По сравнению с традиционными методами литья, используемыми для обработки различных сплавов для стоматологии, аддитивные технологии производства сокращают время и затраты на производство, сводят к минимуму человеческие ошибки и предотвращают возможные дефекты в отливках. В этом обзоре освещаются рабочие механизмы, возможные преимущества и недостатки последних технологий аддитивного производства, используемых для обработки металлов в стоматологии.

В изученной литературе указано, что сплавление на основе порошков, в основном основанное на селективном лазерном спекании, селективном лазерном плавлении и плавлении электронным лучом, являются наиболее часто используемыми технологиями для 3D-печати металла в стоматологии для стоматологических приборов из CoCr и Ti_6Al_4V. Хотя механические свойства сплавов, напечатанных на 3D-принтере, можно считать удовлетворительными, данные о точности и воспроизводимости не дают согласованных результатов.

Существуют возможности для улучшений между металлами, напечатанными на 3D-принтере, и керамическими интерфейсами, а также точностью, прежде чем такие технологии станут предпочтительнее традиционных методов литья.

Abstract

Compared to conventional casting methods used for processing different alloys for dental applications, additive manufacturing technologies reduce manufacturing time and costs, minimize human errors and prevent possible defects in the cast objects. This review highlights working mechanisms, possible advantages and drawbacks of recent additive manufacturing technologies used for metal processing in dentistry.

The literature reviewed indicated that powder-based fusion mainly based on selective laser sintering, selective laser melting and electro beam melting are the most commonly used technologies for 3D metal printing in dentistry for dental appliances made of CoCr and Ti_6Al_4V. Although mechanical properties of 3D printed alloys could be considered satisfactory, accuracy and reproducibility data do not present consistent results.

There appears room for improvement between 3D printed metals and ceramic interfaces and precision before such technologies could be favoured over conventional cast methods.

Ключевые слова: 3D-печать, аддитивное производство, электронно-лучевая плавка, металл, протезирование, селективное лазерное спекание, селективное лазерное плавление.

Keywords: 3D printing, additive manufacturing, electron beam melting, metal, prosthodontics, selective laser sintering, selective laser melting.

Технологии, основанные на автоматизированном проектировании и автоматизированном производстве (CAD-CAM), обычно включают три основных элемента, встроенных в цифровой рабочий процесс: сбор или оцифровка данных, обработка данных (CAD - система автоматизированного проектирования) и производство (CAM - автоматизированная система) [1]. Наиболее часто используемый процесс CAM сегодня - это обработка с числовым программным управлением (ЧПУ), основанная на маршрутах, где инструменты механического оборудования, такие как пилы, токарные станки, фрезерные станки и сверла для точной резки, или инструменты, которые механически режут материал, все шаги контролируются компьютерной программой [2-4]. Однако такие технологии имеют ряд производственных ограничений, а именно: значительное количество сырья тратится впустую в виде неиспользованных частей отформованных блоков, фрезерные инструменты необходимо заменять после короткого количества рабочих циклов из-за сильного истирания и износа при фрезеровании, а также размер фрезерных фрез и ось станка с ЧПУ могут ограничивать доступ к небольшим участкам фрезерованного блока [5 - 8].

В качестве альтернативы субтрактивным методам аддитивные процессы предусматривают технологические процессы, при которых из порошка или жидкого основного материала встраивается твердое тело [9, 10]. Американское общество испытаний и материалов (ASTM) определило аддитивное производство как «процесс соединения материалов

для создания объектов из данных трехмерной модели, обычно слой за слоем, в отличие от субтрактивных производственных методов» [11]. Файлы данных CAD, экспортируемые в стандартный отраслевой формат файлов обмена, представляют собой стандартный язык триангуляции (STL – stereolithography, формат файла), представляющий собой граничное представление, состоящее из списка треугольных граней [12]. В 2008 году международный комитет ASTM F42 по AM-технологиям (Additive manufacturing – аддитивные технологии) классифицировал семь категорий: стереолитография (SLA), струйная обработка материалов (MJ), экструзия материалов (ME), струйная обработка (BJ), сплавление на основе порошка (PBF), ламинирование листов (SL) и прямое энерговложение (DEP) [11].

Порошковая наплавка PBF (Powder bed fusion - расплавление металла в заранее сформированном слое) - это наиболее часто используемая технология для трехмерной (3D) печати металлом в стоматологии. В настоящее время доступны три типа технологий PBF: селективное лазерное спекание (SLS), селективное лазерное плавление (SLM) и электронно-лучевое плавление (EBM) [9, 11].

Технология *селективного лазерного спекания* (SLS - Selective laser sintering) была разработана Карлом Декардом и Джо Биманом в 1989 г. [13, 14] и основана на применении луча мощного лазера (Na:YAG - лазера), сфокусированного на слой металлического порошка, где тонкие твердые слои (20-100 мкм) плавятся до тех пор, пока не будет построен 3D объект [15] – рис. 1. Вся производственная камера герметизирована и поддерживается при температуре чуть ниже точки плавления металлического порошка [16]. Детали объекта, изготовленные методом частичного плавления, характеризуются высокой пористостью, при этом сначала достигается только точечный контакт между частицами. Во время лазерного нагрева различные механизмы спекания и перегруппировки вызывают связывание и уплотнение порошка. При использовании механизма частичного плавления и спекания пористость не может быть полностью устранена, так как обычно возможные силы отталкивания возникают между частицами при высокой доле связующего жидкого компонента [17].

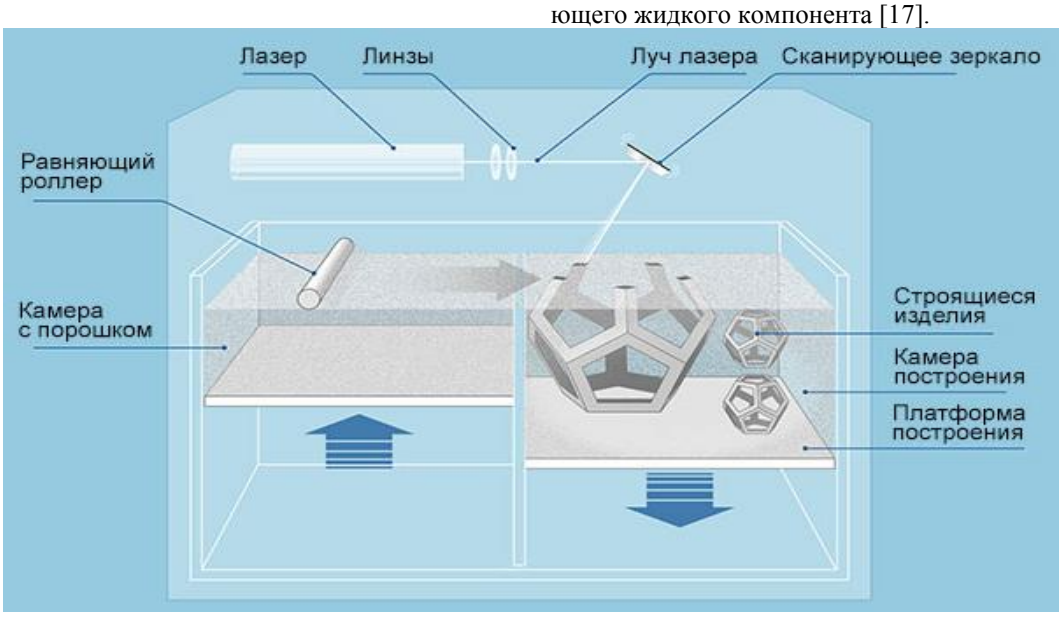


Рис. 1. Технология селективного лазерного спекания

Селективное лазерное плавление (SLM - Selective laser melting). С появлением мощных высококачественных лазеров частичное плавление, достигаемое технологией SLS, было заменено полным плавлением, что привело к новой разработке лазерного спекания металлов MLS или SLM [2, 18, 19, 20] – рис. 2. Хотя поверхностная отделка считается очень хорошей, компоненты могут испытывать высокие внутренние напряжения, вызванные температурными градиентами, возникающими во время обработки, и поэтому требуют дополнительной обработки. Наиболее распространенным волоконным лазером, используемым в технологии SLM, является CO_2-лазер (1-2 кВт) для обработки металлических порошков, а строительная плита может быть предварительно нагрета до 200 °C [2].

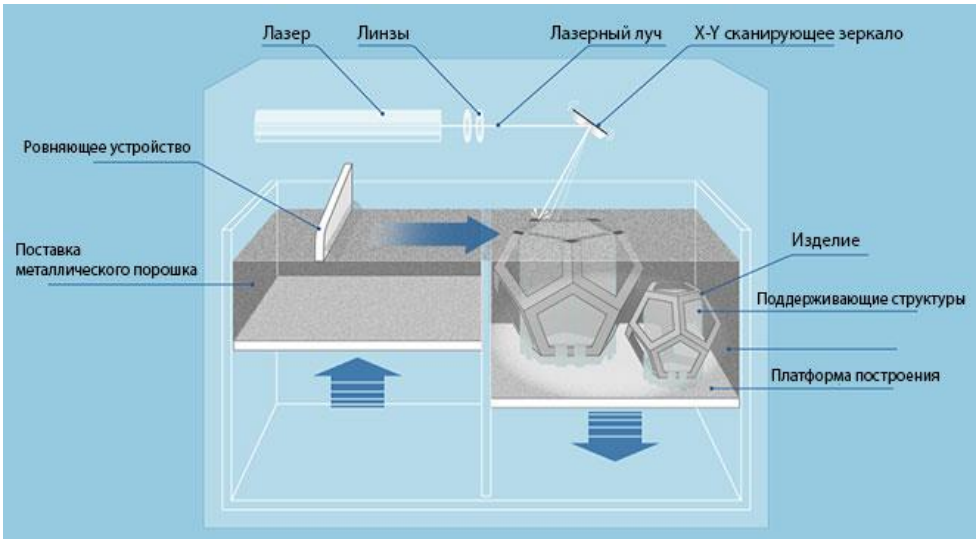


Рис. 2. Технология селективного лазерного плавления

Электронно-лучевое плавление (EBM - Electron beam melting). Вместо использования лазерного луча (60 кВт) для плавления или спекания порошка с технологиями EBM используется сфокусированный электронный луч для выборочного плавления слоев порошка (100 мкм) в инертной среде, такой как очищенный аргон. Кроме того, при сборке детали в камере поддерживается повышенная температура около 700 °C для снижения остаточных напряжений. Сначала вольфрамовая нить нагревается до температуры выше 3000 °C, что вызывает испускание электронов, а затем разность потенциалов между катодом и анодом вызывает ускорение электронов. Электроны фокусируются и обнаруживаются с помощью магнитных катушек, чтобы сформировать узкий высокоэнергетический луч, который атакует поверхность порошка. В конце концов, кинетическая энергия, передаваемая через трение, создает тепло, необходимое для плавления металлического порошка [19, 21].

Основными отличиями между технологиями PBF являются рабочие параметры, такие как температура плавления, источник энергии, мощность энергии, коэффициенты поглощения / отражения лазерного луча, теплопроводность, условия камеры, достигнутая температура, а также другие параметры, такие как толщина слоя, ориентация сборки и зернистость. размер [22, 23, 24]. Все эти параметры необходимо регулировать в зависимости от типа металла.

Металлы, используемые в аддитивном производстве в стоматологии. Для 3D-печати металлом в стоматологии в настоящее время чаще всего используются кобальтхром (CoCr) и титан (Ti). Металлический порошок CoCr также содержит молибден, вольфрам, кремний, церий, железо, марганец и углерод, в то время как никель и бериллий больше не присутствуют в составе. Металлические порошки, используемые в сочетании с AM-технологиями, представляют собой смесь частиц размером от 3 до 14 мкм [24, 25]. В зависимости от производителей, состав CoCr сплавов могут отличаться между собой (таблица 1). Аналогичным образом, типичные титановые сплавы, используемые в стоматологии и медицине, такие как Ti_6Al_4V, показывают небольшие различия в составе (таблица 2) [26–29].

Таблица 1.

Марки и химический состав CoCr сплавов, предназначенных для аддитивного производства

Марка	Химический состав (масс. %)
EOS CoCr MP1	Co - 60–65; Cr - 26–30; Mo - 5–7; Si ≤ 1; Fe ≤ 0.75; Mn ≤ 1; C ≤ 0.16; Ni ≤ 0.1
EOS CoCr SP2	Co - 63.8; Cr - 24.7; Mo - 5.1; W - 5.4; Si - 1; Fe < 0.75; Mn < 0.1
Renishaw CoCr DG1	Co - 63.9; Cr - 24.7; Mo - 5; Ni < 0.5; N < 0.25; Fe < 0.5; Mn < 1; Al < 0.10; O < 0.10; C < 0.05
SLM технология $CoCr_{28}Mo_6$ согласно ASTM F75	Co – баланс; Cr - 27–30; Mo - 5–7; W - 0.20; Si - 1; Al - 0.10; Fe - 0.75; Mn - 1; C - 0.35; N - 0.25; B, S - 0.01
SLM технология Medi Dent	Co – баланс; Cr -22.7–26.7; Mo - 4–6; W - 4.4–6.4; Si - 2; Fe - 0.5; Mn - 0.10; C - 0.02; Ni - 0.10; B, S - 0.10
3D-система Layer Wise CoCr ASTM F75	Co – баланс; Cr - 27–30; Mo - 5–7; W ≤ 0.2; Si ≤ 1; Fe ≤ 0.75; Mn ≤ 1; C ≤ 0.35; Ni ≤0.5; B, S ≤ 0.01; P ≤ 0.02; Al, Ti ≤ 0.1; N ≤ 0.25
3D-система Layer Wise CoCr 3DS Dentwise	Co – 59; Cr – 25; W - 9.5; Mo - 3.5; Si – 1; C, Fe, Mn, N - < 1.5
Концептуальный лазер Remanium Star CL	Co - 60.5; Cr – 28; W – 9; Si - 1.5; Fe, Mn N, Nb, Be, Ga < 1
BEGO	Co - 63.9; Cr - 24.7; W - 5.4; Mo - 5.0; Si ≤ 1

Таблица 2.

Марки и химический состав Ti сплавов, предназначенных для аддитивного производства

Марка	Химический состав (масс. %)
EOS DMLS Ti64 ELI	Ti – баланс; Al - 5.5–6.5; V - 3.5–4.5; O < 0.110; N < 0.04; C < 0.08; H < 0.012; Fe < 0.250; Y < 0.005
Renishaw Ti_6Al_4V ELI-0406	Ti – баланс; Al - 5.5–6.75; V - 3.5–4.5; O < 0.2; N < 0.05; C < 0.08; H < 0.015; Fe < 0.3
SLM технология Ti_6Al_4V ELI	Ti – баланс; Al - 5.5–6.5; V - 3.5–4.5; Fe - 0.25; C - 0.08; N - 0.03; O - 0.13; H - 0.0125
Концепт-лазер Rematitan	Ti - 90; Al – 6; V – 4; N, C, H, Fe, O < 1
3D-система Laser Form Ti Grade 23	Ti – баланс; Al - 5.5–6.5; V - 3.5–4.5; O ≤ 0.13; N ≤ 0.03; C ≤ 0.08; H ≤ 0.012; Fe ≤ 0.25; Y ≤ 0.005
Arcam EBM Ti_6Al_4V ELI	Ti – баланс; Al - 5.5–6.5; V - 3.4 – 4.5; O < 0.13; N < 0.05; C < 0.08; H < 0.012; Fe < 0.25

Механические свойства металлов, напечатанных на 3D-принтере. Рекомендуемые механические свойства сплавов CoCr для несъемных и съемных стоматологических реставраций, и приспособлений отражены в стандарте ISO 22674 (ГОСТ Р ИСО 22674-2013 Стоматология. Металлические материалы для несъемных и съемных протезов и конструкций) [30]. Несколько исследований сравнивали механические свойства литых, фрезерованных и АМ-сплавов, используемых в стоматологических целях [24, 31, 32]. В 2014 году Аль Джаббари и др. [31] оценили твердость и микроструктурные характеристики стоматологических сплавов CoCr, изготовленных с использованием методов литья, фрезерования или SLM, где были отмечены значительные различия в значениях твердости, которые были самыми высокими для SLM (371 ± 10 Мпа), за которым следовали отливка (320 ± 12 Мпа) и фрезерованные (297 ± 5 Мпа). Процесс изготовления также показал значительное влияние на микроструктуру сплава, где рентгенография выявила наличие пористости только в группе где, использовали метод литья. Следует отметить, что, хотя были предприняты усилия для использования одного типа сплава CoCr для всех процедур, для производства SLM пришлось использовать другой тип сплава CoCr, который имеет несколько более высокое соотношение Co и Cr, чем у литых и фрезерованных сплавов. Направление строительства и направления растяжения (0 °, 45 ° и 90 °) также значительно повлияли на механические свойства образцов CoCr изготовленных методом SLM [33], где нарастание нулевого угла (направление сборки и растяжения параллельны) продемонстрировало самые высокие значения прочности на растяжение и удлинение после разрушения.

Объекты, изготовленные из CoCr с помощью технологий SLS или SLM, представляют термические напряжения в теле объекта из-за быстрого нагрева и охлаждения в процессе изготовления [33]. Такое внутреннее остаточное напряжение может вызвать высокую деформацию и, таким образом, снизить точность [34, 35]. Одним из решений, позволяющих обойти эту проблему, является использование термической обработки после печати металла, которая могла бы одновременно изменить микроструктуру [32, 36]. Тем не менее, уменьшение пористости сплавов CoCr, изготовленных с использованием АМ-технологий, положительно сказывается на механических свойствах печатаемого объекта [32], благодаря чему могут быть получены более высокие текучесть и предел прочности литых сплавов [37]. Коррозионная стойкость CoCr образцов изготовленных методом SLM, остается такой же, как и при традиционной обработке отлитых образцов [38–40].

Ti_6Al_4V представляет собой двухфазный материал, состоящий из гексагональной плотноупакованной (ГПУ) α-фазы и объемно-кубической (ОЦК) β-фазы [41]. Температура перехода между двумя фазами для Ti_6Al_4V составляет 995 ° C [42, 43]. Механические свойства двухфазного сплава Ti_6Al_4V зависят от микроструктуры и распределения двух фаз в материале [42, 44, 45]. Технология SLM чаще используется для изготовления несъемных зубных протезов из Ti_6Al_4V, чем методом EBM. SLM вызывает более быстрое охлаждение, что приводит к превращению в фазу α'-мартенсита в различных пропорциях, что значительно влияет на потенциал коррозии и наносит ущерб стоматологическим применениям [41]. В производстве EBM используется порошок с низким содержанием кислорода, механические свойства могут быть улучшены [29]. Механические свойства сплава Ti_6Al_4V, изготовленного с использованием EBM, по сравнению с литьем, обеспечивают прочность (1,18 Гпа) и относительное удлинение (от 16 до 25%) с твердостью при микровдавливании от 3,6 до 3,9 Гпа, что сравнимо с лучшими деформируемыми сплавами Ti_6Al_4V (4 Гпа) [41]. По сравнению с обычным методом литья, АМ-технологии производства предлагают преимущества высокой плотности продукта, сокращения времени и затрат на производство, минимизации человеческих ошибок и предотвращения дефектов литья.

Съемные протезы. В 2004 г. Williams et al. [46] описали цифровую съемку окончательной модели, CAD-дизайн и изготовление модели из пластмассы SLA для отливки металлических каркасов съемных частичных протезов. Впоследствии, в 2006 г., Williams et al. [47, 48] разработали технику SLM для производства каркасов частичных съемных протезов из CoCr сплава. После этого Kattadiyil et al. [49] завершили цифровой рабочий процесс, включающий внутриротовой цифровой слепок (Cadent Itero,

Сан-Хосе, Калифорния, США) частично беззубой верхней челюсти (класс III по Кеннеди) для изготовления частичного съемного протеза. Цифровой слепок, при котором требовалось 28 сканирований зубов верхней челюсти и окклюзии, 25 сканирований для улучшения фиксации опорных частей и 28 сканирований зубов нижней челюсти, что в общей сложности составило 17 минут. Это оставалось серьезным недостатком до 2014 года, когда Канадзава и др. сообщили о протоколе каркаса Ti_6Al_4V для полного съемного протеза верхней челюсти с использованием технологии SLM с толщиной слоя 30 мкм [50]. Оцифровка окончательной гипсовой модели была выполнена с помощью трехмерной компьютерной томографии с конусным лучом, а цифровой дизайн был завершен с помощью не дентального программного обеспечения (Freeform, Geomatic), что сделало весь процесс более практичным [51]. В 2016 году Ли и др. [52] измерили внутреннюю фиксацию 10 каркасов частичных съемных протезов, изготовленных для 10 пациентов с использованием технологии SLM. Несмотря на то, что между участниками не было обнаружено значительных различий в отношении внутреннего несоответствия различных компонентов структуры, результаты не сравнивались с результатами, изготовленными традиционным способом. Аналогичным образом, доступно описание методики каркаса надстройки методом SLM из CoCr сплава съемного протеза для верхней челюсти с опорой на имплантат, но систематические измерения отсутствуют [53–60]. АМ-технологии производства можно также использовать для изготовления несъемных протезов на имплантатах, но из-за шероховатости и текстуры металлов эту технологию все еще необходимо сочетать с субтрактивными технологиями.

Несъемные зубные протезы. АМ-технологии производства также были внедрены для изготовления каркасов искусственных коронок и мостовидных протезов из CoCr сплава, но основное внимание в исследованиях уделяется точности и адгезии керамики, которые имеют решающее значение для долговечности таких реконструкций.

Маргинальный и внутренний зазор несъемного мостовидного протеза из 3 единиц CoCr сплава, изготовленных с использованием обычных методов изготовления по выплавляемым моделям, фрезерованию или DMLS, показал наилучшее соответствие группе DMLS (84 ± 6 мкм), за которой следует воск по выплавляемым моделям (133 ± 9 мкм) и группа с фрезерованием (166 ± 2 мкм) [61]. Однако измерялись только вертикальные зазоры, а в горизонтальных плоскостях измерения не проводились. В другом исследовании, где внутренние зазоры предварительно фрезерованных, литых и изготовленных SLS методом металлических каркасов из CoCr сплава, показали наименьшее образование зазора по сравнению с фрезерованным (32 ± 5 мкм), за которым следовали SLS (47,3 ± 9 мкм) и литье (64,1 ± 14 мкм) [62]. В исследовании абсолютное маргинальное несоответствие не измерялось, что на самом деле является скорее клинической проблемой. В дальнейшем исследовании были измерены внутренние промежутки 60 металлических коронок моляров из CoCr, изготовленных методом литья, фрезеровки или DMLS у 42 пациентов [63]. Между тремя системами не было обнаружено статистически значимых различий, внутренний зазор в окклюзионной и аксиоокклюзионной областях был выше для коронок DMLS (290,1 ± 112 и 188,1 ± 69 мкм, соответственно), чем для фрезерованных (265,7 ± 90 и 141,1 ± 53 мкм соответственно) и литые (201,1 ± 67 и 140,6 ± 48 мкм) группы. Хуанг и др. [60] оценили 330 одиночных металлокерамических коронок из CoCr у 274 пациентов. Каждая коронка была случайным образом отнесена к одной из трех групп: CoCr – SLM, CoCr – литые и CoCr – фрезерованные. Коронки SLM из CoCr продемонстрировали такую же краевое прилегание (75,6 ± 32,6 мкм), что и фрезерованные коронки (76,8 ± 32,1 мкм), и литые коронки из CoCr (91 ± 36,3 мкм).

Адгезия керамики и металла. Когда рассматриваются результаты испытаний на трехточечный изгиб, адгезия керамики к металлическим сплавам CoCr, напечатанным на 3D-принтере, превышала минимальное предварительное условие 25 Мпа [60, 63–67], требуемое спецификацией ГОСТ Р ИСО 9693-2:2018 (Стоматология. Испытания совместимости. Часть 1. Металлокерамические системы для зубного протезирования) [69]. Результаты адгезии кажутся благоприятными, при использовании технологии SLS, типы разрушения были в основном адгезионными, тогда как обычные литые сплавы CoCr и NiCr часто демонстрировали смешанный режим когезионных разрывов [64–66]. Это связано с морфологией оксидного слоя на поверхности [70], который менее благоприятен для SLM печати, но доля площади адгезионного фарфора может быть оптимизирована с помощью пяти-семи раз многократных обжигов [71], что менее эффективно [72].

Заключение. Технологии аддитивного производства сокращают время и затраты на производство, сводят к минимуму человеческие ошибки и предотвращают возможные дефекты литых объектов по сравнению с обычными методами литья, применяемыми для стоматологических сплавов. В настоящее время такие технологии чаще используются для обработки CoCr и Ti в стоматологии. Среди различных технологий в стоматологической литературе больше внимания уделяется селективному лазерному плавлению и селективному лазерному спеканию. Однако данные о точности и воспроизводимости не представляют общих результатов, и есть возможности для улучшения 3D-печатных металлов и керамических поверхностей раздела и морфологии оксидного слоя, чтобы отдать предпочтение таким технологиям перед традиционными методами литья.

Список литературы

1. Singh V. Rapid prototyping, materials for RP and applications of RP. Int J Eng Res Sci. 2013; 4:473–80.

2. Horn TJ, Harrysson OLA. Overview of current additive manufacturing technologies and selected applications. Sci Prog. 2012; 95:255 –82.

3. Van Noort R. The future of dental devices is digital. Dent Mater. 2012; 28:3 –12.

4. Tapie L., Lebon N., Mawussi B., et al. Understanding dental CAD/ CAM for restorations. Accuracy from a mechanical engineering viewpoint. Int J Comput Dent. 2015; 18:343 –67.

5. Strub JR, Rekow ED, Witkowski S. Computer-aided design and fabrication of dental restorations: current systems and future possibilities. J Am Dent Assoc. 2006; 137:1289–96.

6. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. Br Table 4 Dent J. 2008; 204:505 –11.

7. Lebon N, Tapie L, Duret F, et al. Understanding dental CAD/CAM for restorations—dental milling machines from a mechanical engineering viewpoint. Part A: chairside milling machines. Int J Comput Dent. 2016; 19:45–62.

8. Lebon N, Tapie L, Duret F, et al. Understanding dental CAD/CAM for restorations—dental milling machines from a mechanical engineering viewpoint. Part B: labside milling machines. Int J Comput Dent. 2016; 19:115–34.

9. Witkowski S. CAD-/CAM in dental technology. Quintessence Dent Technol. 2005; 28:169–84.

10. Torabi K, Farjood E, Hamedani S. Rapid prototyping technologies and their applications in prosthodontics, a review of literature. J Dent Shiraz Univ Med Sci. 2015; 16:1–9.

11. ASTM. Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies, West Conshohocken, Pa. 2009 Standard terminology for additive manufacturing—general principles and terminology. ISO/ ASTM52900–15.

12. 3D Systems, Inc. 1988 Stereo Lithography Interface Specification. Valencia, CA. First patent on additive manufacturing technologies.

13. Deckard C, Beaman J. Process and control issues in selective laser sintering. ASME Prod Eng Div. 1988; 33:191–7.

14. Deckard CR. 1986. Patent US 4863538-A. Method and apparatus for producing parts by selective sintering.

15. Mazzolini A. Selective laser sintering in biomedical engineering. Med Biol Eng Comput. 2013; 51:245–56.

16. Fisher P, Karapatis N, Romano V, et al. A model for the interaction of near infrared pulsed laser with metal powders in selective laser sintering. Appl Phys A Mater Sci Process. 2002; 74:467–74.

17. Anestiev LA, Froyen L. Model of primary rearrangement processes at liquid phase sintering and selective laser sintering due to biparticle interactions. J Appl Phys. 1997; 86:4008–17.

18. Osakada K, Shiomi M. Flexible manufacturing of metallic products by selective laser melting of powder. Int J Mach Tools Manuf. 2006; 46:1188–93.

19. Vandenbroucke B, Kruth JP. Selective laser melting of biocompatible metals for rapid manufacturing of medical parts. Rapid Prototyp J. 2007; 13:196–203.

20. Traini T, Mangano C, Sammons RL, et al. Direct laser metal sintering as a new approach to fabrication of an isoelastic functionally graded material for manufacture of porous titanium dental implants. Dent Mater. 2008; 24:1525–33.

21. Murr LE, Gaytan SM, Ramirez DA, et al. Metal fabrication by additive manufacturing using laser and electron beam melting technologies. J Mater Sci Technol. 2012; 28:1–14.

22. Alcisto J, Enriquez A, Garcia H, et al. Tensile properties and microstructures of laser-formed Ti-6Al-4V. J Mater Eng Perform. 2011; 20:203–12.

23. Abd-Elghany K, Bourrell DL. Property evaluation of 304 stainless steel fabricated by selective laser melting. Rapid Prototyp J. 2012; 18:420–8.

24. Koutsoukis T, Zinelis S, Eliades G, et al. Selective laser melting technique of Co-Cr dental alloys: a review of structure and properties and comparative analysis with other available techniques. J Prosthodont. 2015; 24:303–12.

25. Vijay Venkatesh K, Vidyashree NV. Direct metal laser sintering: a digitised metal casting technology. J Indian Prosthodont Soc. 2013; 13:389–92.

26. AMS 4999 Specification. Titanium alloy laser deposited products 6Al-4V annealed. Warrendale: SAE; 2002.

27. Hollander DA, Von Walter M, Wirtz T, et al. Structural, mechanical and in vitro characterization of individually structured Ti-6Al-4V produced by direct laser forming. Biomaterials. 2006; 27:955–63.

28. Niinomi M. Mechanical biocompatibilities of titanium alloys for biomedical applications. J Mech Behav Biomed Mater. 2008; 1:30–42.

29. Koike M, Greer P, Owen K, et al. Evaluation of titanium alloys fabricated using rapid prototyping technologies—electron beam melting and laser beam melting. Materials. 2011; 4:1776–92.

30. International standard ISO 22674. Dentistry—metallic materials for fixed and removable restorations and appliances. 2nd ed. 2016. pp. 12–36.

31. Al Jabbari YS, Koutsoukis T, Barmpagadaki X, et al. Metallurgical and interfacial characterization of PFM Co-Cr dental alloys fabricated via casting, milling or selective laser melting. Dent Mater. 2014;30: e79–88.

32. Qian B, Saeidi K, Kvetková L, et al. Defects-tolerant Co-Cr-Mo dental alloys prepared by selective laser melting. Dent Mater. 2015; 31:1435–44.

33. Takaichi A, Suyalatu, Nakamoto T, et al. Microstructures and mechanical properties of Co–29Cr–6Mo alloy fabricated by selective laser melting process for dental applications. J Mech Behav Biomed Mater. 2013; 21:67–76.

34. Kruth JP, Froyen L, Vaerenbergh JV, et al. Selective laser melting of iron-based powder. J Mater Process Technol. 2004; 149:616–22.

35. Shiomi M, Osakada K, Nakamura K, et al. Residual stress within metallic model made by selective

laser melting process. CIRP Ann Manuf Technol. 2004; 53:195–8.

36. Mantrala KM, Das M, Balla VK, et al. Additive manufacturing of CoCrMo alloy: influence of heat treatment on microstructure, tribiological, and electrochemical properties. Front Mech Eng. 2015; 1:2.

37. Jevremovic D, Puskar T, Kosec B, et al. The analysis of the mechanical properties of F75 Co–Cr alloy for use in selective laser melting (SLM) manufacturing of removable partial dentures (RPD). Metalurgija. 2012; 51:171–4.

38. Serra-Prat J, Cano-Batalla J, Cabratosa-Termes J, et al. Adhesion of dental porcelain to cast, milled, and laser-sintered cobalt-chromium alloys: shear bond strength and sensitivity to thermocycling. J Prosthet Dent. 2014; 112:600–5.

39. Zeng L, Xiang N, Wei B. A comparison of corrosion resistance of cobalt- chromium-molybdenum metal ceramic alloy fabricated with selective laser melting and traditional processing. J Prosthet Dent. 2014; 112:1217–24.

40. Lu Y, Wu S, Gan Y, et al. Investigation on the microstructure, mechanical property and corrosion behaviour of the selective laser melted CoCrW alloy for dental application. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. 2015; 49:517–25.

41. MJJ D. Titanium—a technical guide. 2nd ed. Materials Park: ASM International; 2000. p. 95–123.

42. Ding R, Guo ZX, Wilson A. Microstructural evolution of a Ti-6Al4V alloy during thermo-mechanical processing. Mater Sci Eng A. 2002; 327:233–45.

43. Lütjering G, Williams JC. Titanium. 2nd ed. Berlin: Springer; 2007. p. 86–103.

44. Lütjering G. Influence of processing on microstructure and mechanical properties of ([alpha]+[beta]) titanium alloys. Mater Sci Eng A. 1998; 243:32–45.

45. Murr LE, Esquivel EV, Quinones SA, et al. Microstructures and mechanical properties of electron beam-rapid manufactured Ti6Al-4V biomedical prototypes compared to wrought Ti-6Al-4V. Mater Charact. 2009; 60:96–105.

46. Ertesyan A.R., Sadykov M.I., Nesterov A.M. Review of 3D printing technologies in dentistry / A. R. Ertesyan, M. I. Sadykov, A. M. Nesterov // Medical and pharmaceutical journal "PULSE". - 2020 - Том. 22. - № 10. - P. 15-18. (in Russian) http://dx.doi.org/10.26787/nydha-2686-6838-2019-22-10

47. Ertesyan A.R., Sadykov M.I., Nesterov A.M. 3D TECHNOLOGIES IN DENTISTRY// Proceedings of the XIII-XIV International Multidisciplinary Conference «Recent Scientific Investigation». Primedia E-launch LLC. Shawnee, USA. 2020. https://www.internauka.org/conf/usa#articles (date of the application: 07.11.2020)

48. Williams RJ, Eggbeer D, Bibb R. CAD/CAM rapid manufacturing techniques in the fabrication of removable partial denture frameworks. Quintessence J Dent Technol. 2008; 6:42–50.

49. Kattadiyil MT, Mursic Z, AlRumaih H, et al. Intraoral scanning of hard and soft tissues for partial removable dental prosthesis fabrication. J Prosthet Dent. 2014; 112:444–8.

50. Kanazawa M, Iwaki M, Minakuchi S, et al. Fabrication of titanium alloy frameworks for complete dentures by selective laser melting. J Prosthet Dent. 2014; 112:1441–7.

51. Lin WS, Chou JC, Metz MJ, et al. Use of intraoral digital scanning for a CAD/CAM-fabricated milled bar and superstructure framework for an implant-supported, removable complete dental prosthesis. J Prosthet Dent. 2015; 113:509–15.

52. Lee JW, Park JM, Park EJ, et al. Accuracy of a digital removable partial denture fabricated by casting a rapid prototyped pattern: a clinical study. J Prosthet Dent. 2017; https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.12.007.

53. Chan C, Haraszthy G, Geis-Gerstorfer J, et al. Scanning electron microscopic studies of the marginal fit of three esthetic crowns. Quintessence Int. 1989; 20:189–93.

54. Rudd RW, Rudd KD. A review of 243 errors possible during the fabrication of a removable partial denture: part I. J Prosthet Dent. 2001; 86:251–61.

55. Coli P, Karlsson S. Fit of a new pressure-sintered zirconium dioxide coping. Int J Prosthodont. 2004; 17:59–64.

56. Quante K, Ludwig K, Kern M. Marginal and internal fit of metalceramic crowns fabricated with a new laser melting technology. Dent Mater. 2008; 24:1311–5.

57. Ucar Y, Akova T, Akyil MS, et al. Internal fit evaluation of crowns prepared using a new dental crown fabrication technique: lasersintered Co-Cr crowns. J Prosthet Dent. 2009; 102:253–9.

58. Xu D, Xiang N, Wei B. The marginal fit of selective laser meltingfabricated metal crowns: an in vitro study. J Prosthet Dent. 2014; 112:1437–40.

59. Huang Z, Zhang L, Zhu J, et al. Clinical marginal and internal fit of crowns fabricated using different CAD/CAM Technologies. J Prosthodont. 2015; 24:291–5.

60. Huang Z, Zhang L, Zhu J, et al. Clinical marginal and internal fit of metal ceramic crowns fabricated with a selective laser melting technology. J Prosthet Dent. 2015; 113:623–7.

61. Örtorp A, Jönsson D, Mouhsen A, et al. The fit of cobalt–chromium three-unit fixed dental prostheses fabricated with four different techniques: a comparative in vitro study. Dent Mater. 2011;27: 356–63.

62. Kim KB, Kim JH, Kim WC, et al. Three-dimensional evaluation of gaps associated with fixed dental prostheses fabricated with new technologies. J Prosthet Dent. 2014; 112:1432–6.

63. Tamac E, Toksavul S, Toman M. Clinical marginal and internal adaptation of CAD/CAM milling, laser sintering, and cast metal ceramic crowns. J Prosthet Dent. 2014; 112:909–13.

64. Akova T, Ucar Y, Tukay A, et al. Comparison of the bond strength of laser-sintered and cast base metal dental alloys to porcelain. Dent Mater. 2008; 24:1400–4.

65. Xiang N, Xin XZ, Chen J, et al. Metal-ceramic bond strength of CoCr alloy fabricated by selective laser melting. J Dent. 2012; 40:453–7.

66. Wu L, Zhu H, Gai X, et al. Evaluation of the mechanical properties and porcelain bond strength of cobalt-chromium dental alloy fabricated by selective laser melting. J Prosthet Dent. 2014; 111:51–5.

67. Wang H, Feng Q, Li N, et al. Evaluation of metal-ceramic bond characteristics of three dental Co-Cr alloys prepared with different fabrication techniques. J Prosthet Dent. 2016; 116:916–23.

68. AINSA/ADA. Standard No. 38-Metal-Ceramic Dental Restorative Systems: 2000 (Reaffirmed 2015). Geneva. Switzerland.

69. ISO 9693:1999(E) Metal ceramic dental restorative systems. Geneva, Switzerland.

70. Li J, Chen C, Liao J, et al. Bond strengths of porcelain to cobaltchromium alloys made by casting, milling, and selective laser melting. J Prosthet Dent. 2016; 115:109–14.

71. Ren XW, Leng L, Wei ZM, et al. Effects of multiple firings on metal-ceramic bond strength of Co-Cr alloy fabricated by selective laser melting. J Prosthet Dent. 2016; 115:109–14.

72. Zheng L, Zhang Y, Liu Z, et al. Effects of repeated firing on the marginal accuracy of Co-Cr copings fabricated by selective laser melting. J Prosthet Dent. 2015; 113:135–9.

PHYSICAL SCIENCES

CALCULATION OF THE MAGNETIC SYSTEM BY SOLVING THE INVERSE PROBLEM

Polyakova R.,
Yudin I.
Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

Abstract

In this paper, the problem of searching for the design of the magnetic system for creating a magnetic field with the required characteristics in the given area is studied. Based on the analysis of the mathematical model of the magnetic system, a rather general approach is proposed to the solution of the inverse problem, which is described by the Fredholm equation:

$$H(z) = \int_S J(s)G(z,s)ds, \quad z \in U, \quad s \in S$$

where $J(s)$ is the distribution function of current density in the system, $G(z,s)$ is the Green's function, the analytical form of which depends on the geometry of the current sources and on the point z, belonging to the definition region of the field H.

It is necessary to define the current density distribution $J(s)$ and the existing winding geometry for the creation of the field H. It is known that such problems belong to the class of incorrect problems. In the paper, a method of solving the given problems by means of regularized iterative processes is proposed. Using a specific magnetic system as an example, a numerical study of the influence of different factors on the character of the magnetic field being designed is carried out.

Keywords: magnet systems, inverse problem, Fredholm equation, regularized iterative processes.

1. Introduction

When designing magnetic systems, it is necessary to solve the inverse problem, i.e. from the given magnetic field to define the parameters of the current sources or their geometric characteristics, or both simultaneously. The definition of the current density distribution in the magnetic system, in which the geometry is known, is a linear inverse problem. When the required field must be created using conductors, in which the value of the current, as well as the coordinates of their position, varies, providing the current in all the conductors is the same, we come to the solution of the inverse problem [1] In this paper we consider the construction of a mathematical model of the magnetic system for this kind of the problem, a method and a numerical algorithm for their solution by using Tikhonov regularization methods. Since the magnetic field is supposed to be given by one of its components (H_x, H_y, H_z) which depends on the specific problem, hereinafter *H* will be used simply for its notation.

2. Mathematical Model of the Magnetic System

Suppose that in some region U using the current sources distributed in the region S a field H should be created with the given characteristics (for example, the entire homogeneous field in the region U). It is known [1] that the field in any point z of the set U is defined by the equation

$$H(z) = \int_S J(s)G(z,s)ds, \qquad z \in U, s \in S \tag{1}$$

where $J(s)$ is the distribution function of current density in the system, $G(z,s)$ is the Green's function, the analytical form of which depends on the geometry of the current sources and on the point $z \in U$. The inverse problem, namely, the definition over the given current density distribution in the magnetic system with the known geometry is a linear inverse problem (model 1). In this case the mathematical problem reduces to the solution of the Fredholm linear integral equation of the first order with the unknown function $J(s)$. If the composition of the magnetic field comprises not only the current densities variation, but also the winding geometry, we must solve the nonlinear inverse problem (model 2) with the unknowns $J(s) \quad and \quad s \in S$.

3. Method for Solving the Inverse Problem (Model 1)

It is known that the problem of solving the first order Fredholm integral equation (1) belongs to the incorrectly defined class of problems, because large changes in the solution of $J(s)$ can correspond to small changes in the input data $H(z)$. To obtain a stable solution of incorrectly defined problems, A.N. Tikhonov developed regularization algorithms [1-3]. Here we use the second order regularization method for solving the problem. To do this, we construct a smooth parametric functional

$$F^{\alpha}[J(s), H(z)] = \Phi[J(s), H(z)] + \alpha\, \Omega[J(s)], \tag{2}$$

where

$$\Phi[J(s), H(z)] = \int_U [H(z) - \int_S J(s)G(z,s)ds]^2 dz \tag{3}$$

is the quadratic deviation of the operator $A[z,J(s)]=\int_S J(s)G(z,s)ds$ of the function H(z),

$$\Omega[J(s)]=\int_S J^2(s)ds \qquad (4)$$

is the regularization functional, or stabilizer, and α is the numerical parameter of the regularization $(\alpha>0)$.

Theorem 1. *For any function* $H(z)\in L_2$ *and any* $\alpha>0$ *there exists one and only one* $2(n+1)$ *differential function* $J_n^\alpha(s)$ *that realizes the minimum of the smooth functional* $F^\alpha[J(s),H(z)]$ *of the form* (2).

It follows that there exists some function $J_n^\alpha(s)$ that realizes the minimum of the functional $F_n^\alpha[J(s),H(z)]$ in the form (2), which weakly reduces to the solution of the equation (1) $J(s)$. The complete demonstration of these and other conditions can be found in [4].

When applying the regularization method, the choice of the parameter α is one of the main problems. The point is that the discrepancy principle is not always fulfilled for the obtained smooth solution, i.e. the inequality holds

Theorem 2. *If* $H(z)=A[z,J(s)]$, $J(s)\in C^{(n+1)}$, *then for any* $\varepsilon>0$ *and auxiliary values* $0<\gamma_1<\gamma_2$ *there exists* $\delta(\varepsilon,\gamma_1,\gamma_2,J)$, *so that if*

1. $\|\tilde H_\delta(z)-H(z)\|_{L_2}\le\delta$, *where* $\tilde H_\delta(z)\in L_2$;
2. $\alpha=\alpha(\delta)$ *has the order* δ^2;
3. $\gamma_1\le\frac{\delta^2}{\alpha(\delta)}\le\gamma_2$,

then $J^\alpha_{\delta,n}(s)$ *that realize the minimum* $F_n^\alpha[J(s),\tilde H_\delta(z)]$ *are*

$$\|J^\alpha_{\delta,n}(s)^{(i)}-J(s)^{(i)}\|\le\varepsilon,\quad s\in S, i=0,1,\cdots,n \quad \text{ïðè} \quad \delta<\delta_0(\varepsilon,\gamma_1,\gamma_2,J).$$

$$\|\tilde H_\delta-H^*\|\le\delta, \qquad (5)$$

where δ is the accuracy of the approximate input data $\tilde H_\delta, H^*$ is the precise value of the input data.

In practice, when solving correct and incorrect problems, it is necessary to find a solution that satisfies the required accuracy. V.A. Morozov [2] proposed the discrepancy principle as the main criterion for choosing the regularization parameter.

Discrepancy Principle. Set any $0<\delta\le\delta_0$ and any $0<h\le h_0$ with the condition

$$\chi(h,\delta,J)=(\|A_hJ-AJ\|_0+\delta)\times(1+\beta(\delta,h))^{1/2}<\|A_hJ-\tilde H_\delta\|_0$$

where $\beta(\delta,h)$ is the positive function, such that $\lim_{\delta,h\to0}\beta(\delta,h)=0$, J^α is the solution that gives the minimum of the functional $F^\alpha(J,H)$.

In this case there exists at least one value of the regularization parameter $\alpha=\alpha(\delta,h)>0$ so that

$$\rho_{\delta h}(\alpha(\delta,h))=\chi^2(h,\delta,J)$$

and

$$\lim_{\delta,h\to0}J^\alpha_{\delta h}=J^\alpha \quad \text{where} \quad J^\alpha_{\delta h}=J^{\alpha(\delta,h)}_{\delta h}.$$

4. Numerical Algorithm for Solving the Problem of Model 1

In the expression (2), if presenting integrals in the form of sums, we obtain

$$F^\alpha=\sum_{j=1}^N[H_j(z_j)-\sum_{i=1}^M J_i(s_i)K_{ij}(z_j,s_i)]^2\Delta z_j+\alpha\sum_{i=1}^M J_i^2(s_i)\Delta s_i \qquad (6)$$

where N is the number of points from the set U, M is the number of points from the set S, $M\le N$, $K_{ij}=\int_{\Delta s_i}G(z_j,s)ds$.

Suppose $\Delta s_i=\Delta s=const$, $\Delta z_j=\Delta z=const$.

The condition of the minimum of the functional F^α:

$$\frac{\partial F^\alpha}{\partial J_1}=0,\quad \frac{\partial F^\alpha}{\partial J_2}=0,\cdots,\frac{\partial F^\alpha}{\partial J_M}=0 \qquad (7)$$

Taking into account (7), we obtain

$$\frac{\partial F^\alpha}{\partial J_l}=-\sum_{j=1}^N H_jK_{lj}\Delta z+\sum_{j=1}^N\sum_{i=1}^M J_iK_{lj}K_{ij}\Delta z+\alpha J_l\Delta s=0,\quad l=1\div M. \qquad (8)$$

Thus, we have a system M of linear algebraic equations with the unknowns M of the form J_l:

$$\sum_{i=1}^{M} J_i \sum_{j=1}^{N} K_{lj} K_{ij} \Delta z + \alpha J_l \Delta s = \sum_{j=1}^{N} H_j K_{lj} \Delta z, \quad l = 1 \div M. \tag{9}$$

Supposing $\alpha \Delta s = \alpha' \Delta z$, we obtain

$$\sum_{i=1}^{M} J_i \sum_{j=1}^{N} K_{lj} K_{ij} + \alpha' J_l = \sum_{j=1}^{N} H_j K_{lj}, \quad l = 1 \div M. \tag{10}$$

Obviously, α' retains the meaning of the arbitrary coefficient α, **t**herefore, the system of equations for J_l is finally written in the form:

$$\sum_{i=1}^{M} J_i \sum_{j=1}^{N} K_{lj} K_{ij} + \alpha J_l = \sum_{j=1}^{N} H_j K_{lj}, \quad l = 1 \div M. \tag{11}$$

If the magnetic system is a discrete set of coils, the field $H(z)$ in any point $z \in U$ is defined in the following way:

$$H(z) = \sum_{i=1}^{M} J_i \int_{\Delta s_i} G(z, s) ds, \tag{12}$$

where M is the number of coils, J_i is current density in the i-th coil, Δs_i is the cross section of the i-th coil.

Having solved the system of equations (11), we obtain a discrete set J_l, $l = 1 \div M$, which is a solution of the problem (1). Similar to that, we define the distribution of current density in the magnetic system for creating the field $H(z_j), j = 1 \div N, \quad z_j \in U$.

5. Particular Case of the Mathematical Model 2

Suppose that in some region S, using the arrangement M of conductors with the same current I_0, it is necessary to create the field H. In the system $H(z)$, $z \in U$ we have

$$H(z) = I_0 \sum_{i=1}^{M} G(s_i, z), \tag{13}$$

where $G(s_i, z)$ is the Green's function for the i-th conductor.

It is required to define both the current I_0 and the coordinates s_i of the conductors, which would best provide the given field $H(z)$, $z \in U$.

The function $G(s_i, z)$ is usually nonlinear with respect to the coordinates of the conductors s_i; therefore, the problem under consideration is nonlinear inverse.

Additional difficulties in solving the inverse problem are caused by the restriction on the parameters [3]. However, in some particular cases one can effectively find a solution that satisfies the conditions of the problem. Let us consider this case. Let the parameter of the conductors arrangement in the region S be only one coordinate, for example x; the admissible region of the conductors arrangement along the axis x is known, $x_1 \le x_i \le x_2$.

In this case, the equation (13) has the form:

$$H(z) = I_0 \sum_{i=1}^{M} G(x_i, z), z \in U, x_1 \le x_i \le x_2. \tag{14}$$

It is necessary to determine I_0, x_i to create the field $H(z), \quad z \in U$ in the magnetic system. The problem (14) is a nonlinear inverse problem.

6. Numerical Algorithm for Solving the Problem in Model 2

The solution of the problem (14) is divided in two stages. At the first stage, current density in the turns is distributed continuously within the given region. The equation (13) has the form

$$H(z) = \int_{x_1}^{x_2} J(x) G(x, z) dx.$$

This problem and the algorithm for its solution are considered in sections 2, 3. When choosing the solution $J^{\alpha}(x)$, (α is the regularization parameter), we take into account the following conditions of the problem:

1. The accuracy of the calculation of $H(z)$ cannot be worse than the required accuracy of the magnetic field in the magnetic system being created;

2. For the entire admissible interval $[x_1, x_2]$, the function $J^{\alpha}(x)$ must keep the sign;

3. $| J^{\alpha}(x) | \le J_{don}$ is admissible current density.

Suppose that there exists some continuous solution $J^{\alpha}(x)$, that satisfies all three conditions.

At the second stage, we divide the interval $[x_1, x_2]$ into M subintervals $[x_1^i, x_2^i]$, $i = 1 \div M$.

In this case

$$H(z) = \sum_{i=1}^{M} \int_{x_1^i}^{x_2^i} J^{\alpha}(x) G(x, z) dx, z \in U. \tag{15}$$

For each subinterval $[x_1^j, x_2^i]$, the conditions of the mean value theorem are satisfied (this is how the function $J^{\alpha}(x)$ is chosen), therefore

$$H(z_j) = \sum_{i=1}^{M} G(x_i^j, z_j) \int_{x_1^i}^{x_2^i} J^{\alpha}(x) dx, \quad j = 1 \div N, \tag{16}$$

where N is the number of points in the region U, in which the field H, x_i^j, i.e. the point in the i-th interval, is analyzed. The limits x_1^i, x_2^i are chosen so that

$$\int_{x_1^i}^{x_2^i} J^\alpha(x)dx = \int_{x_1^{i+1}}^{x_2^{i+1}} J^\alpha(x)dx = I_0, \text{т.е.} \quad (17)$$

$$I_0 = \frac{\int_{x_1}^{x_2} J^\alpha(x)dx}{M}, then$$

$$H(z_j) = I_0 \sum_{i=1}^{M} G(x_i^j, z_j) \quad (18)$$

Obviously, for different z_j there exists its point x_i^j, but based on the mean value theorem, it is always in the interval $[x_1^i, x_2^i]$. It means that the coordinate x_i is also in the i-th interval and is defined from the condition of the minimum of the functional

$$\varphi(x_i) = \sum_{j=1}^{N} [\int_{x_1^i}^{x_2^i} J^\alpha(x)G(x, z_j)dx - I_0 G(x_i, z_j)]^2 \quad (19)$$

$$\frac{\partial\varphi(x_i)}{\partial x_i} = \sum_{j=1}^{N} [\int_{x_1^i}^{x_2^i} J^\alpha(x)G(x, z_j)dx - I_0 G(x_i, z_j)] \times \frac{\partial G(x_i, z_j)}{\partial x_i} = 0 \quad (20)$$

$$x_1^i \le x_i \le x_2^i$$

Thus, the solution of the problem reduces to solving M sequential nonlinear equations of the form (20) with one unknown, moreover, limits of the existence of the solution are known. It is noteworthy that we have analyzed the algorithms for creating a magnetic system using infinite thin conductors. It is easy to show that for the finite size of the conductor, the algorithms are fully preserved, but in this case the Green's function is under the sign of integration by the cross section of the conductor.

The case when the admissible geometric region of arranging conductors is defined not by a line, but by a plane, also does not involve particular difficulties and can be described by a similar algorithm.

7. Example of the Numerical Calculation of a Real Magnetic System

Let us consider an example of the practical application of the developed algorithm for creating a nonmetallic superconducting (SP) bipolar magnet comprising rectangular field current windings, the geometry of which is showed in Fig. 1.

From Fig. 1 it is obvious that the magnetic system consists of rectangular turns, which are placed around the perimeter of the rectangular aperture of the magnet. Using the developed numerical algorithm for solving nonlinear inverse problems, we calculate the mathematical model of the system, the homogeneity of the field in which in 80% of the aperture represents $10^{-5} \div 10^{-6}$ for the magnitude of the field of 4–5 Tl.

The mathematical problem is set as follows.

Suppose that in some region U (see Fig. 1a) it is necessary to create a homogeneous field $H(z), z \in U$ by arranging the M conductors of the rectangular cross section in the given limited region S, provided that the current I_0 in all the conductors is the same. For this magnetic system

$$H(z) = I_0 \sum_{i=1}^{M} G(s_i, z), \quad s_i \in S, z \in U \quad (21)$$

In the Cartesian coordinate system $s_i = \{x_i, y_i\}, z = \{x, y\}$

$$G(s_i, z) = \frac{y - y_i + b}{2} \ln \frac{(x - x_i + a)^2 + (y - y_i + b)^2}{(x - x_i - a)^2 + (y - y_i + b)^2} +$$
$$+ \frac{y - y_i - b}{2} \ln \frac{(x - x_i - a)^2 + (y - y_i - b)^2}{(x - x_i + a)^2 + (y - y_i - b)^2} +$$
$$+ (x - x_i + a) \times \left(\operatorname{arctg} \frac{x - x_i + a}{y - y_i - b} - \operatorname{arctg} \frac{x - x_i + a}{y - y_i + b} \right) + \quad (22)$$
$$+ (x - x_i - a) \times \left(\operatorname{arctg} \frac{x - x_i - a}{y - y_i + b} - \operatorname{arctg} \frac{x - x_i - a}{y - y_i - b} \right),$$

where a is the half-size of the tire along x, b is the half-size of the tire along y, $G(s_i, z)$ is the Green's function for the rectangular tire in the Cartesian coordinate system [1].

$$M = N_x + N_y,$$

N_x is the number of turns along the axis x, N_y is the number of turns along the axis y, or

$$M = \sum_{l=1}^{k} N_l,$$

k is the number of winding blocks, and N_l is the number of turns in the first block. It is necessary not only to define I_0, but also to select the blocks configuration that forms the homogeneous field $H(z)$ at any point $z \in U$ with an accuracy of at least $10^{-5} - 10^{-6}$

.

Fig. 2 shows continuous distributions J_x^α *and* J_y^α for $M = 48$ turns and approximations by their piecewise constant functions of "blocks". Table 1 illustrates numerical calculations for the optimal version of the magnet; the scheme of this magnet is presented in Fig. 1b.

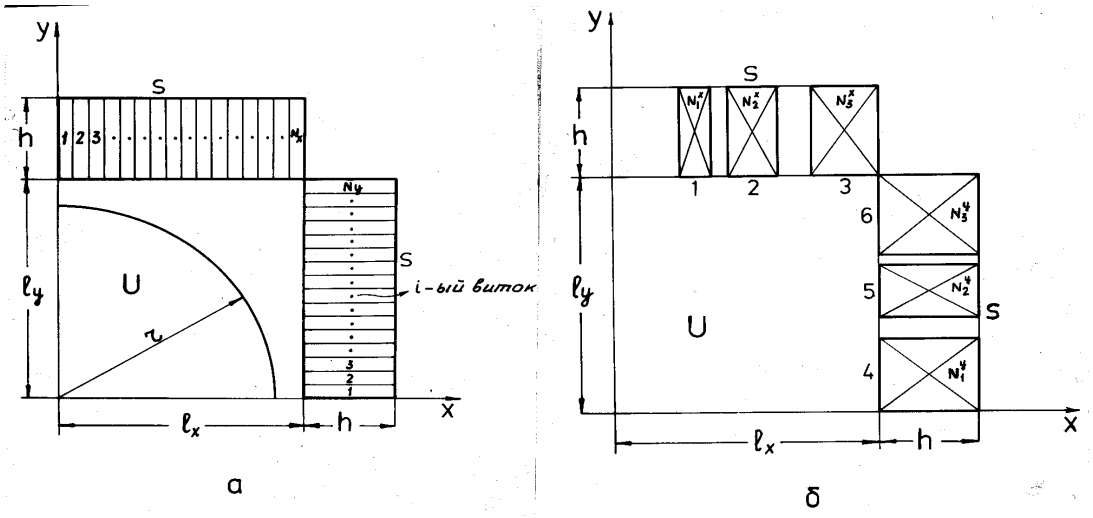


Fig. 1. SP configuration of the dipole with a flat winding; b-one of the possible real configurations of the SP dipole

Table 1

Value of the coordinates of the "blocks" centers for x and y, giving the best relative accuracy of lower harmonics in the homogeneous field H

		x=const=3.8					y=const=3.8			
N_y	N_{k_1} N_2 N_1	y_1	y_2	y_3	N_x	N_{k_2} N_2 N_1	x_1	x_2	x_3	Averaged relative accuracy of lower harmonics c_2, c_4, c_6
20	10 5 5	0.509	1.597	2.859	9	6 2 1	1.002	2.294	3.141	$0.3\times10^{-6} \div 0.5\times10^{-6}$
20	12 8	0.842	2.649		9	6 21	1.602	2.247	3.22	$0.9\times10^{-5} \div 0.45\times10^{-6}$

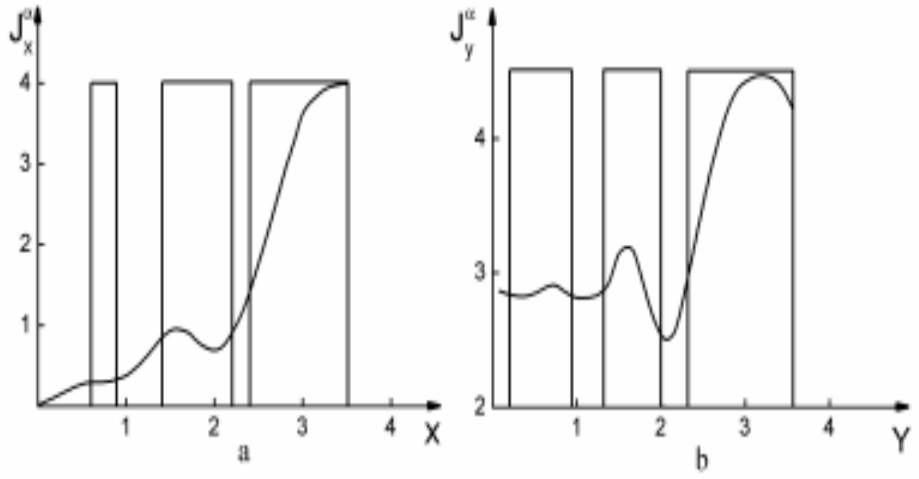


Fig. 2. Continuous distributions $J_x^\alpha(s)$ and approximations $J_y^\alpha(s)$ by the piecewise constant functions of "blocks"

Conclusion

1. A method of solving nonlinear inverse problems, which are necessary to describe the mathematical model of magnetic systems of some class, is considered.

2. The developed numerical algorithm, based on the method of regularization of solving incorrect problems with restrictions on the required parameters, leads the nonlinear problem of type (14) to solving M sequential nonlinear equations with one unknown. It allows avoiding the difficulties related to solving a system of nonlinear equations, the solution of which is usually given by inverse problems.

3. To implement the proposed method on a computer, a numerical algorithm is developed, and a Fortran package is written.

4. Using the given package, some practical problems [7], [8] are solved, an example of one of which is given in section 7.

5. The results of numerical modeling of some real systems were used in the design and construction of the superconducting accelerator of JINR LHE.

The work is dedicated to the memory of Professor E.P. Zhidkov and Professor I.A. Shelaev.

References

1. Arsenin V. Y., Tikhonov A. N. Method of the Solution of Non-Correct Problem. — Moscow: Nauka, 1979.

2. Morozov V. A. // Numerical Methods and Programming. — Publication MSU, 1967. — Issue 8. — P. 63.

3. Polyak B. T. Iterationing Methods of Solution of Any Non-Correct Variation Problems // Numerical Methods and Programming. — Publication MSU, 1969. — Issue 12. — Pp. 38–52.

4. Zhidkov E. P., Polyakova R. V., Yudin I. P. A. N. Tikhonov Regularization in a Magnitostatic Problem // 13th conference of MCE. — Dubna, 2006. — Pp. 171– 177.

TECHNICAL SCIENCES

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВОДА БЕТОНОЗМІШУВАЧА НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ШАСІ

Аврунін Г.А.
кандидат технічних наук,
Кириченко І.Г.
доктор технічних наук,
Шевченко Д.М.
аспірант,
Мороз І.І.
старший викладач
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ANALYSIS OF DYNAMICS BY HYDRAULIC FLUID POWER OF CONCRETE MIXER ON MOTOR-CAR UNDERCARRIAGE

Avrunin G.
candidate of engineering sciences
Kirichenko I.
doctor of engineering sciences
Shevchenko D.
graduate student,
Moroz I.
senior teacher,
Kharkov national motor-car-travelling university

Анотація

Проведений пошук зниження динамічних навантажень в об'ємному гідроприводі автобетонозмішувача, включаючи режими розгону, робочої частоти обертання барабана і його гальмування. За допомогою математичної моделі динаміки гідропривода і пакету прикладних програм VisSim показана можливість мінімізації стрибків тиску в гідроприводі шляхом оптимізації завдання параметрів, у тому числі подачі насоса і з урахуванням можливих навантажень.

Abstract

The conducted search of decline of the dynamic loading is in by hydraulic fluid power of concrete mixer, setting mode acceleration, working frequencies of rotation of drum and his braking. By means of mathematical model of dynamics of hydraulic fluid power and application of VisSim package shown possibility of minimization of jumps of pressure is in hydraulic fluid power by the way of optimization a task of parameters is in of motion, including serves of pump and taking into account the possible loading.

Ключові слова: об'ємний гідропривод автобетонозмішувача, насос і гідромотор, математична модель, пакет VisSim, коливання тиску.

Keywords: hydraulic fluid power of concrete mixer, pump and hydraulic motor, mathematical model, VisSim package, pressure fluctuation.

Вступ

Автобетонозмішувачі призначені для доставки на споруджувані об'єкти тової суміші з спонуканням або приготуванням суміші на шляху прямування з компонентів, завантажених в них на центральних сумішоприготувальних заводах [1]. Автобетонозмішувачі відносять до гравітаційних пристроїв з обертовим барабаном, які встановлюють на автомобілі або напівпричепи. Для обертання барабана бетонозмішувача застосовують:

- механічний привід за допомогою карданної передачі між коробкою відбору потужності КОМ основного або автономного ДВЗ [2] і редуктором на барабані;

- Об'ємний гідропривод (ОГП) з обертанням редуктора від гідромотора і приводом насоса від авто-номного або основного ДВЗ

Для ОГП застосовують переважно гідромашини із замкненим ланцюгом циркуляції робочої рідини (РР) з насосом регульованої подачі і гідромотором з постійним робочим об'ємом, який через редуктор приводить в обертання барабан змішувача [3–5]. Широко поширені на автобетонозмішувачах вітчизняні аксіальнопоршневі гідромашини серії ГСТ виробництва ВАТ «Гідросила» з автономними ДВЗ [6]. Автобетонозмішувачі на автомобільному шасі мають місткість барабана до 14 м^3, повну масу з бетонною сумішшю більше 40 т і момент інерції до 30 т.м^2. В автобетонозмішувачах з ОГП між гідромотором і змішувальним барабаном встановлюють планетарні редуктори з передатним відношенням від 17 до 140 серії від 501 до 580 [7]. Серія 501 має передавальне значення i = 17…29 при масі 45 кг, серія 580 має i =

130…140 при масі 320 кг. Як гідромотори використовуються тихохідні радіальнопоршневі (тип LS - Low speed motor) і швидкохідні аксіальнопоршневі (HS - Hiqh speed motor) гідромотори. Для гідромоторів LS максимальна частота обертання на вході в редуктор не перевищує 550 хв$^{-1}$, для HS до 3000 хв$^{-1}$. Такі частоти обертання гідромоторів на вході в редуктор забезпечують обертання барабана змішувача в технологічному режимі до 14 хв$^{-1}$. Є також досвід використання високомоментних планетарно-роторних гідромоторів з метою виключення проміжного редуктора [8].

Економічність роботи ОГП значною мірою визначається рівнем автоматизації системи регулювання частоти обертання гідромотора. Сучасні системи управління ОГП включають програмований контроллер, датчик частоти обертання гідромотора і пульт (або пульти) управління.

Огляд літератури

У роботі [9] розглянута математична модель динаміки ОГП із замкненим ланцюгом циркуляції РР, в якій уперше був використаний эвристичний модуль стадійності навантаження з боку робочого органу на гідромотор двохпотокової безступінчастої коробки передач колісного трактора. Проте реалізація режимів стадійного навантаження можлива тільки для визначеного класу машин. У тому випадку, якщо стадійність навантаження за умовами технології роботи машини не може бути реалізована, а це переважно клас вантажопідіймальних механізмів і машин безперервного транспорту, то до іншого шляху мінімізації навантажень при пуску слід віднести завдання режимів розгону гідромотора. Зміну швидкості обертання гідромотора на пусковому і технологічному режимах ОГП забезпечують регулюванням подачі насоса.

Виробники регульованих аксіальнопоршневих насосів пропонують широкий вибір регуляторів зміни робочого об'єму, включаючи автоматичні і регулятори стежного принципу дії [10–14]. З метою зниження навантажень на насоси і гідромотори приводів робочих органів в конструкціях насосів передбачається установка демпфуючих облаштувань (дроселів постійного перерізу) декількох типорозмірів, а в тих випадках, коли застосовують електрогідравлічні пропорційні системи управління, в електронний блок вводять різні за формою і часом закони регулювання. Крім того, при розрахунку динаміки ОГП не враховувалося підвищення тиску, пов'язане з втратами в гідромоторі при пуску і визначуваним крутним моментом. За даними каталогів момент зрушування по відношенню до номінального крутного моменту складає для героторних гідромоторів серії ОМН 76…84 % і підвищується до 95 % для радіальнопоршневих. Динамічні характеристики ОГП істотно впливають на довговічність гідромашин і редуктора автобетонозмішувача.

Ця стаття присвячена дослідженню ОГП як самостійного об’єкту динаміки, коливання перехідних процесів пуску якого може бути поліпшено пошуком режимів регулювання подачі насоса до гідромотора. Позитивний досвід застосування пакету застосовних програм VisSim в різних системах, у тому числі в ОГП [9], прийнятий нами до використання.

Розрахунок динаміки гідропривода

На рис. 1 представлена розрахункова схема ОГП стендової установки з насосом Н, гідромотором М, приводним двигуном Д, робочим органом РО (змішувальним барабаном) і позначеннями використовуваних в математичній моделі елементів.

Скористаємося математичною моделлю [9], але без використовування евристичного модуля стадійного навантаження з введенням замість останнього модуля VisSim-map для подачі (витрати) насоса на режимах зрушування, що встановився, та при зупинці. У математичній моделі робляться наступні допущення: модуль об'ємної пружності, температура, щільність і в'язкість РР є постійними значеннями; момент інерції барабана приймається постійним; хвилеві процеси в трубопроводах не враховуються в зв'язку їх незначною протяжністю (насос і гідромотор з’єднані короткими рукавами високого тиску).

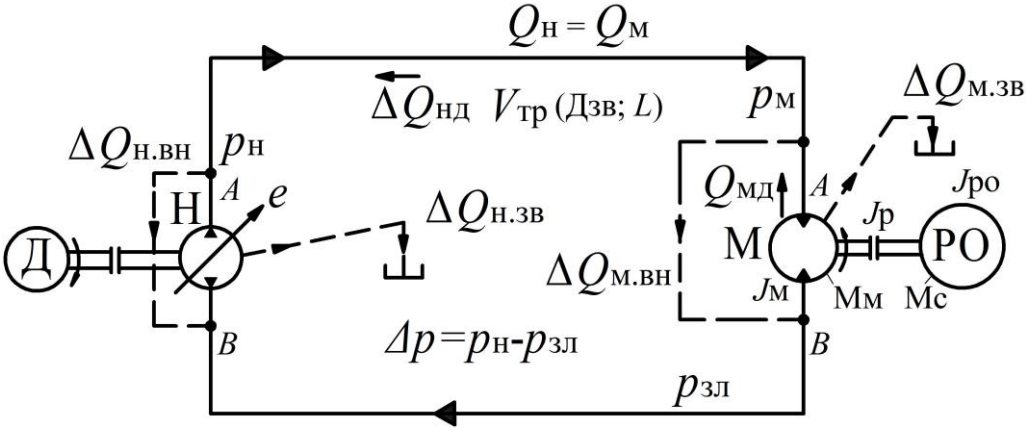


Рис. 1. Розрахункова схема ОГП з замкненим ланцюгом циркуляції РР

Таким чином вирази для тиску $p_м$ [МПа] і частоти обертання гідромотора $n_м$ [хв$^{-1}$] мають вигляд

$$p_м = \int_0^t \left[Q_{нт,e}(t) - 10^{-3} V_м(t) \cdot n_м(t) - C_{пв} \cdot p_м(t) \right] \frac{E}{V_{тр}} dt, \quad (1)$$

$$n_{\text{м}} = \int_0^t \frac{3{,}6 \cdot 10^3}{J_{\text{п}}} \left[\frac{1}{2\pi} V_{\text{м}}(t) \cdot (p_{\text{н}} - p_{\text{зл}}) \cdot \eta_{\text{м.гм}} - M_{\text{с}} \right] dt, \quad (2)$$

де $Q_{\text{нт},e} = Q_{\text{нт}} \cdot e$ – подача насоса при заданному відносному куту повороту похилого диска e, який відхиляється в обидва боки від нейтрального положення в відносних величинах $e = 0 \ldots \pm 1$, л/хв,

$Q_{\text{нт}} = 10^{-3} V_{\text{н}} n_{\text{н}}$ – теоретична подача насоса з максимальним робочим об'ємом $V_{\text{н}}$ [см^3] і частотою обертання приводного двигуна $n_{\text{н}}$ [хв$^{-1}$] без урахування витоків РР, л/хв,

$V_{\text{м}}$ – робочий об'єм гідромотора, см^3,

$C_{\text{пв}}$ – коефіцієнт підсумкових зовнішніх ($C_{\text{н.зв}}$ і $C_{\text{м.зв}}$) та внутрішніх ($C_{\text{н.вн}}$ і $C_{\text{м.вн}}$) витоків РР насоса ($\Delta Q_{\text{н.зв}}$ та $\Delta Q_{\text{н.вн}}$) і гідромотора ($\Delta Q_{\text{м.зв}}$ та $\Delta Q_{\text{м.вн}}$), л/(хв.МПа),

$V_{\text{тр}}$ – об'єм РР во вхідній (високого тиску) порожнині (трубопроводі) гідромотора зі зведеним діаметром $Д_{\text{зв}}$ [мм] та довжиною L [м], дм^3,

E – модуль пружності РР, який викликає деформаційну витрату РР ($\Delta Q_{\text{нд}}$ та $\Delta Q_{\text{мд}}$), що викликана її стисливістю в гідромашинах та об'ємі $V_{\text{тр}}$, МПа,

$J_{\text{п}} = J_{\text{м}} + J_{\text{р}} + J_{\text{ро}}$ – підсумковий момент інерції, приведений до валу гідромотора, в який входять $J_{\text{м}}$ – момент інерції частин гідромотора, що обертаються, $J_{\text{р}}$ – момент інерції приводної частини (редуктора) та $J_{\text{ро}}$ – момент інерції робочого органу (змішувального барабану), кг.м^2,

$p_{\text{н}} \approx p_{\text{м}}$ і $p_{\text{зл}}$ – тиск в лініях нагнітання насоса (гідромотора) і зливу РР до насоса, відповідно (тиск $p_{\text{зл}}$ приймається постійним), МПа,

$\eta_{\text{м.гм}}$ – гідромеханічний ККД гідромотора,

$M_{\text{с}}$ – момент опору (зовнішнього навантаження), Н.м.

Приведені рівняння показують, що при оцінці динамічних характеристик ОГП змінними в часі параметрами є подача насоса $Q_{\text{нт},e}$ і момент опору зовнішнього навантаження $M_{\text{с}}$ при врахуванні втрат гідромотора за допомогою гідромеханічного ККД ($\eta_{\text{м.гм}}$) при зрушуванні останнього.

Для задання режимів роботи ОГП скористаємося блоками VisSim-map, які дозволяють за попередньо складеною циклограмою введення в модель адекватних за часом впливу режимів. З іншого боку, при відпрацюванні оптимальних режимів роботи ОГП блоки map дозволяють вносити необхідні корективи в інтерактивному режимі.

Для оцінки впливу моменту зрушування гідромотора на динаміку пуску ОГП введемо в циклограму момент опору $M_{\text{с}}(t)$ за допомогою блоку VisSim-map пускове пікове значення, рівне твору статичного моменту опору на відношення k номінального моменту $M_{\text{м.ном}}$ та зрушування $M_{\text{м.стр}}$

$$M_{\text{с.пик}} = M_{\text{с}} \frac{M_{\text{м.ном}}}{M_{\text{м.стр}}} = k M_{\text{с}}, \quad (3)$$

і задаємо $k = 1{,}1$ для аксіальнопоршневих гідромоторів. Час дії пікового моменту опору обмежуєм значенням, при якому частота обертання гідромотора перевищить мінімальну за технічною характеристикою (50 хв$^{-1}$). При аналізі впливу моменту інерції на коливання тиску при пуску і гальмуванні ОГП приймаємо в розгляд три типорозміри автобетонозмішувачів з об'ємом барабана змішувача 6; 9 і 12 м^3, які мають момент інерції, рівний 13600; 20500 і 28500 кг.м^2, відповідно. Момент супротиву приймаємо постійним для усіх автобетонозмішувачів, а змінними параметрами є подача насоса на пусковому режимі при розгоні гідромотора до максимальної частоти обертання і при її зниженні до зупинки барабана. При цьому критерієм завдання можливої інтенсивності частоти обертання гідромотора при пуску є обмеження по максимальному допустимому тиску в 45 МПа і мінімальному, рівному тиску підживлення в 2 МПа, що запобігає виникненню кавітації в ОГП:

$$p_{\text{н.пуск}} \le [p_{\text{н}}]; \;\; p_{\text{н.ост}} \ge [p_{\text{подп}}] \quad (4)$$

де $p_{\text{н.пуск}}$ – тиск в ОГП при пуску, отриманий в результаті динамічного розрахунку,

$[p_{\text{н}}]$ – максимальний (піковий) тиск, що допускається за технічною характеристикою насоса (для сучасних аксіальнопоршневих насосів 45…50 МПа),

$p_{\text{н.ост}}$ – тиск в ОГП при гальмуванні барабана змішувача шляхом зниження подачі насоса,

$[p_{\text{подп}}]$ – мінімальний тиск підживлення, що допускається в замкненому ланцюзі циркуляції РР, коли подальше зниження якого призводить до втрати управління похилим диском насоса і ризику виникнення кавітації (для сучасних ОГП $[p_{\text{подп}}]$ дорівнює 1,5...2,0 МПа).

В якості початкових умов при інтеграції приймаємо $p_{\text{н}}(0) = p_0$ (атмосферний тиск) і $n_{\text{м}}(0) = 0$ (частота обертання гідромотора дорівнює нулю перед початком подачі РР від насоса). Застосовуємо метод інтеграції Рунге-Кутта 4-го порядку точності (РК4) з дискретністю 0,001 с. На усіх етапах задавали лінійну зміну подачи насоса при стрибковому зростанні моменту опору, характерного для автобетонозмішувача. Передусім відмітимо, що режим розгону ОГП з досить тривалим часом виходу насоса на максимальну подачу не робить впливу на коливання частоти обертання гідромотора, тому подальший аналіз торкається тільки коливань тиску. Важливе явище виявлене в процесі розгону гідромотора, яке характеризується трьома етапами – максимальним (піковим) сплеском тиску, потім підвищеним тиском на усій ділянці збільшення подачи насоса до максимального значення і робочим тиском в ОГП, що встановився, і який дорівнює значенню, отриманому при статичному розрахунку ОГП.

У табл. 1 систематизовані параметри барабанів змішувачів, часу зміни подачі насоса і значення тисків, які отримані при моделюванні ОГП, де $V_{\text{с.б}}$ і $J_{\text{п}}$ – об'єм барабана змішувача [м^3] і його момент інерції, кг.м^2; $tQ_{\text{нт.пуск}}$ і $tQ_{\text{нт.ост}}$ – час підвищення подачі насоса при пуску ОГП і зниження при зупинці, відповідно, с; $p_{\text{н.пуск}}$, $p_{\text{н.рег}}$ і $p_{\text{н.раб}}$ – тиск максимальний при пуску ОГП, тиск при збільшенні подачі насоса і робочий тиск (статичний, що встановився) і тиск при зменшенні подачі насоса, МПа.

Осцилограми роботи ОГП автобетонозмішувача на пусковому, такому, що встановився, і гальмівному режимах показують:

– при завданні достатньо великої тривалості перехідного процесу максимальні тиски при пуску не перевищують значень, встановлених в технічній характеристиці на гідромашини, а мінімальний тиск не опускається нижче тиску підживлення (рис. 2, див. табл. 1);

– при скорочення часу перехідного процесу на режимах пуску і зупинки (рис. 3) ОГП схильний до інтенсивних коливань тиску, що перевищують допустимі, а мінімальний тиск при зупинці приймає негативне значення, сприяючи виникненню кавітації і втраті управління регулятором робочого об'єму насоса.

Таблиця 1

Значення тиску, отримані в ОГП автобетонозмішувача на режимах пуску, рівномірного обертання барабана і його зупинки

$V_{\text{с.б}} / J_{\text{п}}$	$tQ_{\text{нт.пуск}}$	$tQ_{\text{нт.ост}}$	$p_{\text{н.пуск}}$	$p_{\text{н.рег}}$	$p_{\text{н.раб}}$	$p_{\text{н.ост}}$
6 / 13600	23,5	40	45	33	15	2
9 / 20500	40	65	45	34	15	2
12 / 28500	68	89	45	33	15	2

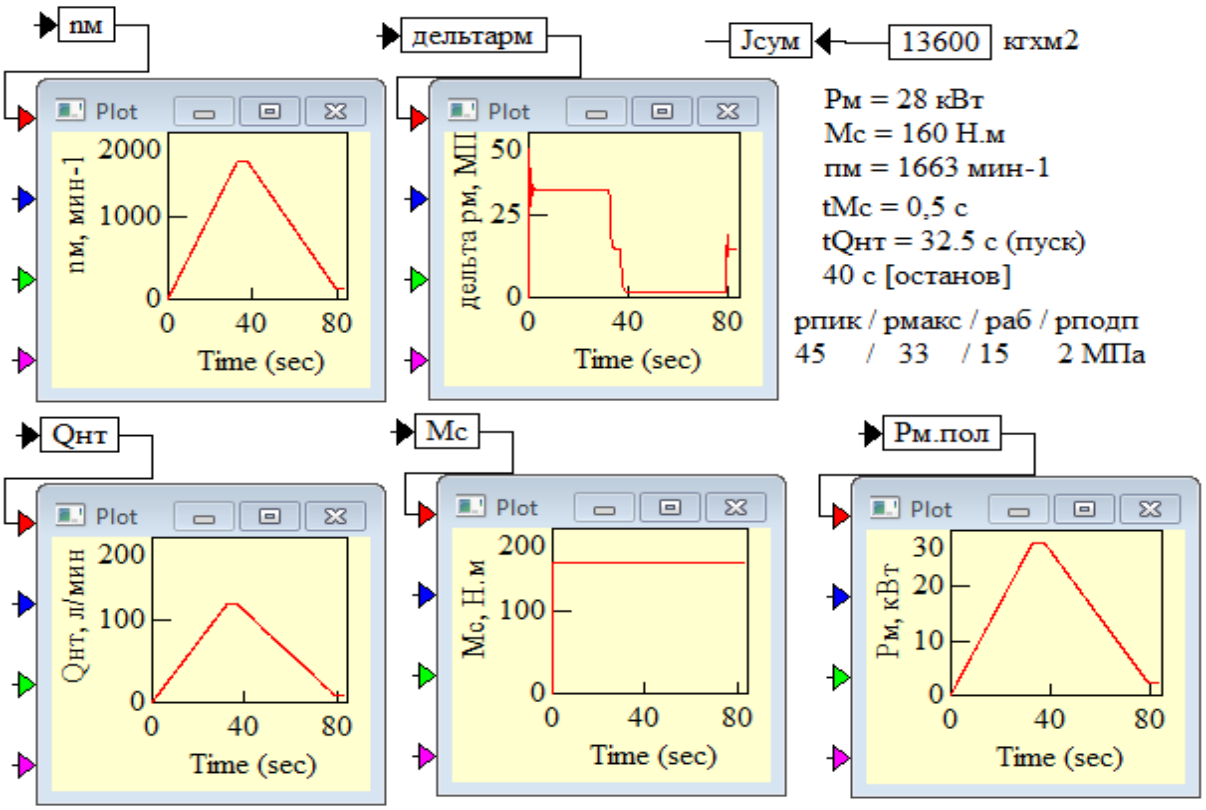


Рис 2. Пуск ОГП з минимальним тиском і зупинка без передумов кавітації завдяки збільшенню часу зміни подачи насоса

На рис. 4 приведені залежності необхідного мінімально допустимого часу зміни подачи насоса від моменту інерції автобетонозмішувача. Для розгону ОГП досить мінімальний час збільшення подачи насоса в інтервалі від 32 с до 68 с, при зупинці час зниження подачи стає істотнішим, не менше чим від 40 с до 90 с.

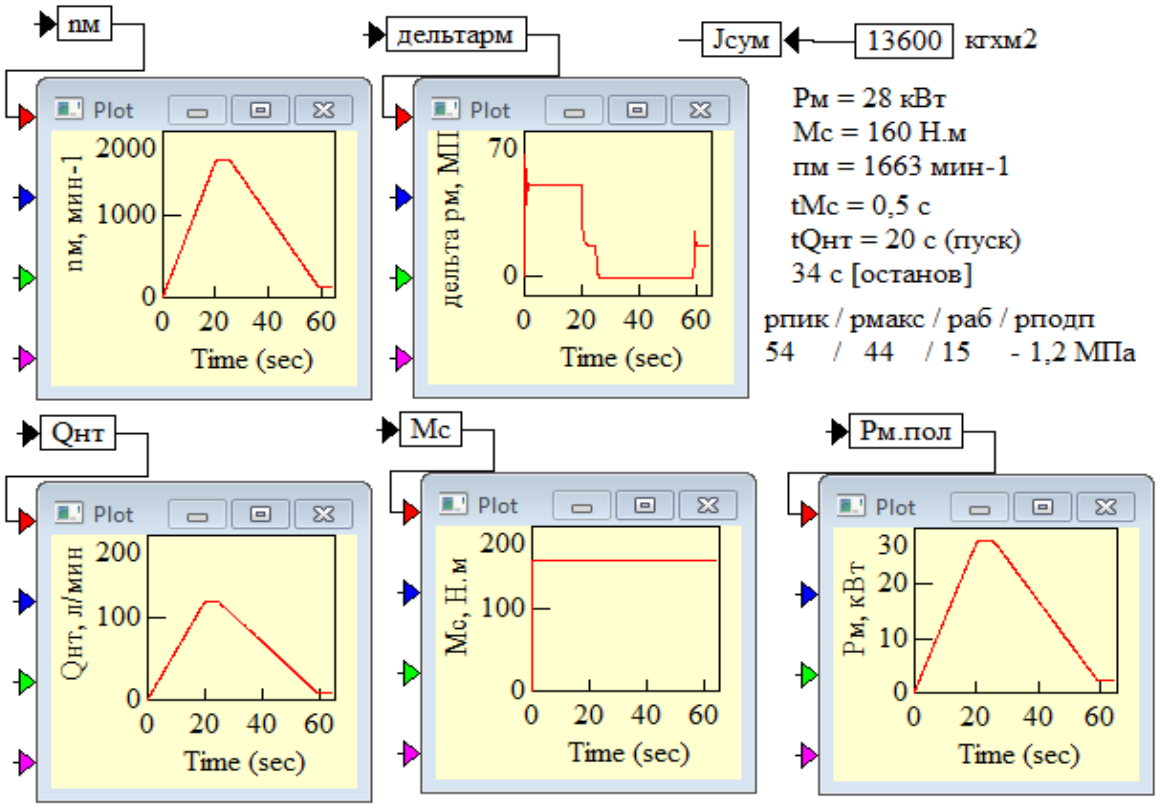


Рис. 3. Пуск ОГП з підвищеними тисками і зупинка в режимі кавітації із-за скороченого часу зміни подачи насоса

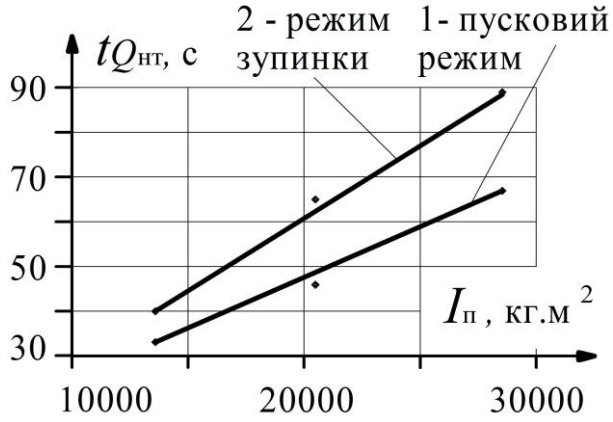
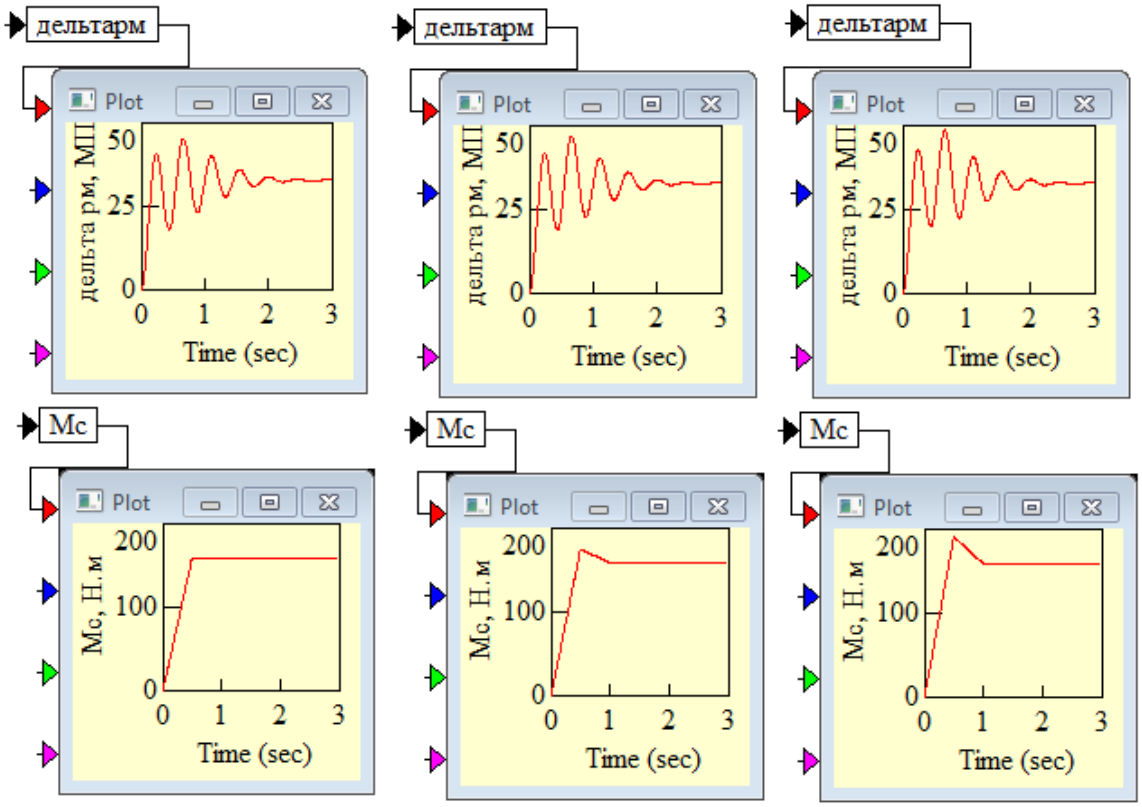


Рис. 4. Залежність мінімального часу зміни подачі насоса від моменту інерції автобетонозмішувача, що забезпечує обмежені значення коливань тиску в ОГП при пуску (1) і безкавітаційну роботу при зупинці (2)

На рис. 5 приведені результати вимірів коливань тиску, викликаних введенням в модель параметра k підвищення моменту опору із-за зниження гідромеханічного ККД гідромотора на режимі зрушування. Для зручності аналізу виділений тільки початковий етап перехідного процесу, що завершується стабілізацією тиску в ОГП. При цьому заданий момент опору збільшували від $k=1{,}0$ (160 Н.м, рис 5, а) до $k=1{,}1$ (176 Н.м, рис. 5, б), а максимальне значення тиску збільшувалося від 45,4 МПа до 47,15 МПа, тобто не більше ніж в 1,04 рази.



а б в

Рис. 5. Пусковий процес в ОГП при постійному моменті опору $k=1{,}0$ (а) і обліку зростання моменту опору до $k=1{,}1$ (б) і $k=1{,}2$ (в) із-за зниження гідромеханічного ККД гідромотора при зрушуванні

Коливальний процес завершується за 2 с при загальній кількості коливань не більше п'яти. При збільшенні до $k=1{,}2$ (рис. 5, в) максимальний тиск зростає до 49 МПа, тобто не більше ніж в 1,08 рази. Таким чином, можна зробити висновок про те, що залежно від пускових властивостей гідромотора (крутного моменту зрушування, який іноді класифікують як ККД пускового режиму при нульовій швидкості), пікове значення тиску в ОГП змінюється.

Використання в програмі VisSim режиму map чисельного призначення витрати від часу дозволяє широко варіювати параметрами роботи ОГП, а також проаналізувати його роботу в режимі

зниження частоти обертання гідромотора аж до повній зупинці змішувального барабану. Особливістю такого режиму являється збереження максимального моменту опору на гідромоторі і вірогідність виникнення кавітації в гідросистемі.

Усі розглянуті вище режими розглянуті при розгоні повністю завантаженого барабана бетонною сумішшю після зупинки приводного двигуна насоса ОГП. Виявлені при цьому скачки тиску є наслідком пуску при максимальних значеннях моменту опору і моменту інерції, і можливістю управління приводом тільки шляхом регулювання в часі подачі насоса. Такий режим може бути віднесений умовно до аварійного, особливо у разі, коли простій приводного двигуна стає тривалим і бетонна суміш починає застигати. У теж час штатний технологічний процес завантаження барабану змішувача характеризується поступовим збільшенням моментів опору і інерції у зв'язку зі збільшенням суміші у барабані. На рис. 6 і 7 представлені відповідні результати моделювання роботи ОГП при завантаженні барабана з введенням блоку map моменту інерції (для скорочення розмірів рисунка блок моменту інерції встановлений замість блоку потужності ОГП).

Навіть завдання в першому наближенні лінійної залежності зміни моментів інерції і опору при такому ж відносно невеликому часі зростання подачі насоса в 40 с дає відчутне зниження максимального тиску до 30 МПа в порівнянні зі значеннями більше 40 МПа у випадках запуску під навантаженням. Таким чином, при запуску ОГП з незаповненим сумішшю барабаном і поступовим збільшенням подачі насоса можна істотно понизити зростання тиску і ризик виходу з ладу гідромашин або зниження їх довговічності. Принципово можливе завдання різних за часом збільшення подачі насоса алгоритмів запуску гідропривода залежно від завантаженості барабана змішувача.

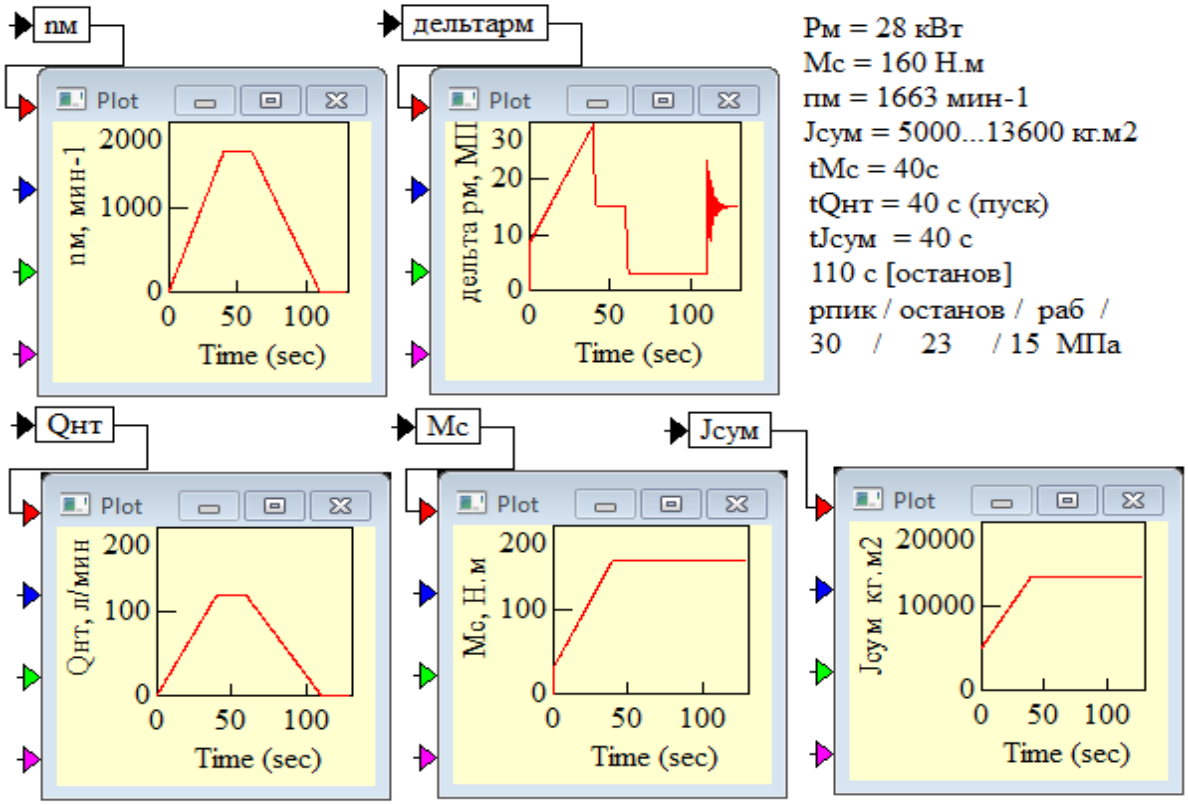


Рис. 6. Динаміка ОГП при завантаженні АБЗ бетонною сумішшю та зупинка обертання нерозвантаженого від суміши барабану

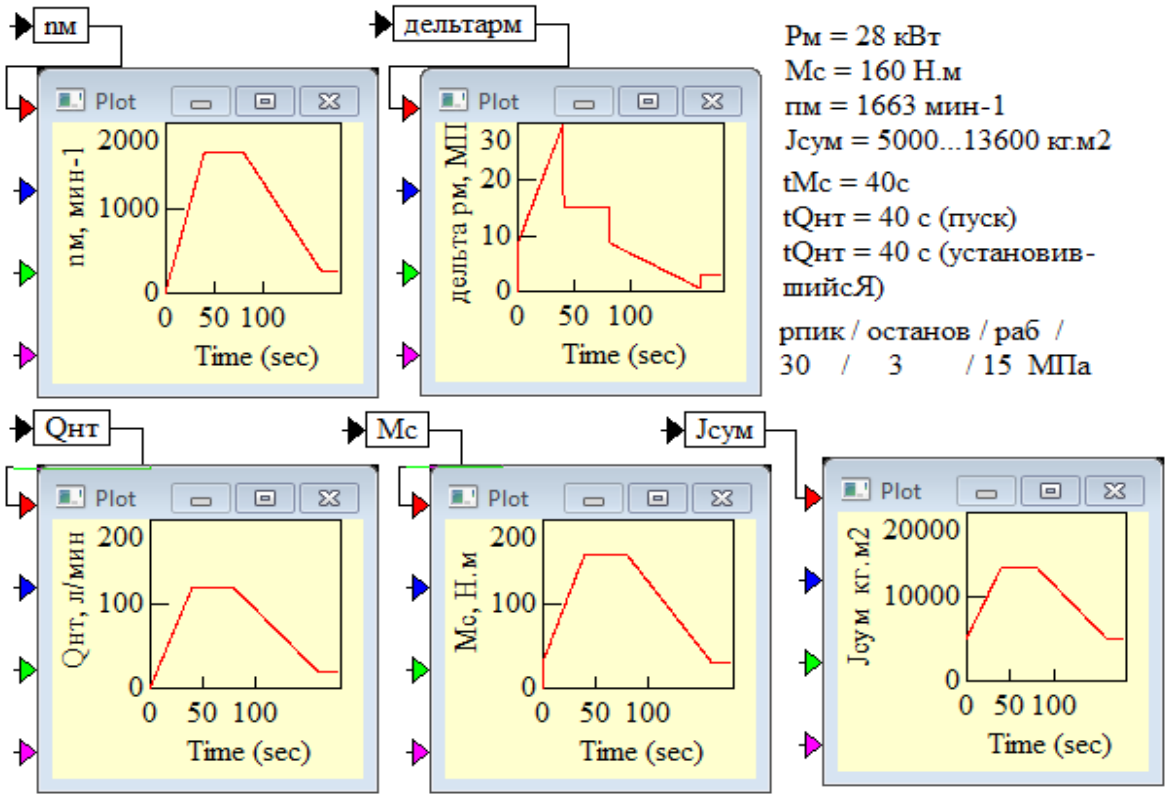


Рис. 7. Динаміка ОГП при завантаженні АБЗ бетонною сумішшю згідно рис. 6 та зупинка обертання після повного розвантаження барабану

В той же час при зупинці завантаженого барабану тиск в ОГП досягає значення в 23 МПа, що є також вище, ніж робочий тиск в 15 МПа.

При нормальному технологічному процесі розвантаження тиск также може бути суттєво знижений, як це показано на рис. 7 (не більше 3 МПа при зупинці). Таким чином, повний цикл технологічного процесу АБЗ може бути ретельно проаналізован і режими подачі насоса могуть бути досить оптимальними з точки зору зменшення скачків тиску та одночас мінімізації часу завантаження та розвантаження бетонної сумішші за допомогою ОГП.

Висновки

1. Моделювання динаміки об'ємного гідропривода шляхом завдання переменної подачі насоса за допомогою пакету VisSim-map дозволяє провести аналіз пускового режиму, режиму, що встановився, і гальмівного. При цьому можливо встановлення мінімально можливого часу підвищення і зниження подачі насоса, що забезпечує обмеження максимального тиску при пуску і безкавитаційну роботу гідропривода при гальмуванні.

2. Показаний істотний вплив моменту інерції змішувального барабана на необхідну тривалість зміни подачі насоса – для сучасних автобетонозмішувачів цей час знаходиться в діапазоні від 40 с до 90 с.

3. Введення в модель момента опору коефіцієнта, враховуючого зниження гідромеханічного ККД гідромотора при зрушуванні, дозволяє дати оцінку додатковому підвищенню тиску при пуску гідропривода.

4. Зміна часу виходу насоса на максимальну подачу не робить вплив на пульсацію частоти обертання гідромотора автобетонозмішувача.

Список литературы

1. Емельянова И.А. Машины и оборудование для возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона / И. А. Емельянова. – Харьков : Факт. – 376 с.

2. [Электронный ресурс] Автобетоносмесители компании Stetter. – Режим доступа: www.schwing-stetter.com.ua/stetter_catalog2.php

3. Rexroth. A Bosch Company. Axialkolben-Konstantmotor A2FM Baureihe 6x. – RD 91001/2019-09-17. – Ersetzt: 06.2012. –44 p.

4. Rexroth Bosch Group. Насос регулируемый A4VG. Для закрытых контуров. RRS 92 003/11.03. Взамен: 05.03. – 52 с.

5. SAUER-DANFOSS. Аксиальнопоршневые насосы. Серия Техн. информация (на русском языке). – 2004. – 71 с.

6. Axial Piston Pumps and Motors for Closed Circuit. Аксиально-поршневые насосы и гидромоторы для закрытых гидросистемю Series S, H, H2. – Гидросила. – www.hydrosila.com. – HS-AC-03/01.2018. – 96 с.

7. Bonfiglioli Forever Forward. Mobile Solutions. PRODUCTS RANGE. TR_CAT_RAMOB_STD_ENG_R03_0. – 44 p.

8. АО «Hidroinpex» – DAAC Group. – www.daac.md › company › ao-hidroinpex.

9. Лур'є З.Я. Метод поліпшення динамічних характеристик процесу пуску об'ємного гідропривода з замкненим ланцюгом циркуляції робочої рідини / З. Я. Лур'є, В. Б. Самородов, Г.А. Аврунін, Є.Н. Цента // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати: – Х.: – НТУ «ХПІ». – 2019. – № 2 (2019). – С. 68-76.

10. Аврунін Г. А. Гідравлічне обладнання будівельних та дорожніх машин: підручник / (Г. А. Аврунін, І. Г. Кириченко, В. Б. Самородов); під ред. Г. А. Авруніна. – Харків: ХНАДУ, 2016. – 438 с.

11. Мобильная гидравлика, мобильная электроника, приводы. Обзор программы. (на русском языке). Rexroth Bosch Group. The Drive & Control Company RRS 90 112/08.02. Printed in Poland. – 88 с.

12. Гидропривод. Основы и компоненты. Учебный курс по гидравлике, том № 1, заказной номер – RRS, издание 3.1. 2003 г. Издание 2 (на русском языке), Издатель :Бош Рексрот АГ Сервис Автоматизация Дидактика 64711, г. Эрбах, Германия. – 322 с.

13. ОАО «Стройгидравлика»: Каталог изделий : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http:// www.stroygidravlika.com.ua. – 31.03.2012. – Одесса: – 2008г. – 58 с.

14. Axial Piston Pump H1. Size 147/165. Single. Technical Information. – SAUER DANFOSS. – 11063347.Rev BC. Mar 2011. – 36 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ УЧАЩИХСЯ ШКОЛЫ

Демирсой Д.
Магистрант 2 курса
Факультета Информационных Технологий
Казахского Национального Университета имени Аль-Фараби

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING THE KNOWLEDGE OF SCHOOL STUDENTS

Demirsoy D.
2nd year undergraduate Faculty of Information Technology
Al-Farabi Kazakh National University

Аннотация

В наше время тестирование стало неотъемлемой частью проверки качества знаний учащихся. В последние годы тестирование, как метод оценки знаний, приобретает всё большую популярность. Вместе с традиционными формами тестирования широкое применение получило компьютерное, что соответствует общей концепции модернизации и компьютеризации системы образования. Автоматизированная система с мобильным приложением станет хорошим дополнением к уже устоявшейся системе по контролю знаний учащихся.

Abstract

In our time, testing has become an integral test of the quality of learners. During the years of testing, as a method of assessing the latest knowledge, it is gaining popularity. Along with the traditional forms of testing, computer testing is widely used, which corresponds to the concept of modernization and computerization of the education system. An automated system with a mobile application will complement the already established system for monitoring students' knowledge.

Ключевые слова: мобильное приложение, контроль знаний, модель клиент-сервер, передача состояния представления, интерфейс программирования приложения.

Keywords: mobile application, knowledge control, client-server model, representational state transfer, application programming interface.

Описание технологий и методов используемых для создания автоматизированной системы конроля знаний.

Разработанное программное обеспечение (далее ПО) должно быть:

- совместимо с устройствами на базе ОС Android 6.0 (и старше),

Серверная часть должна быть написана на языке программирования C# (ASP.NET MVC 5). Реализация серверной части должна поддерживать работу на базе серверов Microsoft с поддержкой MSSQL

Общие требования к дизайну экранов пользователя

По восприятию дизайн приложения должен быть простым и понятным для использования детьми. Главный экран будет состоять из элементов которые способствуют переходу между учебными предметами(например: Математика, Английский язык, История Казахстана и т.д.).

Дизайн страниц тестирования предметов будет состоять вопроса и вариантов ответа.

Внешний вид каждого из экранов пользователя должен быть разработан под оба положения экрана

мобильных устройств(вертикальное и горизонтальное).

Структура и описание административного интерфейса

Админ интерфейс будет разработан в виде Web-приложения.

Главная страница админ интерфейса — содержит ссылки для перехода к другим разделам интерфейса администратора. Администратор будет иметь возможности контроля аккаунтов пользователей, а также возможность загружать новые базы вопросов по предметам.

Группы пользователей

В рамках исследовательской работы предусмотрены следующие группы пользователей: Администратор — администратор может добавлять/удалять/изменять существующих пользователей. Назначать или изменять роли пользователей. Администратор должен иметь возможность создавать новые роли пользователей для дальнейшего назначения персональных или групповых скидок. Администратор или ответсвенное лицо с предоставленными возможностями, могу загружать вопросы предназначенные для тестирования учеников с целью оценки их знаний по пройденному материалу. Загрузка вопросов происходит путем их введения в специальном веб-приложении и конвертации его в специальный единый согласованный файловый фомрат, JSON или XML, который будет скачиваться непосредственно перед тестированием, и открываться приложением ввиде теста.

Учитель — пользователь, обладающий следующими возможностями:

Добавлять учеников в свой “класс”

Предварительный просмотр вопросов для тестирования

Устанавливать время для тестирования

Устанавливать количество вопросов в тестировании

Учащийся — пользователь, обладающий следующими возможностями:

Проходить тестирование

Просматривать итог тестирования

Работа над ошибками

Меню пользователя

Меню пользователя должно вызываться с помощью визуального активного элемента. Это может быть иконка меню либо направление, в котором надо потянуть экран для получения доступа к меню. Меню пользователя должно содержать ссылки для перехода на следующие пункты:

Главная

Регистрация

Вход(все пункты ниже доступны только для авторизованных

пользователей)

Кабинет

Профиль

Каталог предметов

Экран авторизации

Данный экран приложения содержит следующие элементы:

• Поле ввода логина пользователя, указанного при регистрации

• Поле ввода пароля пользователя, указанного при регистрации

• Ссылка для восстановления пароля на email указанный при регистрации

• Ссылка на экран регистрации пользователя

Экран регистрации пользователя

Данный экран представляет собой форму по заполнении которой пользователь получит email подтверждение прохождения процедуры регистрации в приложении. Так же после прохождения данной процедуры пользователь получит возможность войти в систему. После заполнения пользователем формы регистрации приложение должно автоматически переадресовывать пользователя на страницу авторизации.

Экран регистрации должен содержать следующие поля для заполнения:

• **ФИО пользователя** — Фамилия, Имя и Отчество пользователя

• **Логин пользователя** — никнейм пользователя, под которым он сможет проходить процедуру авторизации в приложении.

• **Пароль пользователя** — обязательно использование цифр и букв, минимальное количество символов — 6.

• **email пользователя** — поле, содержащее контактный адрес электронной почты пользователя для прохождения процедуры восстановления пароля, получения уведомлений от системы и администраторов.

Экран сдачи теста

Данный экран выводит список предметов для сдачи теста. После выбора самого предмета и нажатия кнопки “Начать тест”, начинается этап сдачи теста по выбранному предмету. Количество вопросов и варианты ответов задаются заранее на сервере и попадают в мобильное приложение путем скачивания файла Json, который открывается на самом приложении.

Модель клиент-сервер - это распределенная структура приложения, которая разделяет задачи или рабочие нагрузки между поставщиками ресурса или службы, называемыми серверами, и инициаторами запросов служб, называемыми клиентами. Часто клиенты и серверы обмениваются данными по компьютерной сети на отдельном оборудовании, но и клиент, и сервер могут находиться в одной системе. Хост сервера запускает одну или несколько серверных программ, которые делятся своими ресурсами с клиентами. Клиент не делится своими ресурсами, но запрашивает контент или услугу с сервера. Таким образом, клиенты инициируют сеансы связи с серверами, ожидающими входящих запросов. Примерами компьютерных приложений, использующих модель клиент-сервер, являются электронная почта, сетевая печать и World Wide Web.

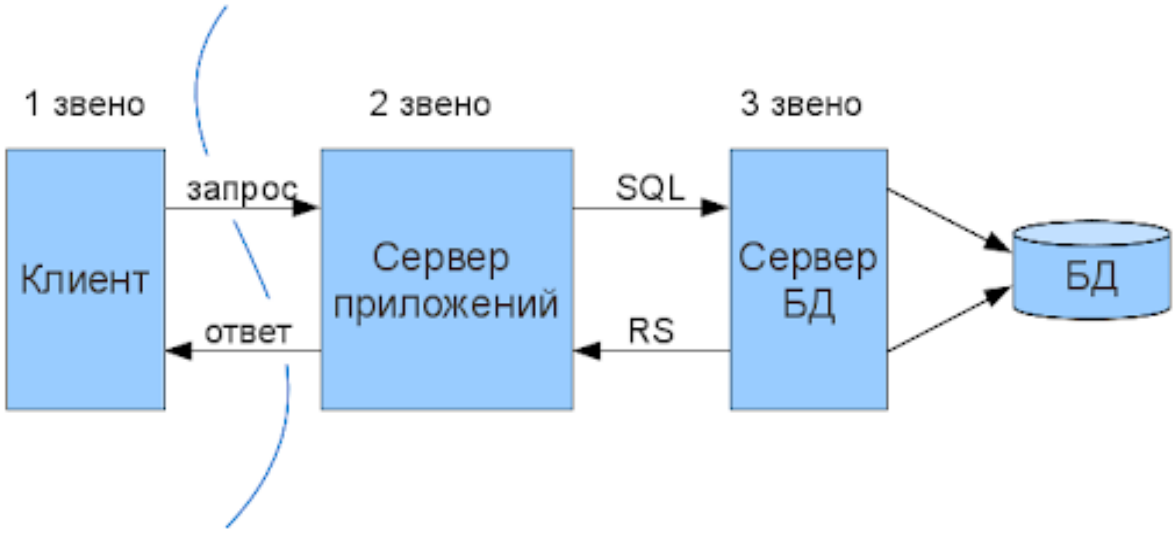
Характеристика клиент-сервер описывает отношения взаимодействующих программ в приложении. Серверный компонент предоставляет функцию или услугу одному или нескольким клиентам,

которые инициируют запросы на такие услуги. Серверы классифицируются по предоставляемым ими услугам. Например, веб-сервер обслуживает веб-страницы, а файловый сервер - компьютерные файлы. Общий ресурс может быть любым программным обеспечением и электронными компонентами серверного компьютера, от программ и данных до процессоров и запоминающих устройств. Совместное использование ресурсов сервера составляет услугу.

Клиенты и серверы обмениваются сообщениями по схеме «запрос – ответ». Клиент отправляет запрос, а сервер возвращает ответ. Этот обмен сообщениями является примером межпроцессного взаимодействия. Для взаимодействия компьютеры должны иметь общий язык, и они должны следовать правилам, чтобы и клиент, и сервер знали, чего ожидать. Язык и правила общения определены в протоколе связи. Все протоколы клиент-сервер работают на уровне приложений. Протокол прикладного уровня определяет основные шаблоны диалога. Чтобы еще больше формализовать обмен данными, сервер может реализовать интерфейс прикладного программирования (API). API - это уровень абстракции для доступа к сервису. Ограничивая связь определенным форматом контента, он облегчает синтаксический анализ. Абстрагируя доступ, он упрощает межплатформенный обмен данными.

В модели клиент-сервер сервер часто предназначен для работы как централизованная система, обслуживающая множество клиентов. Требования к вычислительной мощности, памяти и хранилищу сервера должны соответствовать ожидаемой рабочей нагрузке. Системы балансировки нагрузки и аварийного переключения часто используются для масштабирования сервера за пределы одной физической машины.

Сервер может получать запросы от множества различных клиентов за короткий период времени. Компьютер может выполнять только ограниченное количество задач в любой момент и полагается на систему планирования для определения приоритетов входящих запросов от клиентов для их удовлетворения. Чтобы предотвратить злоупотребления и максимизировать доступность, серверное программное обеспечение может ограничивать доступность для клиентов. Атаки типа «отказ в обслуживании» предназначены для использования обязанности сервера обрабатывать запросы путем перегрузки его чрезмерной частотой запросов. Если конфиденциальная информация должна передаваться между клиентом и сервером, следует применять шифрование.



REST (от англ. Representational State Transfer — «передача состояния представления») — архитектурный стиль взаимодействия компонентов распределённого приложения в сети. REST представляет собой согласованный набор ограничений, учитываемых при проектировании распределённой гипермедиа-системы. В определённых случаях (интернет-магазины, поисковые системы, прочие системы, основанные на данных) это приводит к повышению производительности и упрощению архитектуры. В широком смысле компоненты в REST взаимодействуют наподобие взаимодействия клиентов и серверов во Всемирной паутине. REST является альтернативой RPC.

В сети Интернет вызов удалённой процедуры может представлять собой обычный HTTP-запрос (обычно GET или POST; такой запрос называют «REST-запрос»), а необходимые данные передаются в качестве параметров запроса.

Для веб-служб, построенных с учётом REST (то есть не нарушающих накладываемых им ограничений), применяют термин «RESTful».

В отличие от веб-сервисов (веб-служб) на основе SOAP, не существует «официального» стандарта для RESTful веб-API. Дело в том, что REST является архитектурным стилем, в то время как SOAP является протоколом. Несмотря на то, что REST не является стандартом сам по себе, большинство RESTful-реализаций используют такие стандарты, как HTTP, URL, JSON и XML (но XML зачастую не принято использовать).

Свойства архитектуры, которые зависят от ограничений, наложенных на REST-системы:

- Производительность — взаимодействие компонентов системы может являться доминирующим фактором производительности и эффективности сети с точки зрения пользователя;
- Масштабируемость для обеспечения большого числа компонентов и взаимодействий компонентов.

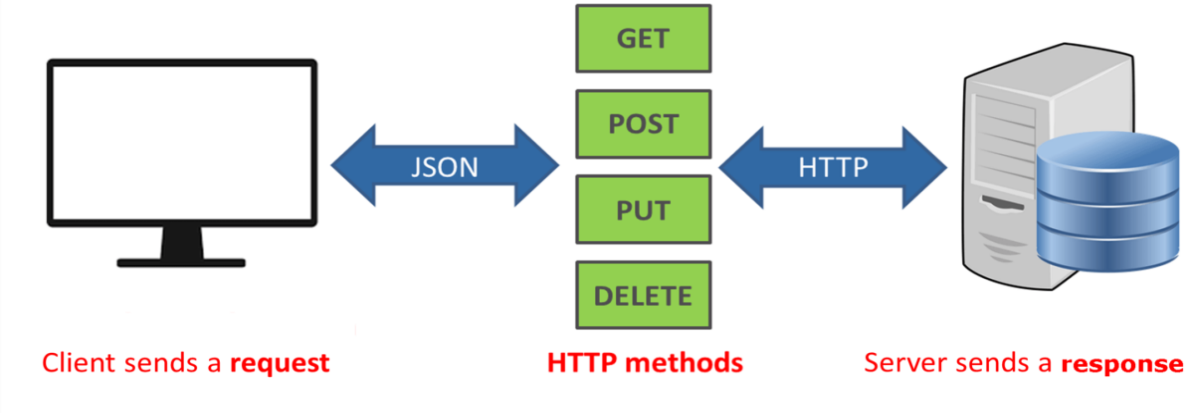
Рой Филдинг — один из главных авторов спецификации протокола HTTP, описывает влияние архитектуры REST на масштабируемость следующим образом:

- Простота унифицированного интерфейса;
- Открытость компонентов к возможным изменениям для удовлетворения изменяющихся потребностей (даже при работающем приложении);
- Прозрачность связей между компонентами системы для сервисных служб;
- Переносимость компонентов системы путем перемещения программного кода вместе с данными;
- Надёжность, выражающаяся в устойчивости к отказам на уровне системы при наличии отказов отдельных компонентов, соединений или данных.

Выполнение этих ограничительных требований обязательно для REST-систем. Накладываемые ограничения определяют работу сервера в том, как он может обрабатывать и отвечать на запросы клиентов. Действуя в рамках этих ограничений, система приобретает такие желательные свойства как производительность, масштабируемость, простота, способность к изменениям, переносимость, отслеживаемость и надёжность.

Филдинг указывал, что приложения, не соответствующие приведённым условиям, не могут называться REST-приложениями. Если же все условия соблюдены, то, по его мнению, приложение получит следующие преимущества:

- Надёжность (за счёт отсутствия необходимости сохранять информацию о состоянии клиента, которая может быть утеряна);
- Производительность (за счёт использования кэша);
- Масштабируемость;
- Прозрачность системы взаимодействия (особенно необходимая для приложений обслуживания сети);
- Простота интерфейсов;
- Портативность компонентов;
- Лёгкость внесения изменений;
- Способность эволюционировать, приспосабливаясь к новым требованиям (на примере Всемирной паутины).



Список литературы

1. Программирование баз данных SQL. Типичные ошибки и их устранение. Карвин Б., 2012
2. SQL. Полное руководство. 3-е издание. Джеймс Р. Грофф, Пол Н. Вайнберг, Эндрю Дж. Оппель, 2015.
3. Изучаем SQL. Бейли Л., 2012
4. Базы данных. Язык SQL Ржеуцкая С.Ю., 2010
5. C# для чайников. Мюллер Д. П., 2019
6. Язык программирования C# 7 и платформы .NET и .NET Core Тоелсен. Э., Джепикс Ф., 2019
7. C# 7.0. Справочник. Полное описание языка. Албахари Дж., Албахари Б., 2018
8. C#. Программирование для профессионалов. 4-тое издание Скит Дж., 2019
9. Чистый код: создание, анализ и рефакторинг. Библиотека программиста. Мартин Р., 2013
10. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения. Мартин Р., 2018
11. REST API Design Rulebook Macce. M., 2011
12. RESTful Web APIs: Services for a Changing World. Ричардсон. Л., 2013
13. RESTful Web Services. Ричардсон Л., Раби С., 2007

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В УПРАВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ УЧРЕЖДЕНИЯМИ

Азанов Н.П.
Кандидат физ.-мат. наук, доцент
Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби
Казахстан, г. Алматы
Ибдиминов Р.Р.
Магистрант факультета Информационных Технологий
Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби
Казахстан, г. Алматы

INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEMS IN MANAGEMENT OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Azanov N.
PhD in Physics and Mathematics
Al-Farabi Kazakh National University
Kazakhstan, Almaty
Ibdiminov R.
Master's degree student of the Faculty of Information Technologies
Al-Farabi Kazakh National University
Kazakhstan, Almaty

Аннотация

В современных условиях в системе образования происходят изменения, приводящие к всестороннему использованию компьютерных технологий в процессе обучения и преподавания. В связи с этим возникает необходимость внедрения систем, позволяющих контролировать деятельность образовательных учреждений и оптимизировать их работу.

В статье описываются возможности использования информационно-аналитических систем в управлении деятельностью учебным заведением, рассматриваются структура аналитической системы вуза, применяемые технологии, требования к функциям и методам системы. Обоснована польза от применения информационно-аналитических систем в сфере образования.

Abstract

In modern conditions, changes are taking place in the education system, leading to the comprehensive use of computer technologies in the process of teaching and learning. In this regard, there is a need to introduce systems that allow us to monitor the activities of educational institutions and optimize their work.

The article describes the possibilities of using information and analytical systems in managing the activities of an educational institution, examines the structure of the analytical system of the university, the technologies used, requirements for the functions and methods of the system. The benefits of using information and analytical systems in the field of education are substantiated.

Ключевые слова: информационно-аналитическая система, образовательная система, Business Intelligence, архитектура информационной системы.

Keywords: information and analytical system, educational system, Business Intelligence, information system architecture.

Введение

В нынешнее время, особенно в период всемирной пандемии коронавируса, остро встает вопрос управления деятельностью высших учебных заведений. Многочисленные трудности управления университетами и институтами, сложный характер их деятельности, большое количество форм и видов учебной, научной и хозяйственной деятельности, изменения направления в обучении, разносторонние источники финансирования, потребность в ведении постоянного учета – все эти факторы определяют необходимость адаптации к изменениям в экономике и анализа рынка труда и образовательных услуг [1].

Главная проблема в данной области состоит в обеспечении непрерывности образовательного процесса с сохранением его эффективности и применении приобретенного отечественной системой образования опыта на практике [2]. В связи с введением дистанционной формы обучения в вузах и школах встал вопрос о том, как стоит поддерживать текущий уровень образования обучающихся. Для этого было принято решение о расширении внедрения в образовательный процесс компьютерных технологий на всех уровнях его функционирования.

Поэтому решение проблемы управления деятельностью учебных заведения должно лежать в разработке средств, отвечающих современным требованиям. Такими средствами являются информационно-аналитические системы.

Разработка и внедрение средств информационного анализа и всестороннего мониторинга качества образовательных услуг должно предоставить

возможность высокоэффективного управления учебным заведением и оперативного реагирования на возникающие вызовы и трудности со стороны государства и общества [3].

Информационно-аналитические системы – это комплексное средство, предназначенное для поддержки принятия стратегических решений, а также решения конкретных задач в рамках выбранной сферы деятельности и облегчения ее функционирования.

Характерной особенностью образовательных учреждений является то, что руководство получает информацию об обучающихся через различные бланки, анкеты и пр. Информация в таких документах является разрозненной и не дает возможности проводить эффективный анализ внутренних данных, не говоря уже о принятии ключевых решений и направлений касательно процесса обучения.

Следовательно, проблема сбора и анализа разрозненной информации решается средствами информационно-аналитических систем. Для всего учебного заведения создается хранилище данных, что позволяет систематизировать и сортировать данные о студентах, повысить доступность данных для руководства вуза и даст возможность быстрого и эффективного анализа полученных данных для принятия решений [4].

Методы и технологии

Любое высшее образовательное учреждение представляет собой разносторонний информационный набор объектов с множеством взаимосвязанных процессов, касающихся всевозможных видов деятельности и обеспечивающих работу вуза. Взаимодействие этих процессов обычно представлено в виде следующих блоков [5]:

– административно-управленческий;

– административно-хозяйственный;

– образовательный;

– научно-инновационный;

– управления информационными технологиями и ресурсами.

Результатом разработки информационно-аналитической системы для учебного заведения должен стать программный продукт, дающий возможность рассмотреть и проанализировать собранную информацию. Поэтому ИАС следует проектировать таким образом, чтобы она обеспечивала взаимодействие всех вышеуказанных блоков без необходимости их вынужденной стыковки. Для этой задачи применяется технология BI.

Business Intelligence - методика анализа данных, инструментарий извлечения обработанной информации из хранилищ данных, применяемый для усовершенствования принятия управленческих решений. BI использует средства преобразования большого количества необработанных и неструктурированных данных в форму, пригодную для анализа и удобную пользователям [6].

В ее структуру входят транзакционные системы, технология интеллектуальной обработки данных, технологии OLAP и т.д., позволяющие просматривать данные в удобном для пользователя виде.

Чтобы обеспечить возможность применения подобных технологий, разработчикам аналитической системы вуза предстоит построить многомерное хранилище данных, а также обеспечить внедрение в систему процедур загрузки и анализа данных [4].

Все эти технологии Business Intelligence, архитектура приложений и хранилище данных составляют структуру разрабатываемой информационно-аналитической системы учебного заведения. Отказоустойчивость и поддержку работы системы обеспечивают различные средства технической архитектуры, сетевое оборудование и пр. [7].

В результате полученная аналитическая система учебного заведения, построенная с применением современных средств и технологий, призвана обеспечить набор инструментов для руководства вуза, а также помочь оптимизировать процессы и потоки данных между субъектами [8]. Схема движения данных такой системы представлена на рис. 1.

Рис. 1.

Процесс сбора и движения информации при наличии единой информационно-аналитической системы

Помимо информационной и аналитической функций, разработанная система должна будет также обеспечить реализацию консультационной и организационно-методической функций [2], позволяющих решить спектр задач информационного обеспечения в системе образования страны.

Обсуждение

Наличие и возможность применения в современных информационно-аналитических системах разного рода источников информации обеспечивает эффективное хранение данных в хранилище. Объединение и преобразование входящей информации осуществляется посредством процедур извлечения, трансформации и загрузки данных в хранилище данных (ETL).

Дальнейший анализ загруженной информации осуществляется с помощью современных программ, позволяющих анализировать данные, прогнозировать и моделировать возможное поведение системы, в нашем случае – деятельности высшего учебного заведения [9].

При этом важной задачей разработанной информационно-аналитической системы является обеспечение постоянного доступа к аналитическим данным. Немаловажной проблемой всех систем также является защита данных от несанкционированного доступа, как со стороны внутренней сети организации, так и внешних источников.

Архитектура современной информационно-аналитической системы (рис. 2) насчитывает следующие уровни [10]:

1. сбор и первичная обработка данных;
2. извлечение, преобразование и загрузка данных;
3. складирование данных;
4. представление данных в витринах данных;
5. анализ данных.

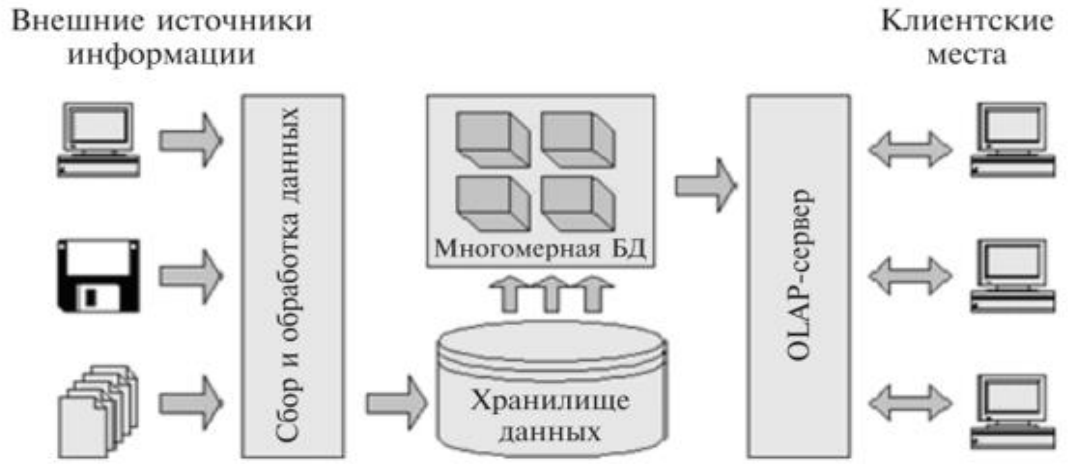


Рис. 2. Архитектура информационно-аналитической системы

Виды анализируемой информации определяют то, как будет функционировать информационно-аналитическая система управления деятельностью учебного заведения. Эта информация необходима руководству вуза для определения оптимального направления развития процесса обучения и повышения общего уровня работы вуза. Анализ и вывод подобных данных осуществляется по соответствующим характеристикам, а также должен соответствовать требованиям, заданным системой образования [3]. Поэтому планирование архитектуры и взаимодействия блоков системы является одним из важнейших этапов жизненного цикла разработки аналитической системы.

Отдача от внедрения в учебном заведении такой информационно-аналитической системы будет всецело зависеть от правильности ее проектирования с учетом всех необходимых требований. Но, в конечном счете, результатом ее внедрения станут возможности долгосрочного планирования учебного процесса, оперативного принятия важных решений, прогнозирования направления обучения и пр. Среди прочего, значительное повышение обоснованности принимаемых решений на основе полученной посредством анализа информации позволит достичь большей эффективности управления учебным заведением [1].

Система должна обеспечивать поддержку деятельности высших учебных заведений по широкому кругу вопросов, связанных с учебной, научной, педагогической, управленческой деятельностью вуза и т.д.

Взаимодействие функциональных блоков системы и автоматизация документооборота внутри учебного заведения определяют оперативный уровень разработки и внедрения информационно-аналитической системы. На тактическом уровне решается задача управления учебно-образовательными процессами, их характеристиками и показателями, а также научно-педагогической деятельностью. Основой стратегического уровня ИАС является обеспечение администрации учебного заведения необходимыми инструментами анализа информации, непрерывно поступающей в систему, а также системное решение вопроса увеличения эффективности учебно-образовательных процессов в долгосрочной перспективе [2].

Разрабатываемые системы информационного анализа в различных учреждениях образования должны отражать существующее положение дел и сложившуюся методологию в сфере образования

благодаря возможностям современных IT-технологий.

Следует учесть, что информационно-аналитическая система управления деятельностью вуза имеет много общего с подобными системами, применяемыми на предприятиях, но ее уникальность заключается в необходимости обеспечения качества процесса обучения в вузе с учетом изменений в системе образования. В силу своей специфики информационная система вуза, наряду с универсальными технологиями и методами, должна содержать иметь мощное средство моделирования и прогнозирования изменений и направлений развития в системе образования.

Выводы

В современных условиях в сфере образования требуется новый подход к управлению образовательным процессом. Информационно-аналитические системы – удобный комплекс инструментов для анализа данных, протекающих в образовательной среде.

Применение систем интеллектуального анализа данных в высших учебных заведениях позволит автоматизировать и усовершенствовать организацию образовательных процессов в учебной, научно-педагогической и управленческой деятельности вуза, а также поддерживать текущий уровень образования. Такой результат достигается путем продуманного проектирования архитектуры системы, взаимодействия функциональных модулей, использования современных средств обработки и хранения данных.

Тем самым, изменения в сфере образования в сторону увеличения использования компьютерных технологий и аналитических систем в управлении образовательными учреждениями могут положительно повлиять на дальнейшее развитие системы образования.

Список литературы

1. Титова Г.С. Информационно-аналитическая система в управлении подготовкой специалистов вуза // Инновации в информационно-аналитических системах. – 2011. – №1. – с. 58.

2. Нестеров А.К. Информационно-аналитические системы в образовании // Энциклопедия Нестеровых. – 2016. URL: http://odiplom.ru/lab/informacionno-analiticheskie-sistemy-v-obrazovanii.html (дата обращения: 23.11.2020).

3. Митин А.И., Филичева Т.А. Информационно-аналитическая система мониторинга качества профессиональной подготовки // Открытое образование. – 2013. – №4. – с. 46.

4. Ильин А. А., Арзамасцев А. А., Головкин М. С., Ермаков А. С., Юрьева Е. В. Построение информационно-аналитической системы для управления деятельностью университета // Вестник ТГУ. Математика. – 2006. – №5. – с. 698.

5. Нестеров М.И. Модель информационно-аналитической системы высшего учебного заведения, основанная на архитектурном подходе // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2013. – № 4. – с. 150.

6. Ускенбаева Р. К. Использование «Business Intelligence» для оптимизации бизнес процессов в сфере консалтинга. - Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 10 (114). — с. 98-101. — Режим доступа: https://moluch.ru/archive/114/30242/ (дата обращения: 25.11.2020).

7. Нестеров, М.И. Эффективность управления рабочими процессами в университете посредством персонализированного кабинета корпоративной информационной системы на примере издательской деятельности высшего учебного заведения // Управление в социальных и экономических системах: сб. науч. тр. / под ред. О.В. Логиновского. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2011. – № 1. – с. 29.

8. Логиновский О.В., Нестеров М.И., Шестаков А.Л. Корпоративная информационно-аналитическая система крупного вуза как эффективный инструмент повышения качества управления // Известия высших учебных заведений. Уральский регион. – 2013. – № 1. – с. 44.

9. Мамаева Н.В., Милютин Л.Б., Николенко В.Н., Федосеев А.И. Современный подход к построению информационно-аналитической системы состояния и развития научной сферы в вузах // Открытое образование. – 2014. – №6. – с. 35.

10. Волков И., Галахов И. Архитектура современной информационно-аналитической системы // Директор ИС. – 2002. – № 3.

ПРОДУКТИ МОДИФІКАЦІЇ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ ЯК БІОМАСТИЛА

Касьяненко Л.М.
Аспірант кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна
Демидов І.М.
Доктор технічних наук, професор кафедри технології жирів та продуктів бродіння, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна
Мольченко С.М.
Кандидат технічних наук, доцент кафедри технології жирів та продуктів бродіння; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

PRODUCTS OF MODIFICATION OF SUNFLOWER OIL AS BIO-LUBRICANTS

Kasianenko L.
Postgraduate student, Department of Technology of Fats and Fermentation Products, NTU "KhPI", Kharkov, Ukraine
Demydov I.
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology of Fats and Fermentation Products, NTU "KhPI", Kharkov, Ukraine
Molchenko S.
Candidate of Technical Sciences, Lecture of the Department of Technology of Fats and Fermentation Products, NTU "KhPI", Kharkov, Ukraine

Анотація

У статті досліджено процес взаємодії епоксидованої соняшникової олії з жирними кислотами, розроблено технологію одержання мастильних матеріалів на основі соняшникової олії шляхом її епоксидування з подальшим хімічним перетворенням продукту для отримання основи мастильних матеріалів. Обґрунтовано методи отримання базових мастил з альтернативних джерел (відновлюваної сировини), зокрема завдяки переробці олій. Жирні кислоти, що використовувалися, мають різну молекулярну масу, тобто і продукти реакції відмінні за цим показником, що дає змогу дослідити та зробити висновки про її вплив на трибологічні властивості. Визначено в'язкісно-температурні властивості отриманих продуктів. Результати проведеної роботи вказують на перспективність і доцільність подальших досліджень у галузі одержання кисневмісних похідних олій з метою визначення оптимальних умов проведення зазначеної хімічної модифікації.

Abstract

The process of interaction of epoxidized sunflower oil with fatty acids is investigated in the article, the technology of obtaining lubricants on the basis of sunflower oil by its epoxidation with the subsequent chemical transformation of the product to obtain the basis of lubricants is developed. Methods of obtaining base lubricants from alternative sources (renewable raw materials), in particular due to oil processing, are substantiated. The fatty acids used have different molecular weights, ie the reaction products are different in this respect, which allows us to investigate and draw conclusions about its effect on tribological properties. The viscosity-temperature properties of the obtained products are determined. The results of this work indicate the prospects and feasibility of further research in the field of obtaining oxygen-containing derivative oils in order to determine the optimal conditions for this chemical modification.

Ключові слова: біомастильні матеріали, соняшникова олія, жирні кислоти, хімічна модифікація, епоксидування, в'язкісно-температурна характеристика.

Keywords: bio-lubricants, sunflower oil, fatty acids, chemical modification, epoxidation, viscosity-temperature characteristic.

Вступ. На сьогодні важливим є вирішення питання екології стосовно заміни палива і мастил на основі нафти. Значними джерелами забруднень навколишнього середовища є мастильні матеріали, як свіжі, так і відпрацьовані. Це обґрунтовано низькою біорозкладністю мінеральних і синтетичних мастил та продуктами, що утворюються під час їх експлуатації. Запаси нафти є вичерпними, тому пошук альтернативних джерел для виготовлення мастил набув актуальності. Відносна дешевизна, доступність та відновлюваність сировинних ресурсів в порівнянні з нафтовими і синтетичними продуктами нині обумовлюють доцільність робіт щодо застосування олій та жирів як альтернативи нафтопродуктам. Об'єктом дослідження є процес взаємодії епоксидованої соняшникової олії з жирними кислотами (ЖК). Метою роботи є розробка технології одержання мастильних матеріалів на основі соняшникової олії шляхом епоксидування олії з наступним хімічним перетворенням продукту в естери для отримання основи мастильних матеріалів.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Відомо, що в багатьох провідних країнах ведуться роботи з метою отримання на

базі олій мастильних матеріалів, присадок і пластичних мастил, найбільш інтенсивно – в США, Англії, ФРН, Австрії. В літературі представлена велика кількість робіт пошуку альтернативи нафтопродуктам, більшість з яких стосується хімічної обробки олій з метою їх використання в якості присадок до нафтопродуктів та як основа мастил [1-5]. Рослинні матеріали, що використовують для виробництва мастил на біологічній основі, можуть відрізнятися в різних країнах через кліматичні та географічні чинники. Наприклад, ріпакову й соняшникову олії часто використовують у Європі, тоді як соєву олію в основному використовують у США. Досить поширеним матеріалом, особливо для двотактних двигунів, є рицинова олія, яка в цьому дослідженні використовувалась для порівняння [6]. Україна є світовим лідером за об'ємом експорту соняшникової олії, поставляючи на зовнішні ринки більш ніж 50% всього світового експорту цього продукту [7]. Оскільки соняшникова олія є головною олійною культурою нашої країни, тому доцільним буде використовувати її не лише для харчової промисловості, а й для технічних цілей (особливо, коли олія не відповідає ДСТУ 4492:2017).

За хімічним складом олії являють собою триацилгліцероли –естери гліцерину і вищих одноосновних карбонових кислот, як насичених (стеаринової, пальмітинової), так і ненасичених (олеїнової, лінолевої), що мають різний вплив на триботехнічні характеристики. Виходячи із складу олій, ЖК діють як поверхнево-активні речовини (ПАР), їх естери утворюють мастильну плівку на поверхні тертя, жирні спирти виступають в ролі своєрідних розчинників. Специфічний склад олій обумовлює їх унікальні властивості як мастильних матеріалів.

Слід зазначити, що навіть мононенасичені ЖК ряду C_{12}-C_{18} погіршують низькотемпературну поведінку мастила. Незважаючи на те, що мастила на біологічній основі мають низьку окислювальну стабільність порівняно з мінеральними мастилами, вони не здатні довго витримувати температуру понад 80°С [6, 8]. Біологічні мастила також менш гідролітично стійкі, тож створюють більше піни і знижують фільтрованість порівняно з мінеральними мастилами. Вище названі недоліки можна усунути шляхом хімічної модифікації олій. Задля введення в молекулу ТАГ додаткових функціональних груп та для збільшення окисної стійкості соняшникової олії було проведено епоксидування соняшникової олії. Внаслідок цього у радикалі жирної кислоти значно зменшується кількість ненасичених зв'язків, наявність яких виступає потужним фактором, що стимулює окиснення жирів. Продукт епоксидування може надалі набути хімічних модифікацій, спрямованих на взаємодію з епоксидною групою.

Визначення основних критеріїв дослідження. Епоксидування олії проводили надоцтовою кислотою [9, 10]. Отримання надкислоти і епоксидування здійснюють в одну стадію, при цьому олія епоксидується надкислотами в момент її утворення. Окиснення соняшникової олії відбувалося системою H_2O_2–CH_3COOH у присутності H_2SO_4. Додавання окисної системи проводили, дозуючи при постійному перемішуванні компоненти реакційної суміші, притримуючись температурного інтервалу 50-55 ^{0}С. Після внесення окисної суміші температуру у реакторі підвищують до 70-85 ^{0}С впродовж заданого часу не припиняючи перемішування. Потім проводили багатократну промивку розчином соди та дистильованою водою до pH=7. Отриманні продукти епоксидування представляють собою в'язкі речовини від молочного до ледь жовтого кольору. Тривалість першої стадії, а саме накопичення пероксидів залежить від температури, а тривалість епоксидування варіювали від 90 до 250 хв. Контроль за ходом реакції епоксидування здійснювався шляхом аналітичних вимірювань кислотного, йодного, пероксидного та епоксидних чисел.

Взаємодія жирних кислот з епоксидованою олією. Епоксиди дуже легко реагують з сильними нуклеофілами. Кислоти значно збільшують реакційну здатність епоксидів, приєднуючи протон до атома оксигену. При взаємодії епоксидів з ЖК утворюються оксикислоти [11]. Схема реакції епоксидованої олії з ЖК представлена на рис. 1

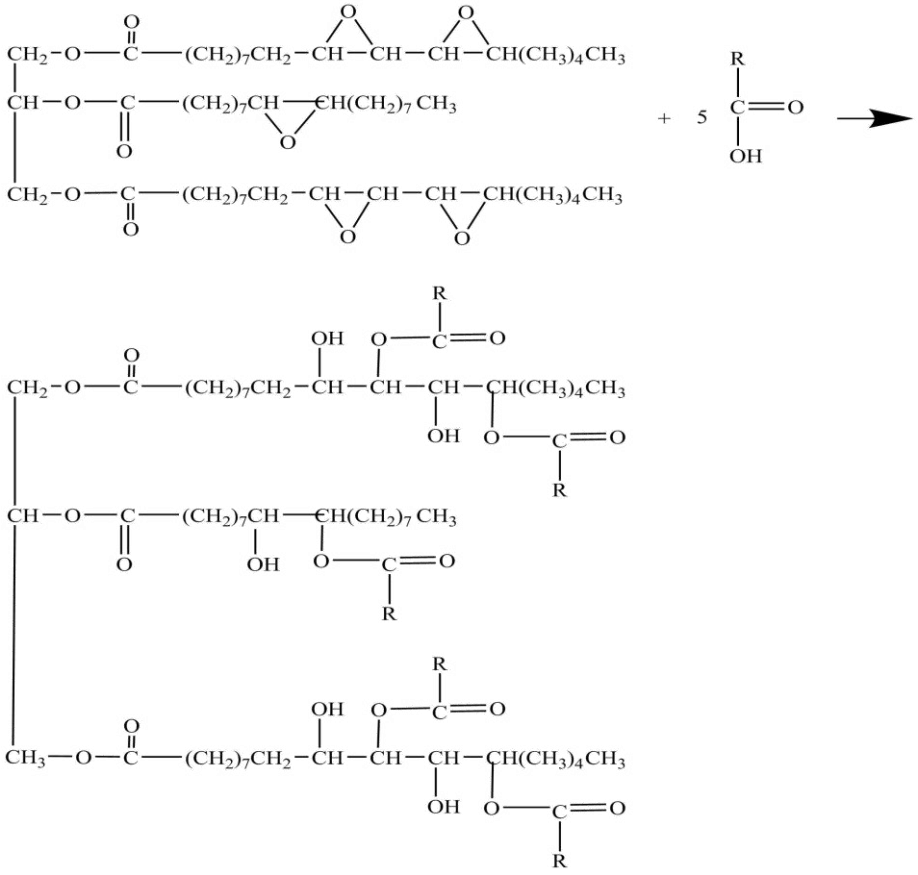


Рисунок 1. Схема взаємодії епоксидованої олії з ЖК

Як відомо, гідроксильна група позитивно впливає на мастильні характеристики продукту. Окрім введення гідроксилної групи ще подовжується вуглецевий ланцюг за рахунок утворення ефірного зв'язку. Взаємодія епоксидованої олії і ЖК відбувається при співвідношенні 1:1 епоксидних груп до ЖК кількісно. Реакція проходить у реакторі зі зворотним холодильником за постійного перемішування та температурі кипіння розчинника (хлороформу).

Характеристика одержаних мастильних матеріалів. Впродовж чотирьох годин проводиться відбирання проб для аналізу КЧ, що представлено у таблиці 1.

Таблиця 1

Залежність кислотних чисел кислот реакційної суміші від часу процесу

Час, год	Стеаринова кислота	Лауринова кислота	Оцтова кислота
	Значення кислотного числа, мгКОН/г		
0	29,40	16,02	17,02
1	13,70	5,20	11,70
2	12,80	5,00	11,50
3	11,50	4,70	11,45
4	11,10	4,50	11,30

З представлених даних можна зробити висновок, що двогодинний час перебігу процесу етерифікації епоксидованої соняшникової олії ЖК є доцільним.

Визначення кінематичної в'язкості проводилися за допомогою віскозиметру ВПЖ-2 згідно відомої методики [12]. У якості дослідних зразків були використані продукти взаємодії епоксидованої соняшникової олії з стеариновою, лауриновою та оцтовою кислотами. Кожен продукт розбавлений о-ксилолом у співвідношенні 1:1. Результати відображені на рис. 2.

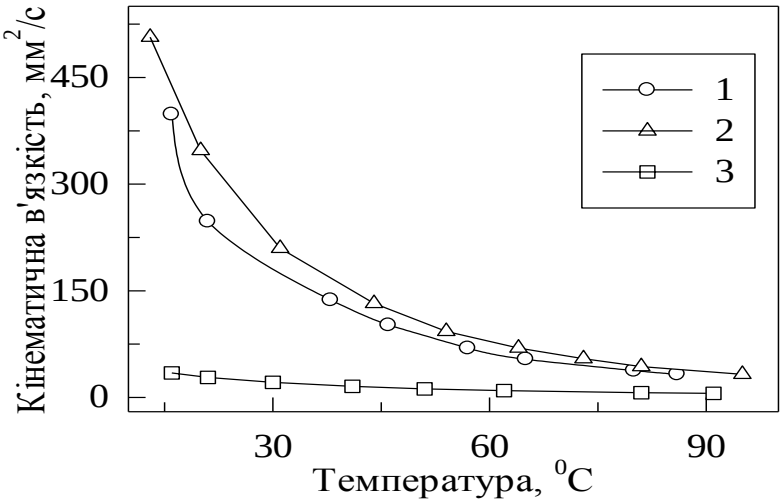


Рисунок 2. Залежність кінематичної в'язкості від температури, де 1- стеаринова, 2- лауринова, 3- оцтова кислоти

З графіку (рис.2) можна зробити висновок, що з підвищенням температури в'язкістно-температурні характеристики продуктів епоксидованої олії з лауриновою та стеариновою кислотами не мають суттєвих відмінностей, але дещо відрізняються у температурному інтервалі 15-30 °С. А продукт взаємодії епоксидованої олії з оцтовою кислотою значно відрізняється від вище названих продуктів, та вигідно відрізняється від них пологою в'язкісно-температурною залежністю. Можна стверджувати, що довжина вуглецевого ланцюга кислот має суттєвий вплив на в'язкістну характеристику продукту реакції.

Для порівняння кінематичої в'язкості візьмемо показники рафінованої рицинової олії, розбавленої у співвідношенні 2:1 при різних температурах (табл. 2).

Таблиця 2

Кінематична в'язкість рафінованої рицинової олії

Температура, ^{0}С	Кінематична в'язкість, мм^2/с
30,0	37,3
50,0	13,3
70,0	8,2
90,0	5,5

Представленні дані свідчать про те, що продукти взаємодії з ЖК мають більшу в'язкість ніж, рицинова олія.

Висновки. Проаналізувавши характеристики олій як біосировини бачимо, що за умови розробки методів усунення їх функціональних недоліків шляхом хімічної модифікації, можливе успішне їх застосування для одержання біомастил. Розроблена методика взаємодії епоксидованої соняшникової олії з ЖК, з отриманням кисневмісних продуктів реакції; 2) Показано, що в результаті реакції епоксидованої соняшникової олії з ЖК можна одержати мастильний матеріал з в'язкістю, що перевищує в'язкість рицинової олії. 3) Визначена кінематична в'язкість отриманих епоксидуванням зразків та досліджений вплив температури на їхню кінематичну в'язкість.

Список літератури

1. Кириченко В.І., Кириченко Л.М., Свідерський В.П. Пат. 65753, Україна. Спосіб одержання базової оливи для мастильних композицій. 2005.

2. Сіренко Г.О., Кириченко В.І., Кириченко Л.М., Свідерський В.П. Пат. 18077, Україна. Мастильна композиція. 1997.

3. Дец М.М., Поп Г.С., Назарчук Н.М. Пат. 70497, Украина. Трансмиссионное масло для легковых автомобилей. 2004.

4. Веласко В.Л., Фернандес–Мартінес Х.М., Перенес В.Б., Пат. 106966, Україна. Соняшникова олія з високою термостабільністю. 2010.

5. Касьяненко Л.Н. Можливість одержання біомастильних матеріалів шляхом хімічної модифікації олій / Л.Н. Касьяненко, І.Н. Демидов, С.Н. Мольченко. // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Серія: Іноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – 2019. – №15. – С. 51–55.

6. Касьяненко Л.М. Одержання мастил із жирової сировини / Л.М. Касьяненко, І.М. Демидов, Є.І. Шеманська. // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2020. – №26. – С. 53–58.

7. Динамічна інфографіка урожайності ранніх культур за 2016-2019 роки /[Электорнний ресурс]. – Режим доступу:

URL:https://superagronom.com/multimedia/ infographics/ 31-dinamichna-infografika-urojaynosti-rannih-kultur-za-2017-18-19-roki.

8. «Постійне використання та відновлення», Green Dot Norway / Мерех Consult AS, 2008 та дослідження EPRO, червень 2011 року; Збірник -досліджень споживачів FIPIP 2003 рік, Фінляндія; Cicloplast; Іспанія.

9. Милованов А.В., Ведищев С.М. Топливо и смазочные материалы. Тамбов: ТГТУ, 2003. 80 с.

10. О.И. Славгородская Получение эпоксидированных нефтеполи- мерных смол по реакции Прилежаева / О.И. Славгородская, В.Г. Бондалетов, Е.П. Фитерер, В.Д. Огородников // Ползуновский вестник. – 2013. – № 1.

11. ДСТУ 7649:2014 Жири тваринні та рослинні й олії. Метод визначання епоксидного числа.

12. ДСТУ ГОСТ 33-2003 Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости.

СИНТЕЗ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Ковальчук Д.А.
Асистент
Одесская Национальная академия пищевых технологий
Мазур А.В.
Кандидат технических наук, доцент
Одесская Национальная академия пищевых технологий

SYNTHESIS AND COMPARATIVE ANALYSIS OF ALTERNATIVE VARIANTS OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS FOR THE PROCESS OF HEAT RECOVERY FROM COMBUSTION PRODUCTS USING HEAT PUMPS

Kovalchuk D.
Assistant
Odessa National academy of food technologies
Mazur A.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Odessa National academy of food technologies

Аннотация

Статья посвящена разработке систем автоматического управления процессом утилизации тепла продуктов сгорания повышенной динамической точности. Проведен обзор существующих подходов к построению систем автоматического управления с применением класических, нечетких, нейронных, адаптивных, упреждающих регуляторов. Проведен анализ качества их работы. Освещены основные преимущества и недостатки. Осуществлен структурный и параметрический синтез САР повышенной динамической точности с применением каскадных регуляторов. Приведены сравнительные результаты исследований альтернативных вариантов САР методом имитационного моделирования. Наиболее существенным результатом является разработка системы управления с применением каскадных регуляторов температуры перегрева паров хладагента на выходе испарителя и температуры продуктов сгорания на выходе утилизатора тепла.

Abstract

The article is devoted to the development of automatic control systems of the heat utilizing process from combustion products with increased dynamic accuracy. A review of existing approaches to the construction of automatic control systems using classical, fuzzy, neural, adaptive, predictive controllers is carried out. The analysis of the quality of their work is carried out. The main advantages and disadvantages are highlighted. Structural and parametric synthesis of ACS with increased dynamic accuracy using cascade controllers has been carried out. The comparative results of studies of alternative ACS variants by the method of simulation are presented. The most significant result is the development of a control system with the use of cascade regulators for the superheat temperature of the refrigerant vapor at the outlet of the evaporator and the temperature of the combustion products at the outlet of the heat exchanger.

Ключевые слова: система автоматического управления, тепловой насос, утилизация тепла, каскадное регулирование.

Keywords: automatic control system, heat pump, heat recovery, cascade control.

Введение

Применение тепловых насосов (ТН) в системах утилизации тепла продуктов сгорания газовых котельных предполагает их работу в широком диапазоне координатных возмущений, таких как температуры и расходы теплоносителей подаваемых на испаритель и конденсатор ТН. Воздействие этих возмущений существенно влияет на свойства ТН как объекта управления (ОУ). Поэтому классические системы управления обычно не обеспечивают стабильную работу ТН в таких условиях. Эффективность применения теплового насоса в процессе утилизации во многом зависит от способности системы управления с высокой точностью поддерживать энергоэффективные режимы ведения процесса, не допуская при этом аварийных ситуаций. Поэтому, повышение динамической точности систем управления процессами глубокой утилизации тепла продуктов сгорания с применением тепловых насосов является актуальной задачей.

Анализ литературных источников

Исследование процесса глубокой утилизации тепла продуктов сгорания (ПС) производилось в [1]. Параметрическая схема процесса утилизации тепла ПС с применением ТН в целом как ОУ представлена на рисунке 1.

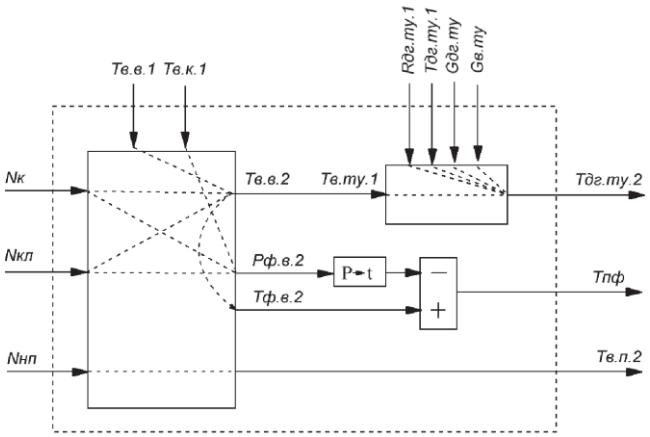


Рисунок 1. Параметрическая схема теплонасосного теплоутилизатора как ОУ
Nk – частота вращения компрессора, Nкл – положение расширительного клапана, Nнп – производительность насоса переохладителя, Тв.в.1 – температура воды на входе в испаритель, Тв.в.2 – температура воды на выходе испарителя, Тв.к.1. – температура воды на входе в конденсатор, Рф.в.2 – давление хладагента на выходе испарителя, Тф.в.2 – температура хладагента на выходе испарителя, Тпф – температура перегрева паров хладагента, Тдг.ту.2 – температура продуктов сгорания на выходе из теплоутилизатора

Утилизация тепла ПС производится в конденсационном теплообменнике контактного типа. Глубина утилизации определяется температурой продуктов сгорания (ПС) на его выходе. Управление глубиной утилизации (температурой ПС на выходе ТУ) целесообразно осуществлять за счет изменения температуры воды на входе ТУ (*Тв.ту.1*) при постоянном ее расходе. Регулируемой переменной процесса является температура дымовых газов на выходе ТУ (*Тдг.ту.1*), а управляющим воздействием – температура охлаждающей воды на входе ТУ. Все остальные параметры, которые могут влиять на температуру дымовых газов на выходе ТУ, такие, как температура (*Тдг.ту.1*), расход (*Gдг.ту*) и точка росы (*Rдг.ту.1*) дымовых газов на входе ТУ и расход охлаждающей воды через ТУ (*Gв.ту*), можно отнести к возмущениям. Уровень охлаждения воды на входе в конденсационный теплообменник определяется режимом работы теплового насоса.

Анализ литературных источников [2-5] показывает, что для обеспечения нормальной работы в САР ТН должны присутствовать минимум 2 основных контура управления – контур управления уровнем перегрева паров хладагента на выходе испарителя и контур управления производительностью ТН. В нашем случае в контуре управления производительностью ТН регулируемым параметром может являться температура продуктов сгорания на выходе ТУ (*Тдг.ту.2*), поскольку она в статических режимах фактически «привязана» к температуре воды на выходе испарителя (*Тв.в.2*) с разницей в несколько градусов. Управление режимом работы испарителя сводится к поддержанию заданного уровня перегрева паров хладагента на его выходе путем изменения подачи хладагента в испаритель за счет изменения степени открытия расширительного клапана.

На рисунке 2 представлена структурная схема двумерной САР простейшей структуры, которая была взята в качестве базовой. Она содержит 2 контура регулирования. Контур регулирования уровня перегрева паров хладагента на выходе испарителя ($T_{ПФ}$) над температурой кипения и контур регулирования температуры паровоздушной смеси на выходе теплоутилизатора (*Тдг.ту.2*).

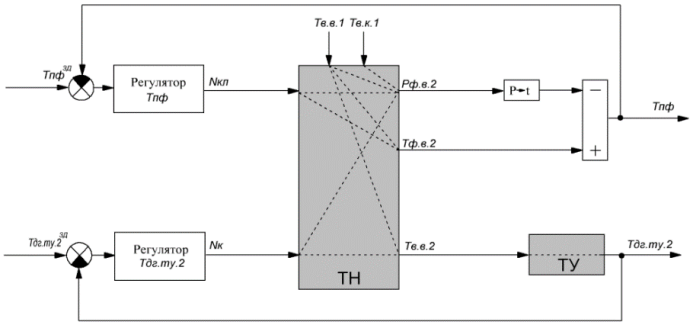


Рисунок 2. Структурная схема базовой САР процесса УТПС

Исследования в работе [6] подтвердили, что изменение температуры воды, поступающей на испаритель ТН вызывает изменение коэффициента передачи ТН как ОУ по каналу «положение ЭРВ – величина перегрева паров хладагента на выходе испарителя» (т.е. является мультипликативным возмущением). Кроме того изменение температуры теплоносителя поступающего на вход конденсатора ТН вызывает изменение давления конденсации, что в свою очередь приводит к смещению статической характеристики по каналу «положение ЭРВ – величина перегрева паров хладагента на выходе испарителя» (т.е. является аддитивным возмущением).

Разработка усовершенствованных систем управления тепловыми насосами рассматривалась во многих работах. Довольно распространенным является применение в теплонасосной технике систем управления с нечеткой логикой (fuzzy logic). В работах [7, 8] рассматриваются системы управления производительностью ТН и уровнем перегрева паров хладагента на выходе испарителя основанные на нечеткой логике (fuzzy logic). В рассмотренных регуляторах управляющие воздействия могут принимать значения, рассчитанные по функциям принадлежности, которые описываются некими «правилами», сформулированными на основе «опыта» управления данным объектом. Такие регуляторы применяются в случаях, когда объект слабо изучен и для построения его математической модели информации недостаточно. Однако необходимо отметить, что в некоторых работах есть заметки о возможности применения в составе регуляторов на основе нечеткой логики линейных звеньев с формированием управляющих воздействий соответствующих П-, ПИ- и ПИД- законами регулирования. В таком случае такой регулятор фактически представляет собой разновидность адаптивного регулятора изменение которых описывается «правилами нечеткой логики» сформулированными на основе «опыта» управления объектом.

В работах [3, 4] проводился сравнительный анализ различных вариантов систем управления, таких как ПИД-регулятор, регулятор с нечеткой логикой и нейронный регулятор. По утверждению авторов в стационарных режимах работы наилучшие результаты показал ПИД-регулятор, а в переходных режимах, при изменении заданного значения регулятора перегрева или резком изменении тепловой нагрузки на испаритель нейронный регулятор обеспечил лучшее время переходных процессов и со слов авторов – «минимальное энергопотребление». Однако представленные на рис. 3 графики переходных процессов в системе говорят о том, что в случае с ПИД-регулятором значение его коэффициента передачи скорее всего слишком мало, и в связи с этим переходные процессы получились затянутыми.

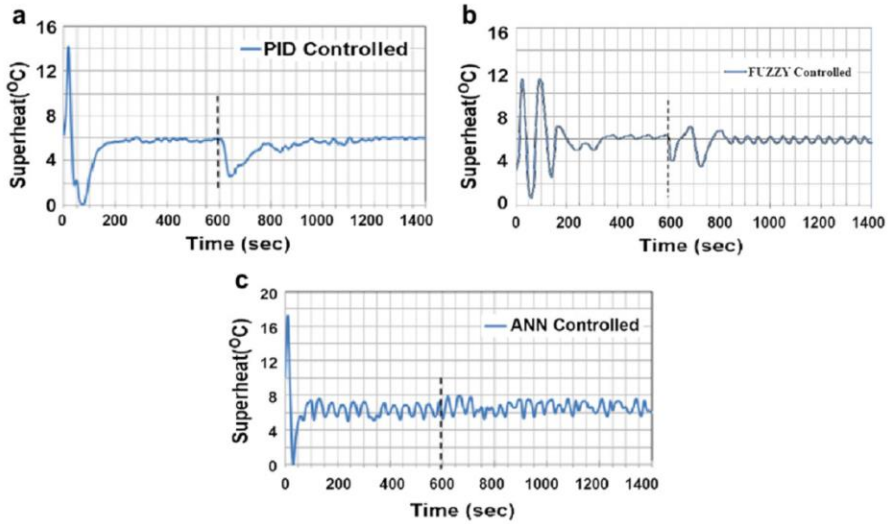


Рисунок 3. Графики переходных процессов при изменении тепловой нагрузки в САР с использованием различных типов регуляторов

Скорее всего «заниженный» коэффициент передачи регулятора был необходим для обеспечения устойчивости системы управления во всех режимах работы при изменяющемся коэффициенте передачи объекта. Необходимо также отметить присутствие автоколебаний в системах управления с Fuzzy logic и ANN регуляторами.

В работах [9, 10] были рассмотрены системы управления с прогнозирующим регулятором. Данный тип регулятора имеет достаточно высокую по сравнению с обычным ПИД-регулятором динамическую точность,. Однако это справедливо только для случая, когда параметры примененной модели соответствуют параметрам объекта и при изменении его параметров динамическая точность будет существенно ухудшаться. И поскольку параметры реального объекта достаточно сильно изменяются при изменении давления конденсации и тепловой нагрузки испарителя, то скорее всего, применение такого регулятора не будет иметь преимуществ по сравнению с обычным ПИД-регулятором во всем диапазоне изменений режимов работы. Применение таких решений обычно ухудшает вынужденное движение системы, но улучшает ее собственное движение.

В работе [6] рассмотрен адаптивный ПИД-регулятор величины перегрева. Были исследованы зависимости коэффициента передачи и постоянной времени по каналу «положение ЭРВ – величина перегрева паров хладагента на выходе испарителя» от температуры кипения в испарителе. На рисунке 4 представлены полученные экспериментальные данные.

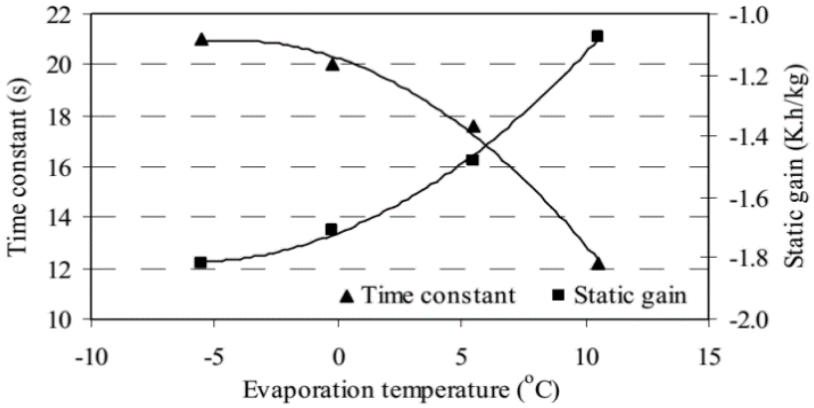


Рисунок 4. Зависимость параметров ОУ от температуры кипения

Эти зависимости аппроксимированные полиномами второго порядка и были использованы в блоке адаптации, для расчета текущих настроек ПИД-регулятора в соответствии с режимом работы испарителя.

В работе оговорено, что представленные зависимости параметров объекта от температуры кипения были получены при фиксированных температуре теплоносителя на входе в конденсатор и постоянной частоте вращения компрессора. В реальных условиях эти параметры могут изменяться в широких пределах, и такая адаптивная система управления скорее всего не сможет обеспечить высокую динамическую точность во всех режимах работы. Это связано с тем, что изменение частоты вращения компрессора а также температуры теплоносителя поступающего на вход конденсатора приводят к изменению давления конденсации и температурного напора в испарителе, и рассчитанные по выражениям представленным в [6] параметры объекта будут отличаться от реальных. Поэтому сформированные блоком адаптации настройки регулятора скорее всего не смогут обеспечить достаточную динамическую точность работы системы управления уровнем перегрева паров хладагента на выходе испарителя во всех режимах работы.

По данным работ [11-15]- повышение температуры кипения (давления) хладагента в испарителе на 1 градус, в зависимости от режима работы, может приводить к увеличению энергетической эффективности ТН на 2-4%. Поэтому снижение значение перегрева паров хладагента на выходе испарителя на каждый градус будет приводить к повышению энергетической эффективности на 2-4%. Главная задача системы управления – поддерживать значение перегрева паров хладагента на выходе испарителя на минимально возможном уровне, обеспечивая при этом предотвращение аварийных ситуаций, связанных с попаданием жидкого хладагента на вход компрессора.

Для решения этой задачи прежде всего необходимо повысить динамическую точность системы управления.

Синтез и анализ альтернативных САР процессом УТПС

В качестве объекта управления для анализа работы альтернативных САР будем использовать имитационную модель теплонасосного утилизатора тепла паровоздушных смесей, которая была описана в [15]. Квазистатические характеристики канала «Положение ЭРВ - уровень перегрева», полученные в исследованиях [1] демонстрируют существенное влияние на уровень перегрева возмущений в виде изменения параметров теплоносителя на входе в конденсатор (*Тв.к.1*) и испаритель (*Тв.в.1*). При этом влияние изменения температуры теплоносителя на входе в конденсатор носит аддитивный характер, а на входе в испаритель кроме ад-

дитивной имеет еще и очень существенную мультипликативную составляющую, что говорит об изменении коэффициента передачи объекта по этому каналу. Исследование динамических свойств канала «*Nк* - *Тдг.ту.2*» [1] показали, что он обладает большим запаздыванием, вызванным в основном значительной инерционностью теплоутилизатора. Кроме этого канал регулирования перегрева подвержен существенному влиянию изменения частоты вращения компрессора, (холодопроизводительности), что наглядно иллюстрируют квазистатические характеристики канала полученные при различных частотах вращения компрессора. В связи с этим, рассмотренная двумерная базовая САР (рис. 2) не позволяет обеспечить высокую динамическую точность управления.

На рисунке 5 представлена структурная схема каскадной САР регулирования температуры продуктов сгорания на выходе ТУ. Применение каскадного регулирования возможно, так как в технологическом процессе доступна для измерения промежуточная переменная канала - температура воды на выходе испарителя теплового насоса (*Тв.в.2*), имеющая гораздо меньшее запаздывание относительно управляющего воздействия (*Nк*). Применение каскадной структуры САР температуры продуктов сгорания на выходе теплоутилизатора с использованием значения температуры воды на выходе испарителя в качестве промежуточной регулируемой переменной позволит ограничить диапазон изменения температур воды на выходе испарителя, не допуская значений температуры воды на выходе испарителя ниже 3-5 °С, обеспечив таким образом защиту испарителя от замерзания, что весьма актуально при работе системы утилизации в режиме охлаждения не продуктов сгорания, а атмосферного воздуха при работе в неотопительный период.

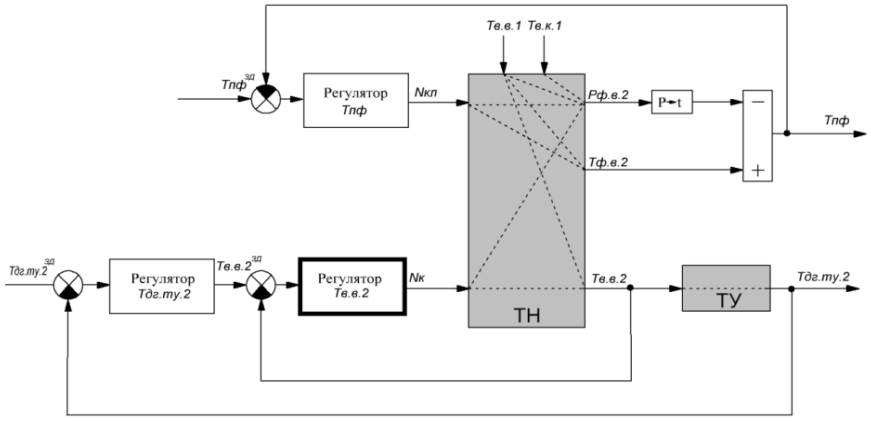


Рисунок 5. Структурная схема САР с каскадным регулятором температуры ПС на выходе теплоутилизатора

Оценка качества работы каскадных САР проводилась с использованием имитационной модели объекта управления [15] путем сравнения ее с САР базовой структуры. На рисунке 6 приведены графики переходных процессов в САР *Тдг.ту.2* базовой структуры (1) и каскадной САР *Тдг.ту.2* (2), полученные при ступенчатом изменении расхода дымовых газов через утилизатор с 100 на 80 кг/час.

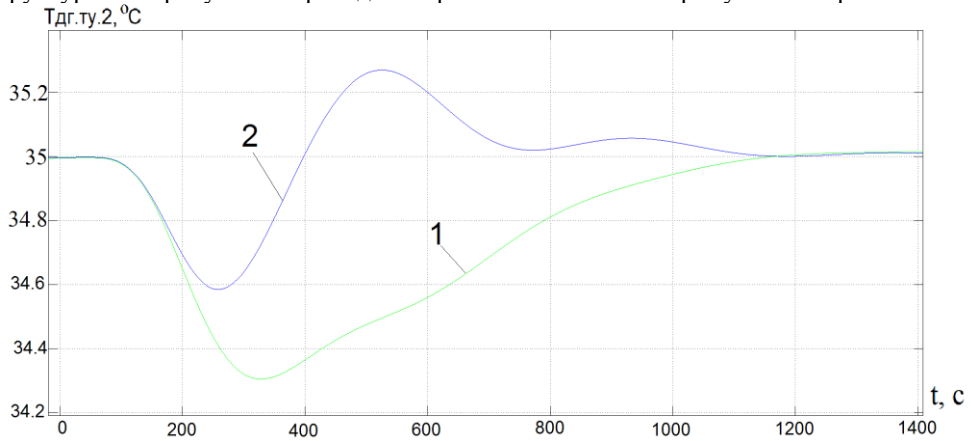


Рисунок 6. Переходные процессы в базовой САР (1) и САР с каскадным регулятором температуры ДГ на выходе ТУ (2).

Полученные данные свидетельствуют о том, что каскадная САР температуры продуктов сгорания на выходе теплоутилизатора имеет большую динамическую точность. Ее применение более чем в два раза уменьшает максимальное динамическое отклонение и почти на 35% сокращает время переходного процесса. Кроме того, она обеспечивает защиту от аварийной ситуации в виде замерзания испарителя, при работе системы в неотапливаемый период года, когда вместо продуктов сгорания

тепло будет утилизироваться из атмосферного воздуха.

Параметры теплового насоса как ОУ (коэффициент передачи Кп и постоянная времени Т) по каналу регулирования температуры перегрева паров хладагента на выходе испарителя достаточно существенно изменяются при изменении тепловой нагрузки на испаритель [6, 15], что может приводить к выходу САР ТПФ за пределы устойчивости. Исследования [11] показали, что при применении в системе утилизации продуктов сгорания в качестве испарителя «прямоточного» теплообменника, изменения давления (температуры кипения) в испарителе при работе системы стабилизации перегрева фактически воспроизводят изменение температуры теплоносителя на входе в испаритель с опозданием, зависит от расхода теплоносителя и динамических свойств контура регулирования перегрева. Кроме того, сигнал давления имеет высокочастотные составляющие которые будут мешать корректной работе системы адаптации параметров регулятора. Несмотря на это более целесообразно в качестве контролируемого возмущения для системы адаптации будет использование температуры теплоносителя на входе в испаритель. Структурная схема САР с блоком адаптации параметров регулятора перегрева по температуре теплоносителя на входе в испарителя (*Тв.в.1*) представлена на рисунке 7

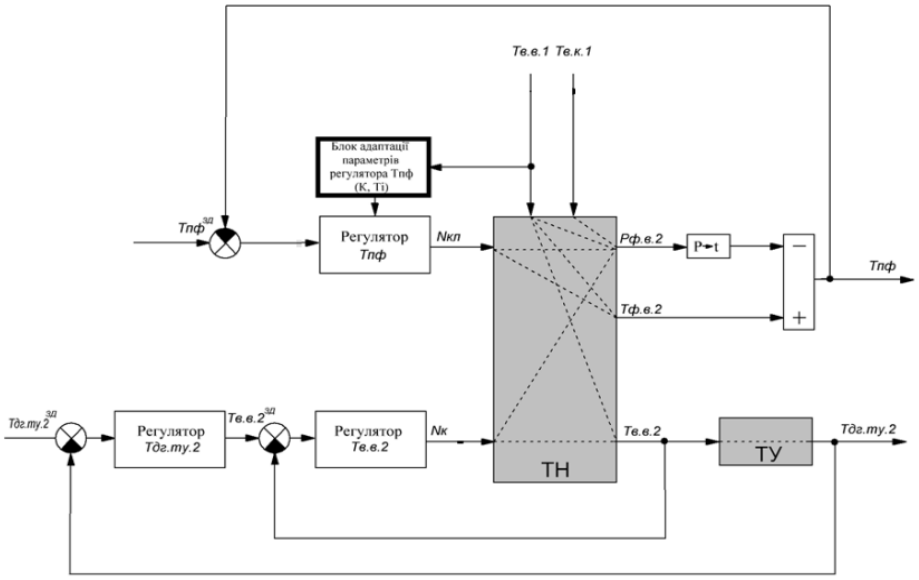


Рисунок 7. Структурная схема САР с адаптивным регулятором температуры перегрева

На рисунке 8 представлены графики переходных процессов в контуре регулирования температуры перегрева с базовой САР (1) и САР с адаптивным регулятором (2) при ступенчатом изменении температуры воды на входе в испаритель с 20 до 30 °С в момент времени 0 сек, и с 30 до 20 °С в момент времени 500 с.

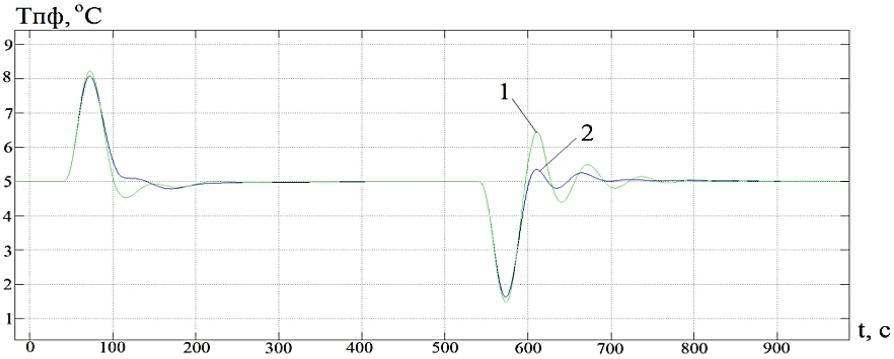


Рисунок 8. Переходные процессы в адаптивной САР при ступенчатом изменении температуры воды на входе в испаритель

Максимальное динамическое отклонение в переходных процессах в обоих САР на рис 8 составляет почти 70%. В адаптивной САР сокращается время переходного процесса за счет уменьшения колебательности, что говорит о большей устойчивости такой САР. Однако оба переходных процессы имеют большое динамическое отклонение, которое скорее всего связано с наличием запаздывания в объекте, по каналу «*Тв.в.1 – $T_{ПФ}$*».

Линеаризация статической характеристики канала управления уровнем перегрева паров хладагента возможна при применении каскадной системы управления, внутренний (быстрый) контур которой стабилизирует расходы хладагента, а внешний - уровень перегрева паров хладагента на

выходе испарителя. Однако в связи со сложностью технической реализации системы измерения расхода хладагента внутренний контур каскадной САР обычно стабилизирует давление на выходе испарителя. Такая каскадная система за счет обратной связи внутреннего контура является линейной относительно управляющего воздействия и инвариантной к давлению в конденсаторе. Однако это справедливо лишь для систем с постоянной частотой вращения компрессора (его объемной производительностью) Наши исследования показали, что в качестве переменной, стабилизируется внутренним контуром каскадной САР может выступать не фактические расходы хладагента, измеренные расходомером, а виртуальная переменная, рассчитанная по математической модели, которая коррелирует с физической массовым расходом хладагента.

$$G_M = \frac{N_k \cdot V_{cyl} \cdot N_{cyl} \cdot К_п \cdot P_в \cdot M_{fr}}{R \cdot T} \cdot K_К \qquad (1)$$

N_k – частота вращения двигателя компрессора;

V_{cyl} – объем одного цилиндра компрессора;

N_{cyl} – количество цилиндров компрессора;

$К_п$– коэффициент подачи компрессора.

$P_в$ – давление хладагента на входе компрессора;

M_{fr} – молярная масса хладагента;

R – универсальная газовая постоянная;

T – температура перегретого хладагента на входе в компрессор;

$K_К$ – корректировочный коэффициент. Для фреона R22 $K_К = 0.95$

На рисунке 9 представлена структурная схема САР с каскадным контуром регулирования температуры перегрева паров хладагента на выходе испарителя с внутренним контуром регулирования расхода хладагента.

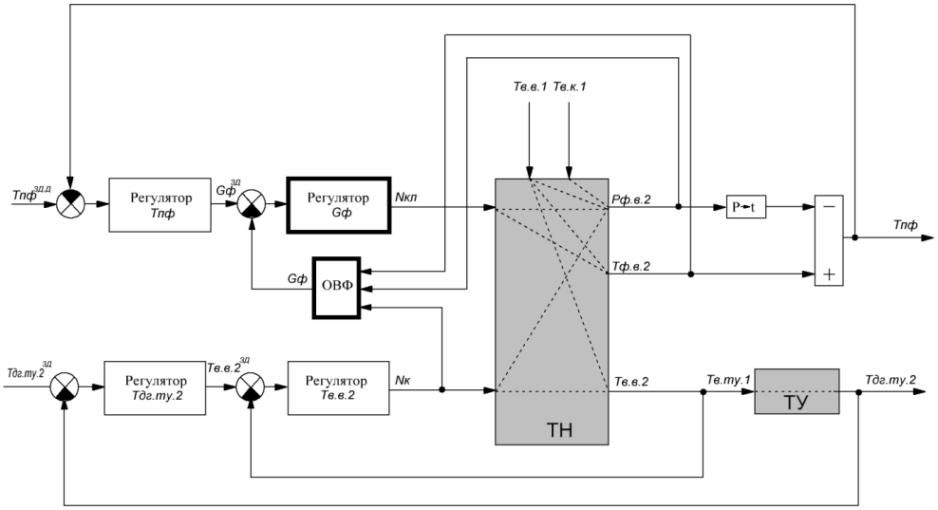


Рисунок 9. Структурная схема САР с каскадным регулятором температуры перегрева, инвариантной к изменениям Nk, Тв.к1.

Определение величины расхода хладагента в САР выполняется косвенным методом, с помощью вычислителя расходы фреона (ОПФ), который реализует расчет выражения (1). Для определения расхода используются следующие параметры, которые доступны для измерения в технологическом процессе:

- Частота вращения компрессора
- Давление на входе в компрессор (выходе испарителя)
- Температура перегретых паров хладагента на входе в компрессор

Сравнительная оценка качества работы адаптивной и каскадной САР уровня перегрева проводилась с использованием имитационной модели объекта управления [15] путем сравнения их переходных процессов с САР базовой структуры. На рисунке ... представлены графики переходных процессов в САР температуры перегрева базовой структуры (1) и САР с каскадным регулятором (2) при ступенчатой изменении температуры воды на входе в конденсатор 40 до 30 ° С.

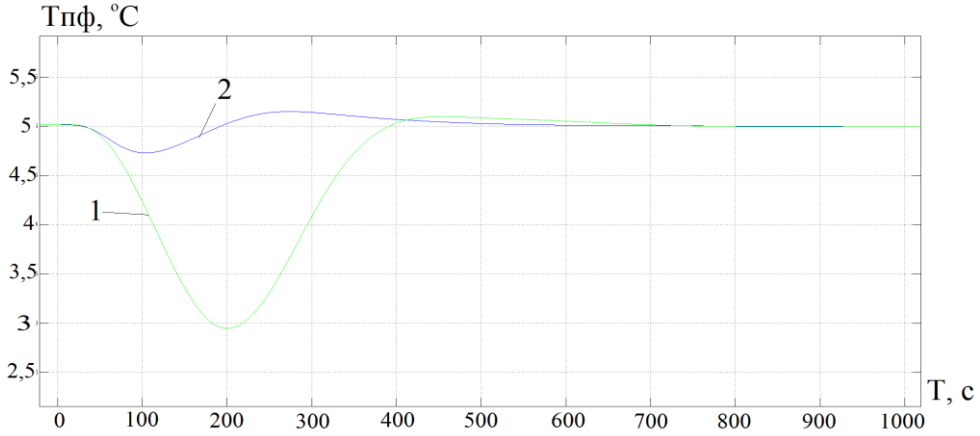


Рисунок 10. Графики переходных процессов в САР температуры перегрева базовой структуры (1) и САР с каскадным регулятором (2) при ступенчатом изменении температуры воды на входе в конденсатор 40 до 30 °С.

На рисунке 11 представлены графики переходных процессов в альтернативных САР при ступенчатом изменении частоты вращения компрессора, а в табл. 1 - показатели качества регулирования.

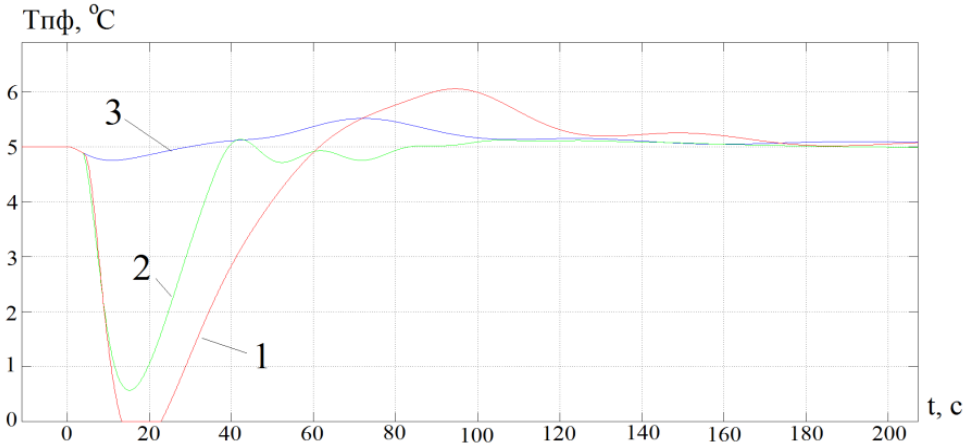


Рисунок 11 – Переходные процессы в базовой (1), адаптивной (2) и каскадной (3) САР уровня перегрева при ступенчатом изменении частоты вращения компрессора

Таблица 1

Структура САР	Прямые показатели качества		Интегрально-модульный показатель
	Максимальное динамическое отклонение	Время переходного процесса	
	$\Delta T_{пер}^{max}$, %	$T_{пп}$, с	
Базовая	100	162	232
Адаптивная	90	79	103
Каскадная	10	106	43

На рисунках 12 и 13 представлены графики переходных процессов в трех альтернативных САР (1 – базовая, 2 – адаптивная, 3 – каскадная) при ступенчатом изменении температур теплоносителей на входе в испаритель и конденсатор соответственно, а в таблицах 2 и 3 – их показатели качества регулирования.

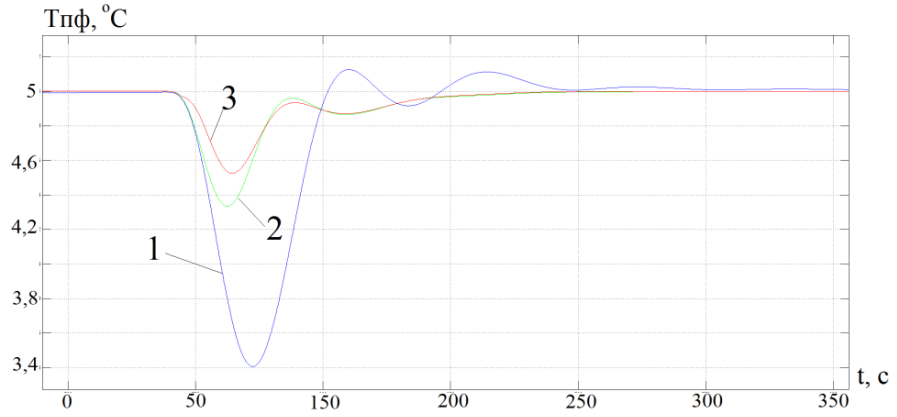


Рисунок 12. Переходные процессы в базовой (1), адаптивной (2) и каскадной (3) САР уровня перегрева при ступенчатом изменении температуры теплоносителя на входе в испаритель с 25 до 20 °С

Таблица 2

Структура САР	Прямые показатели качества		Интегрально-модульный показатель
	Максимальное динамическое отклонение	Время переходного процесса	
	$\Delta T_{пер}^{max}$, %	$T_{пп}$, с	
Базовая	32	246	58
Адаптивная	14	186	21
Каскадная	9	183	16

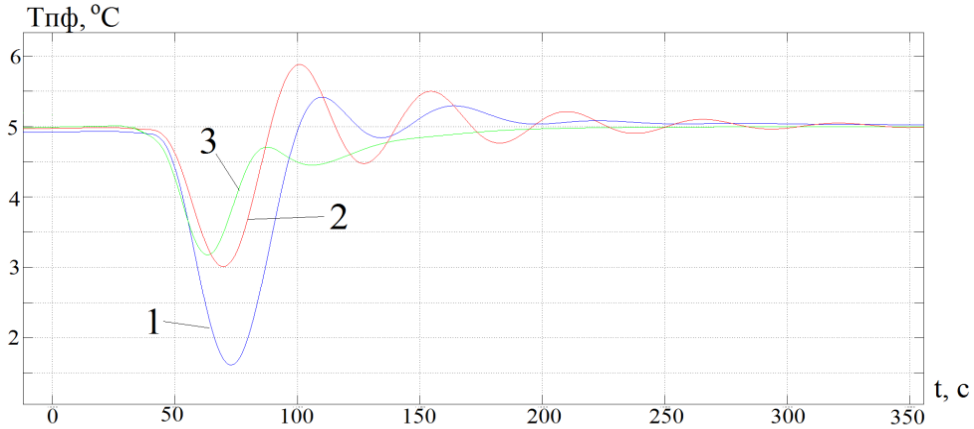


Рисунок 13. Переходные процессы в базовой (1), адаптивной (2) и каскадной (3) САР уровня перегрева при ступенчатом изменении температуры теплоносителя на входе в конденсатор

Таблица 3

Структура САР	Прямые показатели качества		Интегрально-модульный показатель
	Максимальное динамическое отклонение	Время переходного процесса	
	$\Delta T_{пер}^{max}$, %	$T_{пп}$, с	
Базовая	68	186	135
Адаптивная	40	232	99
Каскадная	36	153	79

Исходя из полученных результатов, можно констатировать, что каскадная САР $T_{ПФ}$ обладает по сравнению с другими рассмотренными САР более высокой динамической точностью, является инвариантной к изменению температуры и расхода воды на входе в конденсатор и к изменению расхода, температуры и состава продуктов сгорания, а также автономной по отношению к контуру регулирования производительности теплового насоса.

Выводы

Применение каскадной структуры САР температуры продуктов сгорания на выходе теплоутилизатора с использованием температуры воды на выходе испарителя в качестве промежуточной регулируемой переменной позволило повысить динамическую точность контура и предотвратить возникновение аварийных ситуаций связанных с возможным понижением температуры воды ниже точки замерзания, что весьма существенно при работе системы утилизации в режиме охлаждения не

продуктов сгорания, а атмосферного воздуха при работе в неотопительный период.

Применение каскадного регулятора уровня перегрева паров хладагента на выходе испарителя с использованием в качестве промежуточной регулируемой переменной расхода хладагента, рассчитываемого по модели, позволило за счет линеаризации расходной характеристики расширительного клапана повысить устойчивость САР уровня перегрева, обеспечив при этом ее инвариантность к режимам на конденсаторе ТН и автономность от контура регулирования производительности теплового насоса.

Достигнутый уровень динамической точности позволяет вести дальнейшее совершенствование САУ, по счет введения в ее состав помимо функции регулирования еще и функций оптимизации и гарантирования.

Список литературы

1. Ковальчук Д. А., Мазур О. В., Хобін В. А. Дослідження процесів утилізації тепла пароповітряних сумішей: результати експериментів, структурна та параметрична ідентифікація основних каналів об'єкту //Automation of technological and business processes. – 2019. – Т. 11. – №. 1. – С. 32-42.

2. Qureshi T. Q., Tassou S. A. Variable-speed capacity control in refrigeration systems //Applied Thermal Engineering. – 1996. – Т. 16. – №. 2. – С. 103-113.

3. Ekren O., Sahin S., Isler Y. Comparison of different controllers for variable speed compressor and electronic expansion valve //International Journal of Refrigeration. – 2010. – Т. 33. – №. 6. – С. 1161-1168.

4. Ekren O., Sahin S., Isler Y. Operation of compressor and electronic expansion valve via different controllers //Fuzzy Logic—Controls, Concepts, Theories and Applications. – 2012.

5. Saleh B., Aly A. A. Flow Control Methods in Refrigeration Systems: A //International journal of control, automation and systems. – 2015. – Т. 4. – №. 1.

6. Maia A. A. T. et al. Control of an electronic expansion valve using an adaptive PID controller. – 2010. International Refrigeration and Air Conditioning Conference

7. Lago T. G. S. et al. Effects of the electronic expansion valve and variable velocity compressor on the performance of a refrigeration system //Advances in Energy Research. – 2020. – Т. 7. – №. 1. – С. 1-19.

8. Ekren O., Küçüka S. Energy saving potential of chiller system with fuzzy logic control //International Journal of Energy Research. – 2010. – Т. 34. – №. 10. – С. 897-906.

9. Kandler C., Wimmer P., Honold J. Predictive control and regulation strategies of air-to-water heat pumps //Energy Procedia. – 2015. – Т. 78. – С. 2088-2093.

10. Changenet C. et al. Study on predictive functional control of an expansion valve for controlling the evaporator superheat //Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering. – 2008. – Т. 222. – №. 6. – С. 571-582.

11. Kovalchuk D., Mazur A., Hudz S. The model for power efficiency assessment of condensation healing installations //Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – 2017. – №. 9, Iss. 3. – С. 13-19.

12. Mateu-Royo C. et al. Experimental exergy and energy analysis of a novel high-temperature heat pump with scroll compressor for waste heat recovery //Applied Energy. – 2019. – Т. 253. – С. 113504.

13. Zhu K. et al. Total heat recovery of gas boiler by absorption heat pump and direct-contact heat exchanger //Applied thermal engineering. – 2014. – Т. 71. – №. 1. – С. 213-218.

14. Wei M. et al. Simulation of a heat pump system for total heat recovery from flue gas //Applied thermal engineering. – 2015. – Т. 86. – С. 326-332.

15. Ковальчук Д. А., Мазур О. В. Дослідження процесів утилізації тепла пароповітряних сумішей: імітаційне моделювання //Automation of technological and business processes. – 2020. – Т. 11. – №. 1. – С. 68-82.

КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Отрощенко Д.А.
1 курс, ПИм19о-1, МГТУ, Мурманск
Качала В.В.
профессор кафедры МИСиПО МГТУ, Мурманск

THE CONCEPT OF A DIGITAL VEHICLE TWIN

Otroshchenko D.
1st year, Pim19o-1, MSTU, Murmansk
Kachala V.
Professor, Department of Maipo MSTU, Murmansk

Аннотация
Работа посвящена исследованию и разработке концепции цифрового двойника транспортного средства. Посвящение в терминологию цифровых двойников, разновидности и особенности, назначение, описание.

Abstract
The work is devoted to the research and development of the concept of a digital double of a vehicle. Introduction to the terminology of digital doubles, varieties and features, purpose, description.

Ключевые слова: Автоматизированная информационная система, цифровой двойник, транспортное средство, анализ, концепция, объект, модель, данные, представление, характеристика, жизненный цикл.

Keywords: Automated information system, digital twin, vehicle, analysis, concept, object, model, data, representation, characteristic, life cycle.

Данная исследовательская работа посвящена изучению и разработке концепции цифрового двойника транспортного средства.

Объектом исследования является отдел транспортного обеспечения автотранспортного предприятия.

Предметом исследования выступает деятельность по планированию ремонтов и технического обслуживания транспорта.

Основные задачи:

- изучить особенности цифровых двойников;
- произвести анализ и выбор типа цифрового двойника;
- представить характеристику применяемых технологии;
- разработать концепцию цифрового двойника транспортного средства.

С развитием информационного общества появились различные информационные технологии, которыми в современном мире уже сложно кого-то удивить. Цифровое пространство окружает нас повсюду. Мы работаем и учимся, используя различные информационные системы, отдыхаем и культурно обогащаемся посредством компьютерных сетей и Интернета. Производственную сферу также сложно представить без автоматизированных информационных систем (АИС), которые с огромной скоростью производят различные вычислительные операции, позволяющие человеку минимизировать ручной труд и уделять больше времени планированию и управлению производством.

Целью данного проекта является описание и разработка концепции цифрового двойника транспортного средства.

Впервые о Digital twin (цифровом двойнике) заговорили еще в начале двухтысячных годов, идея же появилась еще раньше, а с глобальным развитием информационных технологий они также подверглись модернизации и усовершенствованию.

Для начала познакомимся с терминологией, поскольку для многих людей данный термин всё ещё остается чем-то неизведанным и непонятным. Цифровой двойник −это виртуальная, т. е. созданная с помощью компьютерных средств, модель реально существующего или создаваемого объекта, предназначенная для воспроизведения некоторых или большинства основных состояний, которые исходный объект может принимать. По сути, цифровой двойник представляет собой совокупность данных, описывающих реальный объект, включая различные его свойства и состояния.

Цифровые двойники в современном мире находят применение на различных производствах и предприятиях самых разнообразных сфер деятельности, ведь создаются они специально для удовлетворения информационных потребностей бизнеса.

С помощью цифровых двойников можно стабилизировать функционирование реального объекта, поскольку на основе данных, хранящихся в цифровых двойниках можно прогнозировать дальнейшее поведение как отдельных частей, так и всего объекта в целом, также происходит агрегация распределенной информации, т. е. данные обо всех элементах системы хранятся в едином цифровом пространстве и могут быть предоставлены пользователям в режиме реального времени.

Цифровой двойник поможет определить вероятные допуски и точности характеристик объекта для повышения безотказной работы в течение планируемого срока использования. На этапе эксплуатации с помощью цифрового двойника можно усовершенствовать точность прогнозирования сбоев и диагностики, выявлять актуальные требования

пользователей, повышая эффективность разработки в целом.

При помощи цифровых двойников можно анализировать и предотвращать аварии, сбои, поломки и отказы реального объекта, снижать риски.

Существуют цифровые двойники нескольких типов:

- прототип (Digital Twin Prototype) −цифровой двойник реального объекта, содержащий его всесторонние характеристики, включающие данные о том, как воссоздать объект;
- экземпляр (Digital Twin Instance) −виртуальная модель, описывающая физические свойства оригинала и данные о его жизненном цикле, включая данные о материалах, процессах, данные тестирования и ремонта, мониторинга как отдельных частей объекта, так и его состояния в целом;
- агрегированный двойник (Digital Twin Aggrigate) −система, объединившая в себе все имеющиеся двойники и их оригиналы для обмена актуальной информацией.

Для разработки цифрового двойника транспортного средства выбран Digital Twin Instance, т. е. экземпляр, поскольку нам будут интересны физические свойства и данные о жизненном цикле оригинала.

Поговорим немного о физическом объекте, прототип которого мы будем создавать. Любое транспортное средство является техническим устройством, предназначенным для перевозки пассажиров и/или грузов. Что же является «сердцем» автомобиля, без чего не может существовать ни одно транспортное средство?

Конечно же, двигатель внутреннего сгорания (ДВС), который сам по себе является отдельной сложной системой, благодаря которой автомобиль движется. Двигатель имеет сложное строение, состоит из различных взаимосвязанных между собой частей, состояние которых и нужно знать пользователю. Помимо этого, немаловажными частями автомобиля является трансмиссия, система охлаждения, система подвески, электрооборудование, тормозная система.

Транспортное средство производится на заводе традиционным способом, посредством выполнения процедур и требований системного проектирования. Затем моделируется его виртуальное представление. На данном этапе происходит «рождение» цифрового двойника. Все системы автомобиля оснащаются специальными датчиками, передающими сигналы от реального объекта его виртуальному образу, поступая в распределенные реестры в режиме реального времени и хранятся на блокчейн. Каждая транзакция в блокчейне защищена цифровой подписью, которая подтверждает ее подлинность. Благодаря использованию шифрования и цифровых подписей данные, хранящиеся в цепочке блоков, защищены от несанкционированного доступа и не могут быть изменены. В этом случае применение технологий блокчейн позволит сохранить всю информацию об автомобиле за период его производства и эксплуатации и избежать несанкционированного изменения данных. Пользователь сможет узнать, где она была произведена, когда установлена.

Таким образом, использование подделок будет минимизировано, а безопасность автомобилей и срок их службы увеличен.

Цифровой двойник имеет заранее разработанный репозиторий данных, в котором хранится информация о множестве состояний реального объекта, на основе этих данных система анализирует состояние автомобиля и выводит информационные сообщения.

Цифровой двойник появляется при создании транспортного средства, развивается, модернизируется и изменяется в ходе обслуживания реального объекта и выводится из эксплуатации вместе с ним, тем самым повторяя его жизненный цикл и предоставляя данные о его состоянии в реальный момент времени на протяжении всего срока службы.

Таким образом, пользователь имеет технологию управления жизненным циклом транспортного средства, возможность отслеживать малейшие изменения в состоянии автомобиля, планировать и прогнозировать техническое обслуживание и ремонт отдельных частей машины. Использование цифровых двойников позволит моделировать поведение отдельных частей и деталей, а также самого автомобиля в различных ситуациях и при разнообразных условиях эксплуатации. Это позволит следить за износом деталей и агрегатов, а также делать прогнозы поломок и своевременно производить ремонтные работы.

Список литературы

1. Становление технологии цифровых двойников [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: https://www.itweek.ru/iot/article/detail.php?ID=200690 (дата обращения 20.03.2020).

2. Бова В.В. Основы проектирования информационных систем и технологий [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Бова В.В., Кравченко Ю.А.− Электрон. текстовые данные. −Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018. − 105 с.− Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/87462.html.− ЭБС «IPRbooks».

3. Кокорев Д.С., Юрин А.А. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса // «Colloquium-journal» №10(34),2019 / TECHNICAL SCIENCE. С. 31−35.

4. Как цифровые двойники помогают российской промышленности [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: https://rb.ru/longread/digital-twin/ (дата обращения 22.03.2020).

ДОСЛІДЖЕННЯ СОРБЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АКТИВОВАНОГО ТА МОДИФІКОВАНОГО ВОЛОКНА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СОРТІВОК

Самченко І.О.
Національний університет харчових технологій, аспірантка
Олійник С.І.
Національний університет харчових технологій, доцент

RESEARCH OF SORPTION PROPERTIES OF THE ACTIVATED AND MODIFIED FIBER FOR PROCESSING OF WATER-ALCOHOL BLEND

Samchenko I.
Postgraduate student, National University of Food Technology
Oliynyk S.
PhD, associate professor, National University of Food Technology

Анотація

Проведено дослідження сорбційних властивостей активованого та модифікованого вуглецевого волокна для очищення сортівки з використанням експериментальних і математико-статистичних методів планування та обробки результатів експерименту, їх систематизація та обробка із застосуванням сучасного програмного забезпечення.

Проведено експериментальні дослідження сорбційної активності вуглецевих матеріалів по відношенню до органічних мікродомішок та доведено позитивний вплив АМВВ на технологію очищення сортівки. Встановлено, що в статичних умовах сорбування оцтової кислоти проходить в 1,3 – 1,7 рази інтенсивніше активованим модифікованим волокном, ніж матеріалом без модифікації.

Abstract

The sorption properties of activated and modified carbon fiber for sorting purification using experimental and mathematical-statistical methods of planning and processing of experimental results, their systematization and processing using modern software.

Experimental studies of the sorption activity of carbon materials in relation to organic compounds have been carried out and the positive effect of modified fiber on the sorting purification process has been proved. When sorption of acetic acid by activated carbon fiber and modified carbon fiber under static conditions, it was found that the activated modified material sorbs 1,3 to 1,7 times more than the activated carbon fiber.

Ключові слова: водно-спиртова суміш, сортівка, активоване та модифіковане волокно, сорбційні властивості, окиснюваність.

Keywords: water-alcohol mixture, sorting, activated and modified fiber, sorption properties, oxidation.

Постановка проблеми. Використання для приготування горілок та горілок особливих високоякісного спирту етилового ректифікованого та води підготовленої дає змогу отримати сортівку – напівпродукт горілчаного виробництва [1]. Характерного специфічного горілчаного аромату і смаку горілка набуває тільки після оброблення сортівки (водно-спиртової суміші, ВСС) спеціальними адсорбентами [1].

Обробка ВСС є складним фізико-хімічним процесом, який оснований на здатності адсорбентів адсорбувати органічні домішки, не видалені під час ректифікації та водопідготовки, що погіршують дегустаційні показники готової продукції, а також впливають на сорбційну та каталітичну дію активного вуглецевого матеріалу, прискорюючи окиснювальні процеси. Останні сприяють зміні якісно-кількісного складу мікродомішок, в тому числі естерів, з утворенням високомолекулярних сполук [1, 2].

Значна частина мікродомішок, які видаляються з ВСС, являє собою неполярні і слабополярні сполуки – багатоатомні спирти, жирні кислоти та інші, тому їх адсорбція з ВСС здійснюється за рахунок Ван-дер-Ваальсових сил. Максимальний адсорбційний потенціал при цьому належить порам, що співмірні за розмірами з адсорбованими молекулами. Об’єм мікропор обумовлює не тільки адсорбційну ємність, а також кінетику адсорбції [1, 2].

На лікеро-горілчаних заводах України є обов’язковим застосування динамічного способу обробки сортівки активним вугіллям. Цей спосіб полягає в тому, що ВСС пропускають через одну або дві послідовно сполучені вугільні колонки, завантажені активним вугіллям на основі деревини або на основі кісточкової чи кокосової сировини. В цих умовах тільки частина активної поверхні адсорбенту використовується під час обробки сортівки. Масообмін між потоком ВСС та поверхневою плівкою рідини на активному вуглецевому адсорбенті малоефективний і уповільнений. У вугільних колонах обробки ВСС ступінь використання матеріалу під час очищення сортівок вкрай нерівномірний в різних точках перетину колони, що призводить до неповного використання активних властивостей адсорбенту [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останнім часом в Україні і за кордоном існує стала тенденція до використання імпрегнованих матеріалів в установках «Срібної», «Платинової»,

«Золотої» фільтрації, а також установок картриджного «Діамантового» та «Перлового» фільтрування [1–4].

В Україні установки «Срібної», «Платинової» та «Золотої» фільтрації встановлюють після вугільно-очисної батареї для додаткового очищення ВСС з метою підвищення її органолептичних показників [1].

В установках поєднано знезолене активне вугілля на основі кокосової сировини, імпрегноване сріблом або платиною в елементах патронного (картриджного) типу та в мікрофільтраційному обладнанні. Під час роботи елементів ВСС проходить через мінівугільну колонку з засипаним імпрегнованим вугіллям. Конструкція фільтрувального елементу враховує здатність сорбенту змінювати об'єм в процесі роботи та виключає можливість утворення каналів за широкого діапазону швидкостей фільтрування [1–9].

Основою установки «Золотої» фільтрації є фільтрувальні елементи з намотаними з різною щільністю, з'єднаними між собою золотими шовковими нитками з текстурованою джгутовою поліпропіленовою ниткою [2].

Перевагами застосування установок є: висока швидкість очищення сортівок, великий ресурс роботи, легкість і зручність експлуатації фільтрувальних елементів. Недоліками цих способів очищення є можливість міграції металів у оброблену ВСС, заповнення мікропор АВ металевим сріблом чи платиною зі зменшенням поверхні контакту [1–6].

В установках «Перлового» фільтрування ВСС проходить через шар натуральних перлів, «Діамантового» фільтрування – через активне вугілля північної берези, а потім через крихту дорогоцінних каменів - діамантів, рубінів, смарагдів [2].

Новим етапом у розвитку технології виробництва горілок є контактна технологія обробки ВСС мінералами у динамічному режимі з поліпшенням смаку та наданням горілкам м'якості. При цьому фізико-хімічні показники ВСС під час контактування з поверхнею мінералів змінюються, що сприяє структурній перебудові рідини [1].

Рівень розвитку сучасних сорбційних технологій дає змогу виробляти сорбційні матеріали з заданими властивостями, оптимальною пористою структурою та поверхнею. Сучасними способами підвищення ефективності очищення ВСС є імпрегнування сорбентів або оброблення колоїднодиспрегнованим сріблом, або наночастками. Для цього застосовують матеріали, отримані на основі побічних продуктів переробки рослинної сировини, природних мінералів, волокнистих і тканинних матеріалів, сорбентів на полімерній основі [1, 3, 8, 9].

Також використовують додаткові білкововмісні сорбенти — продукти, до складу яких входять високомолекулярні сполуки: сухе знежирене молоко, сухі молочні суміші, модифікований крохмаль, яєчний порошок, біомаса клітин мікроорганізмів [1–3]. Застосування білкововмісних сорбентів дає змогу зменшити у очищеній сортівці масову концентрацію альдегідів і сивушного масла до 2-х разів, об'ємну частку метанолу на 10 – 15% і таким чином покращити фізико-хімічні показники у порівнянні з граничними вимогами чинних національних стандартів [1–3].

На сьогодні проводяться дослідження, спрямовані на зменшення вмісту токсичних мікродомішок спирту із застосуванням вуглецевих нанотрубок [8–12]. Виконано квантово-хімічні дослідження процесів адсорбції молекул важких спиртів (нормального і ізомерного пропанолу) на зовнішній поверхні одношарових вуглецевих нанотрубок. Після обробки ВСС наномодифікованними нанотрубками спостерігається зменшення масової концентрації оцтового альдегіду і сивушного масла на 20% [8–12].

Для додаткового очищення ВСС застосовують спеціальний фільтрувальний матеріал, в якому частинки активного вугілля утримуються волокнами целюлози, яку спеціально введено до складу матеріалу, а також імпрегнованою позитивно зарядженою смолою. Проведені дослідження показали ефективність фільтрування ВСС на фільтрувальних елементах, заповнених спеціальним фільтрувальним матеріалом для підвищення окиснюваності та зменшення масової концентрації органічних мікродомішок [13].

Проведений аналіз вказує на актуальність удосконалення технології очищення ВСС лікеро-горілчаного виробництва шляхом додаткового очищення з використанням матеріалів з високими адсорбційними властивостями.

Метою статті є дослідження сорбційних властивостей активованого та модифікованого вуглецевого волокна для очищення сортівки.

Результати досліджень

Якість сортівки та готової горілки в значній мірі визначається складом органічних домішок. Сорбційний матеріал здатний селективно сорбувати мікродомішки, знижуючи вміст деяких з них, а також прискорювати окислювальні процеси, що призводять до зміни складу мікродомішок. При тривалій роботі сорбційний матеріал поступово втрачає ці властивості і в певний момент настає процес десорбції. Таким чином, в результаті спільної дії процесів селективної сорбції, каталізу і десорбції відбуваються кількісні зміни складу мікродомішок [1].

Під час сорбційного очищення ВСС спеціальним сорбційним матеріалом більшість компонентів присутні в мікроконцентраціях. В таких складних системах сорбція окремих речовин залежить від багатьох факторів: властивостей мікродомішок, їх концентрації, розміру і будови їх молекул; властивостей сорбційного матеріалу (його природи, пористої структури, розміру часток, характеру поверхні); тривалості контакту розчину, який очищують з спеціальним сорбційним матеріалом.

В складних системах на сорбційну здатність спеціального сорбційного матеріалу до окремого компоненту впливає присутність інших мікрокомпонентів. Під час сорбції з ВСС, в яких присутні мікродомішки з різною довжиною вуглеводневого ланцюга, важко передбачити вплив кожного компонента на сорбційну здатність активного вугілля чи

іншого сорбційного матеріалу до окремого з них [1].

У дослідженнях використовували:

АВВ – спеціальний активований мікропористий адсорбційний матеріал на основі вуглецевого волокна;

АМВВ – активований мікропористий наномодифікований адсорбційний матеріал на основі вуглецевого волокна.

Сорбційну здатність активованого та модифікованого вуглецевого волокна відносно деяких основних мікродомішок досліджували в статичних і динамічних умовах. Для дослідження в статичних умовах було обрано малоактивну в хімічному відношенні оцтову кислоту, яка не здатна до каталітичних реакцій, особливо в звичайних умовах.

Кінетику сорбції оцтової кислоти вивчали на основі її нормальних водних розчинів, змінюючи тривалість контакту, товщину матеріалу і його активність. Для виключення впливу зольних елементів активований та модифікований матеріал відмивали ВСС і просушували між листами фільтрувального паперу. Наважку матеріалу масою 25 г заливали 100 см^3 нормального водного розчину оцтової кислоти і струшували протягом 5, 10, 15, 30, 45 і 60 хв. Потім розчин кислоти відфільтровували, визначали кількість адсорбованої оцтової кислоти в залежності від тривалості контакту та товщини волокна (рис. 1).

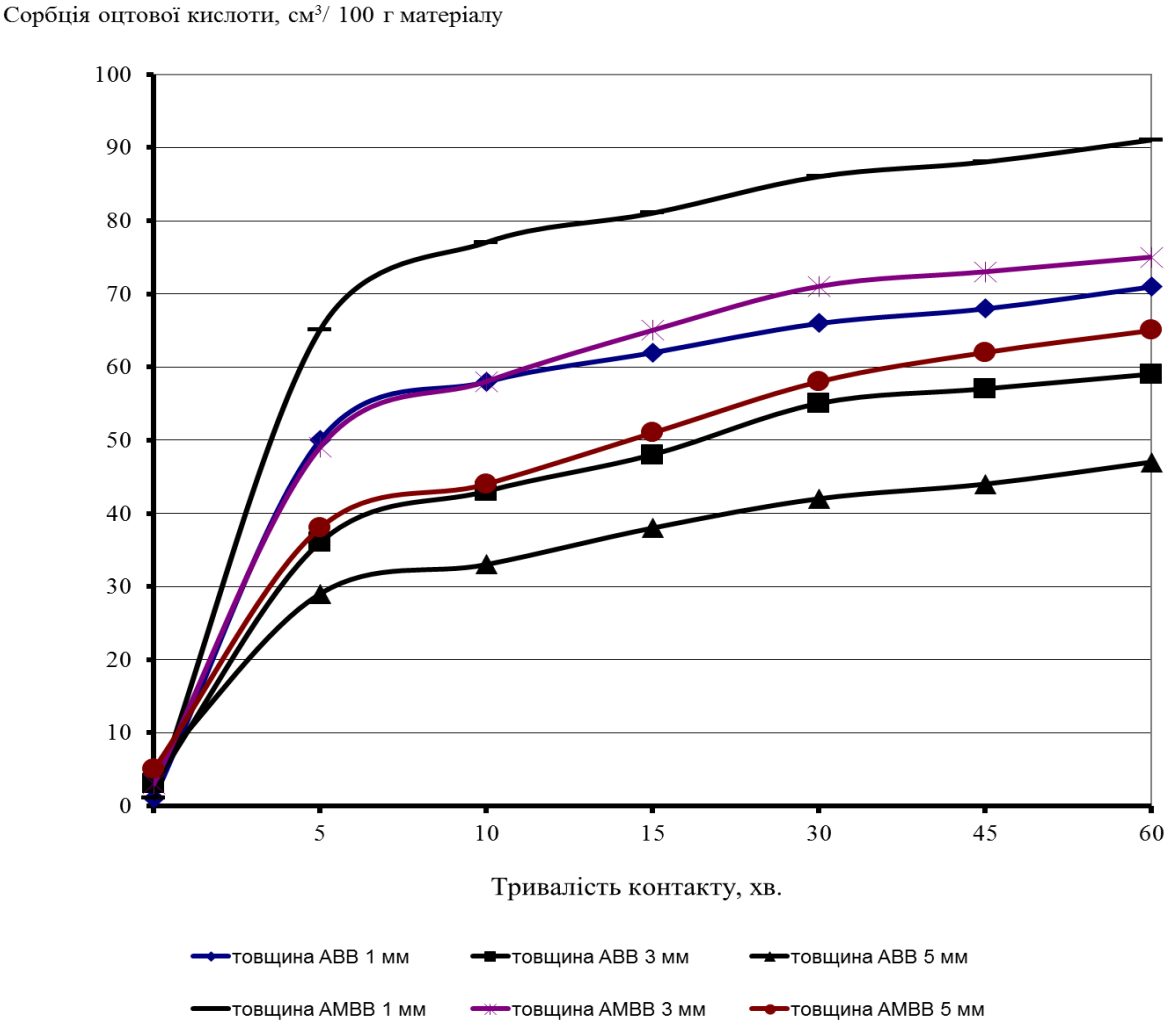


Рис. 1. Криві сорбції оцтової кислоти активованим та модифікованим вуглецевим волокном

Як видно з рис. 1 оптимальна тривалість контакту для сорбції оцтової кислоти вугіллям становить 5–30 хв. Найбільш ефективно процес сорбції проходить в перші хвилини після внесення матеріалу в розчин. Оскільки швидкість сорбції оцтової кислоти залежить від товщини матеріалу, тому більш тонкий матеріал має більшу сорбційну здатність. Встановлено, що для активованого модифікованого матеріалу сорбція оцтової кислоти проходить в 1,3–1,7 рази більш активніше ніж для АВВ в аналогічних умовах.

Оскільки активоване модифіковане вуглецеве волокно є більш ефективним за сорбційною здатністю (рис. 1) у подальшому динаміку поглинання розчинених у ВСС основних мікродомішок спирту досліджували шляхом очищення через шар АМВВ (рис. 2, 3) [1, 14].

У вихідній ВСС (міцність (40±0,2) %) масова концентрація, мг/дм^3 б.с., становила: ацетальдегіду — 4, етилацетату — 2, ізобутанолу — 1,0, ізоамілолу — 1,0, н-пропанолу – 1,0.

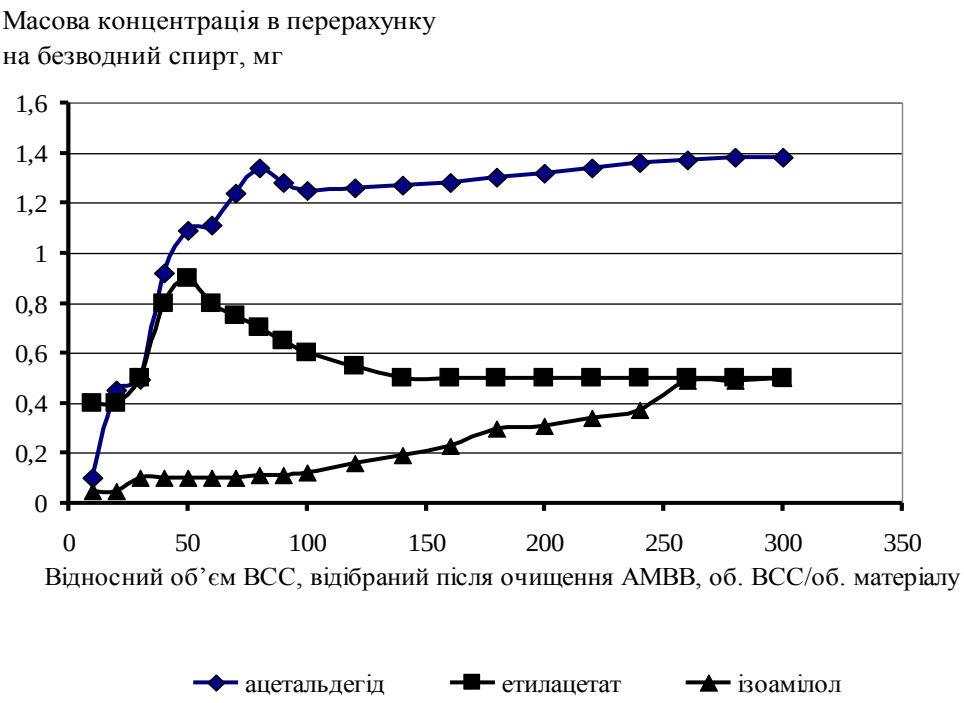


Рис. 2. Сорбційна здатність АМВВ до ацетальдегіду, етилацетату та ізоамілового спирту у ВСС

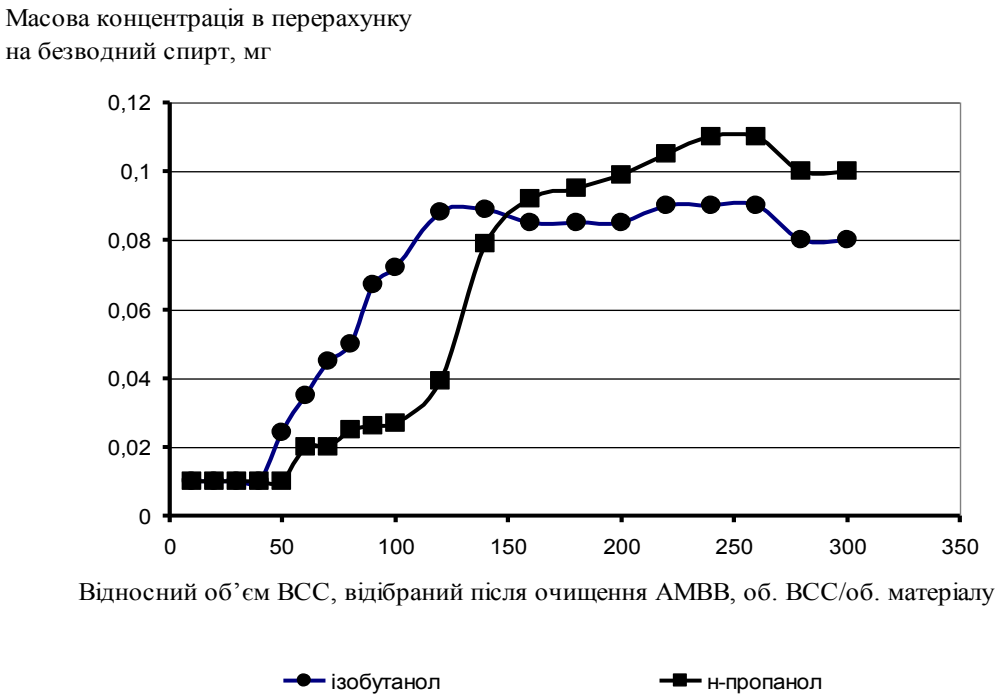


Рис. 3. Сорбційна здатність АМВВ до ізобутилового та н-пропілового спирту у ВСС

Отримані дані (рис. 2, 3) вказують, що по мірі пропускання ВСС через матеріал кількість мікродомішок у відібраних фракціях збільшується. За характером кривих можна зробити висновок, що найбільш повно сорбується етилацетат, дещо менше – ізоамілол і значно гірше – ацетальдегід і ізобутанол, н-пропанол

Таким чином, в початковий період спостерігається висока ступінь сорбування матеріалом усіх мікродомішок. По мірі насичення поверхні АМВВ основними мікродомішками ВСС їх сорбція погіршується та на певному етапі наступає рівновага. Виключення складає ацетальдегід, кінетична крива якого спочатку різко йде догори досягаючи максимуму. Збільшення вмісту ацетальдегіду в досліджуваному розчині, можна пояснити його утворенням за рахунок каталітичного окиснення етанолу і недостатній сорбції.

Таким чином, під час оброблення ВСС активованим модифікованим вуглецевим волокном з роз-

чину видаляються речовини, які не тільки негативно, а й позитивно впливають на його органолептичні властивості, наприклад, етилацетат.

Прийнято вважати, що показник окиснюваності за Лангом визначає ненасичені сполуки, присутні у ВСС. Тривалість окиснювання залежить не лише від тривалості та умов оброблення спеціальним адсорбентом, а й від складу вихідного спирту етилового ректифікованого та води підготовленої [1, 15].

Визначено, що різниця окиснюваності була більшою на 2–3 хв. за усім циклом очищення сортівки під час застосування АМВВ у порівнянні з АВВ. (рис. 4).

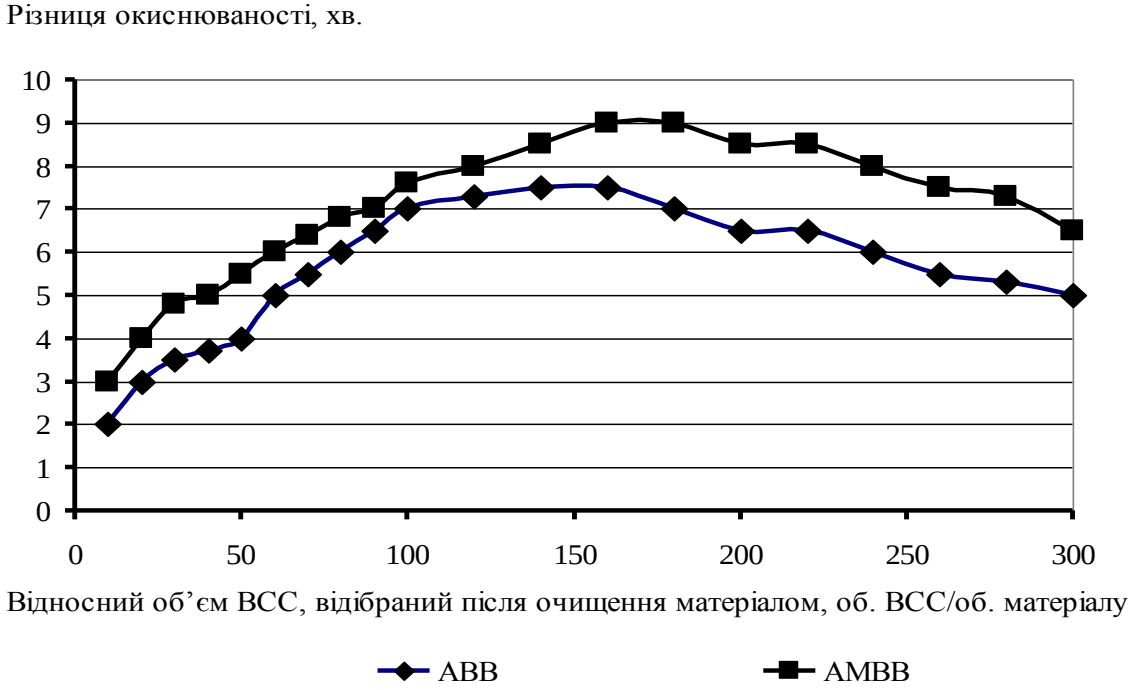


Рис. 4. Залежність різниці окиснюваності від відносного об'єму ВСС, очищеної АВВ та АМВВ

Спостерігали (рис. 4) збільшення на 4–5 хв. показника окиснюваності за відносного об'єму очищеної ВСС від 50 до 180 об'ємів на об'єм матеріалу, при цьому максимальна різниця окиснюваності становила:

— 9 хв. під час оброблення АМВВ та відносного об'єму 160 – 180 об. ВСС/об. матеріалу,

— від 7 хв. до 7,5 хв. під час обробки АВВ та відносного об'єму 100 – 180 об. ВСС/об. матеріалу.

Досліджено залежність різниці окиснюваності від тривалості контакту ВСС з АВВ та АМВВ (рис. 5).

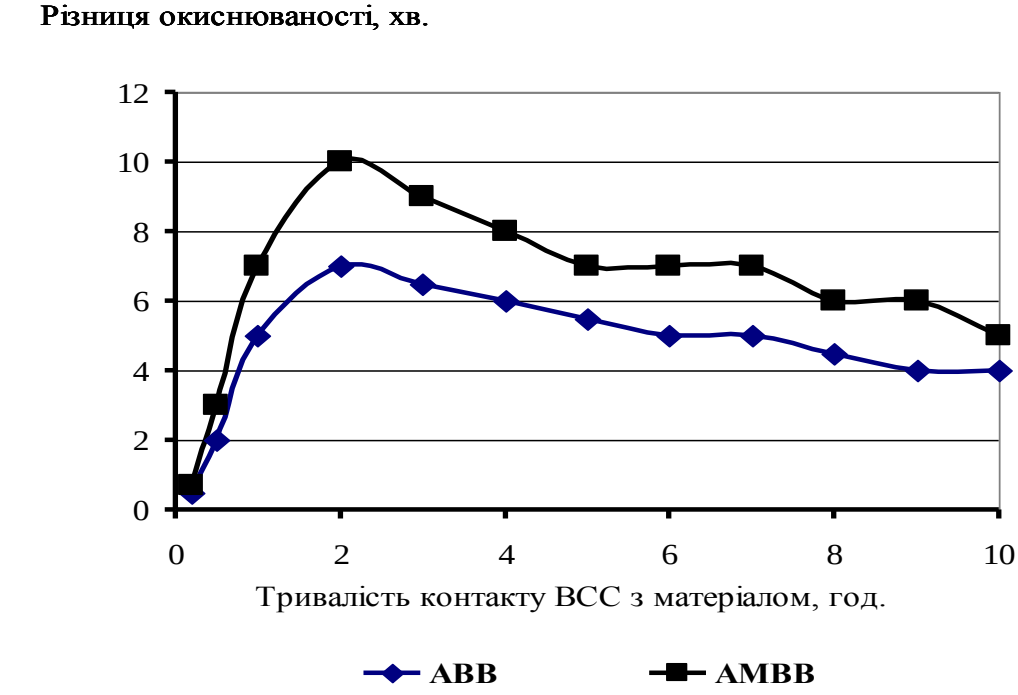


Рис. 5. Залежність різниці окиснюваності від тривалості контакту ВСС з АВВ та АМВВ

Встановлено, що за тривалості контакту ВСС з АВВ та АМВВ до 10 хв. величина різниці окиснюваності є незначною (нижче 2 хв.). При збільшенні тривалості контактування ВСС з відповідним матеріалом до 2 год. спостерігається підвищення різниці окиснюваності під час застосування:

— АМВВ від 3 хв. до 10 хв.,

— АВВ від 2 хв. до 7 хв.

За подальшого збільшення тривалості контакту з матеріалом спостерігається поступове зменшення різниці окиснюваності сортівки.

Висновки. Було доведено позитивний вплив активованого та модифікованого волокна на процес очищення сортівки під час виробництва горілок. Для забезпечення високої ефективності очищення ВСС від негативного впливу мікродомішок спирту важливе значення має оптимальна тривалість контакту, яка становить від 30 хв. до 2 год. Застосування активованого та модифікованого волокна з високими сорбційними властивостіми дає змогу удосконалити технологію очищення водно-спиртових сумішей та підвищити якість готової продукції.

Список літератури

1. Іванов С.В., Домарецький В.А., Прибильський В.Л. Інноваційні технології продуктів бродіння і виноробства. Київ: НУХТ, 2012. 487 с.

2. Макаров С. Ю., Славская И. Л. Инновации в технологии и оборудовании приготовления водок. Москва: ООО «НИПКЦ Восход-А», 2011. 156 с.

3. Етимбаева А. Р., Прохасько Л.С. Инновации в производстве продукции. // Молодой ученый, 2014. Т. 10, № 69. С. 142–144.

4. Тарасов А.В. Применение установок «серебряной фильтрации» в технологии приготовления водок //Индустрия напитков, 2006. № 4. С. 10–13.

5. Христюк В.Т., Тарасевич Ю.И., Дунец Р.В. Получение угольно-минеральных сорбентов из отходов пищевой промышленности // Известия вузов. Пищевая технология, 2001. № 2–3. С. 44–47.

6. Петров А.Н., Олонцев В.Ф., Лимонов Н.В. Тенденции в использовании активных углей в ликеро-водочной отрасли. // Информационный бюлетень «Отраслевые ведомости. Ликероводочное производство и виноделие», 2004. № 57. С. 5–7.

7. Макеева А.Н. Новые марки активных углей для водочного производства: Сб. «Прогрессивные технологии и современное оборудование – важнейшие составляющие успеха экономического развития предприятий спиртовой и ликероводочной промышленности». М.: Пищепромиздат, 2003. С. 152–157.

8. Жабкина Т.Н., Кречетникова А.Н., Ревина А.А. Применение наночастиц серебра для модифицирования фильтрующих материалов// Производство спирта и ликероводочных изделий, 2005. №1. С. 20–21.

9. Жабкина Т.Н., Смирнова И.В., Ревина А.А., Кречетникова А.А. Создание адсорбентов, модифицированных наночастицами серебра //Биотехнология - состояние и перспективы развития: Материалы I Международного Конгресса. Москва, 2002. С. 400–401.

10. Запороцкова Н.П., Запороцкова И.В., Ермакова Т.А. Сорбционная активность углеродных нанотрубок как основа инновационной технологии очистки водно-этанольных смесей // Вестник ВолГУ, 2011. Т. 10, №. 5. С. 106–110.

11. Дьячкова Т.Ю., Климов Е.С., Давыдова О.А. Модифицирование природного цеолита углеродными нанотрубками для улучшения сорбционных свойств // Вестник ЮУрГУ, 2010. Т. 10, № 3. С. 5–15.

12. Запороцкова И.В., Ермакова Т.А., Перевалова Е.В., Степанова А.Ю., Борознин С.В., Марутич А.В., Запороцкова Н.П. Исследование влияния углеродных нанотруб на процесс очистки спиртосодержащих жидкостей // Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Инновационная деятельность, 2010. № 4. С. 42–51.

13. Бурачевский И. И. Исследование возможности расширения спектра адсорбционных материалов при производстве водок // Производство спирта и ликероводочных изделий, 2011. № 2. С. 22–23.

14. ДСТУ 4646:2006. Спирт етиловий, горілки, напої лікеро-горілчані. Газохроматографічний метод визначання справжності [Чинний від 01-07-2007]. Київ. Держспоживстандарт України, 2007. 14 с.

15. ДСТУ 7404:2013 Горілки, горілки особливі. Метод визначання окиснюваності [Чинний від 01-07-2014]. Київ. Держспоживстандарт України, 2014. 10 с.

POLISH JOURNAL OF SCIENCE
№34 (2020)
VOL. 1

ISSN 3353-2389

Polish journal of science:

- has been founded by a council of scientists, with the aim of helping the knowledge and scientific achievements to contribute to the world.
- articles published in the journal are placed additionally within the journal in international indexes and libraries.
- is a free access to the electronic archive of the journal, as well as to published articles.
- before publication, the articles pass through a rigorous selection and peer review, in order to preserve the scientific foundation of information.

Editor in chief –J an Kamiński, Kozminski University
Secretary – Mateusz Kowalczyk

Agata Żurawska – University of Warsaw, Poland
Jakub Walisiewicz – University of Lodz, Poland
Paula Bronisz – University of Wrocław, Poland
Barbara Lewczuk – Poznan University of Technology, Poland
Andrzej Janowiak – AGH University of Science and Technology, Poland
Frankie Imbriano – University of Milan, Italy
Taylor Jonson – Indiana University Bloomington, USA
Remi Tognetti – Ecole Normale Superieure de Cachan, France
Bjørn Evertsen – Harstad University College, Norway
Nathalie Westerlund – Umea University, Sweden
Thea Huszti – Aalborg University, Denmark
Aubergine Cloez – Universite de Montpellier, France
Eva Maria Bates – University of Navarra, Spain
Enda Baciu – Vienna University of Technology, Austria

Also in the work of the editorial board are involved independent experts

1000 copies
POLISH JOURNAL OF SCIENCE
Wojciecha Górskiego 9, Warszawa, Poland, 00-033
email: editor@poljs.com
site: http://www.poljs.com