

ТЕКСТИЛ ОБЛЕКЛО

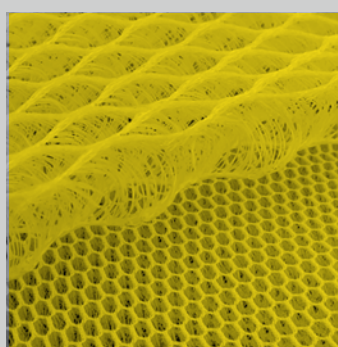
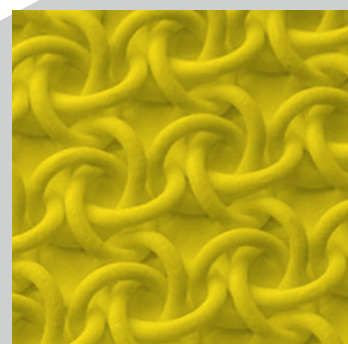
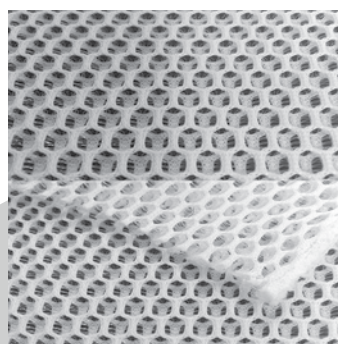
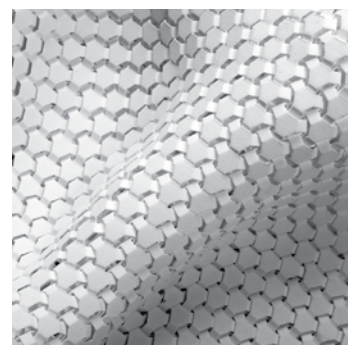
TEXTILE AND GARMENT MAGAZINE

НТС
ПО ТЕКСТИЛ,
ОБЛЕКЛО
И КОЖИ
www.tok.fnts.bg

5

2023
година
LXXV
от 1949 г.

open access



ISSN 1310-912X (Print)
ISSN 2603-302X (Online)
www.bgtextilepublisher.org
<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2023.0005>

mika des 00391-001

Основа: 37.1/1 см
Вътък: 26.4/1 см
Сплитка: 8x8; 8 Нищелки

ArahWeave www.arahne.si
DobbyPro 9.7m E.Miroglio
localhost.localdomain:arahne 2.6.2023



модел на основа[284]: 36A4B4C4B4C4B36A36D4A36E4D10F4D4A4D10F4D36E4A36D

| | | | | | |
|---|---|---|---|----------------------------|----------------------------|
| A 1/50 Nm 720 Z 73153 MELVI MELVI H048 * | B 1/50 Nm 720 Z 73153 MELVI MELVI H6V4 * | C 1/50 Nm 720 Z 73153 MELVI MELVI HGHP * | D 1/50 Nm 720 Z 73153 MELVI MELVI H099 * | E 30/1 NeC 300 S H2T1 * | F 30/1 NeC 300 S HV93 * |
|---|---|---|---|----------------------------|----------------------------|

модел вътък[228]: 28a2(4b4c)4b28a28d4a28e4d6f4d4a4d6f4d28e4a28d

| | | | | | |
|---|---|---|---|----------------------------|----------------------------|
| a 1/50 Nm 720 Z 73153 MELVI MELVI H048 * | b 1/50 Nm 720 Z 73153 MELVI MELVI H6V4 * | c 1/50 Nm 720 Z 73153 MELVI MELVI HGHP * | d 1/50 Nm 720 Z 73153 MELVI MELVI H099 * | e 30/1 NeC 300 S H2T1 * | f 30/1 NeC 300 S HV93 * |
|---|---|---|---|----------------------------|----------------------------|

ТЕКСТИЛ И ОБЛЕКЛО

НТС по текстил,
облекло и кожи



БРОЙ 5/2023

УДК

СЪДЪРЖАНИЕ

- 678 ТЕКСТИЛНИ МАТЕРИАЛИ СЪС СЕНЗОРНИ СВОЙСТВА И ФОТОДИНАМИЧНА АКТИВНОСТ, Тема №5/6, Текстилни материали с фотодинамична активност. Същност на фотодинамичната активност. Механизъм на действие. Основни групи фотосенсибилизатори. Области на приложение на фотодинамичната терапия
Десислава Станева, Иво Грабчев 129
<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2023.00005.01>
- 678 ОПТИМИЗИРАНЕ НА БОЯДИСВАНЕТО НА АКРИЛНИ ВЛАКНА В ЛАБОРАТОРНИ УСЛОВИЯ
Горан Амин, Сандра Константинович, Игор Йорданов, Драган Джорджевич 146
<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2023.00005.02>
- 677 ПРОУЧВАНЕ НА ДИЗАЙНА НА КОМПОНЕНТИ ЗА СИСТЕМИ ЗА ЛИЧНА БАЛИСТИЧНА ЗАЩИТА (РВР) С ИЗПОЛЗВАНЕ НА САД/САМ/САЕ СИСТЕМИ
Стамен Антонов, Петя Генчева 153
<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2023.00005.03>

Научна област. Статиите отразяват разработки и решения от текстилната наука и практика. Те се отнасят към някои от областите според УДК:

- 33** Икономика. Икономически науки.
- 377** Специално образование. Професионално образование. Професионални училища.
- 378** Висше образование/ Висши учебни заведения.
- 677** Текстилна промишленост. Технология на текстилните материали.
- 678** Промишленост на високомолекулярните вещества. Каучукова промишленост. Пластмасова промишленост.
- 687** Шивашка промишленост.
- 745/749** Приложно изкуство. Художествени занаяти. Интериор. Дизайн.
- 658.512.23** Художествено конструиране (промишлен дизайн).

Адрес на редакцията:

1000 София, ул. "Г. С. Раковски" 108, стая 407, тел.: 02 980 30 45
e-mail: textilejournal.editor@fnts.bg
www.bgtextilepublisher.org

ISSN 1310-912X (Print)
ISSN 2603-302X (Online)

<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2023.0005>

Банкова сметка:

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИ СЪЮЗ ПО ТЕКСТИЛ, ОБЛЕКЛО И КОЖИ
ИН по ДДС: BG 12111930
Сметка IBAN: BG43 UNCR 9660 1010 6722 00



Печат и предпечат:
АГЕНЦИЯ КОМПАС ООД

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

доц. д-р инж. Ивелин Рахнев, главен редактор доц. д-р инж. Мария Спасова, ИП-БАН, технически редактор

проф. д-р инж. Христо Петров, ТУ-София
проф. д-р инж. Андреас Хараламбус, Колеж-Сливен (ТУС)
проф. д-р инж. Снежина Андонова, ЮЗУ-Благоевград
проф. д-р инж. Радостина Ангелова, ТУ-София
проф. д-р инж. Златина Казлачева, ФТТ-Ямбол
доц. д-р инж. Десислава Грабчева, ХТМУ-София
доц. д-р инж. Стела Балтова, МВБУ-София

доц. д-р инж. Анна Георгиева, ХТМУ-София
доц. д-р инж. Капка Манасиева, ВСУ-Варна
доц. д-р инж. Румен Русев, ФТТ-Ямбол
доц. д-р инж. Красимир Друмев, ТУ-Габрово
доц. д-р Ивелина Вардева, СИЕНСИС-София
д-р Незабравка Попова-Недялкова, НБУ-София
д-р Николай Божилов, НХА-София

ЧУЖДЕСТРАНЕН НАУЧЕН КОМИТЕТ

проф. д-р Жан-Ив Дреан - УЮЕ, Мюлуз, Франция
проф. д-р инж. А. Сезай Сарач, ТУ-Истанбул, Турция
проф. д-р инж. Йордан Кьосев, ТУ-Дрезден, Германия
проф. д-р инж. Горан Дембоски, Ун. "Св. св. Кирил и Методий", Скопие, С. Македония
доц. д-р инж. ВУ Ти Хонг Кхан, ХУНТ, Ханой, СР Виетнам
проф. д-р инж. Сабер Бен Абдесалем, НИУ - Монастир, Тунис

ИНФОРМАЦИЯ ЗА АВТОРИТЕ

ПРАВИЛА ЗА ДЕПОЗИРАНЕ И ПУБЛИКУВАНЕ НА СТАТИИ

Подаването на докладите трябва да се адресира до редакцията на имейл
(textilejournal.editor@fnts.bg);

Докладите трябва да са написани на български език от български автори и на английски (работен) език за чуждестранни автори.

Споразумение за прехвърляне на авторски права трябва да бъде подписано и върнато на нашата редакция по поща, факс или имейл, колкото е възможно по-скоро, след предварителното приемане на доклада. С подписването на това споразумение авторите гарантират, че целият труд е оригинален и не е бил публикуван, изпраща се само в списанието и че целият текст, данни, фигури и таблици, включени в труда са оригинални и непубликувани преди това или подавани другаде в каквато и да е форма. Процесът на рецензиране започва след получаване на този документ. В случай, че докладът вече е представян на конференция, той може да бъде публикуван в нашето списание, само ако не е бил публикуван в общодостъпни материали от конференцията; при такива случаи трябва да се направи съответното изявление, което се поставя в редакционните бележки в края на статията.

Общ стил и оформление

Обемът на доклада не трябва да надхвърля 12 стандартни страници (А4) в една колона (страница от 3600 знака), вкл. Таблици и фигури. Форматът е MS Office Word (normal layout). Рецензентите си запазват правото да съкратят статията, ако е необходимо, както и да променят заглавията.

Заглавието на доклада не трябва да надхвърля 120 знака.

Пълните имена на авторите, както и пълните наименования на институциите, в която работят - факултет, катедра, университет, институт, компания, град и държава трябва да са ясно посочени. Авторът за кореспон-денция и неговият/нейният имейл трябва да са указани.

Резюмето на доклада е на английски и не трябва да надхвърля една страница.

Ключовите думи трябва да са в рамките на 4 до 6.

Фигурите и илюстрациите се номерират последователно (с арабски цифри) и трябва да са споменати в текста. Фигурите се влагат в текста с формат **JPG с минимум 300 dpi**. Фигурите трябва да бъдат интегрирани в текста в **редактируема форма**.

Таблиците, със заглавие и легенда по желание, трябва да бъдат номерирани последователно и трябва да са споменати в текста.

Бележките под линия трябва да се избягват.

Препратките (цитирана литература) трябва да се цитират последователно по ред на появяване в текста, изписани чрез транслитерация на латиница, като се използват цифри в квадратни скоби според **системата Ванкувър**.

TEXTILE MATERIALS WITH SENSORY PROPERTIES AND PHOTODYNAMIC ACTIVITY

Topic No: 5/6, Textile materials with photodynamic activity.

Nature of photodynamic activity.

Mechanism of action. Main groups of photosensitizers.

Fields of application of photodynamic therapy.

Desislava Staneva¹, Ivo Grabchev²

¹ *University of Chemical Technology and Metallurgy, 1756 Sofia, Bulgaria*

² *Sofia University "St. Kliment Ohridski", Faculty of Medicine, 1407 Sofia, Bulgaria*

E-mail: grabcheva@mail.bg

Abstract

The textbook "Textile materials with sensory properties and photodynamic activity" (ISBN 978-954-91951-6-3) is intended for the students of the Master's specialty "Medical Textiles" of the University of Chemical Technology and Metallurgy, as well as for all those who work in this field, conduct scientific research, apply these materials in practice and everyday life, or show interest in smart textile materials. It aims to introduce them to two modern and rapidly developing areas in the field of textile production, as well as to technologies for modifying textile materials to give them new properties such as sensory properties and photodynamic activity. Textile materials with sensory properties refer to the so-called intelligent textile materials, which can be used to monitor various vital functions, changes in health status and early diagnosis, as well as various changes in the environment. Their advantage is the ability to be worn constantly without causing discomfort. Their preparation is related to the use of different types of indicator dyes, therefore students need to familiarize themselves with the structure and principles of operation of optical sensors and their application in modifying textile materials. The essence and mechanism of action of photodynamic therapy are discussed. Various photosensitizers and their use in the preparation of textile materials with various medical applications (antimicrobial, self-cleaning, medicinal, etc.) are presented.

ТЕКСТИЛНИ МАТЕРИАЛИ СЪС СЕНЗОРНИ СВОЙСТВА И ФОТОДИНАМИЧНА АКТИВНОСТ

Тема №5/6, Текстилни материали с фотодинамична активност.

Същност на фотодинамичната активност.

Механизъм на действие. Основни групи фотосенсибилизатори.

Области на приложение на фотодинамичната терапия

Десислава Станева¹, Иво Грабчев²

¹Химикотехнологичен и металургичен университет, 1756 София, България

²Софийски университет "Свети Климент Охридски", Медицински факултет,
1407 София, България

E-mail: grabcheva@mail.bg

Резюме

Учебникът "Текстилни материали със сензорни свойства и фотодинамична активност" (ISBN 978-954-91951-6-3) е предназначен за студентите от магистърската специалност „Медицински текстил“ на Химикотехнологичния и металургичен университет, както и за всички, които работят в тази сфера, провеждат научни изследвания, прилагат тези материали в практиката и ежедневието си или проявяват интерес към интелигентните текстилни материали. Той има за цел да ги запознае с две съвременни и бързоразвиващи се направления в областта на текстилното производство, както и с технологиите за модифициране на текстилните материали, за да им бъдат придадени нови свойства като сензорни свойства и фотодинамична активност. Текстилните материали със сензорни свойства се отнасят към т. нар. интелигентни текстилни материали, с помощта на които могат да се наблюдават различни жизнени функции, промяна в здравословното състояние и ранна диагностика, както и на различни промени в околната среда. Тяхно предимство е възможността да бъдат носени постоянно, без да създават дискомфорт. Получаването им е свързано с употребата на различни видове индикаторни багрила, затова студентите е необходимо да се запознаят със структурата и принципите на действие на оптичните сензори и приложението им при модифициране на текстилни материали. Разгледана е същността и механизма на действие на фотодинамичната терапия. Представени са различни фотосенсибилизатори и тяхната употреба при получаване на текстилни материали с различни медицински приложения (антимикробни, самопочистващи се, лечебни и др.).

Текстилни материали с фотодинамична активност

III.1. Същност на фотодинамичната терапия. Механизъм на действие

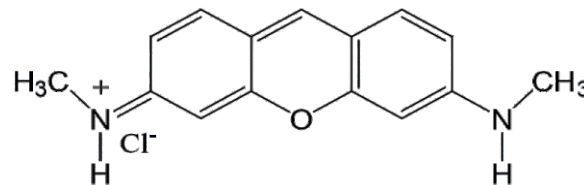
1.1. Исторически сведения

В медицинската практика третирането на кожните заболявания със светлина датира от преди 1400 год. пр. н. е. Този вид лечение е известно в момента като фототерапия. Тя се провежда под действието на ултравиолетова, видима или инфрачервена светлина при отсъствие или присъствие на фотосенсибилизатор. Когато не се използва фотосенсибилизатор, фототерапията се прилага главно в дерматологията за лечение на различни заболявания: дефицит на витамин D, неонатална жълтеница, псориазис, екзема, витилиго, полиморфна светлинна ерупция, кожен Т-клетъчен лимфом, лихен планус и дори за облекчаване симптомите на болестта на Паркинсон.

При фотохимиотерапията се използват фотосенси-билизатори (ФС). Това са съединения, които абсорбират светлинната енергия и я предават на съседните молекули. Те в комбинация с подходящо електромагнитно лъчение и в присъствието на кислород генерират синглетни кислородни молекули или радикали, които могат да унищожат целевите клетки, включително ракови и микробни клетки.

Това явление случайно е открито през 1900 г. в Мюнхен от студента по медицина Oscar Raab, който участва в проучване, свързано с токсичността на багрилата при разработване на докторската си дисертация. Въпреки многото повторения на експериментите с изследваното в малки концентрации багрило акридиново

червено (фигура 66) върху *Paramecium* spp., той получава различни невъзпроизводими резултати.



Фиг. 66. Химична структура на акридиново червено

Заедно със своя научен ръководител Hermann von Tappeiner установява, че наблюдаваната токсичност зависи от времето през деня и количеството дневна светлина, което е единственият променящ се параметър. По-късно Н. von Tappeiner прилага този подход заедно с Albert Jesionek за клинично лечение на кожни карциноми и те въвеждат термина „фотодинамичен феномен“. През 1904 г. Jodlbauer и von Tappeiner и Huber през 1905 са първите, които описват успешното фотодинамично дезактивиране на бактерии. По-нататъшните изследвания показват, че фотодинамичната терапия е ефективна срещу паразити, вируси, бактерии, гъбички и др. Така комбинирането на фотосенсибилизатор и светлина като терапевтично средство за първи път е приложено в началото на XX век, но е одобрено едва през 90-те години на XX век.

1.2. Механизъм на фотодинамичната терапия

Фотодинамичната терапия има терапевтичен ефект, който зависи от комбинирането на различни параметри, представени на фигура 67. Това са количеството на биологично активното вещество - фотосенсибилизатор, което е

нетоксично на тъмно, количеството на кислорода и характеристиките на светлината, обикновено от видимия или инфрачервения спектър (разпределението на интензитета, в зависимост от дължината на вълната, хомогенността и възпроизводимостта). При фотодинамичната терапия могат да се използват различни светлинни източници, но обикновено лъчението е по-малко от 100 mW cm^{-2} .



Фиг. 67. Елементи на фотодинамичната терапия

Механизмът на образуването на синглетен кислород и радикали е представен на фигура 68.

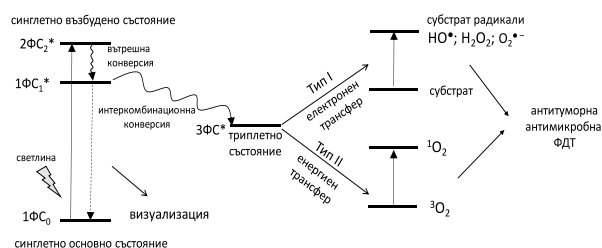
– под действието на светлината фотосенсибилизаторът абсорбира фотон и преминава от основно (1FC_0) до първото (1FC_1^*) или второто (2FC_2^*) възбудено състояние. От 2FC_2^* възбудено състояние чрез вътрешна конверсия той се връща до 1FC_1^* състояние. Когато е в 1FC_1^* възбудено състояние, фотосенсибилизаторът може да се върне в основно състояние, излъчвайки флуоресценция или да претърпи интеркомбинационна конверсия и да премине във възбудено триплетно състояние (3FC^*), което е с по-ниска енергия и с по-

дълго време на живот. От състояние 3FC^* фото-сенсibiliзаторът също може да се върне в основно състояние чрез излъчване на светлина - фосфоресценция. В състояние 3FC^* фотосенсибилизаторът обаче е много реактивоспособен и може да участва в две реакции, които включват молекулен кислород:

– при реакциите тип I се образува йон радикал чрез електронен трансфер между възбудения в триплетно състояние фотосенсибилизатор и съседна молекула на субстрата. Йон радикалът, който се е получил може да реагира по-нататък с кислорода в основно състояние, при което се получават реактивни кислородни видове, които включват супероксиден радикал ($\text{O}_2^{\bullet-}$), водороден пероксид (H_2O_2) и хидроксилен радикал (OH^{\bullet}), които окисляват биомолекулите и причиняват клетъчно увреждане и в крайна сметка апоптоза.

– при реакциите тип II енергията от фотосенсибилизатора на 3FC^* триплетно ниво се прехвърля към кислорода, който е в триплетно състояние ($^3\text{O}_2$) и го възбужда до синглетен кислород $^1\text{O}_2$.

Смята се, че реакциите от тип I и тип II (фигура 67) протичат едновременно по време на ФДТ, а съотношението между тях зависи от вида на фотосенсибилизатора и средата, в която се прилага ФДТ.



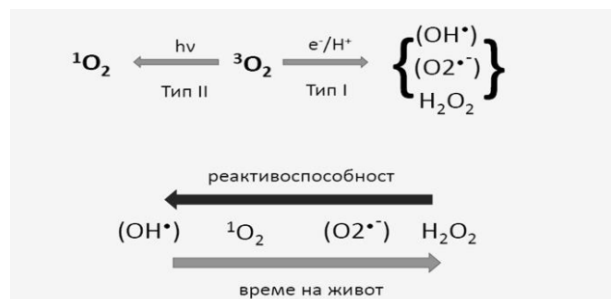
Фиг. 68. Фотохимичен механизъм на реакция за получаване на различни реактивни кислородни видове (радикали и синглетен кислород)

1.3. Синглетен кислород

Синглетният кислород е газообразно неорганично вещество с химична формула $O=O$ и с квантово състояние, при което всички електрони са сдвоени. Той е кинетично нестабилен при температурата на околната среда, но скоростта му на разпадане е бавна. Най-ниското възбудено състояние на двуатомната кислородна молекула е синглетно състояние. Това е газ с физични свойства, които се различават едва доловимо от тези на най-разпространеното триплетно основно състояние на кислорода. По отношение на химичната си реактивоспособност синглетният кислород е по-реактивоспособен към органични съединения, но е отговорен и за фоторазграждане на много минерали. Участва в различни реакции в органичната химия и е важна част от фотодинамичната терапия. Следи от синглетен кислород се намират в горните слоеве на атмосферата, а също и в замърсения градски въздух, където той допринася за образуването на увреждащия белите дробове азотен диоксид NO_2 . Често се появява и съжителства в среди, които също генерират озон, като борови гори с фоторазграждане на терпентин, съдържащ се в дърветата.

Молекулярната основа на оксидативния стрес се корени в специфичната химична структура на кислорода. Молекулата му притежава два несдвоени електрона с паралелни спинове в триплетно състояние и затова кислородът лесно приема по един електрон. В резултат на това се получават много агресивни радикалови форми наречени активни кислородни форми - супероксиден радикал ($O_2^{\cdot-}$), хидроксилен радикал (OH^{\cdot}) и водороден пероксид (H_2O_2) при реакция тип I и синглетен

кислород (1O_2) при реакция тип II. На фигура 69 е представен реда на реактивоспособността на активните кислородни форми и времето им на живот.



Фиг. 69. Характеристики на реактивните кислородни видове

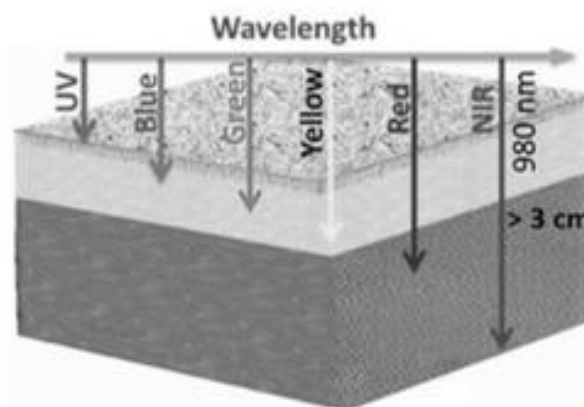
Съществуват различни методи за получаване на синглетен кислород. Облъчване на кислороден газ в присъствието на органично багрило като сенсibiliзатор, като например метиленово синьо или порфирина. Големи стационарни концентрации на синглетен кислород се отчитат от реакцията на пирогроздената киселина в триплетно възбудено състояние с разтворен във вода кислород.

Синглетният кислород, въпреки че е неразделна част от фотодинамичната терапия, е трудно контролируем, страда от слаба селективност и има бърза скорост на разлагане в биологична среда. Провеждат се изследвания за контролирано освобождаване на синглетен кислород и за инициране на селективни взаимодействия, за да се получи последователен и възпроизводим терапевтичен ефект върху целевата тъкан.

1.4. Характеристики на фотосенсибилизаторите за фотодинамични цели

Във ФДТ основна роля играе вида на фотосенсибилизаторът (ФС) и неговата

концентрация, а използваната светлина трябва да е близка до абсорбционния му максимум и да има подходящ интензитет. След откриването на фотодинамичният процес в началото на 20 век са започнали да се използват „светлинно активиращи се багрила“ като фотосенсибилизатори. През последните 20 години се предприемат различни подходи за оптимизиране на фотодинамичните свойства на ФС, чрез модифициране на химичната им структура или чрез разработване на нови класове ФС. Структурата на фотосенсибилизаторите определя фотофизичните и фармакокинетичните им свойства и като следствие води до различна ефективност, селективност, методи за прилагане, схеми за облъчване и странични ефекти (появата в дългосрочен план на фототоксичност). Абсорбционният спектър в УВ-Видимата област на всеки един фотосенсибилизатор е може би най-важното му фотофизично свойство. Добре е да съществува възможност за контрол върху абсорбционните свойства на фотосенсибилизаторите, тъй като различните тъкани изискват различни дължини на вълните на възбуждане, в зависимост от мястото, размера, плътността и пигментацията си. Дълбочината на проникване на светлината през тъканите е пряко свързано с дължината на вълната ѝ. Коефициентът на пропускане на биологичните тъкани е относително нисък при по-малка дължина на вълната и нараства в дълговълновата област. Трябва да се има в предвид, че водата започва да абсорбира силно енергията с дължина на вълната по-голяма от 900 nm. На фигура 70 е представено взаимодействието на светлината с тъканите.



Фиг. 70. Схематично представяне на дълбочината на проникване на различните дължини на вълната в модел на тъкан.

1.5. Свойства на фотосенсибилизаторите

Идеалният фотосенсибилизатор за фотодинамична терапия трябва да има следните характеристики:

- а) лесно да се синтезира;
- б) да бъде химически чист и с познат състав;
- в) да притежава висок квантов добив на синглетен кислород (Φ от 0.2 до 0.8);
- г) да има силна абсорбция в червената област на видимия спектър (680–800 nm) с висок коефициент на екстинкция (ϵ_{\max}), напр. $50\,000 \div 100\,000 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1} \text{ nm}$ за *in vivo* лечение, поради пречещото влияние на хемоглобина и меланина в областта с по-ниска дължина на вълната. Това позволява въвеждането на минимално количество фотосенсибилизатор и генерирането на голямо количество реактивни частици;
- д) да притежава дълга продължителност на живот в триплетно състояние и енергия на триплетното състояние по-голяма от 94 kJ/mol^{-1} ;
- е) ефективно и предимно да се натрупва в атакуваните тъкани (напр. туморна тъкан);
- ж) да притежава ниска токсичност на

тъмно, а също и неговите метаболити (продукти, получени при разпадането му);

(з) да бъде стабилен, разтворим в телесните тъканни течности и лесно да се въвежда в тялото чрез инжектиране или други методи;

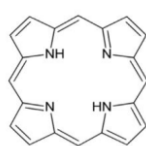
(и) да се отделя бързо от тялото след завършване на терапевтичния процес.

1.6. Влияние на фотосенсибилизатора

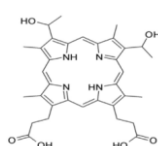
Фотосенсибилизаторите са важен компонент във фотодинамичната терапия. От тях зависи инкубационното време, дължината на вълната, светлинната доза, молекулния отговор на клетките на терапията. Много съединения са изследвани за приложение във ФДТ, както *in vitro*, така и *in vivo*. Изследванията в областта са актуални, тъй като е необходимо цялостно разбиране за молекулния механизъм на действие на фотосенсибилизаторите, тяхната ефективност при генериране на синглетен кислород, афинитета на клетъчните структури и тяхната реакция.

III.2. Основни групи фотосенсибилизатори

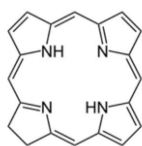
Фотосенсибилизаторите имат дълга система от спрегнати двойни връзки и абсорбират светлина във видимата или инфрачервената област, поради което са цветни съединения или багрила. Най-изследваните фотосенсибилизатори са: порфирины; хлорини; фталоцианини; синтетични багрила и природни вещества (фигура 71). Сред тях най-широко използваните фотосенсибилизатори са порфирините и сродни на тях съединения.



порфирин



хематопорфирин

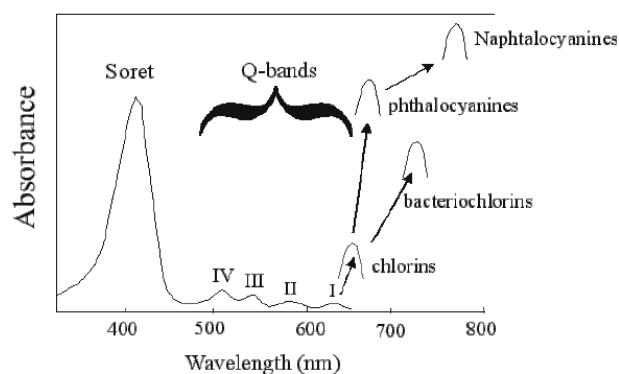


хлорин

Фиг. 71. Структури на (а) порфирин, (б) хематопорфирин, (с) хлорин

2.1. Порфирины

В природата порфирините играят важна роля във фотосинтезата, транспорта на кислород, реакциите на биологично окисление и редукция. Те са добре разтворими във вода, тъй като съдържат катионни групи, което определя и големият им афинитет към клетъчните структури (включително отрицателно заредените ДНК и РНК), както и имат капацитет за производство на синглетен кислород, за разлика от техните електроотрицателни и неутрални аналози. Първото приложение на модерната ФДТ е докладвана през 1913 г. и първите вещества, които са одобрени като фотосенсибилизатори в Канада през 1993 г. са именно порфирините. Повечето порфирины се активират при 440 nm *in vitro* и при 630 nm *in vivo*, поради наличието на няколко Q-ивици, както е показано на фигура 72.

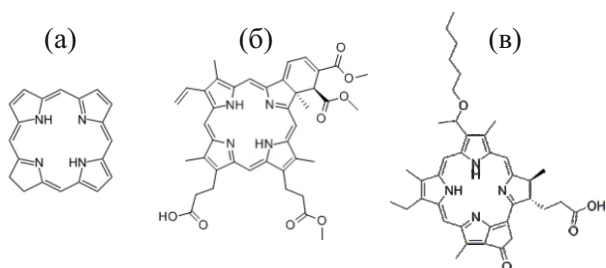


Фиг. 72. Абсорбционен спектър на порфиринови фотосенсибилизатори с характерни ивици: Soret-ивица и четири Q-ивици

2.2. Хлорини

Друг клас съединения, използвани широко във ФДТ са хлорините, които са производни на хлорофила и се получават

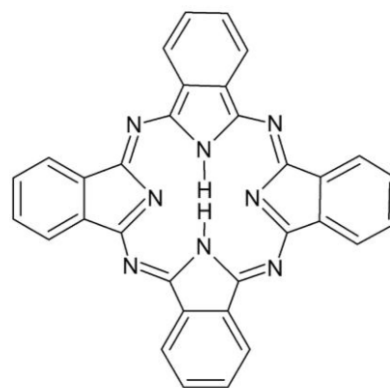
от спинулина. Химичната им структура се получава чрез редукция на порфирините и имат по-добри абсорбционни свойства, които могат допълнително да се подобрят чрез комплексообразуване на метални йони. В зависимост от структурата си се активират със светлина в областта на 650–700 nm. Някои от тях са в търговската мрежа Foscan®, Verteporfin®, Bremachlorin®, Photochlor®, а други все още се изследват. Химичните им структури са представени на фигура 73.



Фиг. 73. Структури на (а) хлорин, (б) ветерпорфин, (в) 2-[1-хексилоксиетил 1]-2-девинил пирофенофорбид-а

2.3. Фталоцианини

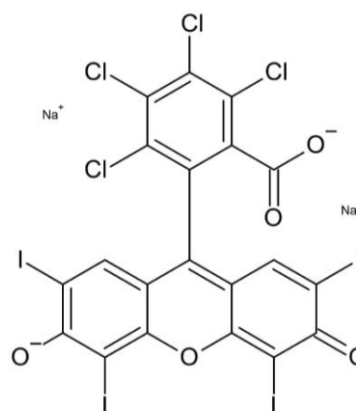
От 1928 г. фталоцианините се използват като багрила, отличаващи се с термична стабилност, интензивен цвят и голяма инертност. По-късно намират приложение в области като електрониката, фотоволтаиците, електрофотографията, електрокатализата и ФДТ. Те имат интензивна абсорбция в областта 670–700 nm (червената светлина), което позволява дълбоко проникване в тъканите, добро генериране на синглетен кислород и голяма фотостабилност. Могат да координират метални йони във вътрешността си, което създава различни възможности за регулиране на физичните им свойства чрез синтетично модифициране. Основната химичната структура на фталоцианините е представена на фигура 74.



Фиг. 74. Фталоцианин

2.4. Бенгалската роза

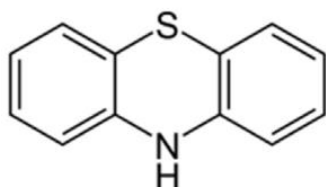
Химичната структура на бенгалската роза е представена на фигура 75. Тя проявява противотуморна и антимикробна активност. Изследвана е като фотосенсибилизатор, както отделно, така и свързана с наночастици. Излъчва силна флуоресценция след възбуждане със светлина при 520 nm. Действието ѝ се ограничава от това, че е хидрофилно съединение, което трудно прониква в клетките. За преодоляване на този недостатък се използват методите на нанотехнологията, с което се подобрява проникването ѝ през клетъчната мембрана.



Фиг. 75. Химична структура на синтетичното багрило бенгалската роза

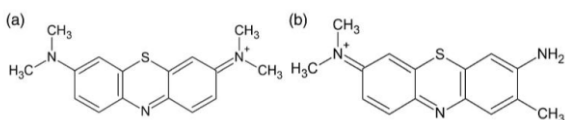
2.5. Фенотиазинови производни

Основната химична структура на фенотиазините е представена на фигура 76.



Фиг. 76. Основна химична структура на фенотиазините

Основни представители на фенотиазиновите производни са метиленовото синьо и толуидиновото синьо, с химични формули, представени на фигура 77. Метиленовото синьо има два абсорбционни пика при 635 nm и при 670 nm. Намира приложение в медицинската практика поради ниската си токсичност и генерирането на синглетен кислород и хидроксилни радикали, което предизвиква апоптоза на клетките. Толуидиновото синьо има абсорбционен пик при 620-660 nm и проявява по-слабо изразена активност като фотосенсибилизатор за фотодинамична терапия.

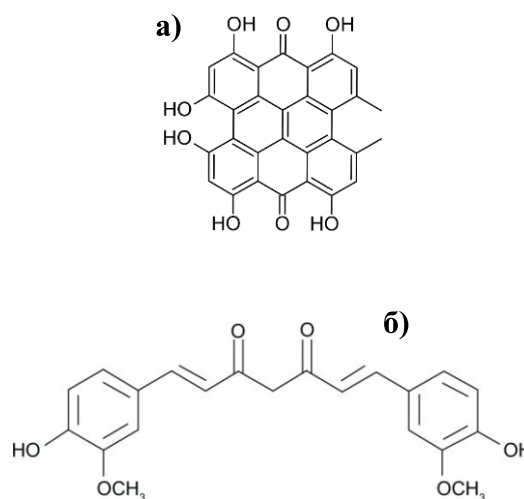


Фиг. 77. Химични структури на: а) метиленово синьо; б) толуидиново синьо

2.6. Хиперицин

Хиперицинът е природен пигмент изолиран от жълтия кантарион (вид *Hypericum*) и традиционно намира приложение в народната медицина. През последните години той е обект на

задълбочени биохимични изследвания с цел доказване на неговата антидепресивна, антинеопластична, противотуморна и антивирусна (човешки имунодефицит и вирус на хепатит С) активност. Също така в сравнително новите области на медицинската фотохимия и фотобиология, интензивните изследвания разкриват, че хиперицинът е обещаващ нов терапевтичен и диагностичен агент при лечение и откриване на рак (фотодинамично активиране на производството на свободни радикали).



Фиг. 78. Химична структура на а) хиперицин и б) куркумин

Хиперицинът има ниска цитотоксичност на тъмно и значителна антиракова активност при комбиниране със светлина (фигура 78а). Светлина с максимум при 590 nm го активира, което води до флуоресцентна емисия в червената спектрална област. Неговото време на полуживот в кръвта е 2 часа, а пълното му елиминиране от организма е приблизително 38.5 ч. Действието му зависи от количеството и мястото му на приложение. След облъчване започва

получаването на реактивни кислородни видове. Предизвиква клетъчен стрес и активиране на клетките на имунната система, което е свързано със скоростта на апоптозата.

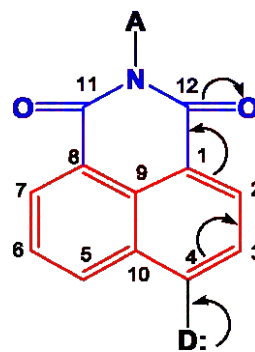
2.7. Куркумин

Куркуминът е полифенолно природно съединение, чиято химична формула е представена на фигура 786. Поради специфичния си цвят и биологично действие се използва и като подправка. Има антибактериални и антиоксидантни свойства. Намира различни медицински приложения при лечение на рани, чернодробни болести или ставни възпаления. Негов основен недостатък е слабата разтворимост във вода, което намалява неговата бионаличност. Действието му се подпомага чрез различни модификации (капсулиране, липозоми, липопротеини), чрез които се повишава неговата биосъвместимост. Подобрява се и неговата фототоксична активност.

2.8. 1,8-Нафталиמידни флуорофори

Химичната структура на 1,8-нафталиמידните производни комбинира две подсистеми: нафтаденово ядро и дикарбокси имидна група (-OC-NR-CO), свързана в шест членен цикъл, както е показано на фигура 80. При облъчване, поляризацията на 1,8-нафталиמידната молекула се осъществява в резултат на донорно-акцепторно (Д-А) взаимодействие между електрон акцепторните карбонилни групи от имидната структура и заместителя в четвърта позиция (С-4) на нафтаденовото ядро. Тази поляризация води до излъчване на флуоресцентна емисия с различни нюанси на син, жълт, зелен и

оранжево-червен цвят. По този начин варирайки електрондонорната способност на заместителя в С-4 позиция може да се моделира синтеза на 1,8-нафталиמידните съединения с предварително зададени и желани цветови свойства и интензитет на флуоресцентната емисия.



Фиг. 80. Химична структура на 1,8-нафталиמיד

В зависимост от това каква флуоресценция излъчват 1,8-нафталиמידните флуорофори те се разделят на следните две групи:

- Излъчващи виолетова, синя или синьо-зелена флуоресценция с максимуми в областта 380 - 460 nm;
- Излъчващи от жълто-зелена до оранжево-червена флуоресценция с максимуми >460 nm.

Изследванията на фотофизичните свойства на производните на 1,8-нафталиמידните флуоресцентни багрила показват, че те се отличават с интензивна флуоресценция, с висок квантов добив и продължително време на живот на възбудено състояние, което ги прави полезни инструменти за изследвания и диагностика. Поради характерните си фотохимични свойства и биологична активност те намират приложение в различни области като химия, биология и материалознание, за маркиране и

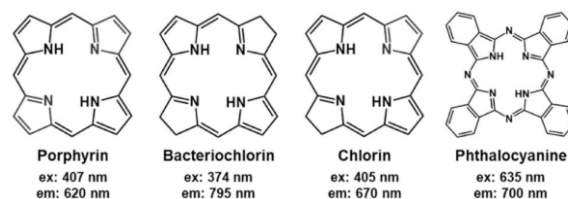
визуализация на различни обекти. Чрез специален дизайн на 1,8-нафталимидните производни са създадени високоефективни и селективни сензорни системи за откриването на различни по природа замърсители в течна среда. Получени са и различни хетерогенни полимерни сензори за многократна употреба за откриване на метални йони и протони. Те намират приложение за получаване на диагностика и клетъчни изображения. На тяхна основа са разработени терапевтични средства като противоракови лекарства и фотосенсибилизатори за фотодинамична терапия.

До момента има редица изследвания, свързани с прилагане на 1,8-нафталимидите и модифицирани с тях високомолекулни съединения, включително и текстилни материали като фотосенсибилизатори в антибактериална фотодинамична терапия за преодоляване предизвикателството на антимикробната резистентност спрямо използваните в клиничната практика антибиотици. Отложени върху текстилни материали и при облъчване, те не позволяват развитието на патогенни микроорганизми. Това ги прави подходящи за получаване на антимикробен текстил и превръзки за рани. Въпреки това синтезирането и приложението на тези флуорофори върху текстилните материали представлява интерес, с цел постигане на най-подходящите условия за приложение, целенасочено действие и добри потребителски свойства.

2.9. Одобрени фотосенсибилизатори за *in vivo* клинично приложение

Фотосенсибилизаторите, които са одобрени вече за клинично приложение

са: порфирин, бактериохлорин, хлорин, фталоцианин (фигура 79).



Фиг. 79. Химична структура на одобрените за клинично приложение фотосенсибилизатори и фотофизичните им характеристики

III.3. Области на приложение на фотодинамичната терапия

Фотодинамичната терапия е ефективен инструмент за лечение на рак, както и за фотодезактивиране на бактерии, вируси, гъбички и паразити.

3.1. Фотодинамичната антитуморна терапия

Фотодинамичната антитуморна терапия се нарежда на четвърто място сред противотуморните методи за лечение, след хирургичната интервенция, химиотерапията и лъчетерапията. Тя намира приложение и при различни други заболявания като възрастовата макулна дегенерация, ревматоиден артрит, атеросклеротични плаки и др. При фотодинамичната антитуморна терапия фоточувствителните вещества трябва да се прилагат системно. След възбуждане на фотосенсибилизатора се генерира синглетен кислород, чрез който се унищожават туморните клетки. Антираковата фотодинамична терапия се прилага в клиничната практика от няколко десетилетия за третиране на актинова кератоza или на базално-клетъчен карцином.

3.2. Антимикробна фотодинамичната терапия (АФДТ)

Поради масовото навлизане на антибиотиците през ХХ век, проучванията и практическата употреба на АФДТ остават дълго време в застой. Антимикробните приложения на фотодинамичните процеси са преоткрити едва през 90-те години на ХХ век, след появата на първата резистентна инфекция към прилаганите дотогава в клиничната практика антибиотици. Многогодишната и неконтролирана употреба на антибиотици води до продължаващо световно нарастване на лекарствената резистентност сред много класове патогенни микроби. Многолекарствената резистентност на патогенните бактерии се превръща в сериозна заплаха за общественото здраве. Световната здравна организация предупреждава, че приближава "пост-антибиотична ера, в която дребните наранявания и обикновените инфекции могат да убиват". Грам-положителните и Грам-отрицателните супербактерии, като *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Enterobacter species*, т.нар. патогени "ESKAPE", са способни да устоят на почти всички видове/класове антибиотици, използвани в клиничната практика. Поради това намирането на нови подходи за борба с мултирезистентните бактерии става все по-важно и наложително.

Антимикробната фотодинамична терапия (АФДТ) е обещаващ подход за лечение на бактериални инфекции, които са неподатливи на антибиотици. Този метод е известен с много имена, като

антимикробна фотодинамична инактивация, антимикробна фотоинактивация, антимикробна фотодинамична терапия, летална фотосенсибилизация, фотоактивирана дезинфекция (в областта на стоматологията), фотодинамична антимикробна химиотерапия и фотодинамична инактивация на бактерии. Всички тези терапии се различават само по наименованието, тъй като работят по един и същи начин, т.е. чрез използване на светлина за активиране на екзогенни съединения, наричани фотосенсибилизатори (ФС), генерирайки реактивни кислородни видове, които убиват патогените микроорганизми. ФС няма или има много малка антимикробна активност на тъмно. Под действие на светлина с подходяща дължина на вълната, при която фоточувствителното съединение абсорбира фотони, обикновено във видимия спектрален диапазон (400-700 nm), то преминава от основно състояние през възбудено синглетно състояние до триплетно състояние, в което реагира с молекулите на триплетния кислород съгласно механизмът, представен на фигура 68. В резултат на фотоактивирането на ФС се образуват реактивни кислородни видове (РКВ), включващи синглетен кислород ($^1\text{O}_2$) или радикали, които са токсични за целевите клетки. ФС, разположен в бактериите или на бактериалната повърхност предизвиква тяхната клетъчна смърт.

В момента АФДТ се прилага за клинично лечение на бактериални инфекции в устната кухина, но са необходими още изследвания за приложението ѝ при други заболявания. АФДТ има голям потенциал да се справи с

разрушаване на бактериални биофилми, които иначе са много трудни за въздействие. АФДТ е много ефективна при локализиране на микробни инфекции на кожата. Освен това тя може да се комбинира с други антимицробни методи, което да компенсира техните недостатъци и да се постигне синергичен бактерициден ефект.

С развитието и усъвършенстването на оптичната технология и прилагането на нови фотосенсибилизатори се очаква, че АФДТ ще стане един от най-обещаващите подходи за лечение на бактериални инфекции, особено тези, причинени от бактерии с множествена лекарствена резистентност.

АФДТ има няколко предимства пред антибиотиците:

Първото важно предимство е, че АФДТ проявява специфично действие към мястото на заразяване, поради:

- преобладаващото свързване/приемане на ФС от целевите клетки в сравнение с нецелевите клетки;
- фармакодинамичната инерция на необлъчените ФС;
- целево облъчване на заразената област.

В резултат на което токсичността до голяма степен липсва извън облъчената зона, наситена с ФС.

Друго важно предимство на АФДТ пред антибиотиците е, че не се развива резистентност срещу ФС. В това отношение повторното третиране с АФДТ не води до селекция на резистентни щамове, което се дължи на няколко причини:

- Времето между прилагането на ФС и протичането на ФДТ е твърде кратко, за да могат бактериите да развият резистентност.

- Фотосенсибилизаторите обикновено не проявяват токсичност, в резултат на което на бактериите не се налага да включват адаптивни механизми за оцеляване срещу тях.

- За бактериите е трудно да "усетят", че оксидативният стрес произлиза от иначе нетоксичния ФС, така че всички метаболитни адаптации са насочени другаде (напр. към антиоксидантните защитни механизми).

- Клетките са твърде увредени след ФДТ, което ги лишава от възможността да предават адаптивност между поколенията. Освен това, АФДТ не е насочена към едно-единствено място в бактериалните клетки, което е много по-различно от конвенционално използваните антибиотици. Реактивните кислородни видове, генерирани от АФДТ, са насочени към различни структури на бактериалните клетки и различни метаболитни пътища.

Тези причини са в основата на потенциалната ползност на АФДТ в борбата с резистентните щамове по минимално инвазивен и удобен за пациентите начин.

Ефикасността на АФДТ зависи най-вече от оптималната комбинация от ФС и светлината. Идеалният ФС за АФДТ трябва да се характеризира с висока фототоксичност, ниска токсичност на тъмно, висок квантов добив на генериране на $^1\text{O}_2$ или свободни радикали, преференциално свързване с бактерии в сравнение с клетките на бозайниците, подходяща фармакокинетика и натрупване в бактериите или свързване с бактериалната клетъчна обвивка. Свързването на ФС с бактериалната клетка и поглъщането зависят от бактериалния вид. Поради отличителната структура на клетъчната обвивка, Грам-

положителните патогени са много по-податливи към анионни и неутрални ФС поради дебелия, но поръозен пептидогликанов слой върху външната повърхност. Грам-отрицателни бактерии са по-малко склонни да приемат екзогенни съединения поради допълнителната външна мембрана и бариерата на пропускливост, която се налага от липополизахаридите. За предпочитане е АФДТ да се извършва с катионни ФС при двата вида бактерии. Доказано е, че катионните фенотиазинови, фталоцианинови и порфиринови производни значително повишават фототоксичността както при Грам-положителни, така и при Грам-отрицателни видове. В някои случаи обаче, отрицателно заредени или неутрални ФС с висока концентрация са по-ефективни от катионните ФС. Въпреки че не се поемат в големи количества от бактериите, ФС се натрупват извънклетъчно в непосредствена близост до клетъчната мембрана. Генерирането на реактивни междинни продукти в непосредствена близост до клетъчните структури причинява директно окисление на тези компоненти или позволява трансмембранна дифузия на реактивни междинни продукти и последващо окислително увреждане на различни вътреклетъчни цели. В повечето случаи АФДТ протича предимно чрез процеси от тип II. Въпреки това, сравнявайки ФС, които са склонни да преминават през механизъм тип I или тип II, се е установило, че Грам-отрицателните видове са по-чувствителни към ОН, отколкото към $^1\text{O}_2$. Следователно при насочване към Грам-отрицателни видове се предпочита реакция от тип I. Много ФС първоначално са показали висока

инактивационна ефикасност срещу Грам-положителни бактерии в нативната си форма. По-късно обаче тези ФС са модифицирани структурно чрез добавяне на катионни функционални групи, за да се подобри терапевтичната ефикасност и при Грам-отрицателни видове.

3.3. Предимства и недостатъци на АФДТ

Методът на АФДТ за лечение на бактериални и гъбични инфекции има значителни предимства и перспектива в сравнение с обичайно използвани в клиничната практика лекарствени средства. Той е замислен да бъде евтин, екологичен и да показва високо ниво на безопасност при различни приложения. Основните предимства на АФДТ са следните:

(1) широк спектър от действие: ФС ефективно инактивират бактерии, вируси, гъбички и паразити както в латентни, така и вегетативни състояния, противоречащи на химио-лечението;

(2) ефективна фототоксична активност срещу устойчиви на антибиотици микробни щамове;

(3) липса на селекция на фотоустойчиви микробни видове;

(4) нисък мутагенен потенциал;

(5) висока селективност при умъртвяването на патогени в сравнение с тъканите на гостоприемника;

(6) висока селективност в пространство и време; микро-секундният кратък живот и високата реактивност на синглетният кислород ($^1\text{O}_2$) ограничава фотооксидативното увреждане на средата;

(7) възможност за повторно използване на ФС, което прави технологията по-евтина и екологична.

Като недостатък на АФДТ може да се

отчете, че реактивните кислородни видове, генерирани при фотовъзбуждане, са неспецифични и следователно те могат да убият както патогенните, така и полезните бактерии, намиращи се в близост. Съвременните технологии позволяват да се контролира реакцията чрез оптимизиране на концентрациите на ФС, време на излагане на светлина и интензитета на светлината. Въпреки това, напредък в специфичното за организма прикрепване/доставяне на ФС и к о н т р о л и р а н о т о производство/освобождаване на реактивните кислородни видове са предизвикателство. АФДТ ефективно убива патогенните микроорганизми като *Escherichia coli* и *Pseudomonas aeruginosa*, отговорни за инфекции при животни и хора. Първо поколение ФС като толуидиново синьо или метиленово синьо предизвиква увреждане на клетъчната стена и разрушаване на ДНК в целевите микроорганизми. Освен това, силата на някои вирулентни фактори (липополизахариди и протеаза) е доказано, че намаляват чрез фотосенсибилизация. Поради локализиран и неинвазивен характер, страничните ефекти на много антибиотици са малко вероятни да се случат. Освен това, развитието на резистентност към АФДТ би било малко вероятно, тъй като неговата бактерицидна активност се дължи на $^1\text{O}_2$ и други реактивни кислородни видове като хидроксилни радикали, които засягат редица клетъчни цели. Вируси като HIV-1, HSV и VSV също са податливи на АФДТ. Например метиленово синьо фотоуврежда ядрото протеини, вирусната РНК и ензими на HIV-1.

Използвана литература

1. Optochemical nanosensors, edited by A. Cusano, F. Arreghi, M. Giordano, A. Cutolo, CRC Press Taylor&Francis Group, 2012, ISBN 9781439854891.
2. J.F. Kennedy, K. Bunko, 10 - The use of 'smart' textiles for wound care, edited by: S. Rajendran, In Woodhead Publishing Series in Textiles, Advanced Textiles for Wound Care, Woodhead Publishing, 2009, 254-274, ISBN 9781845692711.
3. Intelligent Textiles and Clothing for Ballistic and NBC Protection, Technology of cutting edge, edited by P. Kiekens, S. Jayaraman, Springer, 2012, ISBN 978-94-007-0576-0.
4. A. P. Demchenko, Introduction to Fluorescence Sensing, 2009, XXVI, p. 590, Chapter 12 (Opening New Horizons), p. 507-544, ISBN: 978-1-4020-9002-8.
5. Photodynamic Therapy. From Theory to Application, edited by Abdel-Kader, Mahmoud H., Springer, 2014, ISBN: 978-3-642-39628-1.
6. Mark Wainwright, Photosensitisers in Biomedicine, 2009, Wiley, ISBN: 978-0-470-74494-9.
7. Joseph R. Lakowicz, Principles of Fluorescence Spectroscopy, 3rd ed., Springer, 2006, ISBN-13. 978-0387312781.
8. A. Lang (Editor), Dyes and pigments: New research, Nova Science Publishers, 2009, ISBN 978-1-60692-027-5.
9. В. Василева, Багрила и текстилни спомагателни средства, изд. ХТМУ, 2002, ISBN 954-8954-23-0.
10. Georgiev NI, Bakov VV, Anichina KK, Bojinov VB. Fluorescent Probes as a Tool in Diagnostic and Drug Delivery Systems. Pharmaceuticals (Basel). 2023, 16(3), 381, DOI: 10.3390/ph16030381.
11. A. Lobnik, M. Turel, Šp. K. Urek (2012). Optical Chemical Sensors: Design and Applications, Advances in Chemical Sensors, Prof. Wen Wang (Ed.), InTech, ISBN: 978-953-307-792-5.
12. I. Grabchev, D. Staneva, I. Betcheva, Fluorescent dendrimers as sensors for biologically important metal ions, Curent

Medical Chemistry, 2012, 19, 4976-4983, DOI: 10.2174/0929867311209024976.

13. In: Handbook of Photomedicine, edited by M.R. Hamblin, Y. Huang, 2013, CRC Press, ISBN 9780429193842.

14. D. Staneva, I. Grabchev, Chapter 20, Dendrimer as antimicrobial agents, 2021, 363-384, Dendrimer-Based Nanotherapeutics, (edited by P. Kesharwani), Elsevier Inc., DOI: 10.1016/B978-0-12-821250-9.00016-0, ISBN 978-0-12-821250-9.

15. D. Staneva, I. Grabchev, Modification of textile with stimuli responsive polymers. Encyclopedia of Polymer Applications. (edited by M. Mishra), Taylor & Francis, 2018, ISBN 9781351019422.

16. Dodangeh, M.; Grabchev, I.; Staneva, D.; Gharanjig, K. 1,8-Naphthalimide Derivatives as Dyes for Textile and Polymeric Materials: A Review. *Fibers Polym.* 2021, 22, 2368–2379, DOI:10.1007/s12221-021-0979-9.

17. D. Staneva, E. Slaveva Vasileva-Tonkova, I. Grabchev, Chemical modification of cotton fabric with 1,8-naphthalimide for use as heterogeneous sensor and antibacterial textile, *J Photochem Photobiol A: Chemistry*, 2019, 382, 111924, DOI: 10.1016/j.jphotochem.2019.111924.

18. D. Staneva, R. Betcheva, J-M Chovelon, Fluorescent Benzo[de]anthracen-7-one pH-sensor in Aqueous Solution and Immobilized on Viscose Fabrics, *J Photochem Photobiol A: Chemistry*, 2006, 183, 159, DOI: 10.1016/j.jphotochem.2006.03.011.

19. D. Staneva, R. Becheva, Synthesis and functional properties of new optical pH sensor based on benzo[de]anthracen-7-one immobilized on the viscose, *Dyes Pigments*, 2007, 74, 148-153, DOI: 10.1016/j.dyepig.2006.01.029.

20. D. Staneva, R. Betcheva, J-M Chovelon, Optical Sensor for Aliphatic Amines Based on the Simultaneous Colorimetric and Fluorescence Responses of Smart Textile, *J Appl Polymer Science*, 2007, 106, 1950-1956, DOI: org/10.1002/app.26724.

21. J. Zhou, B. Jiang, Ch. Gao, K. Zhu, W. Xu, D. Song, Stable, reusable, and rapid response

smart pH-responsive cotton fabric based on covalently immobilized with naphthalimide-rhodamine probe, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2022, 355, 131310, DOI: 10.1016/j.snb.2021.131310.

22. G. J. Mohr, H. Müller, Tailoring colour changes of optical sensor materials by combining indicator and inert dyes and their use in sensor layers, textiles and non-wovens, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2015, 206, 788-793, DOI: 10.1016/j.snb.2014.09.104.

23. W. Chen, J. Chen, L. Li, X. Wang, Q. Wei, R. A. Ghiladi, Q. Wang, Wool/Acrylic Blended Fabrics as Next-Generation Photodynamic Antimicrobial Materials, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2019, 11(33), 29557-29568, DOI: 10.1021/acsami.9b09625.

24. Ch. Jiang, S. Dejarnette, W. Chen, F. Scholle, Q. Wang, R. A. Ghiladi, Color-variable dual-dyed photodynamic antimicrobial polyethyleneterephthalate (PET)/cotton blended fabrics, *Photochem Photobiol Sci*, 2023, 22, 1573–1590, DOI: 10.1007/s43630-023-00398-1.

25. Trovato V, Sfameni S, Rando G, Rosace G, Libertino S, Ferri A, Plutino MR. A Review of Stimuli-Responsive Smart Materials for Wearable Technology in Healthcare: Retrospective, Perspective, and Prospective. *Molecules*. 2022, 27(17), 5709, DOI: 10.3390/molecules27175709.

26. D. Staneva, A. I. Said, E. Vasileva-Tonkova, I. Grabchev, Enhanced Photodynamic Efficacy Using 1,8-Naphthalimides: Potential Application in Antibacterial Photodynamic Therapy, *Molecules*, 2022, 27, 5743, DOI: 10.3390/molecules27185743.

27. H. Manov, D. Staneva, E. Vasileva-Tonkova, P. Grozdanov, I. Nikolova, S. Stoyanov, I. Grabchev, Photosensitive dendrimers as a good alternative to antimicrobial photodynamic therapy of Gram-negative bacteria, *J Photochem Photobiol, A: Chemistry*, 2021, 419, 113480, DOI: 10.3390/molecules27185743.

28. D. Staneva, H. Manov, E. Vasileva-Tonkova, R. Kukeva, R. Stoyanova, I. Grabchev, Enhancing the antibacterial activity of PAMAM dendrimer modified with 1,8-naphthalimides and

its copper complex via light illumination, *Polymers for Advanced Technologies*, 2022, 33 (10), 3161–3172, DOI: <https://doi.org/10.1002/pat.5768>.

29. D. Staneva, D. Atanasova, A. Nenova, E. Vasileva-Tonkova, I. Grabchev, Cotton fabric modified with a PAMAM dendrimer with encapsulated copper nanoparticles: Antimicrobial activity, *Materials*, 2021, 14(24), 7832, DOI: [10.3390/ma14247832](https://doi.org/10.3390/ma14247832).

30. N. Promphet, P. Rattanawaleedirojn, K. Siralermukul, N. Soatthiyanon, P. Potiyaraj, Ch. Thanawattano, J. P. Hinestroza, N. Rodthongkum, Non-invasive textile based colorimetric sensor for the simultaneous detection of sweat pH and lactate, *Talanta*, 2019, 192, 424–430, DOI: [10.1016/j.talanta.2018.09.086](https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.09.086).

31. L. V. Langenhove, in *Smart textiles for medicine and healthcare: materials, systems and applications*, 2007, Elsevier, Amsterdam, ISBN: 9781845692633.

32. Bonizzoni M., *Fluorescent Sensors Based on Indicator Displacement*, *Comprehensive Supramolecular Chemistry II*, 2017, 8, 21–36, DOI: [10.1016/B978-0-12-409547-2.12614-9](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.12614-9).

33. Ibrahim N.A., Eid B.M., Abdellatif F.H.H. Advanced materials and technologies for antimicrobial finishing of cellulosic textiles, *Handbook of Renewable Materials for Coloration and Finishing*, 2018, 303–356. DOI: [10.1002/9781119407850.ch13](https://doi.org/10.1002/9781119407850.ch13).

34. Pragma A., Chatterjee K., Ghosh T.K., *Sensors and actuators for textiles: From materials to applications*, *Smart and Functional Textiles*, 2023, 469–531. DOI: [10.1515/9783110759747-012](https://doi.org/10.1515/9783110759747-012).

35. Kangazi M.K., Merati A.A. Biomedical applications of healthcare textiles, *Advances in Healthcare and Protective Textiles*, 2023, 23–56, DOI: [10.1016/B978-0-323-91188-7.00014-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91188-7.00014-5)

36. Sanz del Olmo N., Carloni R., Ortega P., García-Gallego S., de la Mata F.J. Metallodendrimers as a promising tool in the biomedical field: An overview, *Advances in Organometallic Chemistry*, 2020, 74, 1–52, DOI: [10.1016/bs.adomc.2020.03.001](https://doi.org/10.1016/bs.adomc.2020.03.001).

37. van der Schueren L., de Clerck K. Coloration and application of pH-sensitive dyes on textile materials, *Coloration Technology*, 2012, 128 (2), 82–90, DOI: [10.1111/j.1478-4408.2011.00361.x](https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2011.00361.x)

38. Demchenko A.P. Introduction to fluorescence sensing: Volume 2: Target recognition and imaging, *Introduction to Fluorescence Sensing: Volume 2: Target Recognition and Imaging*, Springer, 2023, 1–761, ISBN: 9783031190889.

39. De Meyer T., Steyaert I., Hemelsoet K., Hoogenboom R., Van Speybroeck V., De Clerck K. Halochromic properties of sulfonphthaleine dyes in a textile environment: The influence of substituents, *Dyes and Pigments*, 2016, 124, 249–257, DOI: [10.1016/j.dyepig.2015.09.007](https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2015.09.007).

40. Simončič B., Tomšič B. Recent Concepts of Antimicrobial Textile Finishes, *Textile Finishing: Recent Developments and Future Trends*, 2017, 3–68, DOI: [10.1002/9781119426790.ch1](https://doi.org/10.1002/9781119426790.ch1).

41. Karlsen H., Dong T. Biomarkers of urinary tract infections: State of the art, and promising applications for rapid strip-based chemical sensors, *Analytical Methods*, 2015, 7 (19), 7961–7975, DOI: [10.1039/c5ay01678a](https://doi.org/10.1039/c5ay01678a).

OPTIMIZATION OF ACRYLIC FIBER DYEING IN LABORATORY CONDITIONS

Goran Amin¹, Sandra Konstantinovic¹, Igor Jordanov², Dragan Djordjevic¹

¹*University of Nis, Faculty of Technology, Leskovac, Serbia*

²*Faculty of Technology and Metallurgy, Skopje, North Macedonia*

ABSTRACT

Optimization of the factory recipe for dyeing acrylic fibers in laboratory conditions was done in this article. The basic color The dye Basic Red 46 was used for dyeing, while uncolored acrylic fabric in plain weave was used as the substrate. The optimized recipe for dyeing acrylic fibers with a basic dye is partly different from the recommended factory recipe. More efficient dyeing through optimization means more dye on the fiber and less waste dye remaining in the bath after dyeing, which certainly facilitates the purification of liquid waste. Dyeing in laboratory conditions has its specificities, but it is a good basis for the formation of dyeing parameters in industrial conditions. Relatively smaller differences for numerous values of the parameter K/S, for individual parameters in the recipe, may lead to thinking about a compromise for the selection of operating parameters. Optimized and factory recipes are not universal and are not always valid, on the contrary, the changing chemical nature of acrylic fibers and dyes will affect the choice of working dyeing parameters, which constantly requires new analysis and laboratory testing, as a prerequisite for industrial dyeing.

Key-words: acrylic fiber, dyeing, Basic Red 46, optimization.

ОПТИМИЗИРАНЕ НА БОЯДИСВАНЕТО НА АКРИЛНИ ВЛАКНА В ЛАБОРАТОРНИ УСЛОВИЯ

Горан Амин¹, Сандра Константинович¹, Игор Йорданов², Драган Джорджевич¹

¹Университет в Ниш, Факултет по технологии, Лесковац, Сърбия

²Факултет по технология и металургия, Скопие, Северна Македония

РЕЗЮМЕ

В тази статия е оптимизирана фабричната рецепта за боядисване на акрилни влакна в лабораторни условия. Багрилото Basic Red 46 е използвано за боядисване на неоцветена акрилна тъкан в гладко тъкане и е използвано като субстрат за боядисване. Оптимизираната рецепта за боядисване на акрилни влакна с основно багрило е частично различна от препоръчителната фабрична рецепта. По-доброто оптимизиране на боядисването означава повече багрило върху и във влакното и по-малко отпадъчно багрило, останало във ваната след боядисване, което улеснява пречистването на течните отпадъци. Багрено в лабораторни условия има своите специфики, но е добра основа за формиране на параметрите на багрене в индустриални условия. Относително по-малките разлики за множество стойности на параметъра K/S, за отделните параметри в рецептата, могат да доведат до мислене за компромис при избора на работни параметри. Оптимизираните и фабрични рецепти не са универсални и не винаги са валидни, напротив, променящата се химическа природа на акрилните влакна и багрила ще повлияе на избора на работни параметри на боядисване, което постоянно изисква нови анализи и лабораторни изследвания.

Ключови думи: акрилно влакно, багрене, Basic Red 46, оптимизация.

INTRODUCTION

Acrylic fibers, once composed of polyacrylonitrile homopolymers, exhibited great defects during dyeing, which is why great efforts were made by manufacturers to come up with new, modified types of these fibers. The disadvantages were eliminated by copolymerizing acrylonitrile with other vinyl monomers that serve as plasticizers. The dyeing of polymers and fibers is improved, the reactivity, hydrophilicity, and elasticity of acrylic fibers are increased 1.

Today, those fibers that contain at least 85% acrylonitrile are called "acrylic fibers". Among acrylic fibers, the most common are those with acidic (anionic) terminal groups that have a strong affinity for basic dyes. The anionic nature of nitrile groups gives acrylic fibers an affinity for basic dyes, where a cationic auxiliary agent is used as a retarder to compensate for the negative charge of the fibers 2.

The process of dyeing acrylic fibers brings a qualitatively new product but also leaves behind liquid waste that needs to be disposed of. Optimization of dyeing, in this case, can bring better quality dyed textiles, fewer waste dyes, energy savings, lower costs, etc.

When dyeing acrylic fibers (commercial dyes) in various color tones, the correct selection of basic dyes is important. It has been shown that basic dyes can mutually influence the speed of transition to the fiber. To achieve uniform coloring and economic dyeing, the selected dyes in combination must have the same speed of transition to the fiber 3.

It should be noted that acrylic fibers are dyed with basic dyes only above the glass

transition temperature T_g , which has a characteristic value for each type of fiber and most fibers are between 70 and 80 C. Basic dyes form a heteropolar bond with the anionic groups of the fibers. The number of anionic sites in the fiber determines the saturation value, S_p , that is, the maximum amount of color that the fiber can take 4.

Dyeing with basic dyes takes place by the mechanism of ion exchange or by a simple distribution of ions through the three steps involved in dyeing 5.

(a) Adsorption of dye cations on the fiber surface.

(b) Diffusion into the fiber.

(c) Occupancy within the fiber.

The ionic attraction between the basic dye and the sulfonic group in the acrylic fibers is strong, which gives a high color fastness to washing. The solid and dense physico-chemical nature of acrylic fibers and the strong bond between the dye and the fibers can result in poor migration and leveling properties during dyeing, but that is why they have a very high color fastness to light 6, 7.

In this work, the factory recipe for dyeing acrylic fibers with a basic dye in laboratory conditions was optimized. It was determined that some of the key parameters should be changed to optimize the classic dyeing, with savings and better exhaustion of the dye from the dyeing bath.

EXPERIMENTAL PART

Material used

The basic dye, C.I. Basic Red 46 (DyStar Colours Distribution GmbH, Germany), molecular formula $C_{18}H_{21}BrN_6$, and molar mass 401.3 g/mol, was used for dyeing. The dyestuff is in the form of a dark red powder, it dissolves in water, mainly used for dyeing textiles made of acrylic fibers, and it can also be used in textile printing.

As a substrate for dyeing, an acrylic fabric in plain weave was used, the warp setting is 17 cm^{-1} , the weft setting is 15 cm^{-1} , and the warp and weft count is 62 tex. Before dyeing, the fabric was washed (2 g/dm^3 nonionic detergent, Lavan NKF- Textilcolor AG, Switzerland, 1:30, $60\text{ }^\circ\text{C}$, 30 min), thoroughly rinsed and air-dried.

Work procedure

It started from the basic recipe recommended by the manufacturer: basic dye 2%, bath scale 1:30, Alviron W (Textilcolor AG, Switzerland) 0.5 g/dm^3 , Na_2SO_4 (Centrohem, Serbia) 5%, TC Retard PAN (Textilcolor AG, Switzerland) 1%, 98 C, 45 min, pH 4 (HCOOH , Centrohem, Serbia). Constant parameters were: dye concentration, bath scale, and amount of leveling agent, while other parameters were varied for optimization and selection of the most favorable results. Variation of the pH value for an alkaline medium was carried out with the help of Na_2CO_3 (Centrohem, Serbia).

The color of the fabric was measured using a reflectance spectrophotometer (HunterLab ColorQuest XE diffuse/80), which is connected to a personal computer. The Gurevich-Kubelka-Munk function, color

strength (K/S), was determined on the apparatus with the help of appropriate software.

RESULTS AND DISCUSSION

The dyeing process or the reaction between the dye and the acrylic takes place through the sorption process, which includes a pH-dependent dyeing mechanism. With basic dyes, electrostatic forces between dye molecules and acrylic fibers come to the fore. Sorption and fixation of dyer are separate quantities and each of them can be determined and presented depending on the influencing factors 7.

Dyeing optimization means choosing the best combination of factors important for successful dyeing that leaves the least amount of waste dyer at the end of the dyeing process.

The influence of the pH of the bath on dyeing

The pH of the solution has a significant effect on effective and high-quality dyeing with a basic dye. Figure 1 shows the dyeing results, which directly define the best pH value of the solution when a higher color strength, K/S, is obtained, i.e. the highest color strength of the acrylic fabric. The K/S parameter represents the amount of dye on the textile and is directly proportional to the amount of dye bound to the textile material. The highest values for the parameter K/S are achieved at $\text{pH} = 5$, which means that under these (acidic) conditions, most dye is bound to the acrylic fiber in the fabric.

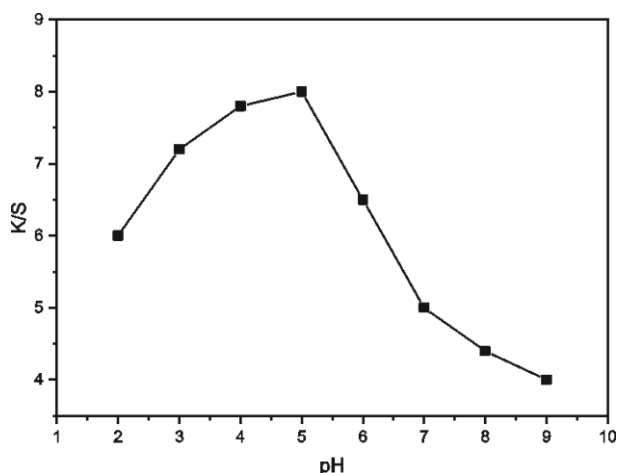


Figure 1. Effect of pH solution on the dyeing of acrylic fabric with basic red dye (basic dye 2 %, Alviron W 0.5 g/dm³, Na₂SO₄ 5 %, TC Retard PAN 1 %, 1:30, 98 C, 45 min)

Effect of electrolytes

The bath exhaustion during the dyeing process depends on the concentration of the electrolyte. As a rule, dye exhaustion increases with the increase in electrolyte concentration. The presence of an electrolyte is necessary especially in the case of using dyes with high affinity because it slows down the migration of the dye, which achieves a better uniformity of coloring 8.

Figure 2 shows the results related to the influence of the concentration of salt-electrolyte (sodium sulfate) on the color strength for dyed textile samples with a basic dye. It can be seen from the figure that with the increase in salt concentration, the color strength continuously increases. After reaching the maximum, the growth slows down and decreases with higher amounts of electrolytes. At the amount of salt of 6%, the strongest coloring is achieved on the acrylic fabric, i.e. K/S = 8.

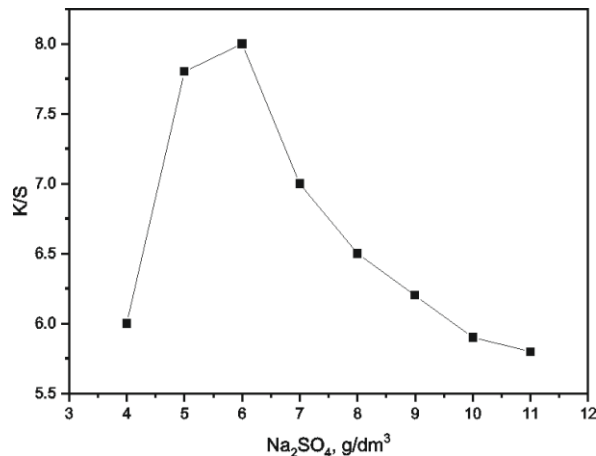


Figure 2. Effect of salt-electrolyte on the dyeing of acrylic fabric with basic red dye (basic dye 2 %, Alviron W 0.5 g/dm³, pH 4, TC Retard PAN 1 %, 1:30, 98 C, 45 min)

Effect of dye retarder

Dye retarders are used to reduce the speed of dyeing, i.e. to achieve more uniform and equal coloring of textile materials during the dyeing process. The high affinity of the dye for the selected textile sample can make the dyeing happen very quickly, in just a few minutes, however, with a side effect, uneven or colorful dyeing on the textile 9.

From Figure 3, it can be seen that the amount of 0.8% retarder TC Retard PAN is quite sufficient to exhaust enough dye on the textile material without causing problems in color uniformity.

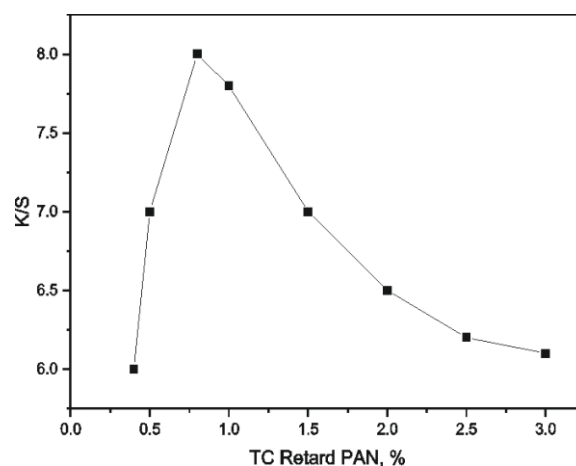


Figure 3. Effect of dye retarder on the dyeing of acrylic fabric with basic red dye (basic dye 2 %, Alviron W 0.5 g/dm³, pH 4, Na₂SO₄ 5 %, 1:30, 98 C, 45 min)

Effect of temperature

The rate of dyeing depends significantly on the temperature and in all cases increases with its increase. The increase in dye sorption with temperature can be attributed to an increase in the number of active surface sites available for sorption on the fiber, and an increase in porosity, swelling, and total free volume inside the fiber 2, 10.

The influence of temperature on the ability to dye acrylic fabric with a basic dye was tested at different temperatures (60 - 100 C). Figure 4 shows that the color strength increases continuously with the dyeing temperature up to 100 C. The worse effect at lower temperatures can be attributed to the insufficient degree of swelling of the fibers, and in connection with this, the lower migration and aggregation of the dye into the interior of the fibers.

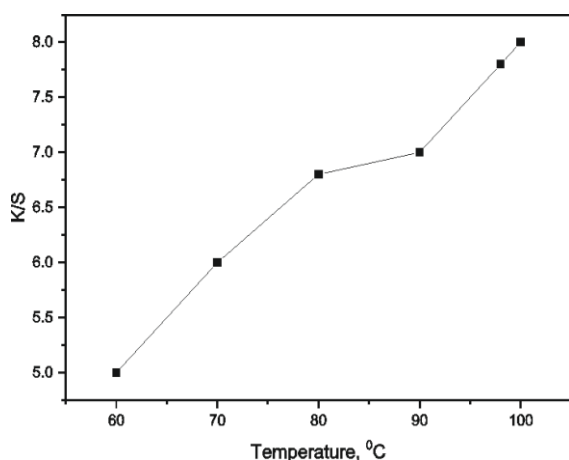


Figure 4. Effect of temperature on the dyeing of acrylic fabric with basic red dye (basic dye 2 %, Alviron W 0.5 g/dm³, pH 4, Na₂SO₄ 5 %, TC Retard PAN 1 %, 1:30, 45 min)

The influence of the dyeing time

The processing time, as a valuable and important processing factor, has its influence on the efficiency of the processing, primarily on the greater exhaustion of the dye from the dyeing bath. In principle, treatments that last a longer time sometimes bring better results, although not always to the extent that would be sufficient for these parameters to be accepted as working. From the point of view of economy and rationality, determining the length of processing is of crucial importance 3, 9.

The influence of the processing time on the color strength of the acrylic fabric was tested from 25 to 60 min. From Figure 5, you can see the continuous growth of the parameter K/S, i.e. color strength, with a slight slowdown after 45 min. Processing for 60 minutes is enough to reach the maximum amount of color on the fiber in the fabric. Of course, the question always arises, is it worth it, and to what level should the dyeing be prolonged for the sake of a slight increase in the color strength, while wasting energy and time?

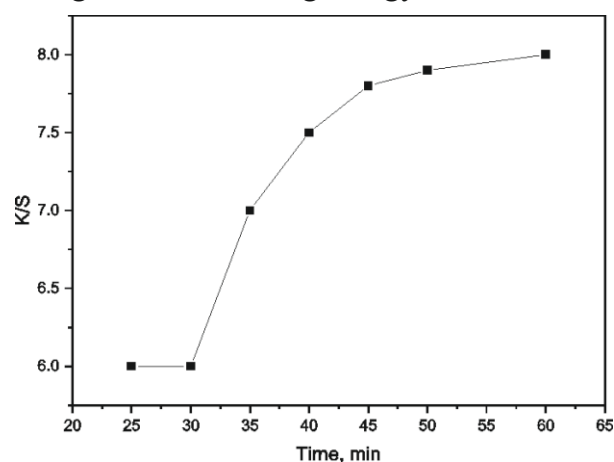


Figure 5. Effect of time on the dyeing of acrylic fabric with basic red dye (basic dye 2 %, Alviron W 0.5 g/dm³, pH 4, Na₂SO₄ 5 %, TC Retard PAN 1 %, 1:30, 98 C)

Optimized recipes and dyeing conditions

Considering the performed checks of the parameters that directly affect the dyeing effects and the quality of waste-dyed water, "optimized" recipes were determined based on the previously presented results.

For the basic red dye used-optimized dyeing recipe in laboratory dyeing conditions, it looks like this:

- 1:30, bath scale (constant parameter).
- 2% dye (constant parameter).
- 0.5 g/dm³ Alviron W, nonionic leveling agent (constant parameter).
- 6% Glauber's salt (manufacturer's recommendation 5%).
- pH 5 (manufacturer's recommendation 4).
- 0.8% TC Retard PAN, dye retarder (manufacturer's recommendation 1%).
- 100 C, dyeing temperature (manufacturer's recommendation 98 C).
- 60 minutes of dyeing (manufacturer's recommendation 45 min).

CONCLUSION

The optimized recipe for dyeing acrylic fibers with a basic dye is partly different from the recommended factory recipe. Dyeing in laboratory conditions has its specificities, but it is a good basis for the formation of dyeing parameters in industrial conditions.

In general, relatively smaller differences for numerous values of the parameter K/S, for individual parameters in the recipe, may lead to thinking about a different choice of working parameters. Namely, if in 60 min of dyeing K/S = 8, and 45 min K/S = 7.8, then it is better to save 15 min of work and energy on dyeing considering that the difference is minimal (K/S = 0,2), invisible to the naked eye.

In the end, better optimization of dyeing

means more dye on and in the fiber and less waste dye remaining in the bath after dyeing, which again means easier and more successful purification of liquid waste.

REFERENCES

1. M. Novaković, Teorija i tehnologija oplemenjivanja tekstila bojenjem i štampanjem, Univerzitet u Nišu, BMG, Beograd, 1996
2. D. Stoye, W. Funke, L. Hoppe, et al, Paints and coatings, Handbook of Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley VCH, 2006
3. M. Naeimi, M.G. Afjeh, A.A. Gharehaghaji, et al, Dyeing Behavior of Polyacrylonitrile Nanofibers: Physicochemical Parameters of Dyeing with Basic Dye in Comparison with Regular Polyacrylonitrile Fibers, *Fibers and Polym.*, 18(9), 1724, 2017
4. A. Hou, H. Chen, Y. Xu, et al, Rapid and environmental-friendly continuous gel-dyeing of polyacrylonitrile fiber with cationic dyes, *J. Cleaner Prod.*, 274, 122935, 2020
5. H. Xiao, C. Li, P. Wang, et al, A feasible approach for enhancing union dyeing of wool/acrylic blend fabrics with heterobifunctional cationic reactive dyes, *Text. Res. J.*, 89(23–24), 5085, 2019
6. Z. Tian, J. Ma, Q. Liu, H. Zhang, Preparation and application of novel amphoteric acrylic retanning agents to improve dye absorption, *RSC*, 8, 645, 2023
7. L.K. El-Gabry, A. El-Kheir, M. Salama, et al, Acrylic/keratin composite of enhanced dyeability towards cationic and anionic dyes", *Color. Technol.*, 132(1), 83, 2016
8. N. Vuthiganond, P. Chitichotpanya, M. Nakpathom, et al, Ecological dyeing of acrylic yarn with colorant derived from natural lac dye, *J. Met. Mater. Miner.*, 32(4), 71, 2022
9. K. Hunger, *Industrial Dyes - Chemistry, Properties, Applications*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2003
10. C. Qin, R-C. Tang, B. Chen, et al, Study on the Dyeing Properties of Hemicyanine Dyes. I. Acrylic Fabrics, *Fibers and Polym.*, 11(2), 193, 2010

STUDY OF THE DESIGN OF COMPONENTS FOR PERSONAL BALLISTIC PROTECTION (PBP) SYSTEMS USING CAD/CAM/CAE SYSTEMS

Stamen Antonov¹, Petya Gencheva²

¹ National military university „Vasil Levski“, 5000 Veliko Tarnovo, Bulgaria Blvd. No. 76

² Defense institute “Professor Tzvetan Lazarov”, 1592 Sofia, 2 Professor Tzvetan Lazarov blvd.

p.gencheva@di.mod.bg

Abstract: The development of science and manufacturing technology tied to the introduction of innovation is the continuous drive to develop the world's armies, a process that involves daily projecting, research and experimentation, fortunately modern technology allows many of the processes to be designed and simulated virtually before any item is physically created.

Digital prototyping with CAD systems of a specific item of personal ballistic protection equipment allows the creation and study of the entire product before it is ever manufactured. With CAD systems, digital prototyping could easily be implemented by integrating 2D drawings and 3D data into a single digital model. This model is a virtual representation of the final product and helps engineers to design better and more efficiently. This significantly reduces development costs and time to realize new products.

In physical research, it is necessary to use a number of functional models of the existing or future product due to the need to collect sufficient data to draw valid conclusions. There is also the 'black box' effect, which is characterised by the fact that there are a large number of variables in the experiments that can influence the results and make it very difficult to understand the final outcome (need for technical means, technological systems to change geometry and mass characteristics, place to conduct the study, etc.).

On the other hand, virtual analyses implemented by CAE (Computer Aided Engineering) products provide almost unlimited possibilities to study an object and simulate it in the desired environment. These possibilities to consider a large number of indicators determine the "white box" effect that occurs precisely in virtual studies. Another plus in these analyses is the elimination of the need for physical prototypes of the object under study, as well as the possibility of immediate optimization in the models when analysing previous results. For the construction of this type of studies, good computational power and experience in the field are required in the creation of the mathematical model and the correct interpretation of the results obtained.

One of the areas where there are numerous studies and the possibility of creating models for virtual studies is the production of personal ballistic protection components (ballistic panels and inserts for body armor, ballistic shields, combat helmets, etc.).

In this regard, modern CAD/CAM/CAE systems could be successfully used for three-dimensional modeling of the individual elements of the individual ballistic protection means, from which the graphical part of the design documentation is prepared - the drawings, engineering calculations and analyses, rapid prototype preparation, technological preparation of production, preparation of control programs for machines with digital program control for the manufacture of different complexity of products entering the set, as well as for the overall management of the design

Keywords: CAD/CAM/CAE systems, personal ballistic protection, equipment.

ПРОУЧВАНЕ НА ДИЗАЙНА НА КОМПОНЕНТИ ЗА СИСТЕМИ ЗА ЛИЧНА БАЛИСТИЧНА ЗАЩИТА (РВР) С ИЗПОЛЗВАНЕ НА CAD/CAM/CAE СИСТЕМИ

Стамен АНТОНОВ¹, Петя ГЕНЧЕВА²

¹ *Национален военен университет „Васил Левски“, 5000 Велико Търново, бул. „България“ № 76*

² *Институт по отбрана „Проф.Цветан Лазаров“, 1592 София, бул. „Професор Цветан Лазаров“ 2
p.gencheva@di.mod.bg*

Резюме: Развитието на науката и производствените технологии, свързани с въвеждането на иновации, е непрекъснатият стремеж за развитие на световните армии, процес, който включва ежедневно проектиране, изследване и експериментиране, за щастие съвременната технология позволява много от процесите да бъдат проектирани и симулирани практически преди каквото и да е елементът е физически създаден.

Цифровото прототипиране с CAD системи на конкретен елемент от личното балистично защитно оборудване позволява създаването и проучването на целия продукт, преди той изобщо да бъде произведен. С CAD системите дигиталното прототипиране може лесно да се реализира чрез интегриране на 2D чертежи и 3D данни в един цифров модел. Този модел е виртуално представяне на крайния продукт и помага на инженерите да проектират по-добре и по-ефективно. Това значително намалява разходите за разработка и времето за реализиране на нови продукти.

При физичните изследвания е необходимо да се използват и на брой функционални модели на съществуващ или бъдещ продукт поради необходимостта да се съберат достатъчно данни, за да се направят валидни заключения. Съществува и ефектът на „черната кутия“, който се характеризира с факта, че в експериментите има голям брой променливи, които могат да повлияят на резултатите и да направят много трудно разбирането на крайния резултат (необходимост от технически средства, технологични системи), за промяна на геометричните и масови характеристики, място за провеждане на изследването и др.).

От друга страна, виртуалните анализи, реализирани от CAE (Computer Aided Engineering) продукти, предоставят почти неограничени възможности за изследване на обект и симулирането му в желаната среда. Тези възможности за разглеждане на голям брой показатели обуславят ефекта на "бялата кутия", който се получава именно при виртуалните изследвания. Друг плюс при тези анализи е премахването на необходимостта от физически прототипи на изследвания обект, както и възможността за незабавна оптимизация в моделите при анализ на предишни резултати. За изграждането на този вид изследвания са необходими добра изчислителна мощност и опит в областта при създаването на математическия модел и правилната интерпретация на получените резултати.

Една от областите, в които има много изследвания и възможността за създаване на модели за виртуални изследвания, е производството на компоненти за лична балистична защита (балистични панели и вложки за бронезилетки, балистични щитове, бойни каски и др.).

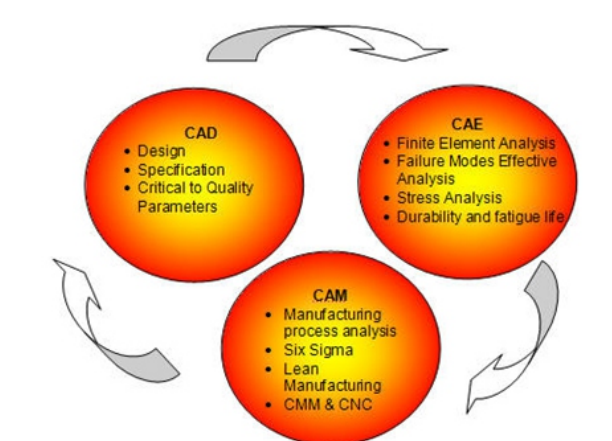
В тази връзка съвременните CAD/CAM/CAE системи могат успешно да се използват за триизмерно моделиране на отделните елементи на средствата за индивидуална балистична защита, от които се изготвя графичната част на проектната документация – чертежи, инженерни изчисления и анализи. , бърза подготовка на прототипи, технологична подготовка на производството, изготвяне на програми за управление на машини с цифрово програмно управление за производство на различни по сложност продукти, влизачи в комплекта, както и за цялостно управление на дизайна

Ключови думи: CAD/CAM/CAE системи, лична балистична защита, оборудване.

Въведение

В настояще време най-добра организация на автоматизираното проектиране се постига при използването на системи за автоматизирано проектиране (САПР или CAD/CAM/CAE системи). В тях математическите методи и компютърната техника служат като основа за систематизация на процеса „проектиране“ на обща методологична, информационна и техническа основа.

Безспорно най-добрата форма на организация на автоматизираното проектиране е създаване на 3D модели и визуализация на поведението на характерни елементи от средствата за индивидуална защита са системите за автоматизирано проектиране и производство, наричани CAD/CAM/CAE (Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing/ Computer Aided Engineering) – фиг. 1.



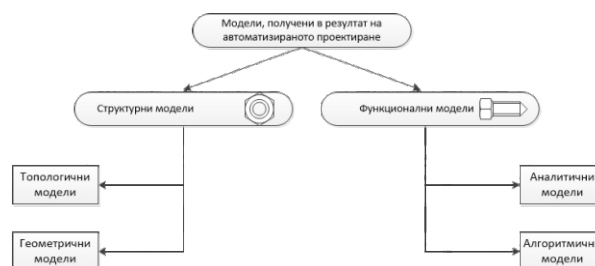
CNC - computer (or computerized) numerical control
CMM - Coordinate Measuring Machines

Фиг. 1. Връзки между модулуите на системите за автоматизиран дизайн и инженеринг

2. Класификация на моделите, краен продукт на САД приложенията за машиностроителен инженеринг.

Тъй като в момента на проектирането обектът реално не съществува, е необходимо да се работи с негов модел (един или няколко). Моделите са основното средство за синтезиране и оценяване на проектирания обект по различни критерии. Те се използват както за комуникация между участниците в процеса, така и за връзка с участниците в производството, реализацията и експлоатацията на продукта. За целите на автоматизираното проектиране се използват математически модели, видът на които зависи от свойствата на проектирания обект, които трябва да се моделират и от проектните задачи, които следва да се решават.

Според характера на моделираните свойства математическите модели се делят на структурни и функционални. Структурните модели се използват при описание на структурата и формата на проектираните обекти и от своя страна се подразделят на топологични и геометрични (Фиг. 2).



Фиг.2. Видове модели, според характера на моделираните свойства

Чрез топологични модели се описва структурата на обектите, т.е. съвкупността от елементи, изграждащи обекта и връзките между тях. Като математически

апарат за тяхното съставяне се използват графи, матрици, таблици, списъци и др.

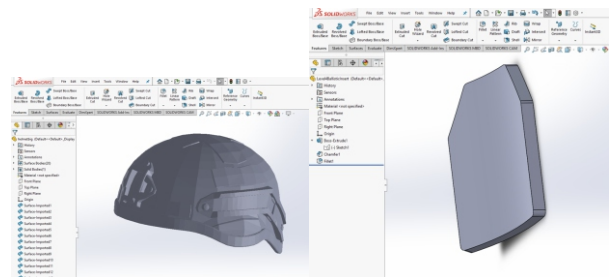
Геометричните модели съдържат информация за геометричната форма и размерите на проектираните обекти (детайли и разположението им в сглобената единица). Математическият апарат за съставяне на геометрични модели включва: уравнения на линии и повърхнини, графи, матрици, списъци и др..

Чрез функционални модели се моделират физическите и информационните процеси, протичащи в обектите при тяхното изработване и функциониране. Според начина, по който се представят свойствата на обекта, функционалните модели се делят на аналитични и алгоритмични.

Аналитичните модели съдържат явни математически зависимости, изразяващи показателите за качество на обекта като функции на параметрите на елементите от обекта и средата, в която той функционира (уравнения, неравенства или системи от тях). При алгоритмичните модели тези зависимости се дават във вид на алгоритми.

Като основа при автоматизираното конструктивно проектиране се използват геометричните модели. Структурата на проектираните обекти (компоненти) се синтезира на тяхна база и в зависимост от спецификата на обекта се създават различни функционални модели, които могат да бъдат кинематични, динамични, якостни, деформационни, топлинни и др. С тяхна помощ се оценяват работоспособността и показателите за качеството на проектирания обект. Въз основа на геометричните модели се генерира конструкторска документация и информация за производството и

изпитването на продукта (изделието). Дигиталното прототипиране с САД системите на конкретен елемент от СИБЗ дава възможност за създаване и изследване на цял един продукт преди той изобщо да е произведен (Фиг. 3). Посредством системите за компютърно подпомагане на дизайна, потребителите лесно могат да осъзнаят предимствата от дигиталното прототипиране, като интегрират 2D чертежи и 3D данни в единен цифров модел. Този модел представлява виртуална репрезентация на крайния продукт и помага на инженерите за по-добро и по-ефективно проектиране. Така значително се намаляват разходите за развой и времето за реализиране на нови продукти.



Фиг.3. 3D модели на бойна каска и бронеплоча (SolidWorks)

Обектно параметрично твърдотелно (Solid) моделиране на компоненти на СИБЗ

При параметричното проектиране на компоненти на СИБЗ чертежите на всички варианти са с една и съща топология. Променливи са само параметрите, които определят размерите. Решението, т.е. алгоритъмът на конструкцията, е предварително известен и може да се запише в компютърна програма.

Параметричното моделиране на твърди тела (обемно или 3D моделиране) в САД/САМ/САЕ системите предлага

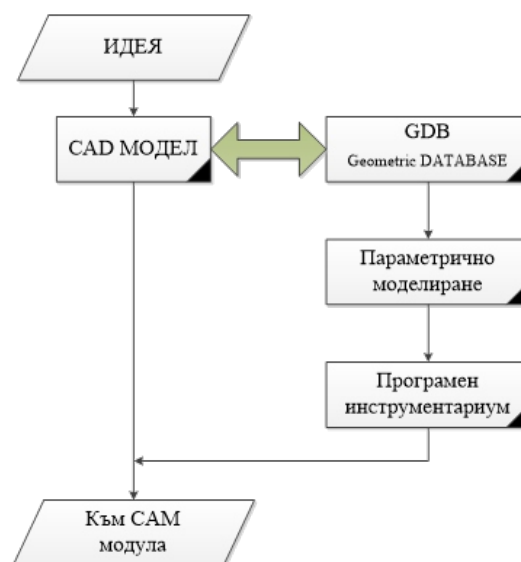
възможности за конструиране на ротационни и корпусни детайли, свързани с технологията на изработване. Някои от по-съществените функционалности са:

- създаване на базови тела (блокове, цилиндри, обхващащи блокове, обхващащи цилиндри, конуси, сфери);
- екструдирани форми с или без наклон с база – контур или повърхнина;
- ротационни форми с база – контур или повърхнина;
- тръба от произволно сечение;
- геометрични форми, построени от уравнение.

Построяването и манипулирането на моделите при обектното параметрично моделиране при CAD/CAM системите е процедурно, чрез използването на определен инструментариум за създаване на структурни дизайни от готови параметрични компоненти за многократна употреба. Системите за обектно параметрично моделиране осигуряват единна електронна среда за моделиране, анализ, оптимизиране, документиране, производство и тестване. По този начин разволят на продукта е интегрирана част от целия му жизнен цикъл, тъй като интегрираните CAD/CAM/CAE системи притежават средства за: 3D моделиране, работа със сложни повърхнини, създаване и изследване на сглобени единици, 2D чертане и изготвяне на техническа документация, широк набор от инженерни анализи, генериране на ЦПУ програми. Те позволяват паралелна работа на специалисти по CAD/CAM системи относно проектиране на структурни дизайни по конвенционален начин или чрез предефинирани параметрични компоненти, както в локални мрежи, така и чрез Интернет.

Идеята, заложена в обектното параметрично моделиране (Фиг.4) при

CAD/CAM системите, е създаването на 3D CAD модела да се каталогизира в геометрична база данни GDB (Geometric DATABASE), която чрез възможностите на параметричното моделиране на CAD средата да стане потребителска, за дадени производствени условия. Чрез вграденият програмен инструментариум PT (Program tools) се конфигурират гама детайли, сходни и типоразмерни по принципа на типове и групите технологични процеси.



Фиг.4. Създаване на CAD модел, натрупване на геометрична база данни приложение на параметричното моделиране чрез инструментариума

Виртуален инженерен анализ (CAE)

Непрестанното желание за развитие на армиите по света кара специалисти в дадени области да извършват ежедневни експерименти и изследват интересни за тях променливи с цел оптимизирането им. За извършване на подобни процедури са познати две възможности за направата на изследвания – физически и виртуални.

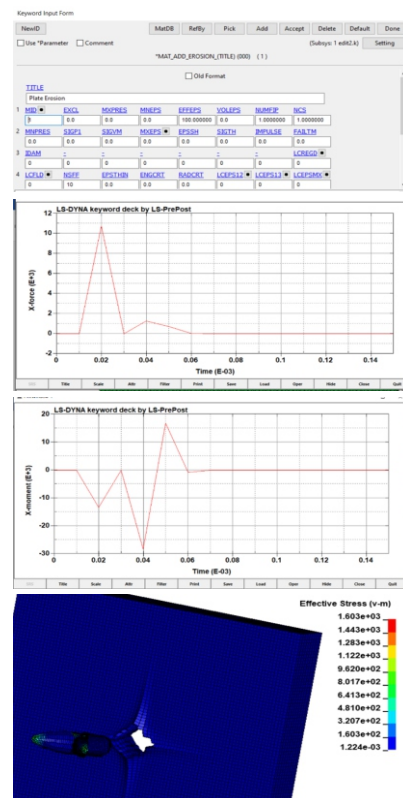
При физическите изследвания е необходимо да се използват n на брой

функционални модели на съществуващото или бъдещо изделие, поради необходимостта от събиране на достатъчен брой данни за изготвяне на валидни заключения. Също така се наблюдава ефекта на „черната кутия“, който се характеризира с това че при извършване на експериментите има голям брой променливи, които могат да повлияят на резултатите и да затруднят значително разбирането на крайния резултат (необходимост от технически средства, технологични системи за промяна на геометри и масови характеристики, място за изследването и т.н.).

От друга страна, при виртуалните анализи, осъществявани чрез САЕ (Computer Aided Engineering) продукти (Фиг.5), дават почти неограничени възможности за изследвания на даден обект и симулирането в желаните среди. Тези възможности за разглеждане на голям брой показатели обуславят ефекта на "бяла кутия", който се среща именно при виртуалните изследвания. Друг плюс при тези анализи е отменянето на необходимостта от физически прототипи на изследвания обект, както и възможността от непосредствена оптимизация в моделите при анализ на предходните резултати. За изграждане на подобен тип изследвания са необходими добри изчислителни мощности и експертиза в областта по създаването на математическия модел и правилното разчитане на изведените резултати.

Едно от направленията, в което има многобройни изследвания и възможността от създаване на модели за виртуално изследване, това е производството на компоненти за СИБЗ (балистични панели и вложки за бронешилетки, балистични щитове, бойни каски и др.).

Както става ясно, съвременните автоматизирани системи за проектиране дават възможност в много ранен стадий от проектирането, да се предвиди какво ще бъде поведението на крайния продукт, в случая СИБЗ, също така според очакваните крайни резултати, да бъдат подбрани видове материали, с цел окончателно удовлетворяване на изискванията. Всичко това се извършва във виртуална среда с минимален разход на ресурси и труд, с широко използване на възможностите за колективна работа на автоматизирани инженерни приложения, като по този начин се постига пълна оптимизация на параметрите на крайното изделие, както и значително намаляване себестойността му.



Фиг.5. Въвеждане на входни данни и генериране на резултати при виртуален инженеринг (САЕ), софтуерен пакет за мултифизична симулация с общо предназначение LS-DYNA

ИЗВОДИ

Системите за автоматизирано проектиране заемат изключително място сред компютърните приложения, тъй като те са индустриални технологии, влияещи непосредствено на материалното производство чрез цялостно решение за машиностроителен инженеринг, снабдяващо всеки инженерен екип с пълен комплект средства за 3D проектиране, изследване, управление на данните и комуникация. В тази връзка съвременните CAD/CAM/CAE системи биха могли да се използват успешно за тримерно моделиране на отделните елементи на средствата за индивидуална балистична защита, от които се изготвя графичната част на конструкторската документация – чертежите, инженерните изчисления и анализи, бързото изготвяне на прототип, технологичната подготовка на производството, изготвяне на управляващи програми за машини с цифрово програмно управление за изработване на различни по сложност изделия, влизаци в комплекта, както и за цялостно управление на проектните и инженерните данни.

Благодарност: Национална научна програма – Сигурност и отбрана се финансира от Министерството на образованието и науката на Република България в изпълнение на Националната стратегия за развитие на научните изследвания 2017-2030 г. и е приета с Решение на Министерския съвет № 731 от 21 октомври 2021 г.

Литература

- Ангелов П., САD системи, Русе, Издателски център при Русенски университет "А. Кънчев", 2015, ISBN 978-954-712-638-1;
- Ангелов, П. Автоматизация на проектирането. Ръководство за упражнения. Русе, Русенски университет "А. Кънчев", 2003, ISBN 954-712-254-1;
- Димитров В. Компютърни системи за проектиране в машиностроенето, Top Solid'design 2012, Сливен, 2013;
- Здравков, З., Проектиране на защитени автоматизирани информационни системи, монография, София, издателство "Дιο Мира", 2019 г., страници 210, ISBN 978-954-2977-55-1;
- Маринов Р., Мястото на 3D технологиите в областта на военната сигурност, Научна конференция „Актуални проблеми на сигурността” 2018, 25-26 октомври 2018г., Издателски комплекс на НБУ „Васил Левски”, ВТ, стр. 237-244, ISSN 2367-7473;
- Мат Ломбард, SolidWorks: Овладяване Том.1, Алекссофт, София, ISBN: 789546564047;
- Мат Ломбард, SolidWorks: Овладяване Том.2, Алекссофт, София, ISBN: 9789546564108;
- Славянов К., Тенденции в технологиите за изкуствен интелект, Годишник на НБУ „Васил Левски”, Издателски комплекс на НБУ „Васил Левски”, 2019, с. 211-219, ISSN 1312-6148;
- Сидеров В., Приложение на съвременните технологии в процеса на обучение, Научна конференция „Мениджмънт в динамично променяща се среда за сигурност” Велико Търново 2011 том 4, с. 118-122, Издателски комплекс на НБУ „Васил Левски”, ВТ, 2011, ISBN 978-954-753-089-8;
- Сидеров В., Възможности за обучение и подготовка на специалисти с моделиране и симулации, Годишник на ВА „Г.С. Раковски”, кн. 1, София, 2012 ISSN 1312-2991, стр. 63-71, София, ВА;
- Теодора Петрова, Живо Петров,

„Особености при разпределяне на температурата при въздействие на лазерния лъч в многокомпонентна среда“, Сборник доклади „Tenth Anniversary Scientific Conference with International Participation SPACE, ECOLOGY, SAFETY“, София 2014 г., стр. 201;

Ganev V., Antonov S., Dimitrova Y., Fast prototyping in the manufacturing of complex armament parts, Сборник доклади от International scientific conference CONFSEC, Borovec 2018, year 2, issue 2(4), с. 200-204, ISSN (print) 2603-2945, ISSN (online) 2603-2953;

David Planchard, Engineering Design with SOLIDWORKS 2020, ISBN: 978-1-63057-310-2;

Divya Davim, J. Paulo, Rapid Prototyping, Rapid Tooling and Reverse Engineering, De Gruyter, 2020, ISBN: 978-3-11-066324-2;

Marlon Wesley Machado Cunico, 3D Printers and Additive Manufacturing: The rise of industry 4.0, Concep 3D, 2020, ISBN: 9781695364981;

<https://www.marsarmor.com/bg/>.

EDITORIAL BOARD

Assoc. Prof. Ivelin Rahnev, PhD, Editor in Chief Assoc. Prof. Maria Spasova, PhD, IP - BAS, Sofia, technical editor

Prof. Hristo Petrov, PhD, TU - Sofia
 Prof. Andreas Charalambus, PhD, TU - Sofia
 Prof. Snezhina Andonova, PhD, SWU - Blagoevgrad
 Prof. Radostina A. Angelova, DSc, TU - Sofia
 Prof. Zlatina Kazlatcheva, PhD, FTT - Yambol
 Assoc. Prof. Desislava Grabcheva, PhD, UCTM - Sofia
 Assoc. Prof. Stela Baltova, PhD, IBS - Botevgrad

Assoc. Prof. Anna Georgieva, PhD, UCTM - Sofia
 Assoc. Prof. Kapka Manasieva, PhD, VFU - Varna
 Assoc. Prof. Rumen Russev, PhD, FTT - Yambol
 Assoc. Prof. Krasimir Drumev, PhD, TU - Gabrovo
 Assoc. Prof. Ivelina Vardeva, PhD, CNSYS – Sofia
 Dr. Nezabravka Popova-Nedyalkova, NBU - Sofia
 Dr. Nikolay Bozhilov, NAA – Sofia

FOREIGN SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Jean-Yves Drean, DSc, UHA-ENSISA-LPMT, Mulhouse, France
 Prof. A. Sezai Sarac, DSc, TU-Istanbul, Turkey
 Prof. Dr. Yordan Kyosev, DSc, TU-Dresden, Germany
 Prof. Goran Demboski, PhD, U "Ss. Cyril and Methodius" - Skopje, N Macedonia
 Assoc. Prof. VU Thi Hong Khanh, PhD, HUST - STLF, Vietnam
 Prof. Saber Ben Abdessalem, PhD, ENI-Monastir, Tunisie

INFORMATION FOR AUTHORS

RULES FOR DEPOSITING AND PUBLISHING ARTICLES

Submission of a manuscript should be addressed to the Editorial Office via e-mail (textilejournal.editor@fnts.bg), the paper should be written in Bulgarian from Bulgarian authors and in English (working language) for foreigners.

Copyright Transfer Agreement must be signed and returned to our Editorial Office by mail, fax or e-mail as soon as possible, after the preliminary acceptance of the manuscript. By signing this Agreement, the authors warrant that the entire work is original and unpublished, it is submitted only to this journal and all the text, data, Figures and Tables included in this work are original and unpublished and have not been previously published or submitted elsewhere in any form. Please note that the reviewing process begins as soon as we receive this document. In the case when the paper has already been presented at a conference, it can be published in our magazine only if it has not been published in generally available conference materials; in such case, it is necessary to give an appropriate statement placed in Editorial notes at the end of the article.

General style and layout

Volume of a manuscript submitted should not exceed 12 standard journal pages in single column (3600 characters page), including tables and figures. Format is MS Office Word (normal layout). The editors reserve the right to shorten the article if necessary as well as to alter the title.

Title of a manuscript should not exceed 120 characters.

Full names and surnames of the authors, as well as full **names of the authors' affiliation** – faculty, department, university, institute, company, town and country should be clearly given. Corresponding author should be indicated, and their e-mail address provided.

Abstract of a manuscript should be in English and no longer than one page.

Key-words should be within 4-6 items.

For papers submitted in English (any other working language), the authors are requested to submit a copy with a title, abstract and key words in Bulgarian.

Figures and illustrations with a title and legend should be numbered consecutively (with Arabic numerals) and must be referred in the text. Figures should be integrated in the text with format **JPG at 300 dpi minimum**, and in **editable form**.

Tables with a title and optional legend should be numbered consecutively and must be referred in the text.

Acknowledgements may be included and should be placed after Conclusions and before References.

Footnotes should be avoided.

References (bibliography) should be cited consecutively in order of appearance in the text, using numbers in square brackets, according to the **Vancouver system**.

UDC

CONTENTS

- 678 TEXTILE MATERIALS WITH SENSORY PROPERTIES AND PHOTODYNAMIC ACTIVITY, Topic No: 5/6, Textile materials with photodynamic activity. Nature of photodynamic activity. Mechanism of action. Main groups of photosensitizers. Fields of application of photodynamic therapy
Desislava Staneva, Ivo Grabchev..... 129
<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2023.00005.01>
- 678 OPTIMIZATION OF ACRYLIC FIBER DYEING IN LABORATORY CONDITIONS
Goran Amin, Sandra Konstantinovic, Igor Jordanov, Dragan Djordjevic..... 146
<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2023.00005.02>
- 677 STUDY OF THE DESIGN OF COMPONENTS FOR PERSONAL BALLISTIC PROTECTION (PBP) SYSTEMS USING CAD/CAM/CAE SYSTEMS
Stamen Antonov, Petya Gencheva..... 153
<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2023.00005.03>

Subject area. The papers reflect developments and solutions in textile science and practice. They refer to one of the UDC topics:

- 33** Economics. Economic sciences.
- 377** Special Education. Vocational education. Vocational schools.
- 378** Higher Education / Higher Education Institutions.
- 677** Textile Industry. Technology of textile materials.
- 678** Industry of High Molecular Substances. Rubber industry. Plastic industry.
- 687** Tailoring (apparel) Industry.
- 745/749** Applied Art. Art Crafts. Interior. Design.
- 658.512.23** Artistic design (industrial design).

Address: Bulgaria, 1000 Sofia, 108 G. S. Rakovski str., room 407, tel. +359 2 980 30 45
e-mail: textilejournal.editor@fnts.bg
www.bgtextilepublisher.org

ISSN 1310-912X (Print)
ISSN 2603-302X (Online)

<https://doi.org/10.53230/tgm.1310-912X.2023.0005>

Bank account:

Scientific Engineering Union of Textile, Garment and Leathers
VAT identification number: BG 121111930
Account IBAN: BG43 UNCR 9660 1010 6722 00



Prepress and Printing:
COMPASS AGENCY Ltd.

stemma I4-K1/

Основа: 31.5/1 см
Въгък: 22/1 см
Сплитка: 8x8; 8 Нищелки

ArahWeave www.arahne.si
DobbyPro 9.7m E.Miroglio
localhost.localdomain:arahne 2.6.2023



модел на основа[280]: 3(14A14B14C14B)14A98B

A 2/32 Nm 720 S
84926-000 620

B 2/32 Nm 720 S
84926-000 574

C 2/32 Nm 720 S
84926-000 541

модел въгък[204]: 3(10a10b10c10b)10a74b

a 2/32 Nm 720 S
84926-000 620

b 2/32 Nm 720 S
84926-000 574

c 2/32 Nm 720 S
84926-000 541

PICANOL