



ДНИ НА НАУКАТА НА ТУ – СОФИЯ
Енергомашиностроителен факултет

XXII НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНО УЧАСТИЕ ЕМФ 2017

17 – 20 септември 2017, Созопол

СБОРНИК ДОКЛАДИ **Том II**

**ХИДРОАЕРОДИНАМИКА, ХИДРО- И ПНЕВМОТЕХНИКА
ДИЗАЙН И ТЕХНОЛОГИИ ЗА ОБЛЕКЛО И ТЕКСТИЛ**

енергия екология самочувствие
комфорт

Почивна база на Технически университет – София
гр. Созопол

Докладите в сборника са рецензирани и одобрени от редакционна колегия в състав:

Председател: проф. д-р инж. Бончо Бонев

Членове: проф. д-р инж. Диана Германова-Кръстева

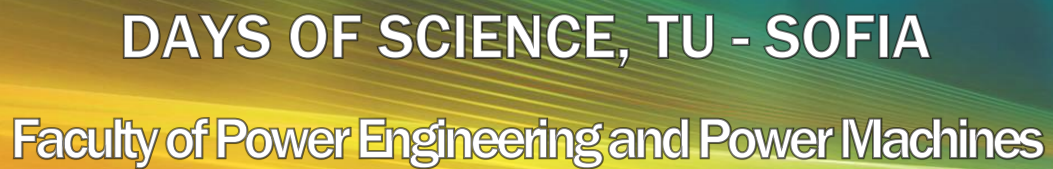
доц. д-р инж. Калин Филипов

проф. д-р инж. Никола Калоянов

проф. д-р инж. Тотю Тотев

проф. д-р инж. Христо Петров

доц. д-р инж. Иван Дуков



17th – 20th of September 2017, Sozopol

Volume II

ecology

self-confidence

energy

comfort

Holiday House of the Technical University of Sofia
Sozopol

ДОКЛАДИ

секция „Хидроаеродинамика, хидро- и пневмотехника“

Konstantin Lebedev

Research works of department of Hydraulic machines Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University in volumetric hydraulic power drives 9

Камен Грозданов, Светлин Антонов, Ангел Терзиев, Детелин Спасов,
Станислав Карапетков, Иван Антонов

Експериментално изследване развитието на пожар при автомобили. Методика на изследване и измервателна апаратура 16

Камен Грозданов, Светлин Антонов, Ангел Терзиев, Детелин Спасов,
Станислав Карапетков, Иван Антонов

Експериментално изследване развитието на пожар при автомобили. Резултати и анализи 22

Ясен Цветанов, Ангел Терзиев

Охарактеризиране на крилен профил за аеродинамична компенсация на пътни превозни средства 29

Георги Пичуров, Елена Сребрич, Ричард Винсент, Стивън Рудник

Числено изследване на ултравиолетово обеззаразяване на въздуха с модел за двуфазно течение 37

Мартин Иванов, Сергей Мижорски

Моделиране на въздушно течение през прототипиран уред за измерване на количеството на фини прахови частици в атмосферния въздух 44

Иван Денев

Числено моделиране на взаимодействието на турбулентна струя със смукателен отвор при нулев ексцентрицитет между двете секции 52

Ivan Dukov, Diana Taneva

Application of CFD for energy efficient design of batch (discrete) dilute phase pneumatic conveying systems 58

Антон Сотиров, Тодор Чакъров

Центробежни вентилатори със свободно изтичане 62

Валентин Обретенов, Росен Илиев

Синтез на работно колело на хидрокинетична турбина с вертикална ос 69

Александър Станилов

Определяне на коефициенти за избор на центробежна помпа, работеща в турбинен режим 76

Цветан Цалов	
Стенд за изпитване на цилиндрични затвори	82
Огнян Бекриев, Константин Константинов, Александър Станилов	
Експериментално изследване на възможностите на програмата CFturbo да прогнозира параметри на осова помпа	89
Александър Митов, Йордан Кралев, Илчо Ангелов	
Моделиране в среда на Simulink на електрохидравличен управляващ модул за цифрово управление на хидравлични кормилни устройства.....	93

ДОКЛАДИ

секция „Дизайн и технологии за облекло и текстил“

Сашо Александров, Краса Костова, Петя Генчева Получаване на влакнести композиционни материали чрез трансфер на полимерно свързващо вещество	101
Петя Генчева, Краса Костова, Сашо Александров Полиетилен с ултрависоко молекулно тегло (UHMWPE), поливинилбутирал и наноразмерен волфрамов карбид, комбинирани в единна система за балистична защита.....	105
Маргарита Незнакова, Дилиана Господинова Повърхностна модификация на леки, термосвързани нетъкани текстилни материали	112
Михаил Панчев, Габриела Карамфилова Оценка на ефекта от обработката на текстилни платове с наноразтвор от SiO₂.....	118
Даниела Софронова, Каролина Илиева Възможност за измерване на линейно преместване на плетени структури при двумерно циклично натоварване с компютърно зрение	126
Даниела Софронова, Радостина Ангелова Анализ на видовете дигитални бодови редове при машинно бродирание.....	132
Христо Петров Проектиране на цели бански костюми за жени	137
Диана Германова-Кръстева, Христо Петров, Александрина Лалева, Къдрие Чолакова, Нехрибан Хашим Компютърно моделиране и изследване на работните движения на оператор на шевна машина.....	147

Research works of department of Hydraulic machines Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University in volumetric hydraulic power drives

Konstantin Lebedev

This article is devoted to research and design works of Group of Hydrostatic power drive in long time period – 45 years. There are many unusual subjects of investigation what were needed that time. Order-makers were representatives of many branches of industries.

Keywords: hydrostatic power drives, multiplier of pressure, hydraulic vibrator, hydraulic wave generator, winged propeller

Научно-изследователската работа в катедра „Хидравлични машини“ на Санкт-Петербургския политехнически университет „Петър Първи“ в областта на хидрозадвижванията

Константин Лебедев

Тази статия разглежда изследователски и проектантски задачи, разработени от групата по хидрозадвижване на катедра „Хидравлични машини“ в дългогодишен период - 45 години. Разгледани са някои в известна степен необичайни изследователски задачи. Те са ориентирани и са намерили приложение в много отрасли на промишлеността.

Ключови думи: хидростатична трансмисия, усилвател на налягане, хидравличен вибратор, хидравличен вълнов генератор, витло

It is known that life of department is measured by stages of research and designer works.

In this article are shortly described the works of Scientific group of the Hydrostatic power drives of department of Hydraulic machines, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (in the past – the Leningrad Polytechnic Institute of M. I. Kalinin) for a long period – about 45 years, since the beginning of my work as the junior researcher.

All period Professor Isaev Yury Mitrofanovich is the research supervisor – the scientist with considerable scientific talent and very wide scientific erudition. He and Associate Professor Filatov Ivan Nikolaevich had create in 1970 the Group of Hydrostatic powers drive at our department and now U. M. Isaev is the organizer of all research works.

The first work in which I took part was creation of a hydraulic actuator of pistons of the air compressor. It had replace the compressor with the diesel engine which can't work with a considerable depth under water (a lot of air is necessary). The main tasks were – design, production and testing for working ability check of hydraulic actuator.

The following work was creation of the hydraulic multiplier of pressure for testing of safety valves of high pressure. They are applied in hydraulic standing up bar of the arch in coal mines. We did not find the ready-madden machine with needed parameters. Multiplier has been created according to the known scheme (Fig.1).

Calculations had been made, the engineering design was executed and the hydraulic multiplier was made with maximal performance – discharge 30 dm³ /min and pressure 40 MPa. Flow rate characteristics of the valve has been obtained for various pressure and discharge.

The regime at which vibration of locking element of valve appeared was defined.

The most significant research and design work was creation of the hydraulic power drive of the underwater-mechanized tools.

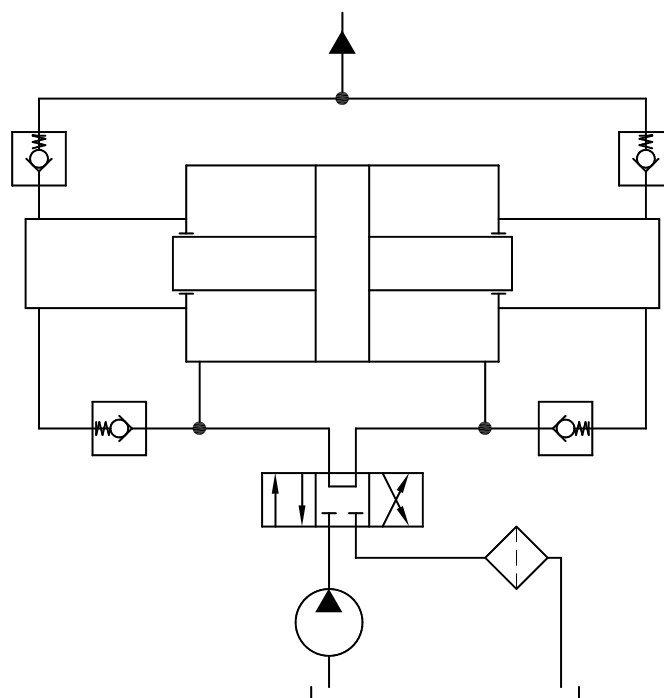


Fig. 1 Scheme of multiplier

It includes: pump stations – underwater and ship based, hydraulic tools: small and big drills, chain and abrasive saws, soil displacer, screw and nut twister, rope cutter and remover of rowing screws of the ship. All this equipment has been successfully tested on the Black Sea Base and gave back to the customer. My personal participation – designing and maintenance of production of screw and nut twister, rope cutter and remover of rowing screws of the ship and the organization of their tests.

The hydrostatic power drive was created according to the opened scheme of circulation of liquid with use of standard pumps and hydraulic engines. The situation of stability of the diver when he was forced by jet force from the tool was the main problem. Naturally, there were also other problems, which were successfully solved.

The following research and design work has been devoted to the hydraulic vibration technics. There was created the small electric-hydraulic vibrator. His operability was checked when testing of vibration durability of large reinforced concrete design.

The second, more powerful vibrator was intended for geophysical surveys. Geophysics could define availability of minerals at a depth underground with its helps. Earlier for this purpose applied an expensive and dangerous way of explosion. The electric-hydraulic machine, in comparison with an explosive way, allowed to regulate the frequency and amplitude of the created seismic signal and to receive more informative picture from seismic sensors of the reflected fluctuations.

Work, which became a basis of my Master's Thesis – creation and research of the hydraulic generator of waves of deformation of a flexible gear wheel of a wave reducer. It intended for turn in the horizontal plane of the large-size antenna of the radio telescope. The mechanical generators of waves of deformation used to this purpose have the considerable rotating masses that are the reason of strong vibration and distorts a picture of radio sounding of space.

The scheme of the hydraulic generator is submitted on Figs. 2 - initiating block and 3 - executive block. The initiating block – the fluctuating disk and hydraulic cylinders. The executive block – hydraulic cylinders, which rods rest outside against a flexible cover with an internal gear wreath.

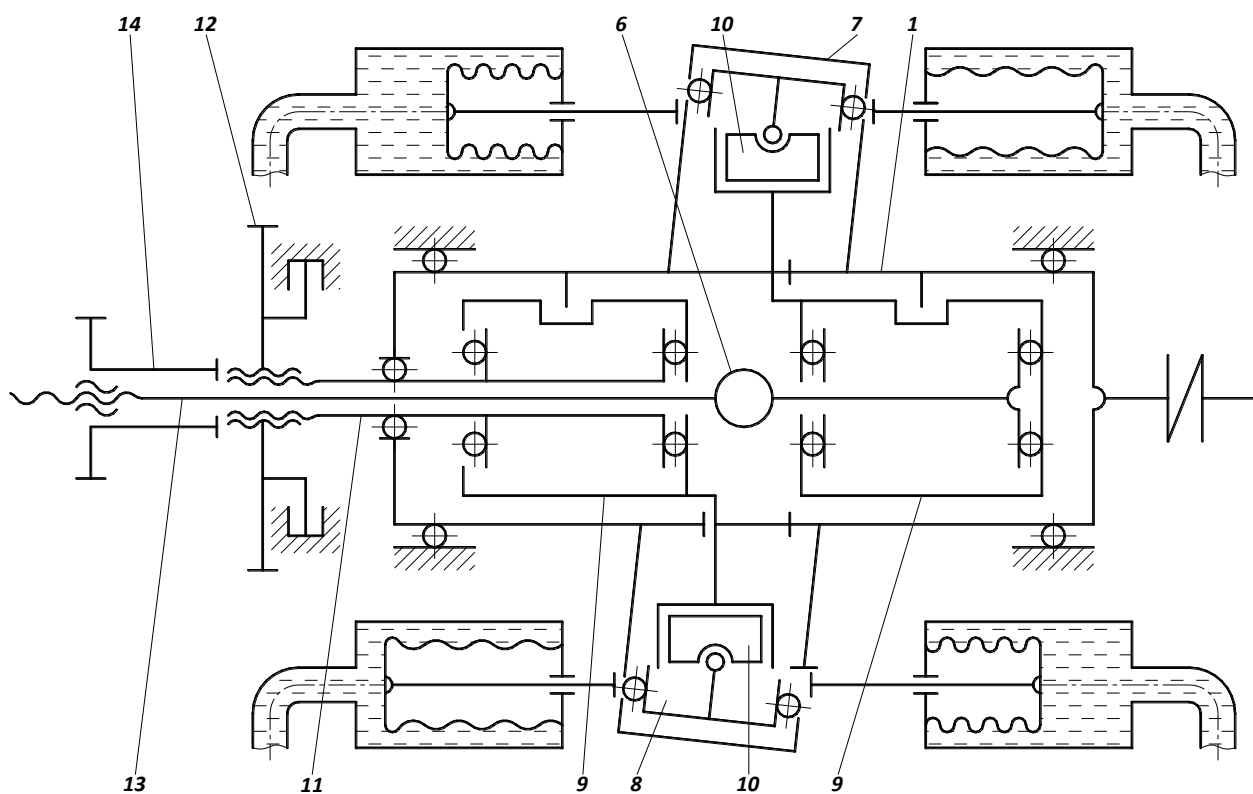


Fig. 2 Initiating block of the hydraulic generator

Teeth of a flexible wheel have gearing in two diametrically located zones with teeth of rigid wheel which rotates an output shaft. When the initial shaft rotates, the disk makes oscillating motions and serially pushes rods of hydraulic cylinders.

The liquid which is forced out from them moves on tubes to executive hydraulic cylinders. Their rods deform a flexible cover and give it the form of an ellipse. Rotating of axes of an ellipse changes the provision of zones of gearing of teeth. The difference of numbers of teeth provides turn of a rigid wheel and shaft. The main advantage of such generator – a small lag effect and smaller probability of emergence of vibration. Special researches revealed the high kinematic precision of the drive. Mechanical parameters of the drive: transfer number 100, the maximum torque on output shaft - 4 kNm. A weak link of such generator is dominance submissiveness of change of temperature on quality of work and a pliability of hydraulic links, which create incorrect transmission of moving. Graphs show depending of incorrect transmission of moving on pressure and length of tube (Figs 4, 5). Photo of testing stand is on Figure 6.

Frequency qualities of the drive had been investigated only theoretically.

The main result of work – confirmation of working ability and writing of a Method of calculation of the harmonic drive with the hydraulic generator of waves of elastic deformation.

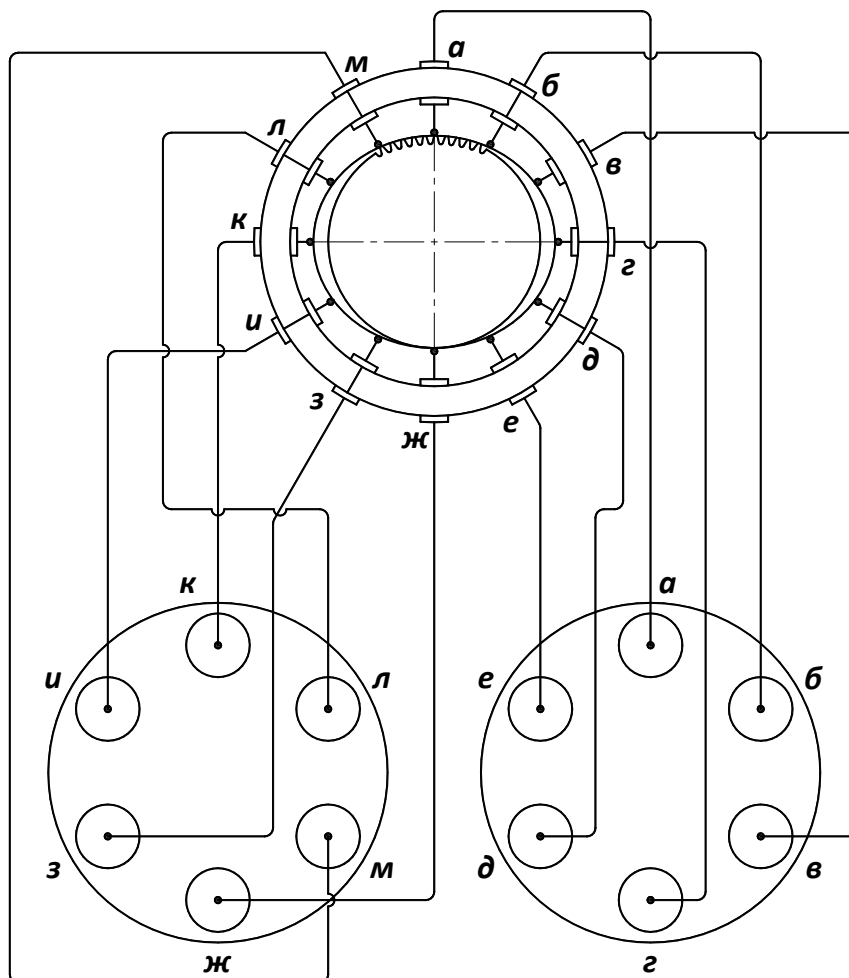


Fig. 3 Initiating block of the hydraulic generator

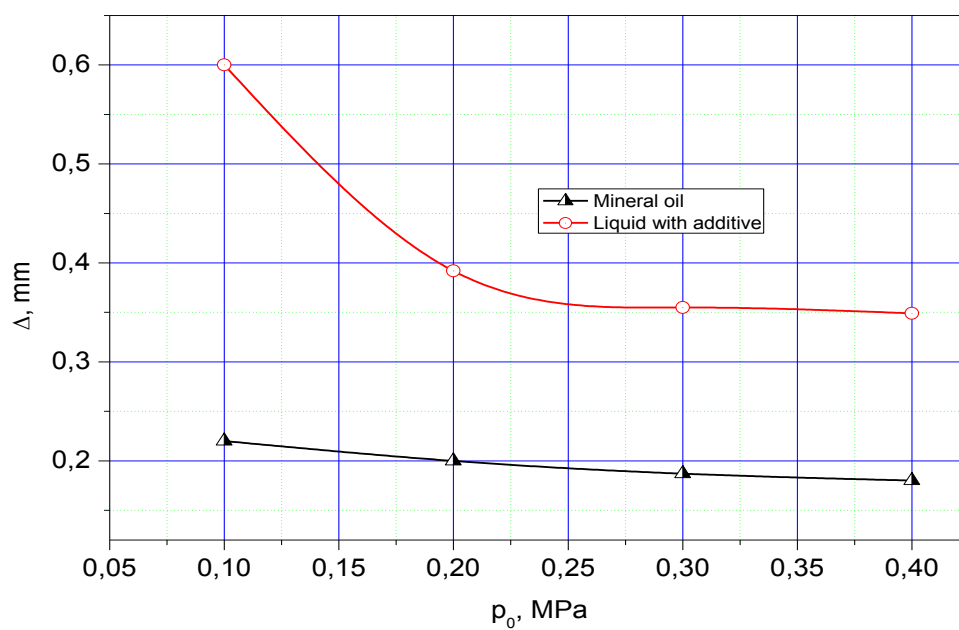


Fig. 4 The dependence of the displacement error on the initial pressure

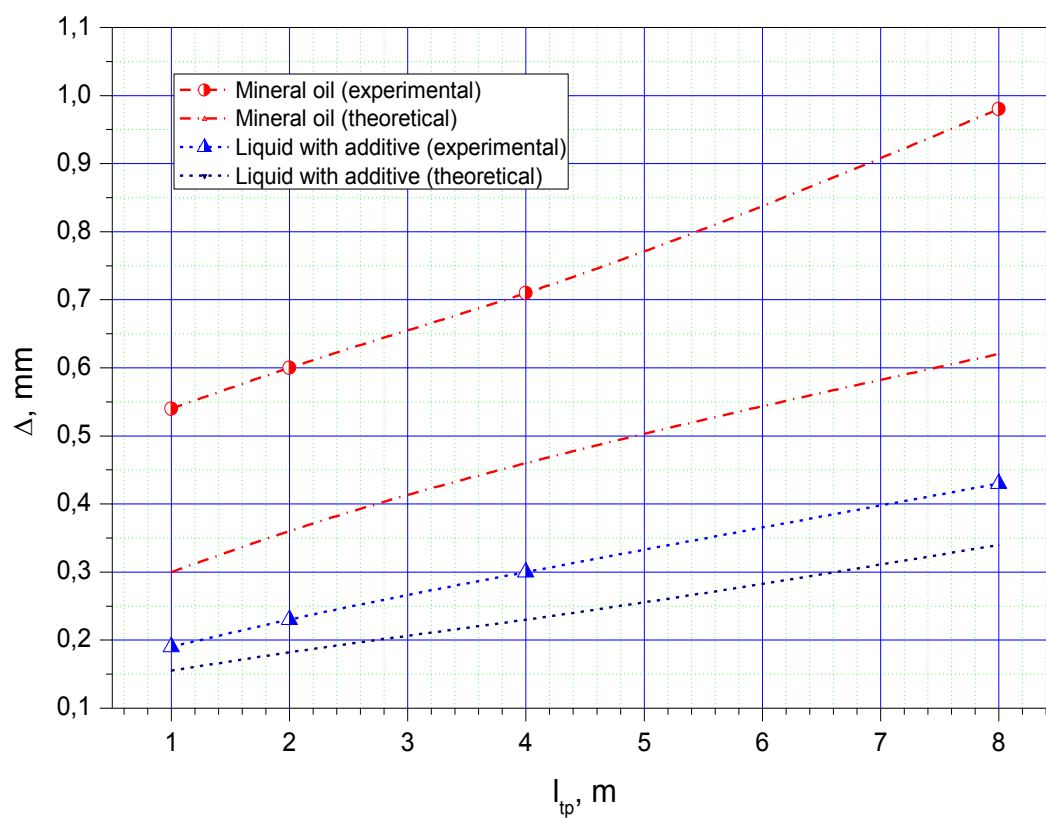


Fig. 5 The dependence of the displacement error on the length of the pipeline

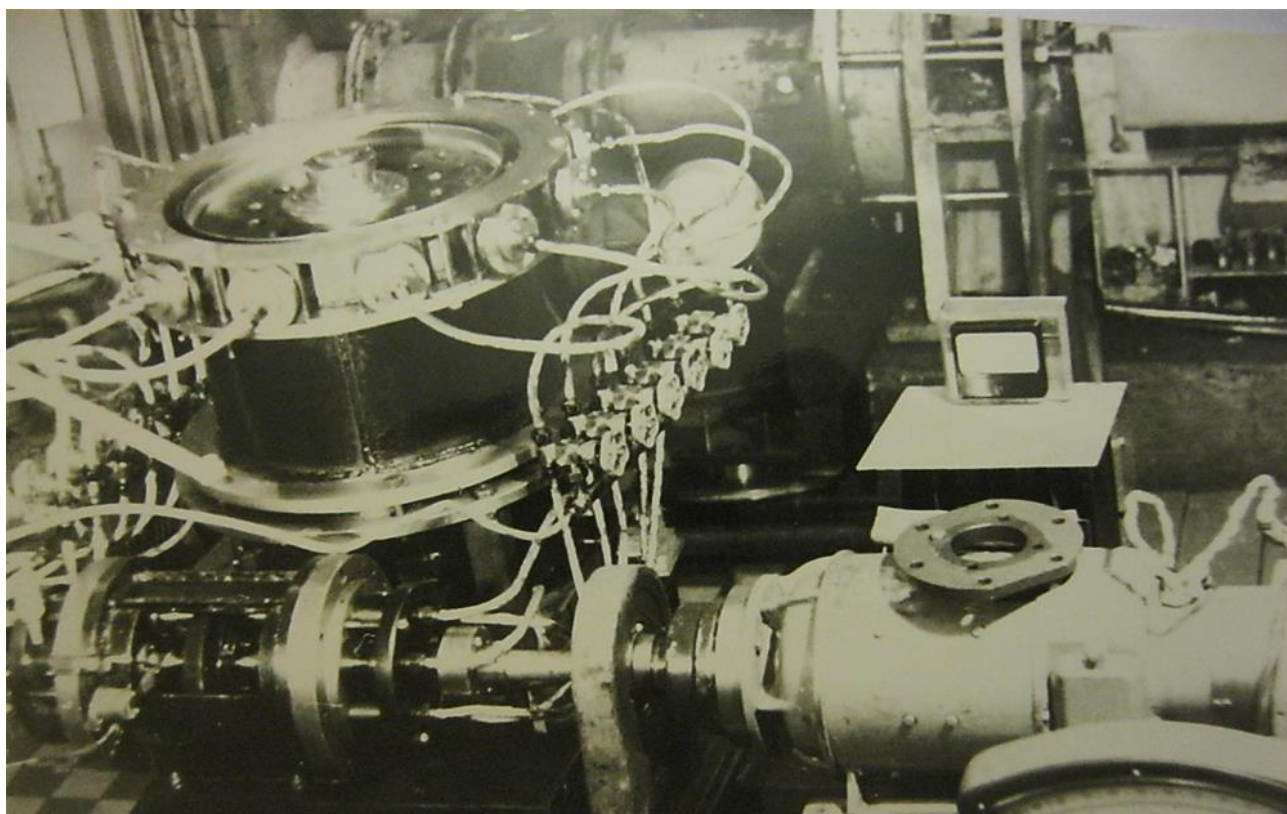


Fig. 6 Photo of testing stand

There is the formula for torque on initial shaft when the transmission is unloaded:

$$M_{xx} = \Delta M_{\Pi} k_H + NF[p_{\text{ж}}(A/2 + fX_{\text{max}}/\pi)], \quad (1)$$

ΔM_{Π} – torque of friction in bearing of output shaft;

k_H – coefficient which depend on loses in gearing, maximal radial deformation of flexible wheel, displacement of rod of initial cylinder and hydraulic loses;

N – number of cylinders in initial block;

F – piston aria of initial cylinder;

$p_{\text{ж}}$ – part of pressure depending on rigidity of flexible wheel;

A – design parameter of initial block;

f – coefficient of friction of rod and directive rin;

X_{max} – maximal stroke of rod of initial cylinder.

The technical innovation applied in a design is protected in the USSR by the Copyright Certificate on the invention No. 377171 "Wave transmission". It was interesting work - designing and creation of the hydraulic-acoustic sound emitter, which produce noises of screws of the ships and boats. In that device the analog electric signal, which was written down in memory, operate the hydraulic booster of power which rules the movement of the rod of a differential hydraulic cylinder and membrane of radiator.

The project of the winged propeller for an underwater object with low, in comparison with screw, noise during the work, became new for that time.

Two pairs of horizontal wings perform the returnable-rotary movement relatively levers, and levers similarly moved in the vertical plane relatively the house. Thus the movement of a tail of fish is imitate. The movement was performed by not full-rotary plate hydraulic engines – hydraulic quadrants. The autonomous pump station and hydraulic devices were located in a pipe with a diameter of 400 millimeters.

One of the latest works – a research of control systems of a ring lock of the gate apparatus of water turbine. There were test volumetric (hydrostatic) and throttle ways of synchronization of the movement of three hydraulic cylinders. Photo of testing machine is on Figure 7.

Both types of synchronization showed not very different results. Application of such lock may excludes the accident on Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station, Russian river Yenisei. The last project was development and testing of hydrostatic power drive for regulating of supply of fuel in gas-turbine installation. It provided various modes of return and rotary movement of a ring and blades connected to it. It performs like the blades of directing device of hydraulic turbine.



Fig. 7 Testing machine for ring lock

It is not the full list of research works of our scientific group.

References

1. Бусырев А. И., Голиков В. А., Исаев Ю.М., Плешанов В.Л. Под редакцией Умова В.А. Лопастные и объемные гидравлические машины. Гидропередачи. СПбПУ. 2010.
2. Гряно Л. П., Исаев Ю. М. Гидродинамические и гидрообъемные передачи в трансмиссиях транспортных средств. СПбПУ. 2000.
3. Лебедев К. Б. Исследование рабочего процесса гидравлического преобразователя крутящего момента с волновой зубчатой парой». ЛПИ. 1979.
4. Складчиков А. Н. Гидравлический привод и средства автоматизации. СПбПУ. 2012.

Assoc. Prof. Konstantin Lebedev, Ph.D., Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Department of Hydraulic Machines, Tel. 904 6334916, e-mail: lebkostia@gmail.com

Експериментално изследване развитието на пожар при автомобили. Методика на изследване и измервателна апаратура

Камен Грозданов, Светлин Антонов, Ангел Терзиев, Детелин Спасов,
Станислав Карапетков, Иван Антонов

Описана е методиката на изследване и условията, при които са проведени експериментите. Измервателната техника е дадена подробно с работните си характеристики и обхвати. Използвана е инфрачервена камера FLIRE40, Квадрокоптер дрон, многоканални цифров термометри TC6800, Мултифункционален измерител Testo435-4.

Ключови думи: измервателна апаратура при пожар, термовизионна камера, квадрокоптер дрон, многоканални цифрови термометри TC6800, мултифункционален измерител Testo435-4

Experimental study of a car fire. Methodology of research and measuring equipment

Kamen Grozdanov, Svetlin Antonov, Angel Terziev, Detelin Spasov,
Stanimir Karapetkov, Ivan Antonov

In this paper is briefly described the methodology of the study and initial conditions under which the experiments were carried out. The performance range and precision of the measuring equipment were provided in detail. During the experiment the following equipment is used: Infrared camera FLIRE40, Quadrocopter drones, Multi-channel digital thermometers TC6800, Multifunctional meter Testo 435-4.

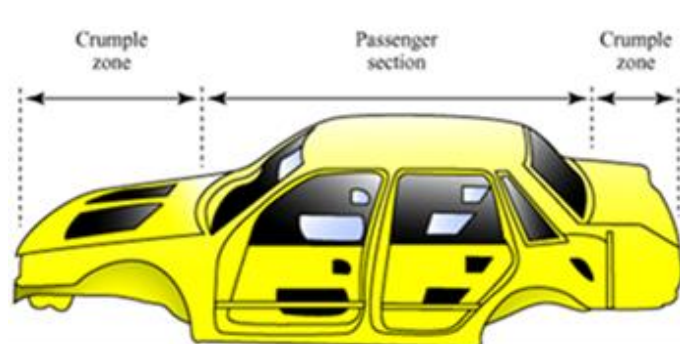
Keywords: measuring equipment in fire conditions, infrared camera, Quadrocopter drones, Multi-channel digital thermometers TC6800, Multifunctional meter Testo 435-4

Методика на изследване и измервателна апаратура

Необходимостта от провеждане на натурен експеримент е да се провери доколко развитието и разпространението на пожар при автомобили кореспондира с теорията по въпроса. Характеристиките, които се регистрират по време на експеримента са направени на открито при атмосферните условия (температура на околната среда, скорост на вятъра, относителна влажност на въздуха и др.). Всички наблюденията от запалването до пълното развитие на пожара са записани от цифрови фотоапарати, инфрачервена камера с температурен обхват -20°C до +650°C. Температура на горящият автомобил се записва от инфрачервена камера поставена пред автомобила при 2,5 m височина и на 15 m от автомобила.

В литературата са известни малко направени подобни експерименти. Приеманията се правят съгласно методични ръководства и публикации [1], [2] и [3]. Изследване на пожар на автотранспортни средства е направено [4] при използването на термовизионна камера и с нисък температурен обхват.

Динамиката на пожар в лек автомобил се определя от мястото на неговото възникване: отсек за двигателя, салон за пътници и багажен отсек (Фиг. 1).



Фиг. 1 Обособени зони при възникването на пожар

Пожарите при превозни средства могат да бъдат разделени на две групи: пожари, свързани с технически неизправности и аварии, както и умишлени пожари (палеж).

Основната цел на експеримента е да се получи информация за развитието на пожар в пътно транспортно средство, да се определи поведението на леснозапалими материали в него допринасящи за развитието му. Повредите на възлите и системите на автомобила при пътни транспортни произшествия са една предпоставка за възникването и развитието на пожара.

Важен въпрос е прехвърлянето (пренасянето) на огъня от едно превозно средство към намиращия се в съседство с друг автомобил, сграда и др.

Методика на изследването

Експеримента се провежда с лек автомобил VW Golf, модел Passat в напълно изправно състояние, производство 2000 г. Автомобила е доставен на самоход (в движение), позициониран (паркиран) върху бетонна повърхност на полигон на Отдел "Център за изследвания и експертизи" при Главна дирекция „Пожарна безопасност и защита на населението“ (ГД ПБЗН), в района на с. Лозен. На разстояние 0,8 m е разположен лек автомобил "Peugeot " за наблюдение и измерване на разпространението на пожар към съседен автомобил (Фиг. 2). Всички врати и прозорци на автомобилите са затворени по време на експеримента. Таблото в купето е със стандартно оборудване, вратите и седалките са тапицирани с плат, тавана на автомобила е от пластмасов материал. Вид на горивото - бензин-газ, като от резервоарите е източено гориво и са запълнени с вода с цел недопускане на възпламеняването им и създаване на взривоопасни смеси.



Фиг. 2 Лек автомобил, подготвен за експеримента на полигон на отдел "Център за изследвания и експертизи" при ГД „ПБЗН“

Измервателна техника

Основни метеорологични данни (външна температура, скорост на вятъра, атмосферно налягане и други) са записват непосредствено преди и по време на натурния експеримент със следната техника и апаратура.

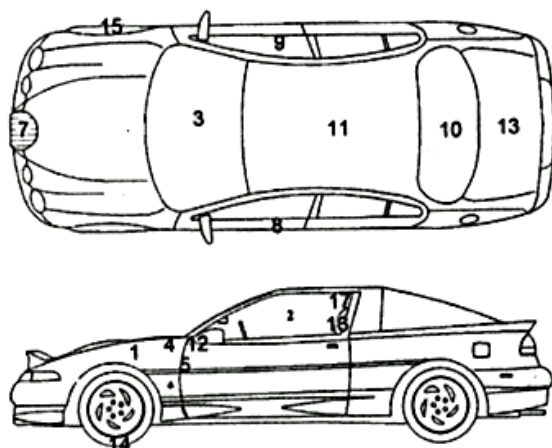
Мултифункционален измерител: Testo 435-4 със сонди за измерване и запис на параметрите, влажност, температура и качество на въздуха (IAQ) показания. С включен софтуер ComSoft, тези данни могат да организирани по местоположение и анализират. Сондите измерват следните характеристики: термична сонда за скорост с вграден температура и влажност измерване: 0,5 инча с телескопична дръжка с обхват на измерване 0-3937 FPM / 0 до 20 m/s, , точност $\pm (5.90 \text{ FPM} + 5\% \text{ от MV}) / \pm (0,03 \text{ м / с} + 5\% \text{ от MV})$ и IAQ сонда за оценка качеството на въздуха, CO₂, влажност, температура и измерване на абсолютно налягане и обхват на измерване 0 до 984 FPM / 0 до 5 m/s, точност $\pm (5.90 \text{ FPM} + 4\% \text{ от MV}) / \pm (0,03 \text{ м} / + 4\% \text{ от MV})$.

Получените резултати от измерванията се обработват с помощта на компютърната програма Microsoft Excel.

Инфрачервена камера FLIR E40. Технически параметри: 160 x 120 IR резолюция. Пространствена резолюция: 2.72 mrad. Термочувствителност: <0.07°C. Температурен обхват -20°C до +650°C. Спотметър: 33 boxes with min./max./average. Измерване на температурна разлика -3.1 Мр цифров фотоапарат и една LED светлина. Bluetooth® / WiFi-1-2x цифрово увеличение. IR област върху реалното изображение.

Квадрокоптер дрон с професионален клас камера и оптика - висококачествен обектив и оптичен сензор които позволяват 2.7K (до 30 к/с) запис на видео и 12 Мрix снимки. Снабден с ново поколение централен полетен контролер, който следи, събира и анализира в реално време, постъпващата информация от всички датчици и системи (GPS, обороти на моторите, напрежения и др.) и контролира адекватно дрона спрямо променящите се условия при полет. Следи и записва на видеото в реално време с вградената FPV поддръжка и HD 720p видео стрийминг към таблета. Обхватът на видео сигнала и управлението на дрона е до 2000m.

При изпитването са използвани 16 бр. термодвойки тип „К“. Те са свързани към 2 броя многоканални цифров термометри ТСб800, със серийни номера съответно 01648 и 01729 (местоположението на термодвойките е показано на фиг. 3). Уредите са с обхват (0÷1200)°C и притежават свидетелство за калибриране съответно № 18А/12.01.2016 г. и № 19А/12.01.2016 г., издадени от фирма "Интерлаб" АД. Уредите са свързани с преносим компютър Asus с помощта на сериен порт RS 486 .



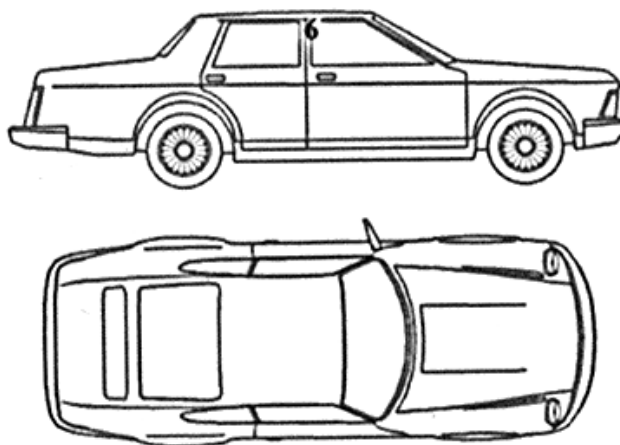
Фиг. 3 Разположение на термодвойки подготвени за експеримента

1-двигателен отсек, 2-купе вътрешен покрив, 3-предно стъкло, 4-горивни маркучи, 5-табло бушони, 7-ключалка преден капак, 8-врата предна лява, 9-врата предна дясна, 10-задно стъкло, 11-купе под, 12-арматурно табло, 13- капак багажно отделение, 14-автомобилна гума предна лява, 15- автомобилна гума предна дясна, 16-предна лява седалка

За измерването е използван лицензиран софтуер „PolyMonitor“ за визуализиране и архивиране на данните от измерването.

С негова помощ данните от измерванията се визуализират на екрана по време на изпитването и се архивират във файл на всеки 30 s. Автомобилите подготвени за експеримента са разположени по средата на полигона с цел отстояване от горими материали на достатъчно безопасно разстояние. Техниката и апаратурата, които измерват резултатите от експеримента са разположена на 25 m от горящите леки автомобили. Осигурен е преносим електрически генератор защитен в рисковата зона от открити пламъци и източници на искра. Термодвойките са поставени съгласно инструкцията на производителя и при спазване изискванията на независима частна лаборатория „FPLUS“, за изпитване, изследване и сертификация по критерий "реакция на огън", „устойчивост на огън“, "системи за управление на огън и дим", измерване на дебелина на огнезащитни покрития.

Допълнителна термодвойка е поставена на предната лява врата на близко разположения автомобил (Фиг. 4).



Фиг. 4 Разположение на термодвойка № 6 на предна лява врата към близко стоящ лек автомобил на разстояние 0,8m

Безопасността при осъществяването на натурния експеримент се осигурява от противопожарен екип при Седма РСРБЗН при ГДПБЗН.

Параметри на околната среда

По време на експеримента се измерват основните параметри на околната среда: атмосферно налягане, относителна влажност, скорост и температура на въздуха.

Измерванията са отчитани през 30 s, започвайки от времето на пълното развитие на пожара 13:19±13,26 ч. Атмосферното налягане (Фиг. 5) се запазва почти постоянно по време на експеримента, като се мени незначително със слабо изразена тенденция към намаляване от 925 hPa до 924 hPa. Промяната не е резултат от наличие на огнище на пожар.



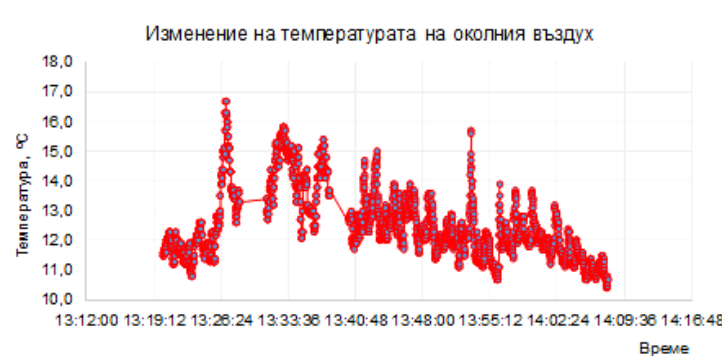
Фиг. 5 Изменение на атмосферното налягане по време на експеримента

Изменението на скоростта на вятъра (Фиг. 6), както и температурата му имат силно изразен турбулентен характер. Скоростта се мени в интервала от 0 до 5 m/s при отчетена средна скорост около 2,8 m/s.



Фиг. 6 Изменение на скоростта на въздуха

Температурата на въздуха (Фиг. 7) се мени нерегулируемо през времетраенето на експеримента в границите 10°C до 16°C.



Фиг. 7 Изменение на моментната стойност на температурата на околния въздух

От получените параметри на околната среда може да се твърди, че изменението се дължи много слабо от температурата на пожара. Само в определени интервали по време от 13:26 h до 14:02 h, приема стойности по-големи от 12°C и една температурна разлика от $\pm 4^\circ\text{C}$. Относителната влажност (Фиг. 8) по време на интензивното горене (13:26h до 14:02h), спада от 60% до 48%, след което се повишава отново до начална стойност. Това се обяснява с факта, че основната посока на вятъра (северозапад-югоизток) “преминава” над огнището на пожара, като по този начин въздуха се изсушава за упоменатият интервал от време.



Фиг. 8 Изменение на относителната влажност на въздуха

Колективът на статията изказва своята благодарност на следните фирми и колеги:

1. Експериментът е финансиран по договор № ДУНК-01/3 "Университетски научноизследователски комплекс (УНИК) за иновации и трансфер на знания в областта на микро/нанотехнологии и материали, енергийна ефективност и виртуално инженерство".
2. Проф. д-р А. Беярски и доц. д-р Ц. Мицев за предоставените термовизионни камери.
3. На колегите д-р инж. Д. Спасов – преподавател в Академия на МВР, инж. П. Узунов за предоставените термодвойки и измервателна апаратура за анализ.
4. Независима частна лаборатория „PLUS“ за изпитване, изследване и сертификация по критерий "реакция на огън", „устойчивост на огън“.
5. Отдел "Център за изследвания и експертизи" при Главна дирекция „Пожарна безопасност и защита на населението“.
6. На Началника на Седма РСПБЗН - инж. И. Илиев за организацията и ръководството за осигуряване на безопасността при провеждане на експеримента.

Литература

1. Методическо ръководство за установяване на причините за възникване на пожари, НПИПБЗН-МВР, София, 2007.
2. NEPA 921 Guide for fire explosion investigations, 2008.
3. Стоянов, Пожаро-технически характеристики на автотранспортни средства, София, Научно-приложен институт ПБЗН, 1998.
4. Computer Modelling of Automobile Fires. Chapter 9.2012.
5. Johan Mangs, On the fire dynamics of vehicles and electrical equipment, VTT Publications 521.

маг. инж. Камен Грозданов, ТУ-София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, е-mail: kamen_65@abv.bg

гл. ас. д-р Светлин Антонов, ТУ-София, катедра „Радиокомуникации и видео-технологии“, е-mail: mfantonov@abv.bg

доц. д-р Ангел Терзиев, ТУ-София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, е-mail: aterziev@tu-sofia.bg

д-р инж. Детелин Спасов, Академия на МВР, е-mail: ssov@fplus-eu.com

проф. д.т.н. Станимир Карапетков, ИПФ-Сливен, катедра „Механика, машиностроене и топлотехника“, skarapetkov@tu-sofia.bg

проф. д.т.н. Иван Антонов, ТУ-София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, е-mail: mfantonov@abv.bg

Експериментално изследване развитието на пожар при автомобили. Резултати и анализи

Камен Грозданов, Светлин Антонов, Ангел Терзиев, Детелин Спасов,
Станислав Карапетков, Иван Антонов

В работата е описана методиката на изследване на пожари и измервателната техника. Приведени са някои от получените резултати относно разпределението по време на температурата при пожар във възлови точки от корпуса на автомобила при използване на два метода на отчитането ѝ.

Изследва се възможността като времеви интервал за пренасяне на огъня към съседни автомобили, подпалването и изгарянето му.

Приведени са изводите за развитието на пожара с евентуално приложение на резултатите.

Ключови думи: пожар на автомобил, експериментално изследване, развитие на пожар

Experimental study of a car fire. Result and analysis

Kamen Grozdanov, Svetlin Antonov, Angel Terziev, Detelin Spasov,
Stanimir Karapetkov, Ivan Antonov

The work presents the on-site fire test methodology and the measuring technique. Some of the results obtained concerning the temperature distribution during a fire at a specific measuring points of the vehicle are presented using two different reporting methods.

It is shown the way fire moves to adjacent car over time and when firing and burning of the vehicle starts.

The conclusions about fire development are made as some practical applications are presented.

Keywords: car fire, experimental study, fire development

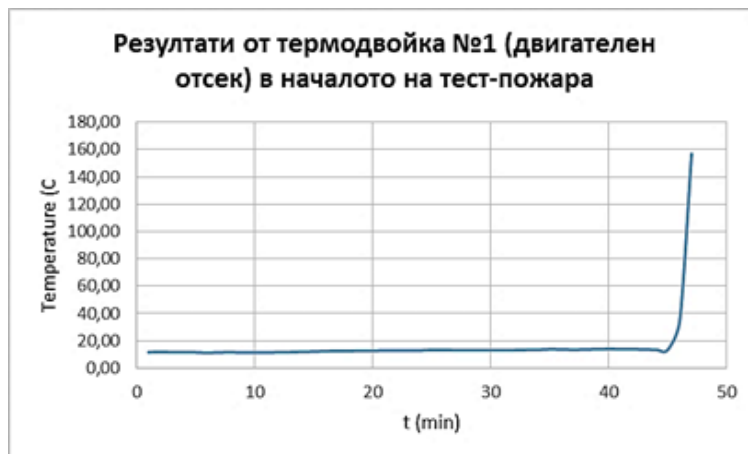
Резултати от проведения експеримент

Експерименталните изследвания свързани с горенето на автомобил се проведеха на 06.04.2017 г. в 12,58 часа в полигона в с. Лозен, като началото на пожара е в двигателният отсек, посредством изгарянето на около 0,2 ml бензин с оглед симулиране на разкъсан горивен маркуч. След запалване на двигателният отсек капачката на двигателя се затваря. Две минути от възникване на пожара се наблюдава задимяване от капачката на двигателя. След петата минута плътността на дима проникващ над капачката на двигателния отсек намалява.

Опита показва, че е ограниченото количество на въздух в двигателния отсек, което не спомага за разпространението на запалването и води до затишването му. Измерените температури в първите 40 min (Фиг. 1) дават основание да се предположи, че не е възможно възпламеняване на горими материали в двигателния отсек както и разпространение на огъня през технологичните отвори към купето на превозното средство, когато не е в движение.

За времето от 10 до 20 min, проведените няколко опита да се предизвика горене от същото място под въздействието на впръскано гориво имитиращ развитие на пожар в двигателния отсек при затворен капак не дава резултат. Термодвойка №1 не регистрира повишаване на температурата в двигателния отсек.

След повторно запалване със същото количество бензин дима над капака става по плътен със скорост на разпространение повече от 5 m/s.



Фиг. 1 Измерени температури в двигателния отсек в началото на теста

Разположението на термодвойките е съгласно даденото в [4]. Температурата на газовете в първите 5 min след повторното запалване в затворените части от колата, както и над капака, двигателя или на покрива се повишават до 155-480°C (Фиг. 2).



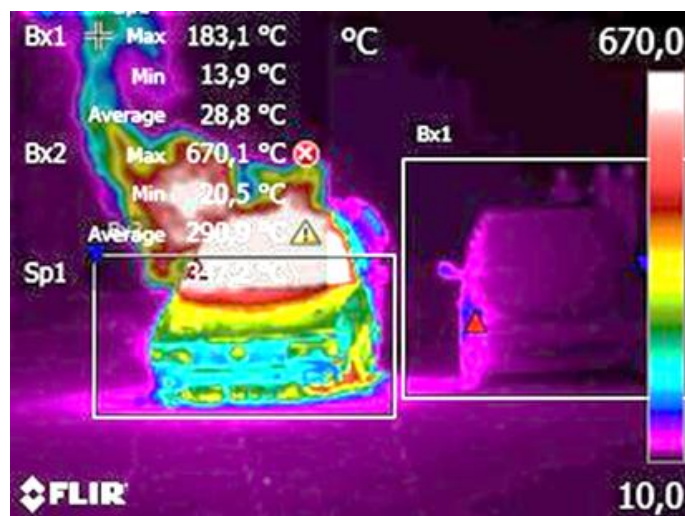
Фиг. 2 Измерени температури в двигателния отсек при затворен капак

Наблюдавани действия: дясната страна на лекия автомобил е със стопена пластмаса на мигачите. Пластмасата на страничното огледало за задно виждане в дясната страна и около него също е стопена. Стопен е десния фар и бронята под него. Опушване на боята на автомобила. При скорост на вятъра 2,8 m/s под ъгъл към оста на автомобила се намалява времето на задържане на началния стадий на пожара към съседния автомобил, увеличава се времето на задръжка на развитието на пожара върху моторния отсек.

След появата на огън в затвореното пространство на отделението за пътниците, материалите (стелки, седалка и др.) водят до бързото разпространение на огъня, постъпващ през технологичните отвори на корпусът, които дават възможност огъня да запали вътрешността на съществуващите материали.

Пикът на температурата в купета за пътници идва по-рано от тази в двигателния отсек.

Външната повърхност на капака измерена с термовизионната камера (Фиг. 3), вход 2 отчита средна температура 290°C, вход 1- съседен автомобил средна температура 28,8°C, за времето около 15 min от повторното запалване.



Фиг. 3 Максимална температура на повърхността на двигателния отсек измерена с инфрачервена камера

В създалия се процес на горене, източник на възпламеняване е топлината, която се отделя в резултат на реакцията на горенето.

Механизмът за възникване на разпространението на горенето по горимите материали се заключава в следното: под въздействието на източник на горене се нагрява повърхностния слой на материалите и веществата, при което настъпва деструкция и изпарение с образуването на аерозолни смеси, които се състоят от газообразни продукти на реакцията и твърдите частици от веществото и материалите. Твърдите вещества и течности образуват горими смеси само при определени температури.

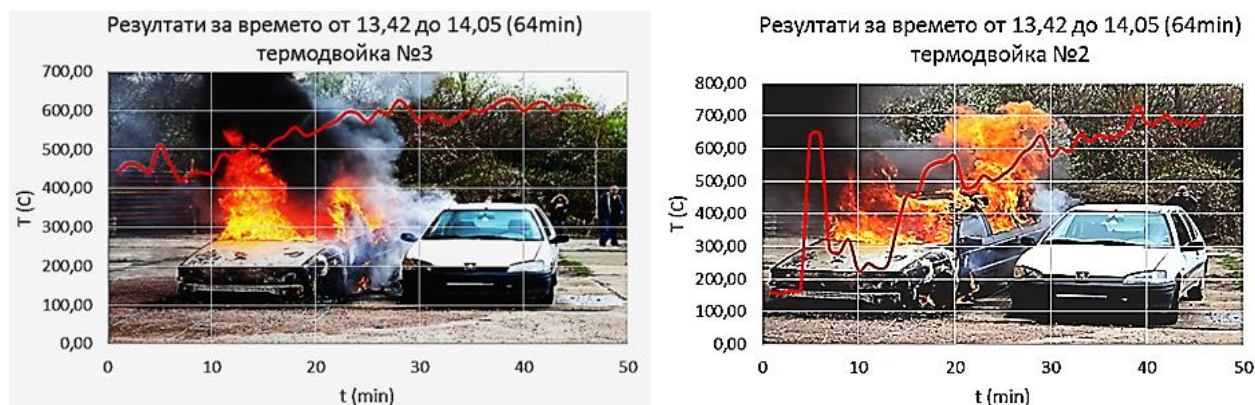
При съпоставяне на получената температура, отчетена по термодвойките 250°C до 600°C, поставена в салон пътници (Фиг. 4), се вижда, че времето от 10-15 min достига температурата на възпламеняване от 180-240°C на стелки, глави, седалка и др. с които са оборудвани автомобилите.



Фиг. 4 Температура от експеримент на термодвойка 11 (пожар) в салон за пътници

При достигане на температурата на възпламеняване на горимите продукти, които се намират в отсек за двигателя и салон за пътници започва разпространение на пламъчно горене по неговите повърхности. Горимото натоварване в купето в началните минути на

пожара, както и количеството въздух са еднакви. За по – големите деформации и изгаряния основна причина е по–продължителното време за горене и въздействието на високата температура (Фиг. 5 а и б).



а)

б)

Фиг. 5 а) Температура от експеримент на термодвойка 11 (пожар) в салон за пътници;
б) Температура от експеримент на термодвойка № 2 вътрешен покрив

Наблюдавани външни показатели по време на развитието на пожар-експеримент: обгорял двигателен отсек; обгорял преден капак; прогоряла тапицерна на предните седалки и арматурното табло; обгаряне на боята на предна лява врата; прогаряне на предна дясна гума и начален етап на разтопяване на алуминиевата джанта.

При спрял автомобил, пламъкът се разпространява в купето след 8 – 10 min. Видимото обхващане на купето, двигателя и багажника от пламъка завършва след 30 min. Окончателното догаряне на автомобила се наблюдава след 40 – 50 min. Стопяването на алуминиевите джанти е възможно при температура над 650°C.

Анализ на резултатите от експерименталните изследвания

По-долу са представени основните изводи от провеждането на експерименталните изследвания:

- Анализът показва, че основния горим материал е арматурното табло (Фиг. 6а) и табло бушони (Фиг. 6б), тапицерна на седалките и вратите, които обикновено са изготвени от синтетични материали и дунапрен. Тези изделия се отнасят към групата на твърдите горими материали.



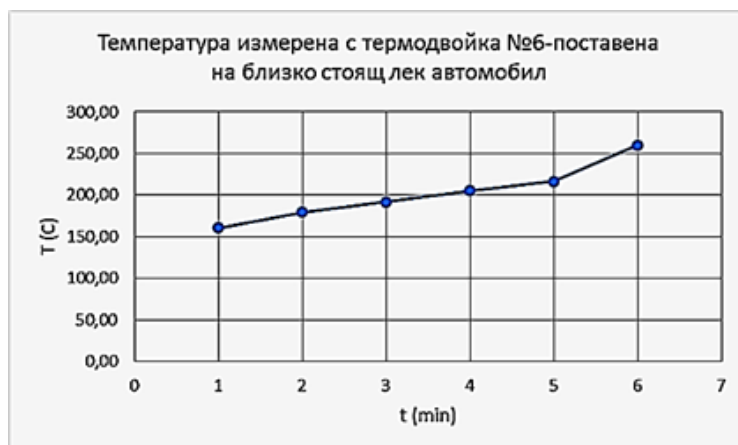
а)

б)

Фиг. 6 а) Експериментални изследвания в арматурно табло;
б) Експериментални изследвания в табло бушони

- Плътността на задимяване е в резултат от вида на горимото натоварване и интензивността на газообмена. Увеличаване на концентрацията на дима се получава поради разликата в количеството дим, който се образува в зоната на горене и дима, който се отделя през отворите на пътното превозно средство.
- Конструктивно предвидените горими елементи в предната част на лекия автомобил спадат към групата на твърдите горими материали, които при нормални условия нямат склонност към самовъзпламеняване. Възпламеняването им в обикновени условия е възможно единствено под въздействието на източник с определена топлинна мощност.
- Отчетените температури 350-400°C във всички случаи е доста показателен фактор за твърдите горими материали в превозните средства. При тази температура, по-голямата част от материали от органичен произход се самозапалват и чрез топлината създават благоприятни условия за запалване и самозапалване на останалите компоненти на във превозното средство.
- В превозни средства са широко използвани дискутираните по-горе материали. Те се характеризират с висока устойчивост на огън и ниска топлопроводимост. В автомобилната индустрия все повече се използва дизайн от неметални материали. Въпреки това, всички те имат ниско съпротивление при възникване на огън. Например, критичната температура на стъклени влакна е 230°C. Полимери и пластмаси, използвани в автомобили като изолация също имат ниска огнеустойчивост. Допустима температура на пяна и дунапрен е 65-150°C. Тези температури са типични почти за всяка зона на термично влияние при пожар в пътн превозно средство.

Условия за възникване на пожар към отстоящия на 0.8m автомобил настъпва (Фиг. 7), след 6÷8 min. Времето е напълно достатъчно за реакция и отстраняването му от огнището на пожара.



Фиг. 7 Изменение на температурата с термодвойка, поставена в близкостоящ автомобил

Последици от пожара върху конструкциите и оборудването

Като се вземе предвид, че горимото натоварване в купето и двигателя и притока на кислород в началния стадий на пожара са еднакви, по-големите изгаряния и деформации се дължат на по-продължителното въздействие на огъня и високата температура.

Средно-обемната температура на пламъка достига 750 – 800°C, която възпламенява намиращите се в двигателя изолации и други пластмасови материали много бързо. Сравнявайки с температурата на възпламеняване, гумените тръби и маркучи, пластмасови детайли и резервоари за антифриз и спирачна течност и др., най запалими части от двигателния отсек, са изцяло или почти изцяло изгорени по време на първите 15 min от експеримента.

В дясната част на двигателния отсек–филтър, както и други компоненти са напълно изгорели. Огледа показва влошаване и напълно изгорели електрически кабели, частично разтопени части на двигателния отсек.

Вътрешното горимо оборудване на купето е унищожено, в това число седалки, волан, арматурно табло, тапицерия и т.н.

В багажното отделение също са изгорели всички горими материали, липсва подовата му част и няма никакви следи от оборудване. Гумите са изгорели напълно, като задната дясна джантата е разтопена.

Остъклението, както и уплътненията по него напълно липсват.

Стопяването на капачката на резервоара върху гърловината показва, че пожарът върху тази зона се е развил при затворен резервоар, като не е последвало взривно горене.

Изгарянето на предните гуми отгоре надолу и от вътрешната страна към двигателя на лек автомобил Peugeot потвърждава също, че пожарът е възникнал в предната част на автомобила. При пътно транспортно произшествие при падане на автомобила от височина, повреди като спукването на резервоара, разхерметизиране на горивопроводите и др. водят до възникване на пожар.

При спукването на резервоар за гориво, горивото попада върху нагорещените части на двигателя и се възпламенява. Разрушаването на резервоара води и до пръскане на течността по деформираните части на автомобила, които много бързо се обхващат от пламъка. След възникването на пожар в деформирания автомобил, горенето се разпространява неконтролируемо за кратък период от време в рамките на 10-15 min. Алуминиевите части по автомобила, както и разкъсания резервоар показват че температура на пожара е над 850°C. Температурата на стопяване на алуминия е 648°C. Деформациите и повредите на възлите и системите на автомобила при ПТП възпрепятстват бързото реагиране на водача на пътното превозно средство за евакуиране, а при наличие на пасажери евакуирането е невъзможно без намесата на спасителните екипи.

Стартерната система, която е под постоянно напрежение, изгарянето на изолацията на кабелите към акумулатора показва, че е настъпил един от горепосочените процеси – силно нагряване на проводниците и възпламеняване на изолацията им. Горенето протича с интензивно тлеене, чиято температура е в интервала между 400 – 600°C по горните части на двигателния отсек.

Повечето от функциониращите системи в автомобила съдържат електрифицирани прибори и апарати, чиято нормална работа е възможна при провеждане към тях на определено количество електрическа енергия. Проводниците на ел. мрежата преминават в непосредствена близост до горимите части в двигателя на автомобила. При преминаването на ел. ток по проводниците се увеличава температурата на жилата и изолацията на проводника. При възникване на пътно транспортно произшествие обичайното първо, което се изгаря, е запалителната течност, която се отделя. Източниците включват: горещи колектори в двигателното отделение; електрически дъги и къси съединения в електрическа система.

Пропуските и отворените шевове, получени при катастрофа, позволяват проникване в превозното средство от пламъците от външен огън (обикновено пламъци в шасито). Източници на запалване се разглеждат като хипотетични сценарии. Експерименталните резултати показват, че всяка кола има голямо количество горими и леснозапалими течности под капака на двигателя - бензин или дизелово гориво, масла и други компоненти. Всички от тях са базирани на минерално масло или различен вид промишлен алкохол, които могат лесно да се запалят, ако маркучи или съдовете за съхранение, губят своята стегнатост. Двигателя на колата не загрява над своята работна температура, ако всички системи работят правилно.

Температурните условия, създадени в областта на изпускателната тръба от колектора на входящия тръбопровод и температура на отработените газове в началото на изпускателната тракт е около 800-830°C. Изпускателния колектор на двигателя, в

зависимост от режима на работа се нагрява до 400-700°C, която температура е достатъчна, за да възпламени най горими материали.

При температури от 100-200°C, получени при проведения експеримент и непосредствените наблюдения показват, че е възможно възпламеняване на изолацията и намиращите се в близост до трасета на проводниците горими материали. Ако температурата не достигне критична стойност, но е достатъчно висока, се увеличава скоростта на стареене на изолацията на проводниците.

Проведените изследвания и направения анализ, надхвърлят даденото в литературата [1] и [3] по своята точност и всеобхватност. Това се оказва възможно благодарение на използваната високо ефективна измервателна техника.

Колективът на статията изказва своята благодарност на следните фирми и колеги:

1. Експериментът е финансиран по договор № ДУНК-01/3 "Университетски научноизследователски комплекс (УНИК) за иновации и трансфер на знания в областта на микро/нано технологии и материали, енергийна ефективност и виртуално инженерство".
2. Проф. д-р А. Бекярски и доц. д-р Ц. Мицев за предоставените термовизионни камери.
3. На колегите д-р инж. Д. Спасов – преподавател в Академия на МВР, инж. П. Узунов за предоставените термодвойки и измервателна апаратура за анализ.
4. Независима частна лаборатория „PLUS“ за изпитване, изследване и сертификация по критерий "реакция на огън", „устойчивост на огън“.
5. Отдел "Център за изследвания и експертизи" при Главна дирекция „Пожарна безопасност и защита на населението“.
6. На Началника на Седма РСПБЗН - инж. И. Илиев за организацията и ръководството за осигуряване на безопасността при провеждане на експеримента.

Литература

1. Методическо ръководство за установяване на причините за възникване на пожари, НПИПБЗН-МВР, София, 2007.
2. NEPA 921 Guide for fire explosion investigations, 2008.
3. Стоянов, Пожаро-технически характеристики на автотранспортни средства, София, Научно-приложен институт ПБЗН, 1998.

маг. инж. Камен Грозданов, ТУ-София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, e-mail: kamen_65@abv.bg

гл. ас. д-р Светлин Антонов, ТУ-София, катедра „Радиокомуникации и видео-технологии“, e-mail: mfantonov@abv.bg

доц. д-р Ангел Терзиев, ТУ-София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, e-mail: aterziev@tu-sofia.bg

д-р инж. Детелин Спасов, Академия на МВР, e-mail: ssov@fplus-eu.com

проф. д.т.н. Станимир Карапетков, ИПФ-Сливен, катедра „Механика, машиностроене и топлотехника“, skarapetkov@tu-sofia.bg

проф. д.т.н. Иван Антонов, ТУ-София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, e-mail: mfantonov@abv.bg

Охарактеризиране на крилен профил за аеродинамична компенсация на пътни превозни средства

Ясен Цветанов, Ангел Терзиев

Аеродинамичното съпротивление е един от значимите фактори, оказващи влияние върху поведението при движение на превозните средства. Неговото влияние нараства значително с нарастване на скоростта. Повече от век инженерите се опитват да намалят влиянието на въздушното съпротивление, чрез използването на по-обтекаеми форми. Възможно ли е обаче, самият силата на самото въздушно течение да се използва за намаляване на аеродинамичните загуби? Възможно ли е да се разработи аеродинамична компенсация на всички съпротивителни сили при движение?

Ключови думи: крилен профил, аеродинамично съпротивление, аеродинамични загуби, аеродинамична компенсация, съпротивителни сили при движение

Characterization of a wing profile for aerodynamic compensation of road vehicles

Yasen Tsvetanov, Angel Terziev

The aerodynamic drag is one of the significant factors influencing vehicle behavior. Its influence grew substantially, with an increase in the speed of movement. More than a century, engineers trying to reduce the impact of the air resistance, through the use of a more aerodynamics forms. Is it possible to use the air itself to reduce the aerodynamic losses? Is it possible to develop an aerodynamic compensation of the all resistance forces acting in motion?

Keywords: Wind airfoil, aerodynamic drag, aerodynamic losses, aerodynamic compensation, aerodynamic forces

Въведение

Използването на крилни профили във въздухоплаването е в основата на този транспорт. В практиката се използват изключително голям брой различни профили, всеки от които има свои собствени предимства и недостатъци. Въпреки посоченото по-горе всички те имат обща характеристика която ги обединява – генерирането на подъемна сила. Този факт лежи в основата на плаването на предмети по-тежки от въздуха, като генерираната подъемна сила се противопоставя на гравитационната сила на земята. Това свойство на крилните профили се използва успешно при пътните превозни средства (ППС), но с обратен знак – крилният профил е обърнат огледално, а подъемната сила е насочена към земята, работейки в едно с гравитацията. Тук целта е само една – повишаване на устойчивостта/управляемостта на ППС. Съществува и още един начин, по който могат да се използват крилните профили – да генерират хоризонтални сили от вятъра, които да се използват за задвижване - най-вече във водните спортове. Като такива съоръжения могат да бъдат посочени платноходите. Те отдавна, обаче са заменени от корабите, задвижвани с двигатели, поради голямата непостоянност на ветровете.

Основните начини за използването на вятъра за придвижване се свеждат до използването на открити платна, поставени под определен ъгъл спрямо вятъра. Свободно обтичаните платна генерират хоризонтална сила, която придвижва даден плавателен съд, но ако едно платно се постави зад друго платно или на място, където то не може да се обтича свободно, то това платно практически престава да генерира хоризонтална задвижваща сила.

Възниква следния въпрос: може ли да се използват крилни профили за генериране на хоризонтални сили, когато те не са свободно обтичани от вятър както платната и за какво биха се използвали тези профили ако това може да се осъществи?

Постановка на задачата. Охарактеризиране на крилен профил GOE 428.

При условие, че се разгледат камионите като един от представителите на пътните превозни средства (ППС), могат да се констатират следните основни факти: те са много широко разпространени в ежедневието; превозват големи количества товари; изминават големи разстояния в рамките на една година и нямат алтернатива, която да може да ги замени. Но това има и своята цена: камионите не са с много аеродинамични форми и изразходват големи количества горива, въпреки много добрата горивна ефективност на техните двигатели. Освен това, те имат и други големи загуби – от триене, в агрегатите и спомагателните системи.

При движение в градски условия, скоростта на придвижване е относително ниска, поради което и аеродинамичните загуби на камионите са малки и дори пренебрежими. Но при движение извън града аеродинамичните загуби нарастват чувствително, за да достигнат 22-25% от общите загуби на енергия [1, 2, 6]. Възниква въпросът: могат ли да намалят загубите (разходът на енергия) при движение в извънградски условия, и ако това е възможно, то какъв да бъде начинът? Безспорно аеродинамичните форми редуцират консумацията на гориво, но не решават проблемът по същество. Необходимо е да се търси друга алтернатива, при която да се генерира движеща сила и тази алтернатива да използва относително малко енергия.

При самолетите, крилният профил е закрепен неподвижно за фюзелажа и се обтича от въздуха благодарение на движението на самолета, генерирайки подъемна сила. Ако този профил бъде завъртян на 90 градуса (вертикално), то тогава неговата вертикална подъемна сила ще се трансформира в хоризонтална движеща сила. За да „работи“ този профил, е необходимо да се изпълнят две условия: да бъде закрепен неподвижно за камиона на подходящо място и да бъдат осигурени условия за неговото обтичане от успоредно въздушно течение.

Една от възможностите за използването на крилни профили в ППС и в частност при камионите е междината между кабината и ремаркетото. По този начин ще се използва съществуващо празно място, което е нежелано и генерира вихри, които допълнително увеличават аеродинамичното съпротивление.

На Фиг. 1 е представена обобщена информация за разпределението на аеродинамичните загуби при камионите.

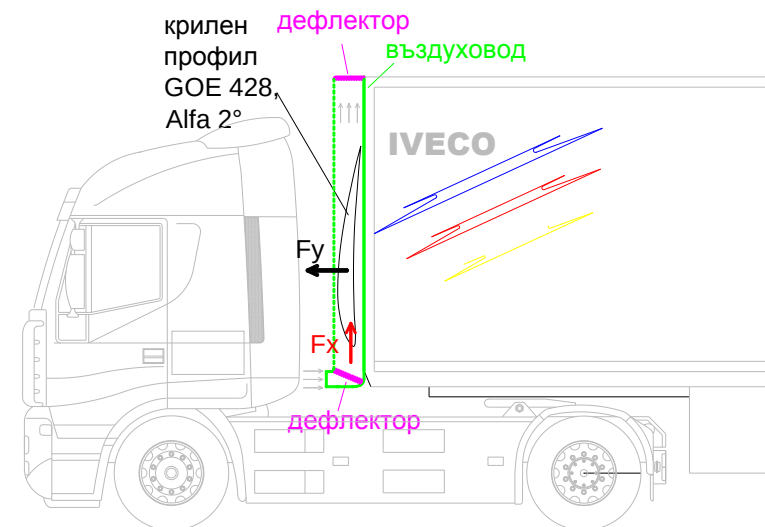


Фиг. 1 Разбивка на аеродинамичните загуби при камионите [3]

На Фиг. 1 се вижда ясно, че междината между кабината и ремаркетото позволява поставянето на крилен профил, като по този начин се създава възможност за генерирането на движеща или съпротивителна сила.

Една от основните цели на настоящата работа е изследване на възможността за използване на крилен профил с оглед компенсация на аеродинамичното съпротивление при ППС.

Едно от предложенията е крилен профил с определени характеристики да бъде монтиран в междината между кабината и ремаркетото, без да се повлиява върху маневреността на превозното средство. На Фиг. 2 е изобразен крилен профил GOE 428 [4], поставен в правоъгълен канал, монтиран на челната страна на ремаркетото зад кабината. Възможно е профилът да бъде монтиран също и на задната страна или между камиона и ремаркетото.



Фиг. 2 Крилен профил GOE 428 [4], поставен в правоъгълен канал на ППС [5]

На Фиг. 3 са изобразени графично подемната и съпротивителните сили за крилен профил GOE 428, с площ 4 m^2 , при свободно обтичане.



Фиг. 3 Подемна и съпротивителна сили за профил GOE 428 при свободно обтичане

В Табл. 1 са изобразени подъемната и съпротивителните сили за крилен профил GOE 428 в табличен вид при свободно обтичане. В Табл. 2 представена информация за стойността на коефициентите на подъемна и съпротивителна сила за избрания крилен профил при различен ъгъл на атаката спрямо основното течение.

Таблица 1
Подъемна и съпротивителна сили за профил
GOE 428, при свободно обтичане

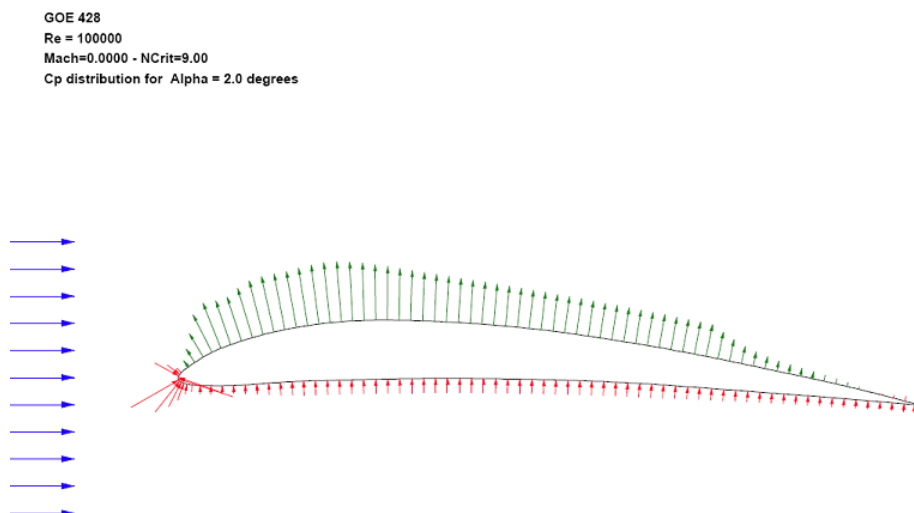
№	V		F_y	F_x
	km/h	m/s	N	N
1	10	2.78	14.17	0.01
2	20	5.56	56.69	0.04
3	30	8.33	127.55	0.10
4	40	11.11	226.76	0.18
5	50	13.89	354.31	0.27
6	60	16.67	510.20	0.40
7	70	19.44	694.44	0.54
8	80	22.22	907.02	0.70
9	90	25.00	1147.95	0.89
10	100	27.78	1417.22	1.10
11	110	30.56	1714.84	1.33
12	120	33.33	2040.80	1.58
13	130	36.11	2395.11	1.85
14	140	38.89	2777.76	2.15
15	150	41.67	3188.75	2.47
16	160	44.44	3628.09	2.81
17	170	47.22	4095.77	3.17
18	180	50.00	4591.80	3.56
19	190	52.78	5116.17	3.96
20	200	55.56	5668.89	4.39
C_y	C_x	S_y, m^2	S_x, m^2	kg/m^3
0.7653	0.0079	4	0.3	1.2

Таблица 2
Основни характеристики на крилния профил GOE 428

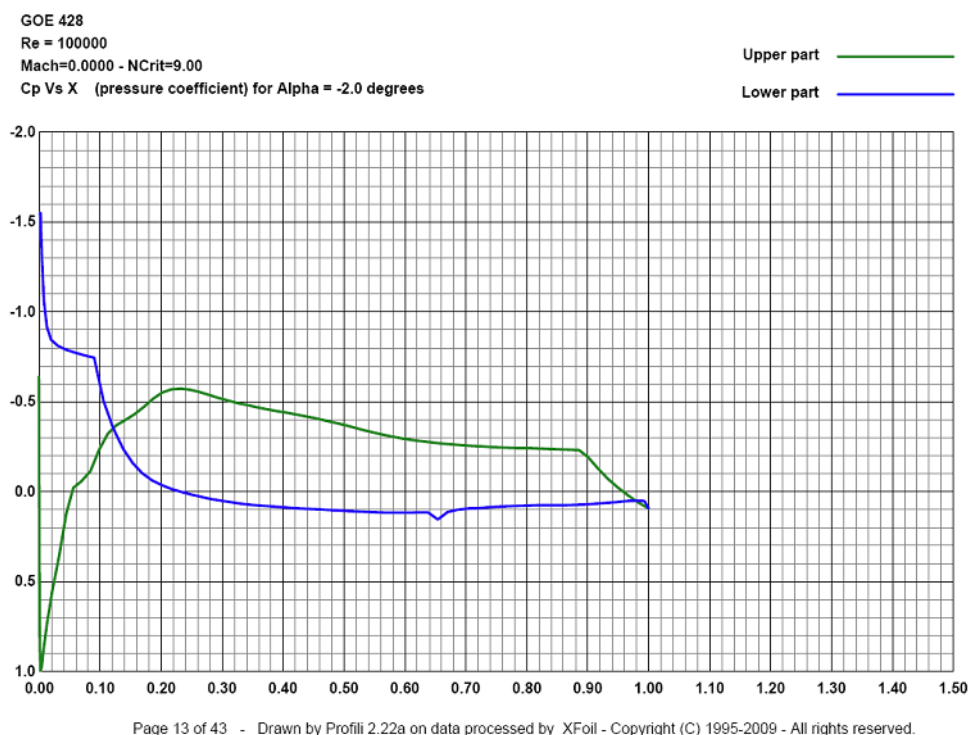
GOE 428 - Re = 400000				
Alfa	Cl	Cd	Cl/Cd	Cm
-1	0.4463	0.0104	42.914	-0.111
-0.5	0.4987	0.0098	50.888	-0.11
0	0.551	0.0094	58.617	-0.109
0.5	0.6038	0.0093	64.925	-0.108
1	0.6535	0.0087	75.115	-0.107
1.5	0.7147	0.0076	94.04	-0.108
2	0.7653	0.0079	96.873	-0.107
2.5	0.8146	0.0082	99.342	-0.106
3.5	0.9116	0.0092	99.087	-0.103
4	0.9609	0.0097	99.062	-0.102

Наред с това е представено отношението на коефициентите на подъемна към съпротивителна сили, както и коефициент на момента. Впечатление прави фактът, че максималната стойност на отношението между двата коефициента е при ъгъл на атаката 2° .

На следващите фигури (Фиг. 4 ÷ Фиг. 10) са изобразени различни характеристики на крилният профил GOE 428, при свободно обтичане (Число на Рейнолдс 100 000).

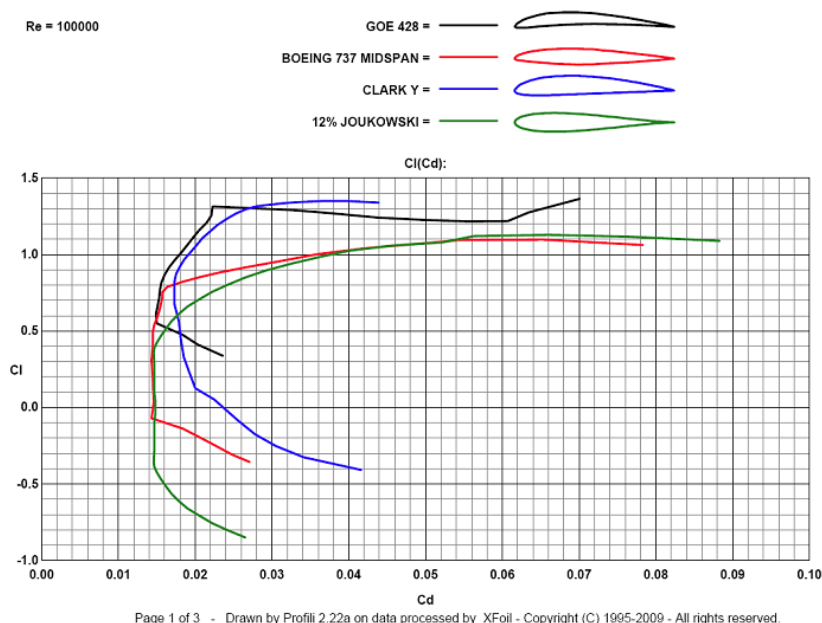


Фиг. 4 Графично разпределение на налягането по крилният профил GOE 428



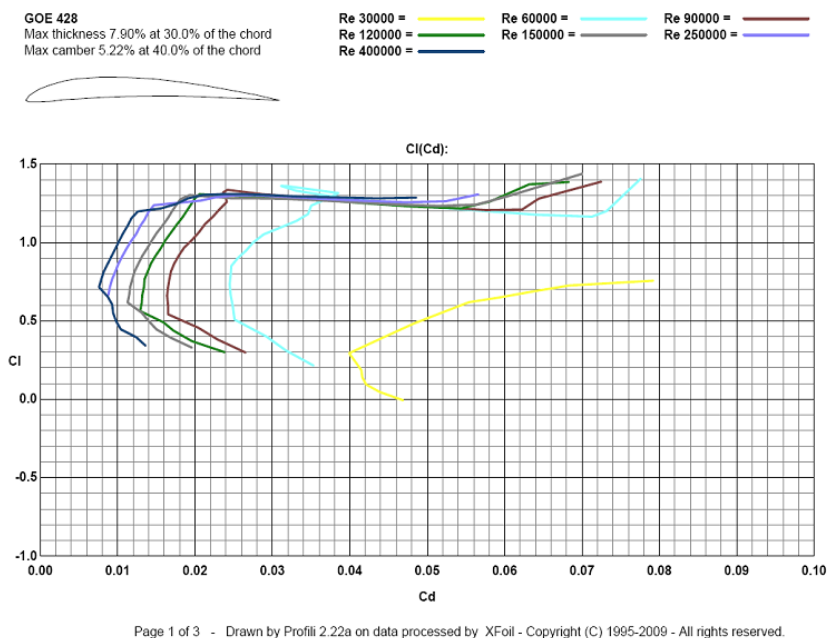
Фиг. 5 Разпределение на налягането спрямо хордата на крилният профил GOE 428

На Фиг. 6 е представено отношението на коефициентите на подъемна към съпротивителна сили при изследвания режим на движение ($Re=100000$) за различни крилни профили. Впечатление прави фактът, че с най-високи стойности на коефициента на подъемна сила е предложения профил (GOE 428), т.е. при ниски скорости на движение е с най-висока стойност на отношението между двата коефициента.



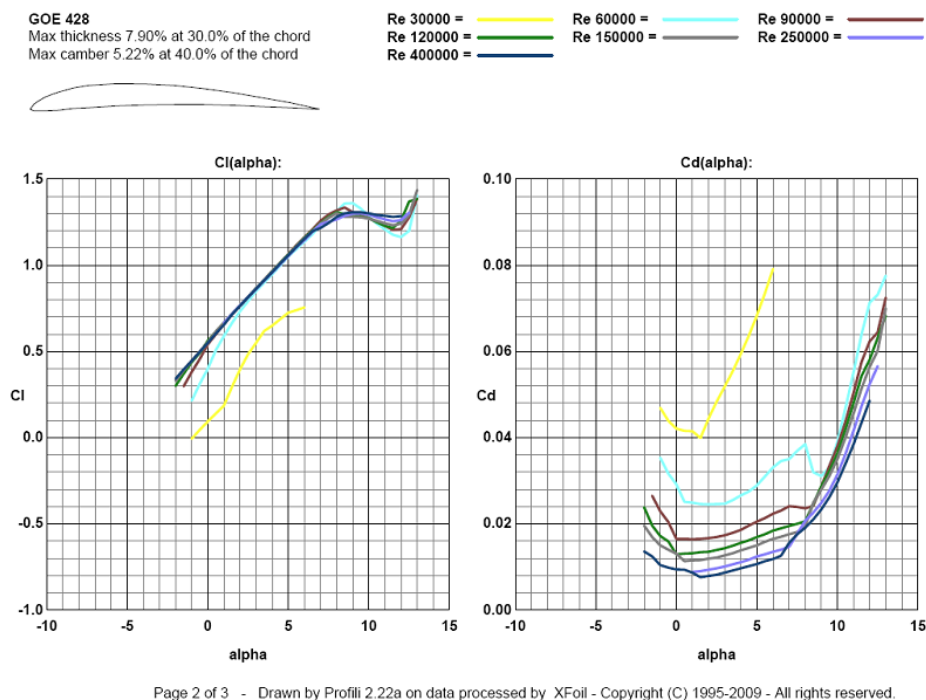
Фиг. 6 Сравнение на качеството на различни крилни профили при избран режим на движение

На Фиг. 7 е представено отношението (Cl/Cd) при различни стойности на числото Re . От Фигурата е видно, че при по-високи стойности на числото на Re , стойността на челоно съпротивление намалява за посочения крилен профил.

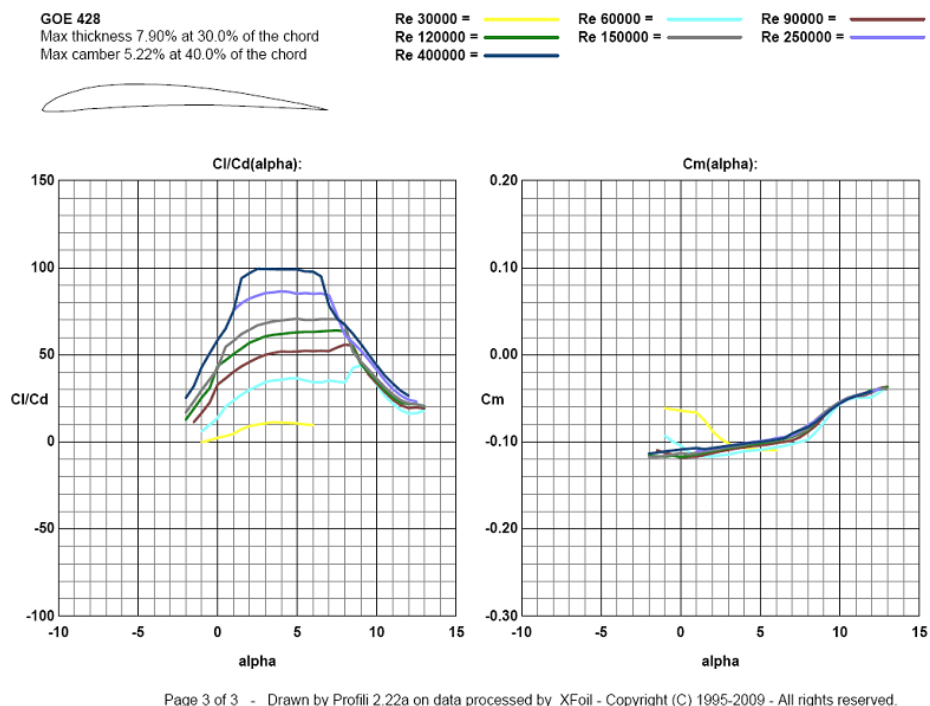


Фиг. 7 Зависимост на Cl/Cd от Re на крилния профил GOE 428

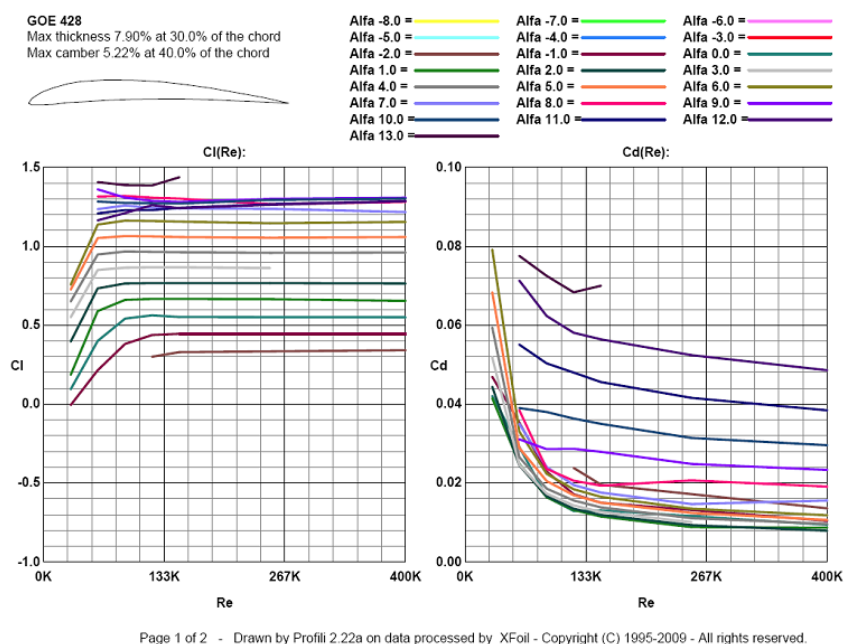
На Фиг. 8 е представените кривите на изменение на коефициентите на аеродинамично съпротивление на крилните профили при различни ъгли на атаката при различни стойности на числото на Re . Изводът, който може да се направи е аналогичен на този към Фиг. 7. На Фиг. 9 са представени кривите на изменение на Cl/Cd и Cm като функция на ъгъла на атаката.



Фиг. 8 Зависимост на C_l и C_d от алфа за крилният профил GOE 428



Фиг. 9 Криви на изменение на C_l/C_d и C_m от ъгъл на атаката за крилен профил GOE 428



Фиг. 10 Промяна на C_l и C_d от Re за крилен профил GOE 428

Изводи

В настоящата работа е направено охарактеризиране на параметрите на крилен профил с оглед използването му за компенсация на аеродинамично съпротивление. Основната цел е да се даде представа за идеята за използване на крилни профили с цел генериране на движещи сили в ППС, а не да се разглеждат множеството възможни конструктивни решения. Начините на подвеждане и отвеждане на въздуха към крилния профил също може да бъде различен като той ще зависи изцяло от конкретно избраното конструктивно решение.

В материалът е представен стандартен профил – GOE 428, чийто характеристики са известни. Размерите на профила са 2 000 x 2 000 mm. Проведения анализ показва, че при ъгъл на атаката 2° и скорост на въздуха около крилото от порядъка на 25 m/s (90 km/h), може да се генерира двигателна сила която е съизмерима на тази на челното съпротивление на един камион. Ако скоростта на обтичане се увеличи е възможно да се компенсират и загубите в задният край на камиона. Все още не е изследвано и точното влияние на въздуховода върху профила. Добавянето на повече от едно крило и/или на повече от едно място имат потенциала да компенсират не само аеродинамичните загуби, но дори и други загуби в камионите, породени от тяхното движение.

Литература

1. A Study on Aerodynamic Drag of a Semi-trailer Truck, Harun Chowdhury, Hazim Moria. Abdulkadir Ali, IftekharKhan. Firoz Alam, SimonWatkins, 2013.
2. Theory and Applications of Aerodynamics for Ground Vehicles, T. Yomi Obidi, 2014.
3. <http://cealdoctor.com/greenfleetblog/?tag=diesel+truck+pollution>
4. <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=goe428-il>
5. http://www.bibliocad.com/library/iveco-trucks--views_27051
6. The Aerodynamics of Heavy Vehicles III, Tomas W. Muld, Gunilla Efraimsson, Dan S. Heiniig.sou, Astrid H. Herbst, Alexander Orellan, 2016.

инж. Ясен Цветанов, ТУ–София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“,
e-mail: a4@systman.com

доц. д-р Ангел Терзиев, ТУ–София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, e-mail: aterziev@tu-sofia.bg

Числено изследване на ултравиолетово обеззаразяване на въздуха с модел за двуфазно течение

Георги Пичуров, Елена Сребрич, Ричард Винсент, Стивън Рудник

Проведено е числено изследване на ултравиолетово обеззаразяване на въздуха във вентилирано помещение с общообменна вентилация. За обеззаразяване са използвани ултравиолетови лампи разпръскващи UV-C лъчи хоризонтално под тавана. Течението се пресмята като непрекъсната среда с модели за вихров вискозитет, а болестотворните микроорганизми са моделирани като твърди частици по метода на Лагранж. При тяхното движение са пресмята погълнатата ултравиолетова доза и на тази база се оценява шанса за обеззаразяване. За размесване на въздуха с цел по-ефективно обеззаразяване помещението е оборудвано с 5-лопатков таванен вентилатор. Пресмятанията са извършени в различни режими на работа на вентилатора и са сравнени с експериментални данни от климатична камера.

Ключови думи: симулация, ултравиолетово обеззаразяване, моделиране, двуфазно течение

Numerical simulation of ultraviolet germicidal irradiation using L'agrangian approach

George Pichurov, Jelena Srebric, Richard Vincent, Stephen Rudnick

The efficiency of ultraviolet germicidal irradiation in a ventilated room is numerically simulated. Air disinfection is achieved by UV-C lamps that collimate UV-C radiation horizontally under the ceiling. The flow is modeled with eddy-viscosity models and the pathogenic microorganisms are modeled like solid particles using the L'agrangian approach. An algorithm calculates the accumulated UV-dose and the probability of inactivation for each microorganism. To increase air mixing and help transport the microorganisms into the irradiated zone the room is equipped with a ceiling fan. The simulations and efficiency calculations are performed under different fan speeds and blow directions. The calculated efficiency is compared to experimental data from a climate chamber.

Keywords: CFD, UVGI, Modelling, L'agrangian method

Въведение

Ултравиолетовото обеззаразяване (ultraviolet germicidal irradiation – UVGI) е добило популярност като метод за редуциране на риска от пренасяне по въздуха на болестотворни микроорганизми в болнични помещения. Ултравиолетовата радиация UV-C в диапазон на вълната 100-280 nm е способна да увреди ДНК на микороорганизмите, компрометирайки размножителните им функции и инфекциозна способност 1. Вероятността за обеззаразяване на микроорганизма зависи от абсорбираната ултравиолетова доза и от неговата податливост към радиация, която се описва количествено от константа на податливост. Ултравиолетовият диапазон, който уврежда ДНК на микроорганизма е също така вреден и за човешките същества 2. За да предпазят обитателите от вредното въздействие на ултравиолетовите лъчи, ултравиолетовите лампи се монтират в специално проектирани кутии с жалузи, които разпространяват хоризонтално лъчите под тавана на помещението.

Числени пресмятания с работещ таванен вентилатор, проведени от 3 демонстрират, че UVGI системата дезинфектира въздуха по-ефективно когато той се размесва, защото по този начин микроорганизмите се отвеждат в горната част на помещението, където се облъчват. В настоящото изследване е използван Лагранжевият метод, който предсказва траекториите на микроорганизмите, а специална процедура пресмята ултравиолетовата доза акумулирана от всеки индивидуален микроорганизъм. На тази база се оценява вероятността за оцеляване на микроорганизма и дялът оцелели микроорганизми. Лагранжевият подход е използван успешно от 5 и 6 за оценка на ефективността на ултравиолетово обеззаразяване във вентилирани помещения без вентилатор. Ghia et al. 7 прилагат модел на двуфазно течение в изследване на аерозолна дисперсия в различни режими на вентилация. В изследването е заложена възможността частиците да се агломерират и да отскачат от стени. Изпарение на капки не е моделирано, тъй като разтворът микроорганизми се пулверизира финно и течността се изпарява на практика моментално след впръскване. Предишни изследвания 8 установяват за пренебрежимо утаяване на частиците и абсорбция в стените, така че тези явления не са моделирани в двуфазния модел.

Методика

В използвания в публикацията подход течението се пресмята като непрекъсната среда, а микроорганизмите са моделирани като частици със следното преносно уравнение:

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(\vec{u} - \vec{u}_p) + \frac{g(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + \vec{F}. \quad (1)$$

Долен индекс P обозначава параметър на частицата, F_D е съпротивителна сила за единица маса, останалите сили са подъемна и допълнителни, като термофореза и сила на Сафман. Поради изключително ниския си импулс и нищожна маса, микроорганизмите бяха моделирани с нулева маса. Ефектът върху уравнението е в това, че първите две сили в дясната страна на уравнението остават единствени.

Математическият модел за обеззаразяване е базиран на редукция от първи ред, в която вероятността (P) за оцеляване на микроорганизъм при облъчване с ултравиолетова радиация се понижава експоненциално с погълнатата ултравиолетова доза D [J/m^2] и с константата на податливост към радиация на съответния микроорганизъм z [m^2/J]:

$$P = e^{-zD}. \quad (2)$$

Погълнатата доза D се пресмята като интеграл по времето от интензитета на ултравиолетово лъчение E [W/m^2], генериран от ултравиолетовите лампи:

$$D = \int E dt \approx \sum E_i \Delta t_i. \quad (3)$$

След пресмятане на тази доза по формула (2) се пресмята вероятността за оцеляване на всеки симулиран микроорганизъм. За всеки отделен микроорганизъм се генерира случайно число в диапазона $[0; 1]$, което се сравнява с неговата вероятност за оцеляване. Така се преброяват оцелелите микроорганизми и се сравняват с общия брой, за да се получи фракцията оцелели, наречена още остатъчен дял, f_{rm} [-]:

$$f_{rm} = \frac{n}{N} \Big|_{exhaust}, \quad (4)$$

където n е брой оцелели, а N е общ брой микроорганизми в изхода на помещението. Остатъчният дял f_{rm} е мерило за способността на ултравиолетовата система да дезактивира микроорганизми пренасяни по въздушен път. Този параметър служи за количествена оценка на ефикасността на системата в различни условия на въздухоподаване.

С научно-приложна цел в изследването е изведена зависимост за остатъчния дял във функция на константата на податливост в режим на перфектно смесване 4. В този режим дифузията е безкрайна и респективно полето на вещество хомогенно, което позволява зависимостта да се изведе от уравнение на масовия баланс. Тази зависимост е приложена като сравнение в графичните резултати за отделните изследвани режими.

Математическият модел на течението и геометрията на симулираното помещение са представени в по-ранни публикации 9 и 10.

Вентилационната система подsigурява 6-кратен въздухообмен, вентилаторът е моделиран в 7 режима на работа: изключен и работещ при 3 скорости и 2 посоки на въртене, което дефинира режимите, поместени в Табл. 1.

Таблица 1

Изследвани режими според работата на вентилатора

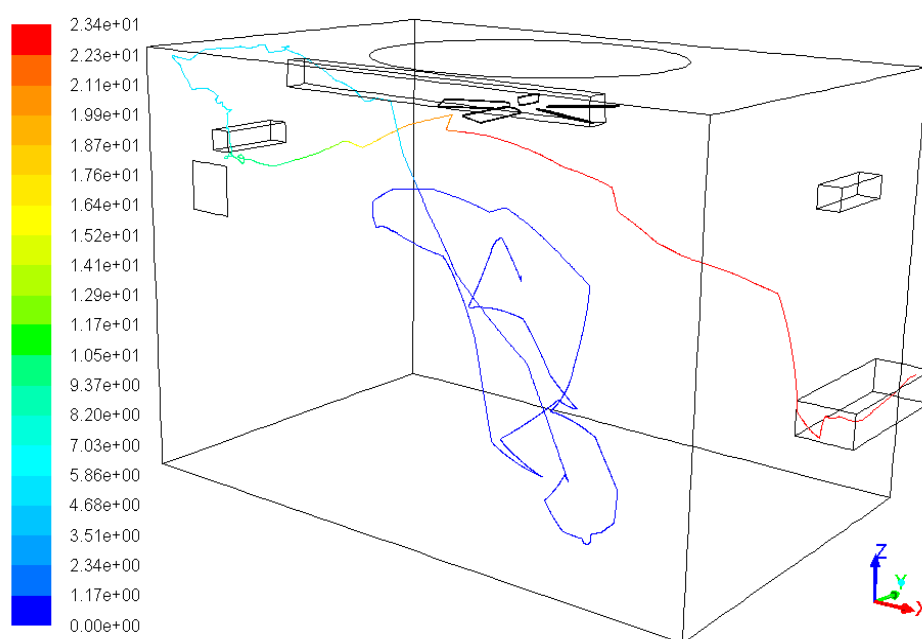
Посока на въртене	Няма	Нагоре			Надолу		
Скорост на въртене	0 rpm	Ниска 61 rpm	Средна 107 rpm	Висока 176 rpm	Ниска 61 rpm	Средна 107 rpm	Висока 176 rpm
Режим	1	2	3	4	5	6	7

Микроорганизмите се подават през малък сферичен отвор в центъра на стаята на височина 1.5 m над пода с минимална скорост. Ултравиолетовото лъчение E [W/m^2] е измерено в климатичната камера, след което е импортирано в софтуерния пакет Fluent.

За пресмятане на жизнеспособната фракция е потребно освен това да се познава константата на податливост z (ур. 2). Тъй като изследването цели универсалност на резултатите, изследванията са проведени за диапазон от 20 стойности на константата в границите от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^2$ [m^2/J]. В този диапазон попадат всички възможни патогенни микроорганизми в света. Така подбрани, константите позволяват сравнение с експериментални данни за произволен организъм чрез интерполация на числените резултати между две съседни константи на податливост.

Числени резултати

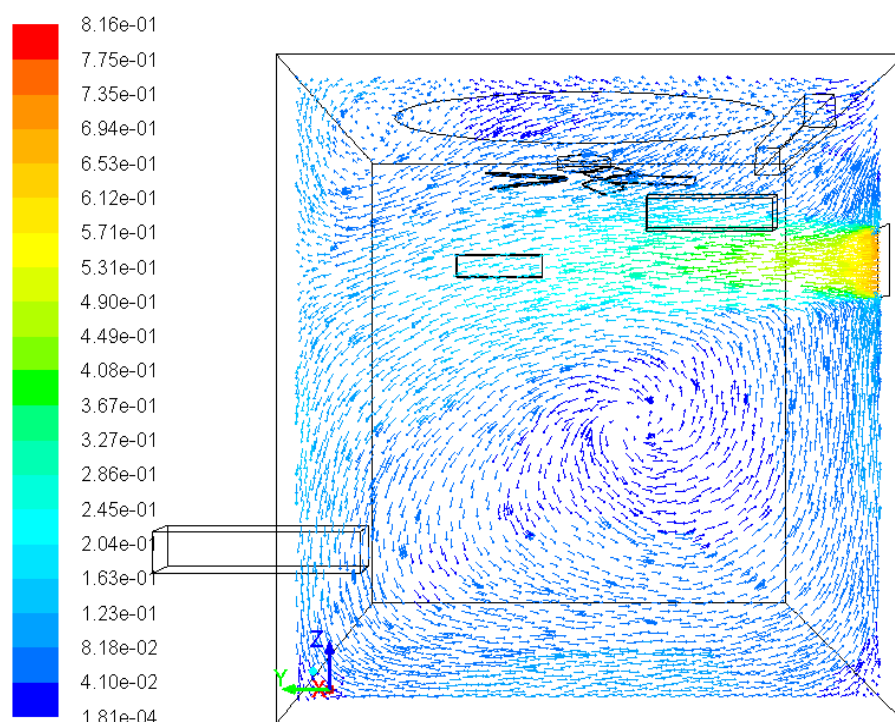
За всеки изследван режим е пресметнато полето на неизотермичното течение и турбулентните характеристики. Впоследствие е симулирано движението на частиците и едновременно с това акумулираната от тях доза. Пример за акумулацията на ултравиолетово лъчение от движеща се частица е изобразен на Фиг. 1.



Фиг. 1 Траектория на частица оцветена по акумулирана ултравиолетова доза D [J/m^2]

След появата си в средата на помещението, тя акумулира ултравиолетово лъчение по време на движението си през облъчената зона, след което напуска помещението през изхода. По-долу е направен обзор на селекция от изследваните режими, които илюстрират влиянието на вентилатора и вентилацията върху обеззаразяващата способност на ултравиолетовата система.

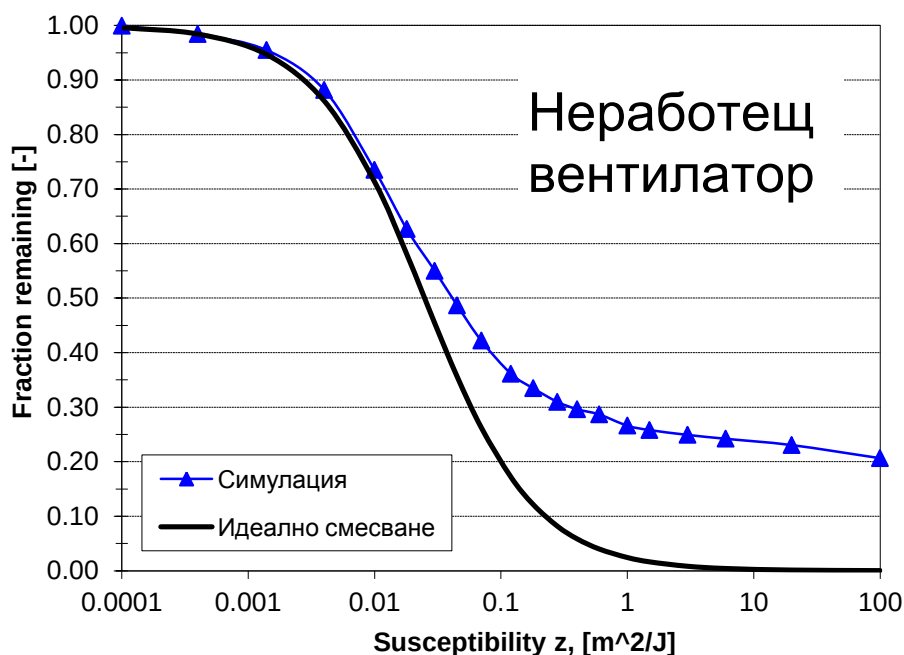
Режим 1 (неработещ вентилатор). В режим на неработещ вентилатор скоростното поле се определя изцяло от импулса на въздушната струя от приточната вентилационна решетка (Фиг. 2). Извън струята течението е сравнително слабо и може лесно да се доминира от наличието на работещ вентилатор. Тази конфигурация на въздухообмена в помещението се характеризира с ниска ефективност на обеззаравяване, както ще стане ясно от последващата дискусия.



Фиг. 2 Вектори на скоростта с еднакъв мащаб, оцветени по големина на скоростта

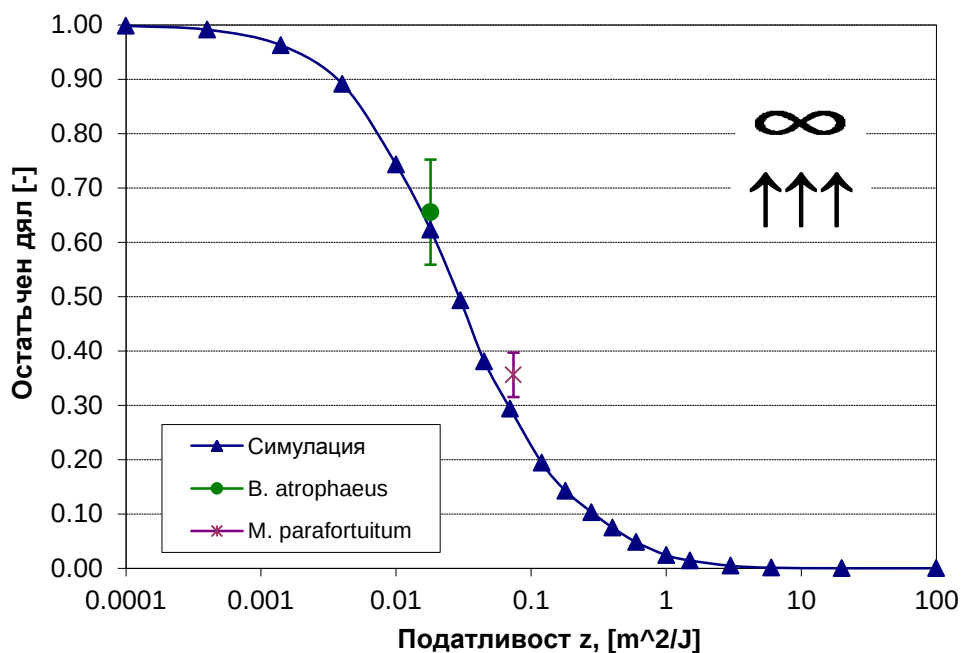
За определяне на ефективността е калкулиран остатъчният дял микроорганизми в изхода на помещението (уравнение 4) във функция на константата на податливост и е изобразен на Фиг. 3. На графиката резултатът е съпоставен с теоретично изведения модел за идеално смесване. Могат да се направят две констатации. Първо, в режим на неработещ вентилатор дялът жизнеспособни микроорганизми е по-висок спрямо този при идеално смесване, и второ, дори при висока податливост на радиация z не е възможно да се обеззаразят всички микроорганизми, т.е. остатъчният им дял остава ненулев. Причината е ниската дифузия, която възпрепятства преноса на микроорганизми към и от облъчваната зона, където да се обеззаразят. По тази причина в практиката въздухът се размесва с вентилатори, чийто ефект е изследван в следващите симуирани режими.

Режим 4 (Висока възходяща скорост на въртене на вентилатора) В този режим работещият с висока скорост вентилатор генерира турбулентност, която размесва въздуха в помещението и повишава в порядък дифузията на микроорганизми.



Фиг. 3 Остатъчен дял жизнеспособни микроорганизми в изхода на помещението във функция на микроорганизмената податливост на облъчване в режим без вентилатор

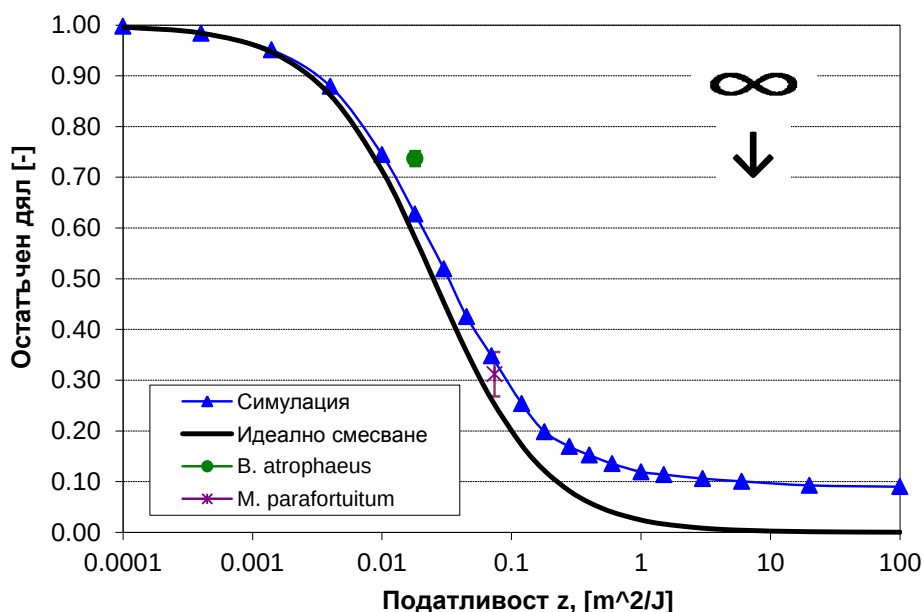
Остатъчният дял f_{rm} е показан във функция на константата z на Фиг. 4, където е валидиран с експериментални данни снети за два микроорганизма. Предсказаната в този режим ефективност е практически идентична с тази при идеално размесване на въздуха, поради което последната не е включена в графиката.



Фиг. 4 Остатъчен дял жизнеспособни микроорганизми във функция на микроорганизмената податливост на облъчване в режим на висока възходяща скорост на въртене на вентилатора

Прави впечатление от една страна по-ниския остатъчен дял спрямо режима без вентилатор, а от друга, че този дял клони към нула, когато податливостта нараства. Това е ключова разлика и демонстрация на превъзходството на тази конфигурация спрямо такава без вентилатор. Сравнението с експеримент показва известно надценяване на ефективността на обеззаразяване, което е следствие от надценена турбулентна интензивност, респ. размесване на въздуха от страна на realizable модификацията на турбулентния модел к-е в задачи с едновременно наличие на абсолютна и ротационна координатна система.

Режим 5 (Ниска низходяща скорост на въртене на вентилатора) За сравнение с предходните режими на Фиг. 5 са поместени резултати от режим с низходяща скорост на въртене на вентилатора. Прави впечатление по-високия остатъчен дял спрямо режим на идеално смесване, което предполага, че размесването на въздуха не е толкова добро, колкото в режимите с възходяща скорост на въртене. Това е породено от затрудненото нагнетяване на въздух в низходяща посока заради рестрикцията от страна на тавана. Освен това, низходящо течение от вентилатора отдалечава микроорганизмите от радиационната зона, вместо да ги засмуква в нея, както прави възходящото. Числените резултати са по-близки до режим на идеално смесване отколкото предполагат експерименталните данни за микроорганизма *B. atropheaus*, което отново маркира надценяване на турбулентната дифузия и респ. смесване на въздуха от страна на използвания турбулентен модел.



Фиг. 5 Остатъчен дял жизнеспособни микроорганизми във функция на микроорганизмената податливост на облъчване в режим на ниска низходяща скорост на въртене на вентилатора

Заклучение

В изследването е предсказана ефективността на ултравиолетово обеззаразяване чрез модел на двуфазно течение, в който микроорганизмите са моделирани като твърди частици. Разработен е алгоритъм, който предсказва вероятността за оцеляване на микроорганизма и оттам остатъчния дял жизнеспособни микроорганизми, което дефинира ефективността на обеззаразяване. Установено е, че ефективността е по-висока при употребата на таванен вентилатор, който улеснява преноса на микроорганизми в радиационната зона. Най-ефективно е възходящото движение на течението от вентилатора, когато ефективността достига тази при режим на идеално размесване на въздуха. Валидирането с експериментални данни показва надценяване на смесителната способност на вентилатора

от страна на използвания турбулентен модел, което се наблюдава в задачи комбиниращи абсолютна и ротационна координатна система. При използване на алтернативен турбулентен модел приложеният числен метод може успешно да се използва при пресмятане на ефективността на обеззаразяване в произволна комбинация от ултравиолетови лампи и конфигурация на вентилационната система.

Литература

1. CIE. CIE 155:2003 Ultraviolet air disinfection. 2003. Vienna, Austria.
2. Sliney D. Balancing the risk of eye irritation from UV-C with infection from bioaerosols. *Photochem Photobiol* 2013;89(4):770e6. <http://dx.doi.org/10.1111/php.12093>.
3. Zhu S, Srebric J, Rudnick SN, Vincent RL, Nardell EA. Numerical investigation of upper-room UVGI disinfection efficacy in an environmental chamber with a ceiling fan. *Photochem Photobiol* 2013;89:782-91.
4. Pichurov George, Jelena Srebric, Shengwei Zhu, Richard L. Vincent, Philip W. Brickner, Stephen N. Rudnick. Validated numerical investigation of the ceiling fan's role in the upper-room UVGI efficacy, *Building and Environment* 86 (2015) 109-119, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.12.021>.
5. Alani A., Barton IE, Seymour MJ, Wrobel LC, Application of Lagrangian particle transport model to tuberculosis (TB) bacteria UV dosing in a ventilated isolation room, *Int. J. of Environmental Health Research* 2001;11:219–28.
6. Peng Xu, Noah Fisher, Shelly L. Miller. Using Computational Fluid Dynamics Modeling to Evaluate the Design of Hospital Ultraviolet Germicidal Irradiation Systems for Inactivating Airborne Mycobacteria. *Photochemistry and Photobiology*, 2013, 89: 792–798.
7. Ghia U, Konangi S, Kishore A, Gressel M, Mead K, Earnest G, Assessment of health-care worker exposure to pandemic flu in hospital rooms, *ASHRAE Transactions* 2012;118(1): CH-12-C057.
8. Heidarinejad M. and Srebric J., "Computational fluid dynamics modelling of UR-UVGI lamp effectiveness to promote disinfection of airborne microorganisms", *World Review of Science, Technology and Sustainable Development*, Vol. 10, No. 1/2/3, 2013, pp 78-95.
9. Пичуров Г., Е. Сребрич. Числено симулиране на полуограничено течение от вентилатор, XX конф. ЕМФ (2015), 78-83.
10. Пичуров Г., Е.Сребрич, Ричард Винсент, Стивън Рудник. Числено изследване на ултравиолетово обеззаразяване на въздуха с модел за непрекъсната среда, XXI конф. ЕМФ (2016).

доц. д-р Георги Пичуров, ТУ-София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, тел. 089 5586181, e-mail: george@tu-sofia.bg

Моделiranje на въздушно течение през прототипиран уред за измерване на количеството на фини прахови частици в атмосферния въздух

Мартин Иванов, Сергей Мижорски

Документирано е, че основният проблем с качеството на атмосферния въздух в България са превишените концентрации на фини прахови частици. Именно за това, в публикацията е представено иновативно измервателно устройство, имащо за цел да повиши информираността на населението относно качеството на атмосферния въздух в градската среда. Спецификата на проекта изисква моделиране на въздушното течение през прототипирания уред, с цел подобряване на работата му. За постигане на целта са изследвани два варианта на дизайн на защитната кутия. При първия вариант, в кутията е предвидена т.нар. „защитна кухня“ – свободен обем въздух преди позиционирането на основния сензор. При втория вариант, тази кухня не съществува и сензорът контактува директно с външната среда. Сравнителен анализ на двата варианта е представен чрез визуализация на скоростни полета и полета на диференциално налягане.

Ключови думи: изчислителна динамика на флуидите, качество на атмосферния въздух, фини прахови частици, измервателна апаратура

Air flow modelling through prototyped device for measurement of fine dust particles concentration in the atmosphere

Martin Ivanov, Sergey Mijorski

It has been documented that the main problem with the atmospheric air quality in Bulgaria, are the exceeded concentrations of fine particulate matter. That is why, this paper presents an innovative measuring device, designed to raise the awareness of the population about ambient air quality in the urban environment. The specifics of the project require modelling of the air flow through the prototyped device, in order to improve its performance. To achieve the goal, two design versions of the covering box were assessed. In the first one, there is a so-called “protective cavity” – a free volume of air prior to the main sensor position. In the second design, this cavity does not exist and the sensor contacts directly with the outside environment. A comparative analysis of the two variants is represented by velocity and differential pressure fields’ visualizations.

Keywords: computational fluid mechanics, outdoor air quality, fine particulate matter, measurement devices

Въведение

Според скоросен доклад на Световната здравна организация (СЗО), всяка година в България умират преждевременно над 18 000 души в следствие на замърсения въздух, който дишат през живота си [7]. Качеството на атмосферния въздух в Република България се следи от Министерството на околната среда и водите, чрез Националната система за наблюдение, контрол и информация. Но въпреки това, в страната няма официални данни за връзката между замърсяването на въздуха и здравето на хората [9].

В редица доклади на различни ведомства се посочва, че основният проблем с качеството на атмосферния въздух на национално ниво са превишените концентрации на фини прахови частици (ФПЧ). Според европейската статистика, част от българските градове

заемат първите места в Европа по висока степен на запрашеност. Поради това, към днешна дата Европейската комисия води и наказателна процедура срещу България, която от лятото на 2015 г. е вече в съдебна фаза [9].

ФПЧ са опасни за здравето на хората и най-често се свързват с развитие на белодробни заболявания. Според данните на Европейската белодробна фондация (ELF), белодробните заболявания са причина за 1/6 от общата смъртност в света и са едни от най-значимите здравни проблеми, както в Европа, така и на глобално ниво. Документирано е, че в страните-членки на Европейския съюз умират над 600 000 души от белодробни заболявания всяка година, но също и, че съществува риск от поява на тези заболявания дори и 30 години след излагането на високите нива на замърсяване на въздуха [2].

Необходимо е и да се отбележи, че в световен мащаб на годишна база са регистрирани между 1.5 и 2 млн. смъртни случаи, дължащи се на замърсен въздух и в затворени помещения. Нивото на замърсеност на атмосферния въздух е в пряко отношение с качеството на вдишвания въздух от обитателите на затворените помещения. В не редки случаи, във въздуха в затворената среда присъстват над 900 вида опасни за здравето съединения, разглеждани като замърсители от различни източници. Концентрацията на някои от тези замърсители може да достигне до пет пъти по-високи стойности, отколкото при външния въздух. СЗО, както и ELF са категорични, че замърсеният въздух в затворените помещения е осми по ред рисков фактор за възникване на заболявания и е причина за 2.7% от всички заболявания по света [2, 7].

Изложеното до тук показва непрекъснатата нужда от разработване на различни инженерни решения за подпомагане решаването на посочените проблеми. Необходими са нови, широко достъпни подходи за по-висока информираност по отношение на качеството на вдишвания въздух. Именно това е и целта на представената публикация – да демонстрира иновативно решение за повишена информираност, посредством електронно измервателно устройство, както и прилагане на съвременни технологии при оценка на оптималната работа на устройството.

Фини прахови частици и човешкото здраве

Съгласно Наредба №12 на Министерство на околната среда и водите и Министерство на здравеопазването, в Република България са регламентирани следните прагови стойности за фини прахови частици:

Таблица 1

Прагови стойности за фини прахови частици в атмосферния въздух

Фини прахови частици с размер до 10 µm (ФПЧ ₁₀)		
Прагова стойност:		Допустим брой превишавания (през годината)
СДН	50 µg/m ³	35
СГН	40 µg/m ³	Не се допуска!

Фини прахови частици с размер под 2.5 µm (ФПЧ _{2.5})		
Допустимо отклонение:		Допустим брой превишавания (през годината)
СГН	30 µg/m ³	Не се допуска! *от 2010г.
СГН	25 µg/m ³	Не се допуска! *от 2015г.
СГН	20 µg/m ³	Не се допуска! *след 2020г.

*СДН – средно-денонощна норма		
*СГН – средногодишна норма		
*Наредба №12 на МОСВ и МЗ към ЗЧАВ (ДВ, бр.58/2010 г.)		

Общо количество прах	
Пределно допустима средно-денонощна концентрация	0.25 mg/m ³
Пределно допустима средногодишна концентрация	0.15 mg/m ³
*Наредба за изм. и доп. на Наредба №14/(ДВ, бр.8/2002 г.)	

Както бе споменато, ФПЧ са основен замърсител на атмосферния въздух. Степента на увреждане на човешкото здраве, при излагане на ФПЧ, зависи главно от размера и химичния състав на частиците, както и на адсорбираните на повърхността им други химични съединения, като полени, ДНК - модулатори и други. От значение е и участието от респираторната система, върху който се отлагат самите частици, постъпващи в организма. По-едри частици се задържат в горните дихателни пътища, докато, по-фините частици с размери под 10 μm (ФПЧ10) достигат до вътрешните органи на дихателната система и водят до увреждане на тъканите в белия дроб. Най-чувствителни към високи нива на ФПЧ10 са децата и хората с хронични белодробни заболявания.

Установено е, че основните източници на фини прахови частици, замърсяващи атмосферния въздух, са промишлеността, енергетиката, транспортът и битовото отопление на твърди горива. В различните региони на България преобладават съответно и различни източници на замърсяване. В София например, като най-голям град в страната, през отоплителния сезон основни източници на замърсяване с прахови частици са изгарянето на твърди горива в бита и в областта на енергетиката, както и интензивният автомобилен трафик. През сухия летен сезон основен източник остава засиленият автомобилен трафик, но ефектът се подсилва от лошата пътна инфраструктура, както и от високия процент „кални“, незатревени площи.

Проучване на Д. Николова и колектив [10], направено през 2014 г. показва, че по-високи нива на замърсяване на атмосферния въздух спрямо столицата са измерени единствено във Варна и Стара Загора. Географското разположение на София затруднява естественото разсейване на замърсителите, поради затворения характер на Софийската котловина. В същото проучване е документирано, че местните жители оценяват качеството на околната среда като „средно“ (показател: 3,1 от 5), като за безспорно предимство се счита високата степен на свързаност на населението с обществена канализация (95.4%). Всички отпадни води в столицата се отвеждат в пречиствателни станции, което възпрепятства отлагането на отпадни води върху „земни“ и незатревени площи. И въпреки това, както бе споменато, в страната няма официални данни за количествата емисии на опасни ФПЧ, както и за връзката между замърсяването на въздуха и здравето на населението. От организацията „Greenpeace-България“ са разработили иновативно технологично решение за справяне с този проблем.

Проектът „Прахооброячи“

„Прахооброячи“ е иновативен проект, разработен от „Greenpeace-България“ (www.greenpeace.org/bulgaria/bg/), съвместно със „За Земята“ (www.zazemiata.org) и „Роботев“ (www.robotev.com), който има за цел да повиши информираността на населението относно качеството на атмосферния въздух в градската среда. Проектът предлага иновативни лесни за сглобяване и инсталиране електронни устройства тип „направи си сам“, наречени „Прахооброячи“ [8]. Те позволяват на всеки потребител да измерва и споделя стойностите на ФПЧ, в близост до неговото жилище.

Първите 25 пилотни „прахооброяча“ са раздадени на 25-има доброволци в град Стара Загора и региона през месец октомври 2016 г. Както беше споменато, именно там са измерени по-високи стойности на замърсяване на въздуха с ФПЧ, спрямо в пъти по-големия град София. След кратко обучение, доброволците сами сглобяват и монтират станциите в откритите пространства около домовете си. Инсталираните устройства се регистрират към безжична интернет мрежа и на всеки кръгъл час предават данните, които измерват. Ежедневно, измерените стойности от всички модули се събират на специален сървър, където се съхраняват, обработват и визуализират в достъпен графичен вид.

Глобалната цел на устройствата е да сигнализируют потребителите за наличие на замърсяване на въздуха с ФПЧ над определените допустими стойности. Но тези уреди са непрофесионални, изградени са върху отворена платформа (Arduino, <https://www.arduino.cc/>) и са изцяло ориентирани към гражданите, а не към научната общност. Основният сензор за отчитане на ФПЧ с размери между 2.5 μm и 10 μm - GP2Y1010AU0F (Sharp) е компактен и

комерсиално достъпен. Направените тестове с лабораторно калибриран професионален измервателен уред MIE pDR-1500 (Thermo Scientific) показват сходство в реакцията на промени в степента на запрашеност на средата. Въпреки това, поради спецификата на проекта и устройствата тип „направи си сам“, измерените данни не могат да бъдат считани за научно достоверни и директно сравнявани с лабораторни или професионални калибрирани уреди.

През месец януари 2017 г. са монтирани и няколко пилотни устройства на територията на София, като едно от тях е на територията на Технически университет – София. Уредът е сглобен и инсталиран от екипа на „Лаборатория по Инженерен Дизайн“ (<http://design.tu-sofia.bg/>), съвместно със „Smart Fab Lab“ (<http://www.smartfablab.org/>), като дизайнът на защитната кутия е създаден от доц. д-р Георги Червендинев. Именно защитната кутия на устройството е обект на изследване в представената публикация.

Формата и видът на кутията на „Прахооброячите“ са напълно отворени за свободна интерпретация от страна на потребителите, което е основна приобщаваща идея в самия проект. Главните елементи на устройството, като платката с микроконтролер и Wi-Fi модул, сензорът за ФПЧ, вентилаторът, батерията и окабеляването са фиксирани, но кутиите не са. Единственото условие е, сензорът за ФПЧ и вентилаторът да контактуват свободно с външната среда. Но също така, с цел прецизиране на работата на основния сензор, производителят налага специфична позиция на монтаж спрямо въздушното течение през него, която също трябва да бъде съобразена. Това означава, че правилният дизайн на кутията на „Прахооброяча“ е ключов фактор за оптималната работа на устройството. Това обуславя целта и задачите на представеното числено изследване.

Цел на представеното изследване

Целта на представената разработка е да се изследва въздушното течение през два варианта на прототипиран уред за измерване на количеството на фини прахови частици в атмосферния въздух. За постигане на целта е извършен сравнителен анализ, базиран на методите на изчислителната механика на флуидите.

Изследвани са два варианта на дизайн на защитната кутия. При първия вариант, в кутията е предвидена т.нар „защитна кухня“ – свободен обем въздух, преди позиционирането на основния сензор. При втория вариант, тази кухня не съществува и сензорът контактува директно с външната среда. Сравнителният анализ на двата варианта е представен чрез визуализации на скоростни полета и полета на диференциално налягане.

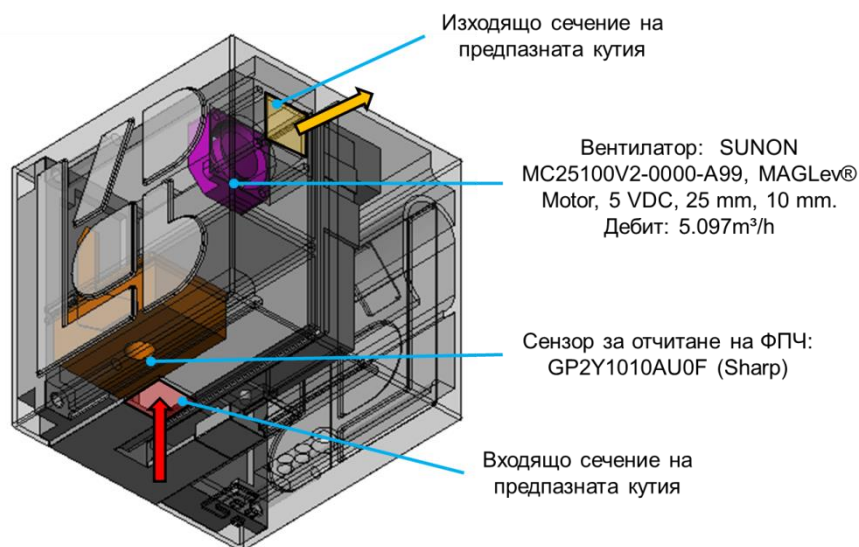
Методи

За целите на численото изследване е използван метод, базиран на Изчислителната механика на флуидите (CFD). Проведени са две стационарни симулации с цел провеждане на сравнителен анализ между двата варианта на прототипирания уред. И при двете симулации е използвана адаптирана от ENGYS® (www.engys.com) версия на изчислителния код за OpenFoam® (www.openfoam.com). Численият модел, използван в изследването е базиран на метода с усреднени Рейнолдсови напрежения (RANS) в комбинация с $k-\omega$ турбулентен модел SST (Shear Stress Transport) [3].

За достигане сходимост на решенията са проведени 4000 итерации с изчислителния модул simpleFoam [5]. След това са проведени допълнителни 1000 итерации за осредняване и прецизиране на отклоненията в стойностите на симулираните полета на течението. Пресмятането и обвързването на уравненията за скорост и налягане е осъществено чрез алгоритъма „SIMPLE“. Подробна информация за алгоритъма, както и коефициенти за релаксация на решението са представени в [6].

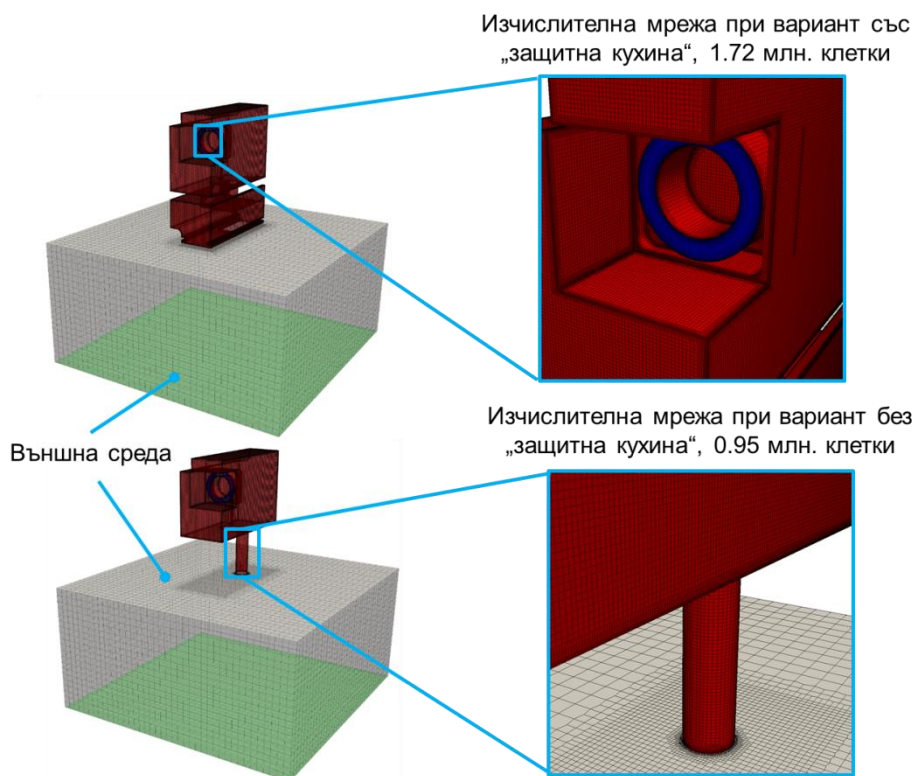
Геометричен модел и числена дискретизация

Изчислителната област е дефинирана във вътрешността на прототипирания уред за измерване на количеството на фини прахови частици, като е ограничена до началото на тялото на вентилатора и е удължена и разширена от страната на входящия отвор (Фиг. 1 и 2). Удължението е реализирано с цел редуциране на влиянието на граничните условия в зоната на входящото сечение на кутията.



Фиг. 1 Геометричен модел на кутията с габаритни размери: 100x100x100 mm

Изчислителната област е дискретизирана с помощта на snappyHexMesh [4]. Изчислителните мрежи се състоят от 1 730 000 контролни обема за прототипа със защитна кухня и 950 000 контролни обема за втория прототип без защитна кухня. И двете мрежи са базирани на клетки с различна форма (шестостени, многостенни, призми, клинове, тетраедри и други елементи), като преобладаващите са шестостенни клетки (Фиг. 2). Размерът на базовата клетка в изчислителната мрежа е 5 mm, но с цел да се симулират прецизно геометричните характеристики в кутията, размерът на клетките в тази област е намален до 0,155 mm и в граничния слой на повърхнините до 0,0745 mm.



Фиг. 2 Изчислителни мрежи

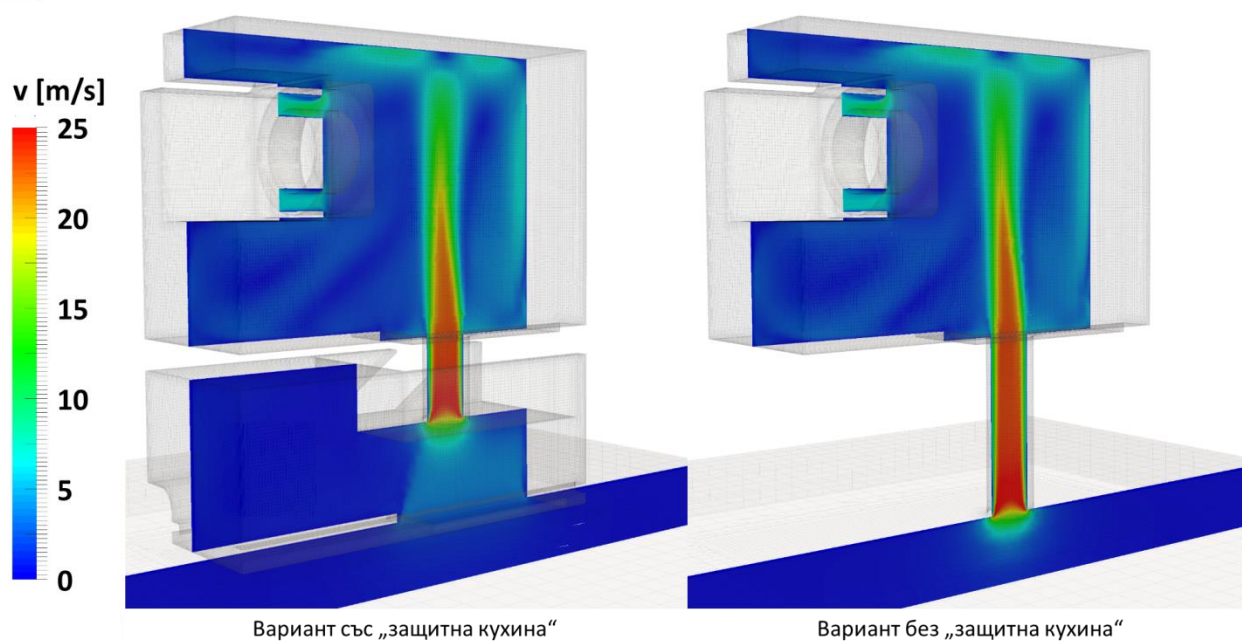
Начални и гранични условия

Дефинирани са три различни гранични условия:

- Гладка повърхност на всички стени с грапавост от 0.001 (Sand Grain Roughness);
- Обемен дебит в зоната на вентилатор - 1.4 l/s;
- Свободно входно/изходно гранично условие при входящия отвор на кутията с дефинирано относително налягане 0 Pa и турбулентни характеристики на течението 5.0%.

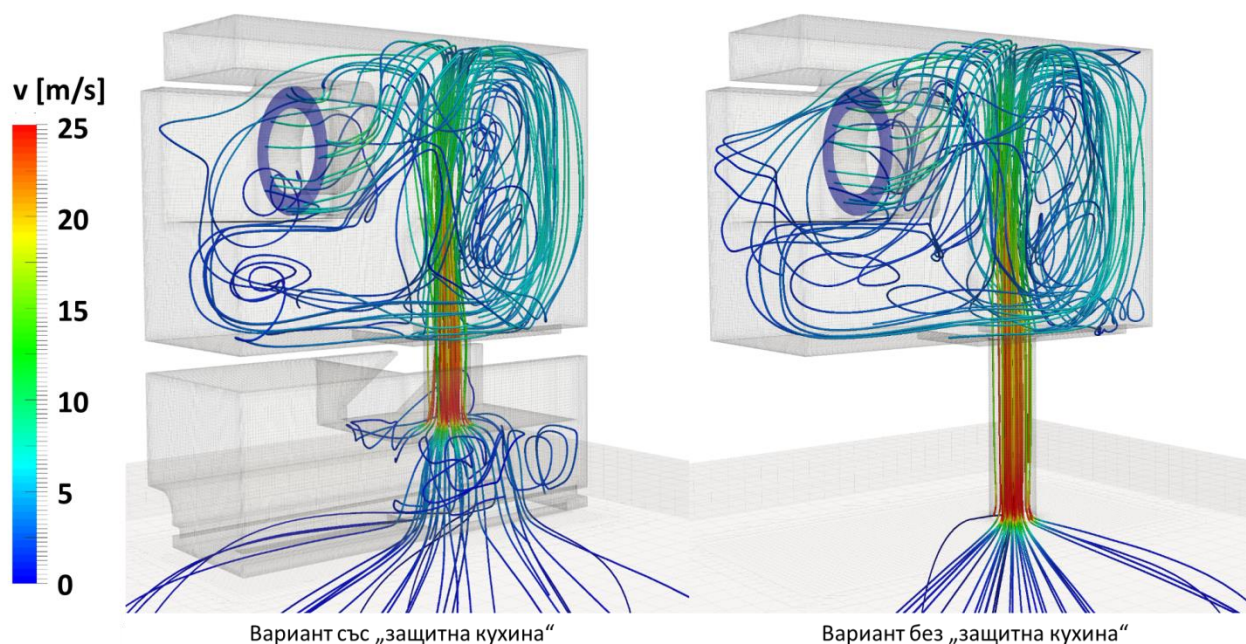
Числени резултати

Резултатите от проведените числени симулации са представени на Фиг. 3, 4 и 5, посредством визуализирани скоростни полета, токови линии и полета на налягането. Сравнителният анализ между двата варианта на прототипирания уред за измерване на количеството на ФПЧ демонстрира наличието на нискоскоростно течение в кутията и рециркулационна зона в „защитната кухня“ (Фиг. 3 и 4). Този ефект би допринесъл за натупване и застояване на прахови частици в кухнята, което от своя страна би било предпоставка за неправилно функциониране на сензора за измерване на ФПЧ. Това е и основен проблем, който трябва да бъде отчетен при дизайна и разработката на кутиите на представеното устройство.

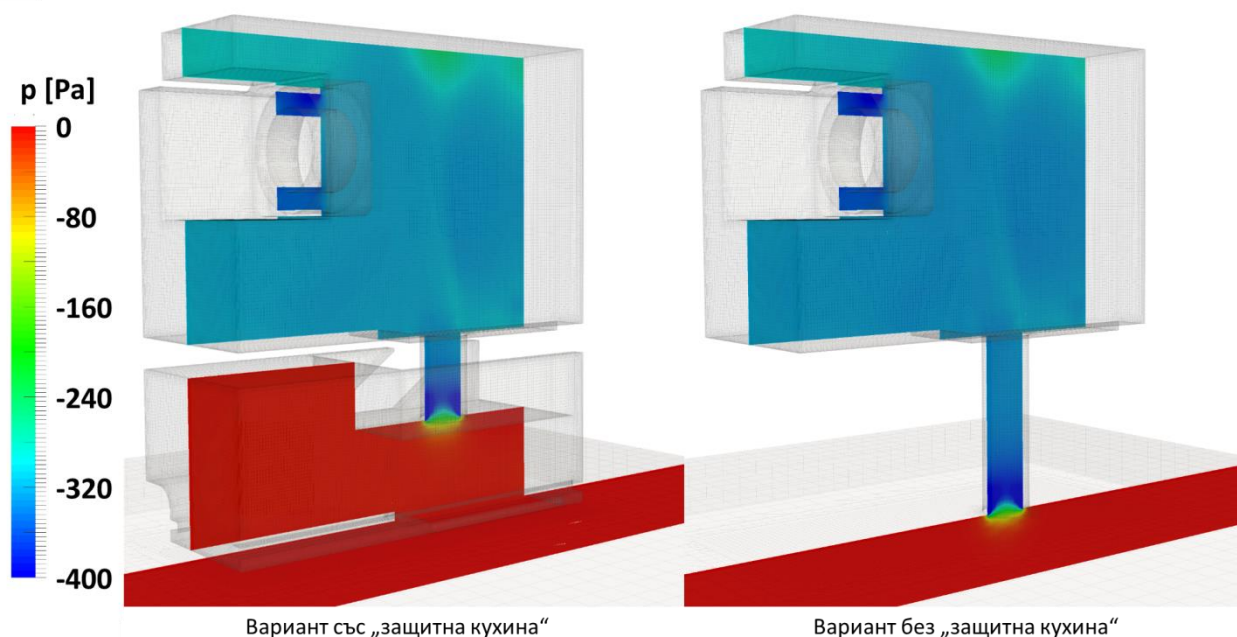


Фиг. 3 Скоростни полета

Като цяло, числените резултати не показват значителни разлики в течението в горната кухня на кутията, непосредствено преди вентилатора. Отчитайки малките размери на уреда и условието за гладка повърхност на стените, не се наблюдават значителни разлики в полето на налягането (Фиг. 5). Получените загуби, в резултат на течението през двата варианта, са идентични при текущите предположения за граничните условия. Допълнителни изследвания, при различни гранични условия, биха допринесли за прецизиране на необходимите характеристики на вентилатора и съответното оптимизиране на работата на уреда.



Фиг. 4 Токови линии на скоростта



Фиг. 5 Полета на налягането

За осъществяване на пълна оценка на ефекта от съществуване на „защитната кухня“ е необходим и допълнителен анализ, посредством параметъра „Age of Air“ [1]. Този допълнителен изчислителен модул ще визуализира зоните в „защитната кухня“, в които въздухът се задържа най-дълго време. Това са и зоните, където биха се утаили и натрупали ФПЧ. Също така, за пълна оценка на работата на представения уред е препоръчително и изследване с наличие на трасиращи частици в основното течение, както и моделиране на ФПЧ включително.

Заклучение

Изследвано е въздушното течение през два варианта на прототипиран уред за измерване на количеството на ФПЧ в атмосферния въздух, като е извършен сравнителен анализ, базиран на методите на изчислителната механика на флуидите.

Разгледани са два варианта на дизайн на защитната кутия – със и без „защитна кухня“, непосредствено преди позиционирането на основния сензор. Сравнителният анализ между двата варианта демонстрира наличието на нискоскоростно течение в кутията и рециркулационна зона в „защитната кухня“. Този ефект би допринесъл за натрупване и застояване на прахови частици в кухнята, което от своя страна би било предпоставка за неправилно функциониране на сензора за измерване на ФПЧ.

Числените резултати не показват значителни разлики в течението в горната кухня на кутията, непосредствено преди вентилатора. Отчитайки малките размери на уреда и условието за гладка повърхност на стените, не се наблюдават значителни разлики в полето на налягането. Получените загуби, в резултат на течението през двата варианта, са идентични при текущите предположения за граничните условия.

Счита се, че извършените изследвания ще подпомогнат и улеснят бъдещите разработки на кутии за представените уреди за измерване на количеството на ФПЧ в атмосферния въздух.

Литература

1. Bartak M., Cermak M., Clarke J.A., Denev J., Drkal F., Lain M., Macdonald I. A., Majer M., Stankov P., “Experimental and numerical study of local mean age of air, Seventh International”, IBPSA Conference, 13-15 August, 2001.
2. European Lung Foundation, “Lung health in Europe – facts and Figures”, Report, ISBN 978-1-84984-058-3, 2013.
3. Menter F., “Turbulence Modelling for Engineering Flows”, ANSYS Inc. , 2011.
4. OpenFOAM® User Guide: 5.4 Mesh generation with snappyHexMesh. <http://cfd.direct/openfoam/user-guide/snappyhexmesh/>, 2016.
5. OpenFOAM® User Guide: 3.5 Standard solvers. <http://cfd.direct/openfoam/user-guide/standard-solvers/>, 2016.
6. OpenFOAM® User Guide: 4.5 Solution and algorithm control. <http://cfd.direct/openfoam/user-guide/fvSolution.>, 2016.
7. World Health Organization, “Monitoring Health for the Sustainable Development Goals”, Report, ISBN 978 92 4 156526 4, 2016.
8. „Грийнпийс“-България, проект: „Прахооброачи“, <http://www.greenpeace.org/bulgaria/bg/novini/2016/prahobroyachi/>, последно посещение: 07.07.2017.
9. Мелтева Б., “Над 18 хиляди стават жертва на мръсния въздух в България всяка година”, www.dnevnik.bg, публикация - 16 февруари 2016.
10. Николова Д., Цветков А., Ганев П., Алексиев Я., Славова З., „Регионални профили: показатели за развитие“, Институт за пазарна икономика, ISBN 978-954-8624-40-4, 2014.

гл. ас. д-р Мартин Иванов, ТУ-София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, e-mail: m.ivanov@tu-sofia.bg

д-р Сергей Мижорски, SoftSim Consult Ltd., e-mail: sergey_mijorski@yahoo.com

Числено моделиране на взаимодействието на турбулентна струя със смукателен отвор при нулев ексцентрицитет между двете секции

Иван Денев

Отделянето на вредни прахови и газови частици от различни технологични процеси налагат внедряването на коректно пресметната и оразмерена вентилационна инсталация за отвеждане на вредностите от работната среда. В настоящата работа е направена числена симулация на процес на отвеждане на турбулентна струя и визуализиране на скоростните полета и профили, получени в характерни сечения. Получените данни дават информация за влиянието на началните параметри, върху разпространението на струята и взаимодействието и със смукателен отвор.

Ключови думи: турбулентни струи, числено моделиране, смукателен отвор

Numerical modeling the interaction of turbulent jet with suction opening without eccentricity between sections

Ivan Denev

Separation of harmful dust and gaseous particles from various technological processes impose correctly dimensioned ventilation to evacuate the pollutants out of the working zone. In this paper is presented numerical modeling of a process of leading off turbulent jet and visualization of velocity fields and profiles in some specific sections. The results gave information about the influence of inlet parameters to distribution of the jet and it's interaction with suction opening.

Keywords: turbulent jet, CFD modeling, suction opening

Въведение

Голяма част от процесите в промишлените предприятия са съпроводени с отделяне на вредности в работната зона. Повишаването на концентрацията на тези вредни прахови и газови частици би довело до застрашаване здравето и физическото състояние на персонала, обслужващ прилежащото оборудване.

С цел подобряване на условията на труд и опазване здравето на персонала се проектират и изграждат вентилационни инсталации. В редица литературни източници [4], [5], [6], [7] са разгледани видовете вентилации, техните предимства и недостатъци, като в случаите на отделяне на вредности в работна зона най-подходяща е местната смукателна вентилация.

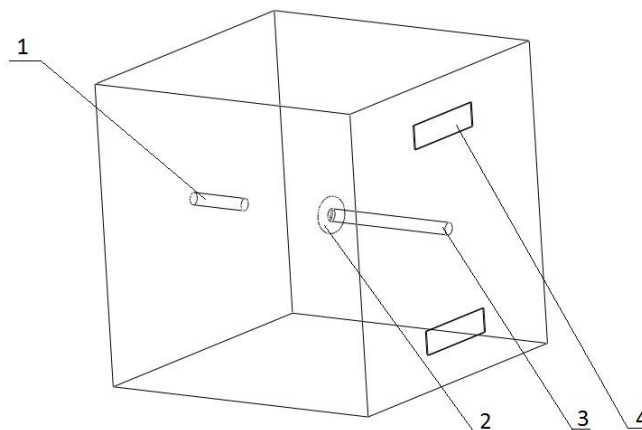
Конвенционалните методи за проектиране на смукателни вентилационни системи са сравнително бавни и внасят ненужно преоразмеряване, съпроводено с по-високи експлоатационни разходи.

Бързо развиващите се софтуерни продукти свързани с изчислителната механика на флуидите дават възможност за бързо пресмятане на конкретен случай и оразмеряване на инсталацията, съгласно максималното натоварване.

Основната цел на настоящата работа е да се реализира числено моделиране и симулиране на взаимодействието на турбулентна струя със смукателен отвор, разположени съосно с определено разстояние между смукателната и нагнетателната секции. Изследвано е влиянието на основните изходни параметри (скорости на изтичане и засмукване, разстояние между смукателя и нагнетателя) върху разпределението на скоростните полета и вида на улавяне от страна на смукателния отвор.

Изграждане на геометричен модел

Разглежда се сравнително проста конструкция, представена на Фиг. 1. Като под номер 1 е означен нагнетателния тръбопровод, подаващ турбулентната струя към смукателна дюза, означена с номер 2. Смукателния тръбопровод е означен с позиция 3, а за да се избегне повишаване или намаляване на налягането в модела, поради различията в подавания и засмукван дебити са предвидени компенсационни отвори 4. За изграждане на геометрията на модела е използвана комерсиална програма за 3D моделиране SolidWorks.



Фиг. 1 Геометричен модел за изследване взаимодействието на турбулентна струя със смукателен отвор

След построяване на модела и дефиниране на граничните условия за задачата се пристъпва към числената симулация. Преди това се задават уравненията за движение [3] които ще се решават с цел да се получи разпределението на исканите от нас величини. За целта е избран стандартен k - ϵ модел на турбулентност [2], базиран на транспортните уравнения за турбулентната кинетична енергия „ k “ и скоростта на дисипация „ ϵ “.

Те се дефинират със следните транспортни уравнения:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + G_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - G_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon. \quad (2)$$

където: G_k – генерация на турбулентна кинетична енергия в резултат на наличието на скоростен градиент; G_b - генерация на турбулентна кинетична енергия в резултат на подемната сила; Y_M – показва степента на увеличение на турбулентната кинетична енергия с цел компенсиране на затихването на скоростта на дисипация. Този коефициент отразява ефекта на свиваемост на флуида при високи числа на Ma .

Симулацията на процесите е проведена във Fluent модула на софтуерния продукт Ansys [1]. Решението е постигнато след приблизително 420 итерации, съгласно предварително зададените критерии.

Резултати от численото решение

Получени са резултати за три варианта – свръхпълно, пълно и непълно улавяне на турбулентната струя от смукателния отвор. Изходните данни за трите разглеждани варианта са показани в табличен вид (Табл. 1).

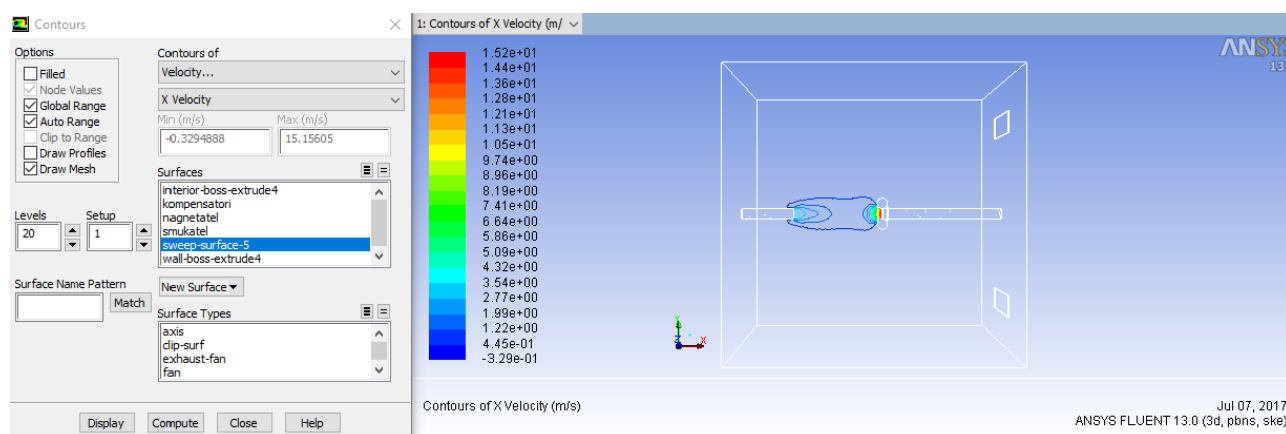
Визуализация на получените скоростни полета са показани на Фиг. 2-4, като са направени сечения по оста на изтичане. Токовете линии ясно показват турбулентния характер на течението.

Таблица 1

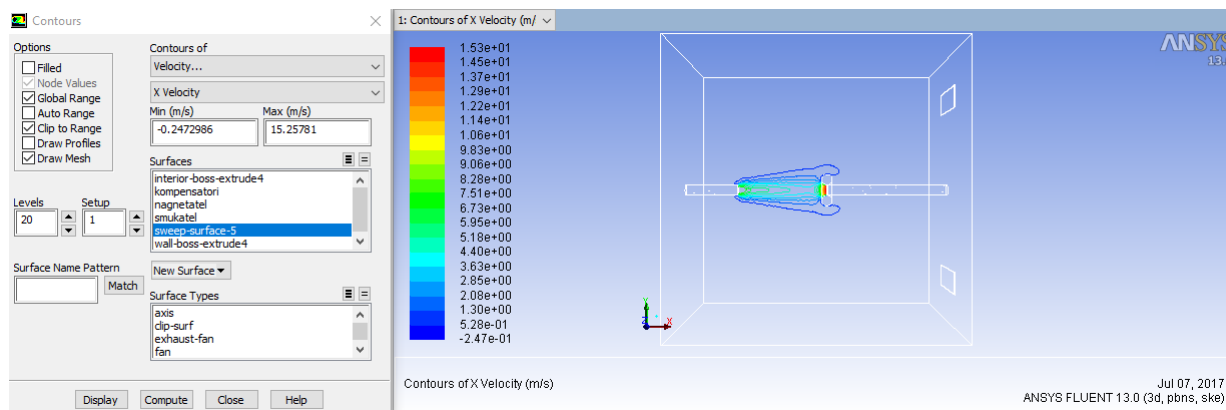
Резултати от численото решение

Наименование	Размерност	Стойност		
Размери на помещението				
По ос X	mm	2500		
По ос Y	mm	2500		
По ос Z	mm	2500		
Нагнетателна секция				
Диаметър Dн	mm	100		
Дължина	mm	300		
Смукателна секция				
Диаметър Dс	mm	100		
Дължина	mm	1200		
Разстояние между двете секции, L	mm	1000		
Размери на компенсационни отвори 2 бр.				
Дължина по ос Y	mm	800		
Широчина по ос Z	mm	200		
Параметри на струите				
Варианти		1 – свръхпълно улавяне	2 – пълно улавяне	3 – непълно улавяне
Нагнетен дебит, Qн	kg/s	0.0354	0.06936	0.166404
Засмукан дебит, Qс	kg/s	0.137208	0.13728	0.136536
Отношение на дебитите: Qс/Qн		3,88	1,98	0.82
Ексцентрицитет	mm	0	0	0

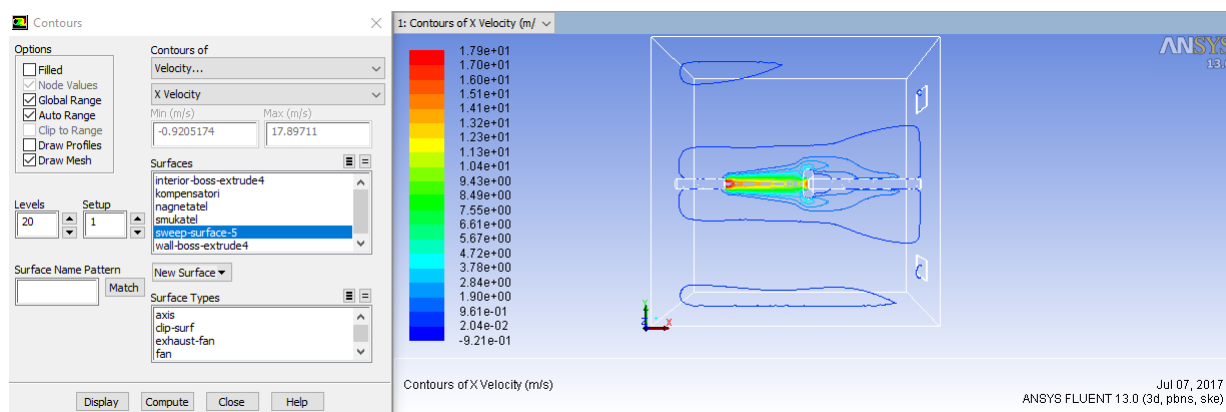
На Фиг. 2 е показано полученото скоростното поле, изразено чрез токови линии на вариант със свръхпълно улавяне на нагнетяваната турбулентна струя от смукателния отвор. Следващия вариант на пълно улавяне е показан на Фиг. 3, а вариантът на непълно улавяне е показан на Фиг. 4.



Фиг. 2 Токови линии на струята при 3,88 пъти повече засмукан дебит – свръхпълно улавяне

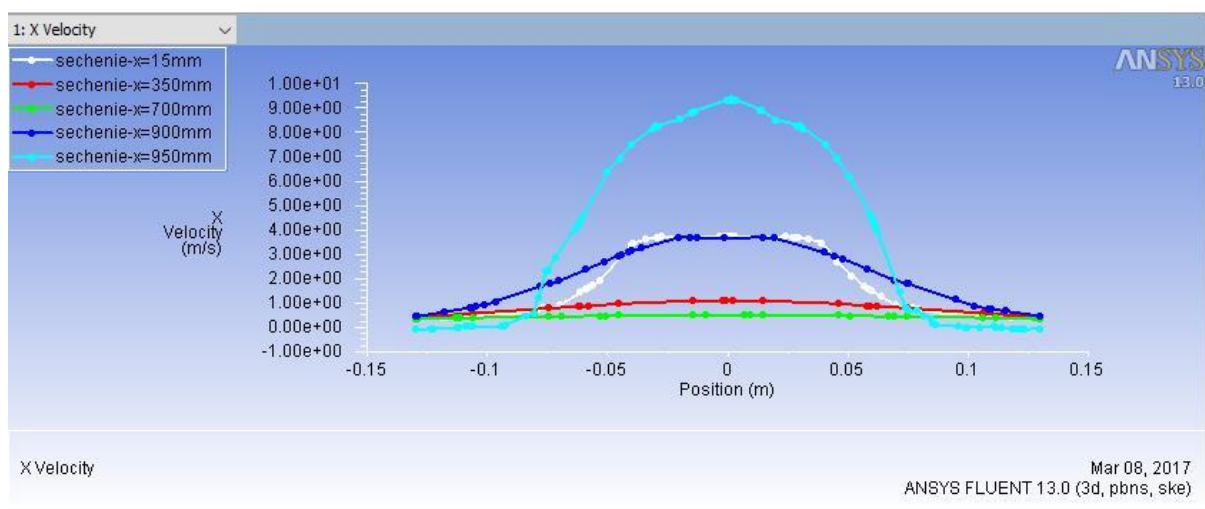


Фиг. 3 Токови линии на струята при 1,98 пъти повече засмукан дебит – пълно улавяне

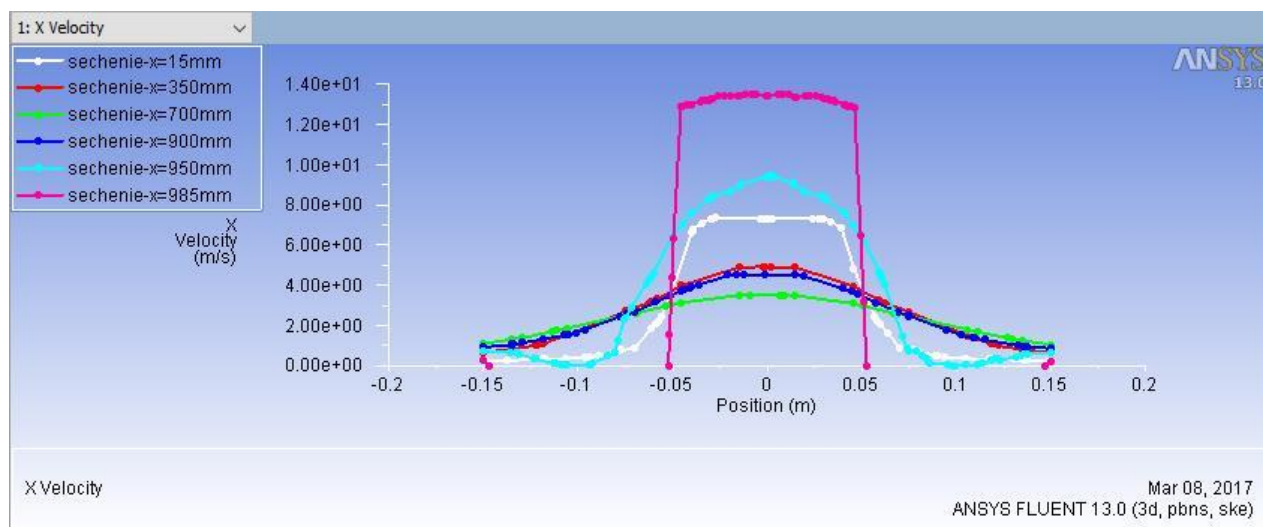


Фиг. 4 Токови линии на струята при 1,22 пъти повече нагнетен дебит – непълно улавяне

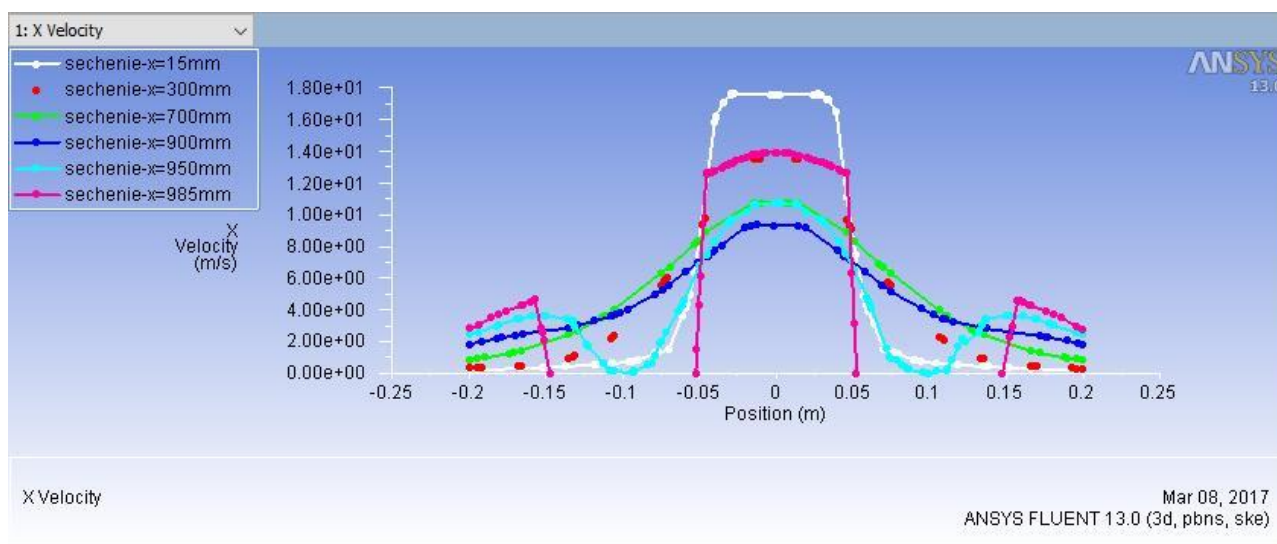
Разгледани са и скоростните профили в характерни сечения, надлъжно на изтичащата струя и визуализирани на Фиг. 5-7. Така оформени, те могат да послужат за сравнение на получените данни от числената симулация с такива от натурен експеримент, което предстои да бъде разгледано на по-късен етап.



Фиг. 5 Скоростни профили при вариант на свръхпълно улавяне



Фиг. 6 Скоростни профили при вариант на пълно улавяне



Фиг. 7 Скоростни профили при вариант с непълно улавяне

Заклучение

В работата е направено числено решение на взаимодействието на турбулентна струя със смукателен отвор при наличие на съосност между нагнетателния и смукателния тръбопроводи. Построен е геометричен модел на поставената задача. Дадени са началните и гранични условия, като за решаване на така формулираната задача е приложен стандартен $k-\epsilon$ модел на турбулентност. Визуализирани са на базата на числената симулация скоростните полета и скоростните профили в характерни сечения.

Литература

1. Ansys Fluent 12.0 User's guide, 2009.
2. Wilcox D. Turbulence modeling for CFD, 2006.
3. Антонов И.С., Приложна механика на флуидите, София, 2009.
4. Денев Ив., Някои аспекти на взаимодействие на струя, носеща вредности със смукателен спектър, Научна конференция ЕМФ'2016, Созопол, Том II, стр. 18-24 ISSN 1314-5371.

-
5. Кадах А., Числено моделиране на двуфазна турбулентна струя, взаимодействаща със смукателен спектър, автореферат на дисертация, София, 1993.
 6. Пенев С., Промислена вентилация и обезпращаване, София, 2001.
 7. Фарид А., Взаимодействие между турбулентна струя и смукателен спектър, автореферат на дисертация, София, 1989.

маг. инж. Иван Денев, ТУ–София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“,
e-mail: ivan_denev.eng@abv.bg

Application of CFD for energy efficient design of batch (discrete) dilute phase pneumatic conveying systems

Ivan Dukov, Diana Taneva

This study presents application of CFD tools and commercial code ANSYS Fluent for design of energy efficient dilute phase pneumatic conveying systems for batch conveying with given only overall mass and characteristics of the transported material, without restriction of delivery time. The main design parameters of the system with minimum consumption energy are determined and relatively simple methodology for optimal design is proposed.

Keywords: pneumatic conveying, CFD, energy efficiency

Приложение на CFD за проектиране на енергийно ефективни системи за пневмотранспорт в суспендирано състояние на дискретни количества

Иван Дуков, Диана Танева

В предлаганата работа се разглежда приложението на CFD за проектиране на енергийно ефективни системи за пневмотранспорт в суспендирано състояние на фиксирани количества. Задава се само масата и характеристиките на транспортирания материал, без ограничение по отношение на времето за работа. Определят се основните параметри на системата при критерий минимална консумирана енергия. Предлага се относително проста методика за проектиране.

Ключови думи: пневмотранспорт, CFD, енергийна ефективност

Introduction

Dilute phase pneumatic conveying systems are basically quite simple and eminently suitable for the transport of granular materials in factory, site and plant situations. A relatively high velocity is required and because of that reason an essential concern of dilute phase pneumatic conveying system designer relates to minimize the energy losses during transport, because of excessive power consumption.

Usually in dilute phase pneumatic conveying systems, the materials can either be conveyed in batches through a pipeline, or they can be conveyed on a continuous basis, 24 hours a day if necessary.

This study presents application of CFD for optimal design of dilute phase pneumatic system for batch conveying. The following initial data are given:

- overall mass of the transported material M_p ;
- density ρ_p and geometrical characteristics of the particles;
- start point and end point of delivery;
- there is no restriction of delivery time of the particles.

Energy efficiency criteria

In the pneumatic conveying systems, the power consumption P is

$$P = \frac{P_u}{\eta_{gm} \cdot \eta_{em}} = \frac{\Delta p \cdot Q_g}{\eta_{gm} \cdot \eta_{em}}, \quad (1)$$

where: P_u is the useful (fluid) power;

η_{gm} and η_{em} are efficiency of gas mover and electric motor;

Δp is the total pressure (head) of the gas mover;

Q_g is the air volumetric flow rate.

The head Δp of gas mover is consumed for acceleration of the solids in initial section of the pipeline from velocity 0 to average established velocity of the solids, to elevate of the eventually available geodetic height and to overcome the hydraulic resistance in flow through the pipeline system. Since η_{gm} and η_{em} practically are constants, the main condition for the design of energy efficient continuous conveying systems, which will be satisfied, is a minimum useful power - $P_u \rightarrow \min$ [1].

For batch pneumatic conveying is necessary to provide minimum consumption energy E :

$$E = P_u \cdot t, \quad (2)$$

where: t is the transportation time of the particles with overall mass M_p . **Therefore the criterion for the design of energy efficient batch conveying systems is $E \rightarrow \min$.**

The main purpose is to determine the optimal design parameters ensuring minimum consumption energy: diameter of the pipeline D , average gas velocity U_g , mass flow rate q_p of the particles and possibly pipeline layout. With given mass of the transported material M_p , q_p determine transportation time t since

$$q_p = \frac{M_p}{t}. \quad (3)$$

CFD modeling and results

As an example, CFD simulation of batch conveying was performed with $M_p = 27360$ kg. The solid phase is polypropylene with density $\rho_p = 876$ kg/m³, average particle diameter $d_p = 3.6$ mm and particle sphericity 0.8. For given start point and endpoint of delivery, the influence of pipe layout on energy efficiency was investigated in [1]. In this study horizontal 40 m length pipeline was modeled by the means of ANSYS Fluent. Selected length corresponds to the actual length of pipelines, which are used in the industry. In this way is eliminated the influence of the length of initial section of acceleration on the obtained results.

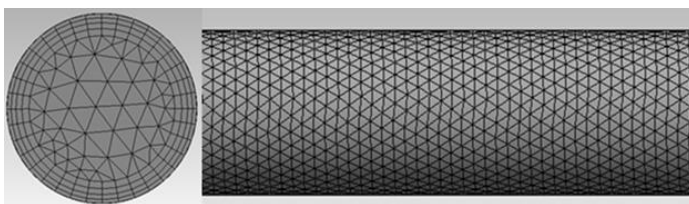


Fig. 1 Computational mesh

Unstructured mesh with 1 322 379 elements was used as shown in Fig. 1 with the thickening of the mesh towards the wall. The effect of mesh refinement had previously been evaluated in the simulation process.

RNG k- ϵ model was used to describe the gas-solid flow. The particles were injected from each facet of the inlet surface

with initial velocity 0. As the particles are relatively large, their motion is not influenced by the turbulent pulsations and because of that reason the turbulent dispersion was not modeled. Presence of the solid phase was modeled by means of the Euler-Lagrange method, which is implemented into the ANSYS Fluent software as a Discrete Phase Model (DPM). The computations take into account the shape factor (sphericity) of the particle [2] and the coefficient of restitution with the wall [4]. The calculated trajectories of several particles in a section of the pipeline are shown as example in Fig. 2.

Numerical modeling was performed for different values of the solids mass flow rate $q_p = 1.26; 1.6; 3.8; 7.6; 10.13$ kg/s. For each solid mass flow rate q_p were realized computational simulations with different diameters of the pipe $D = 0.154; 0.180; 0.204; 0.254; 0.304$ m.

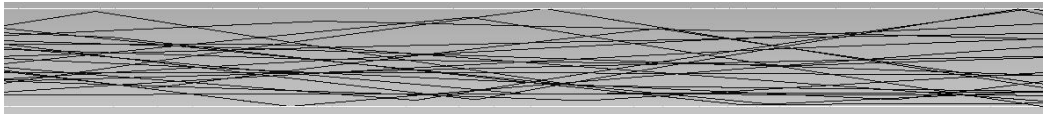


Fig. 2 Particle trajectories

For each diameter of the pipeline was determined the critical gas velocity U_{gcr} and the corresponding pressure losses Δp which in this case are losses mainly due to hydraulic friction and acceleration of the solid phase. The critical velocity is the velocity at which the particles start to fall to the bottom of the pipe. Obviously required gas velocity for successful conveying is $U_g \geq U_{gcr}$. For exactness, it is accepted that $U_g = U_{gcr}$.

Large number of experimental data and correlations are available concerning determination of critical velocity. One method has been developed and validated from the authors by the means of CFD, which says that critical velocity is reached when only 30% from the particles are able to pass above the axis of the pipeline [3]. Furthermore was determined the optimal diameter D_{opt} of the pipe for each solid mass flow rate q_p of the system. In batch dilute phase pneumatic conveying this diameter is defined as the condition for minimum consumption energy $E \rightarrow \min$ is satisfied. It was obtained for all solids mass flow rates that the optimal diameter is $D_{opt} = 0.204$ m and this is shown in Fig. 3 for significantly different solids mass flow rates $q_p = 1.9$ and 7.6 kg/s.

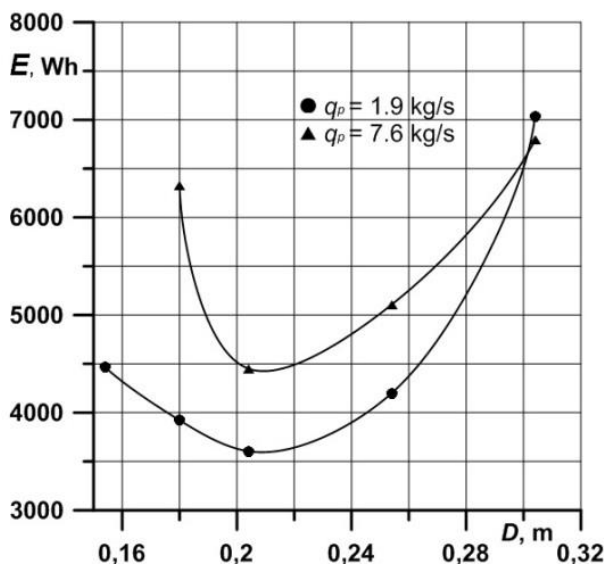


Fig. 3 Optimal diameter

It is known that with increasing of the solid mass flow rate q_p the pressure losses are increased and hence the useful power is increased. Also with increasing of the solids mass flow rate due to the decreasing of transportation time of the particles, as a result the consumption energy is decrease. Hence the two-way influence of the solid mass flow rate indicates that there is an optimal value of the particle mass flow rate q_{popt} at which the consumption energy is the lowest. After the determination of optimal diameter $D_{opt} = 0.204$ m, the next step was to define an optimal particle mass flow rate q_{popt} .

Table 1

Obtained results for $D_{opt} = 0.204$ m

q_p , kg/s	1.26	1.9	3.8	7.6	10.13
U_{gcr} , m/s	16	15	17	19	21
Δp , Pa	1459	1839	3566	7171	10100
P_u , W	763	901	1980	4451	6934
E , Wh	4576	3604	3960	4451	5201

The obtained results are shown in Table 1. As can be seen, the useful power P_u is increased with the increasing of the q_p due to the higher values of the pressure drop Δp and critical gas velocity U_{gcr} . But the results also shown that the consumption energy has an absolute minimum value $E = 3604$ Wh at conveying regime of the system $q_{popt} = 1.9$ kg/s, as it can be seen from Fig. 4.

The optimal design parameters for energy efficient batch conveying pneumatic system with overall mass of the transported material $M_p = 27360$ kg and given properties of solid phase (polypropylene granules) are:

- diameter of the pipeline $D_{opt} = 0.204$ m,
- gas velocity $U_{gcr} = 15$ m/s,
- solid mass flow rate $q_{popt} = 1.9$ kg/s.

Conclusion

The results of the present study show that the commercial code ANSYS Fluent can be used successfully to energy efficient design approach to batch dilute phase pneumatic conveying systems. For this purpose a relatively simple methodology has been established based on the optimal design parameters of the system with minimum consumption energy.

The following methodology for optimal design of dilute phase pneumatic system for batch conveying is:

1. The two-phase flow in horizontal pipeline is modeled by the means of CFD and Euler/Lagrange method, which is implemented into the ANSYS Fluent software as a Discrete Phase Model (DPM). The characteristics of the solid phase and gas flow are entered into ANSYS Fluent.
2. For several solid mass flow rates q_p computational simulations are performed with different standard diameters of the pipe $D = 0.154; 0.180; 0.204; 0.254; 0.304$ m. For each diameter of the pipeline is determined the critical gas velocity U_{gcr} and the corresponding pressure losses Δp .
3. The optimal diameter of the pipe D_{opt} is determined for each solid mass flow rate q_p of the system, at which the consumption energy is the lowest $E \rightarrow \min$.
4. All modes of batch conveying are compared and the optimal particles mass flow rate q_{popt} is selected, at which the value of the consumption energy E is the lowest from all transportation regimes with a diameter D_{opt} .

References

1. Dukov I., D. Taneva. Application of CFD for design of energy efficient dilute phase pneumatic conveying systems. Journal of Thermotechnics, ISSN 1314-2550, year 7, 2016.
2. Dukov I., D. Taneva. Determination of the article shape factor using Cauchy's theorem and image analysis. XXI Scientific conference with international participation FPEPM 2016, Proceedings, Vol. II, pp. 60-63, Sozopol, 2016.
3. Dukov I., D. Taneva. Numerical and experimental determination of the minimum gas velocity for dilute phase pneumatic conveying. Journal of Thermotechnics, ISSN 1314-2550, year 7, 2016.
4. Дуков, И. Числено моделиране на пневмотранспорт в суспендирано състояние в дълъг хоризонтален тръбопровод с ANSYS FLUENT, Научна конференция ЕМФ`2011, Сборник с доклади том II, Созопол, 2011.

Assoc. Prof. Ivan Dukov, PhD, Technical University of Sofia, Department of Hydroaerodynamics and Hydraulic Machines, e-mail: idukov@tu-sofia.bg

Diana Taneva, MSc, Technical University of Sofia, Department of Hydroaerodynamics and Hydraulic Machines, e-mail: dtaneva@tu-sofia.bg

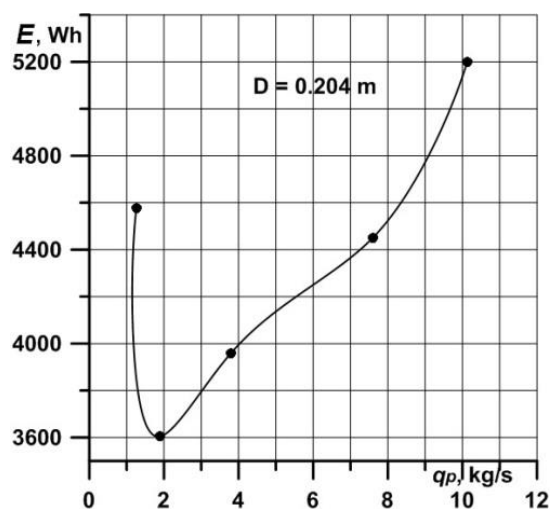


Fig. 4 Optimal solid mass flow rate

Центробежни вентилатори със свободно изтичане

Антон Сотиров, Тодор Чакъров

Основната особеност на центробежните вентилатори със свободно изтичане е липсата на спирална камера. Така се губи динамичното налягане на изхода от работното колело, което трябва да се взема предвид при проектирането. От друга страна се появява възможност за приблизително пресмятане на аеродинамичните характеристики. Създаден е софтуер за проектирането на работното колело и пресмятането на тези характеристики. Изграден и експериментално е изследван опитен образец.

Ключови думи: центробежен вентилатор, спирална камера, свободно изтичане, аеродинамична характеристика, опитен образец

Centrifugal Plug Fans

Anton Sotirov, Todor Chakarov

The main feature of the centrifugal plug fans is the absence of a spiral chamber. Thus, the dynamic pressure at the output of the impeller is lost, which must be taken into account when designing. On the other hand, it is possible to estimate the aerodynamic characteristics. Software has been developed for the design of the impeller and the calculation of these characteristics. There is an experimental model that has been developed and experimentally studied.

Keywords: centrifugal fan, spiral chamber, aerodynamic characteristic, experimental specimen

Въведение

Разглежда се центробежен вентилатор без спирална камера – известен още като *Plug Fan*. Този вид вентилатори са предназначени да работят главно на "засмукване" - за климатични камери, охлаждане и вентилация. Идеята е да се създаде методика и софтуер за проектиране на такива вентилатори. За целта е преработена и разширена програмата FANR [1, 2], сега в средата на MATLAB 13. Главната програма, наречена FANPLUG включва, както в предишната, подпрограмите ADV (съветник) и STR (якостно пресмятане). Освен това са създадени и новите подпрограми: PRPANOV - за образуване на аналитичен контур на профила; FANScheme – за изобразяване схемата на вентилатора и AERCHAR – за пресмятане и изобразяване на приблизителна аеродинамична характеристика. Тук се разглежда само пресмятане на аеродинамичната характеристика в AERCHAR.

Аеродинамична характеристика

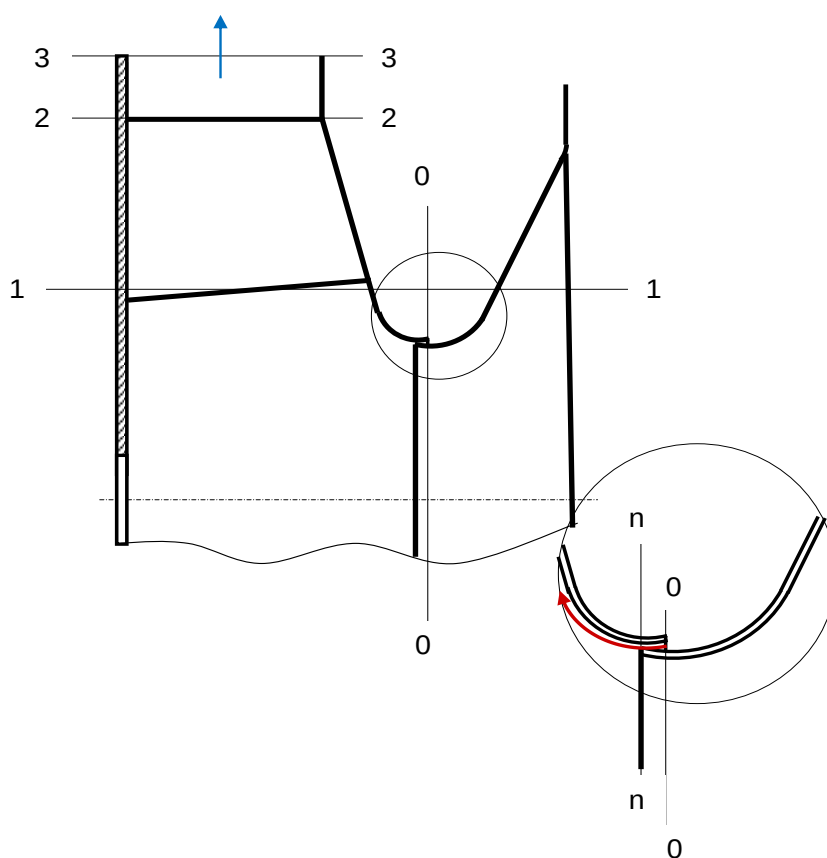
За определяне на аеродинамичната характеристика в подпрограма AERCHAR, като база се излиза от теоретичната зависимост $p_{vt\infty} = f(Q)$, където отдадената (за безкраен брой лопатки) специфична енергия (пълно налягане) $p_{vt\infty}$ се определя по Ойлеровото уравнение. Корекция за крайния брой лопатки и други геометрични параметри се прави с *коэффициента на циркуляция* $\kappa = p_{vt}/p_{vt\infty}$. Съществуват много полумпирични изрази за този коефициент. В настоящата разработка е приета формулата на Б.Екк [4], но коригирана с оглед на проведените аеродинамични експерименти:

$$\kappa = \frac{0.8}{1 + \frac{1.5 + 1.1 \times \beta_2 / 90}{Z(1 - \bar{D}_1^2)}} \quad (1)$$

Пълното налягане на вентилатора p_v се получава чрез изваждане от теоретичното налягане на загубите:

$$p_v = p_{vt} - \sum \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4 + \Delta p_5 + \Delta p_6 \quad (2)$$

Независимо от това, че за тези вентилатори задачата е облекчена, поради липса на спирална камера, няма достатъчно полуемпирични зависимости за загубите. В тази работа са обособени означените в (2) шест вида загуби, за съответни участъци по Фиг. 1:



Фиг. 1

Δp_1 - загуба във входната тръба. Пресмята се с коефициент за конфузор - $\zeta_1 = 0.08$;

Δp_2 - загуба от сечение 0-0 до 1-1. По данни от [4] - $\zeta_2 = 0.05 \div 0.1$. Прието е $\zeta_2 = 0.05$, тъй-като съчетанието от 0-0 до n-n е оформено така, че да създава ускорително течение. То "продухва" граничния слой по покривния диск и намалява загубата [3].

Δp_3 - загуба от 1-1 до 2-2 - в междуплъватъчните канали. Оценяването на тази загуба е сложно, тъй като зависи от много величини. Тук е прието, че е сума от хидравлична загуба в т.нар. *еквивалентен дифузор* Δp_{3h} и загуба от дисково триене Δp_{3f} .

За Δp_{3h} се използва емпирична формула за коефициента ζ_{3h} [4]:

$$\zeta_{3h} = 0.14 \left[1 + 0.01(\gamma_s - 3)^2 \right], \quad (3)$$

където γ_s е *ъгълът на разкритие* на еквивалентния дифузор. Изследвания на ЦАГИ показват, че този израз за ζ_{3h} дава задоволителни резултати в работната област.

При коефициент на дисково триене $C_f = 0.0365 / \sqrt[5]{Re}$ [6] загубата се пресмята по израза

$$\Delta p_{3f} = \left[\rho \omega^3 (2C_{f2} r_2^5 - C_{f0} r_0^5) \right] / Q. \quad (4)$$

Тук C_{f2} и C_{f0} се определят с Re за съответните радиуси.

Δp_4 - от 2-2 до 3-3 - загуба в безлопатъчния дифузор. Тази загуба е също сума от хидравлична загуба в еквивалентен дифузор Δp_{4h} - пресметната с неговия γ_s и от дисково триене Δp_{4f} - пресметната със съответните C_f и Re .

Δp_5 - загуба от изтичане - приема се кинетичната енергия на изхода от работното колело.

Δp_6 - загуба на Борда. Тази загуба се появява при „неразчетните“ дебити, поради образуване на вихри около входящите ръбове на лопатките. Пресмята се по израза [7]

$$\Delta p_6 = \tau \rho u_1^2 (1 - Q/Q_n)^2, \quad (5)$$

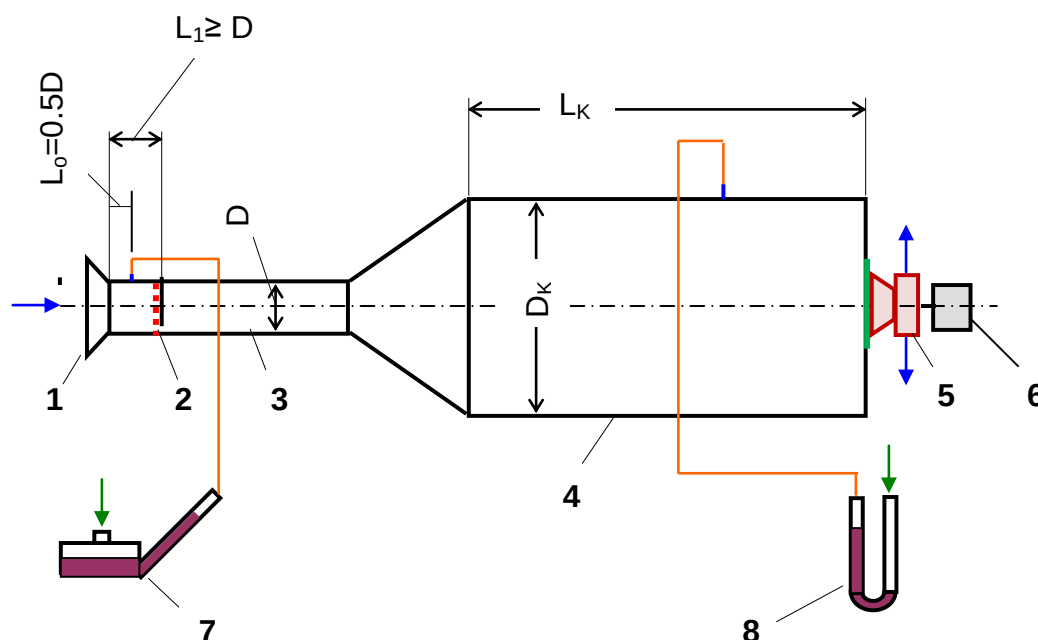
където коефициентът на „смекчаване“ според Пфлайдерер [7] е $\tau = 0.58 \div 0.7$, но в резултат на експерименталното изследване тук е приет $\tau = 0.42$.

Експериментално изследване

С програмата FANPLUG е проектиран вентилатор SPF-4-6var с номинални параметри, които частично са заимствани от подобен вентилатор на ZIEHL-ABEGG [8]: $Q_n = 6250 \text{ m}^3/\text{h}$, $p_{vs} = 1600 \text{ Pa}$, $d_2 = 0.4 \text{ m}$, $n = 2950 \text{ min}^{-1}$, $\beta_1 = 24^\circ$, $\beta_2 = 24^\circ$.

Вентилаторът е изпълнен и експериментално изследван от „Спартак“ АД.

Схема на аеродинамичния стенд е показана на Фиг. 2. Той е изграден в съответствие с необходимите изисквания.



Фиг. 2

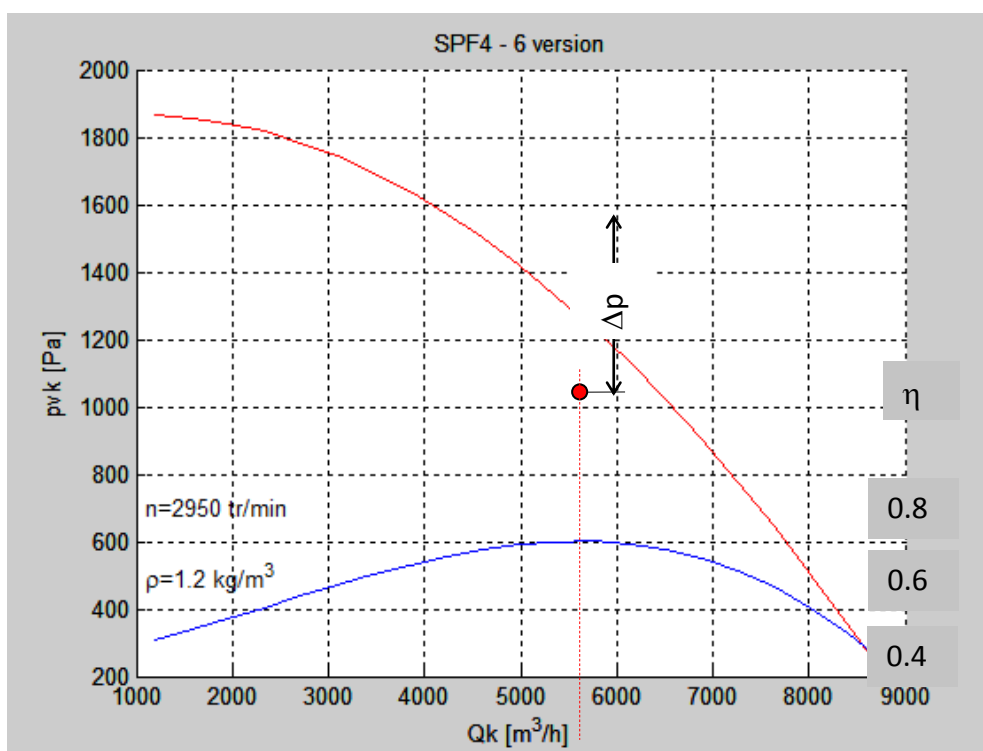
Вентилаторът 5 работи на засмукване от камерата 4. Дебитът се измерва с комплекта конична дюза 1 и манометър 7 (по BS 848), а статичното налягане - с манометър 8. Регулирането се извършва с набор от мрежи 2.

Пълното налягане на вентилатора е $p_v = p_{vs} + p_{vd}$, където p_{vd} е разлика между динамичните налягания на изхода от вентилатора и в камерата.

Мощността върху вала P в този стенд не се измерва директно. Тя се определя приблизително от електрическа мощност P_{el} , измерена с ватметър - $P \approx P_{el} \eta_{el}$. Пълният КПД на вентилатора се дава от $\eta = p_v Q / P$.

На Фиг. 3 е показана експерименталната характеристика на SPF-4-6var, а на Фиг. 4 - пресметнатата в подпрограмата AERCHAR от програма FANPLUG.

Сравнението на двете характеристики показва, че има дефицит в полученото статично налягане $\Delta p \approx 28\%$ от проектното. Това се дължи основно на липса на спирална камера. Затова AERCHAR е коригирана чрез промяна на коефициентите за пресмятане на загубите.

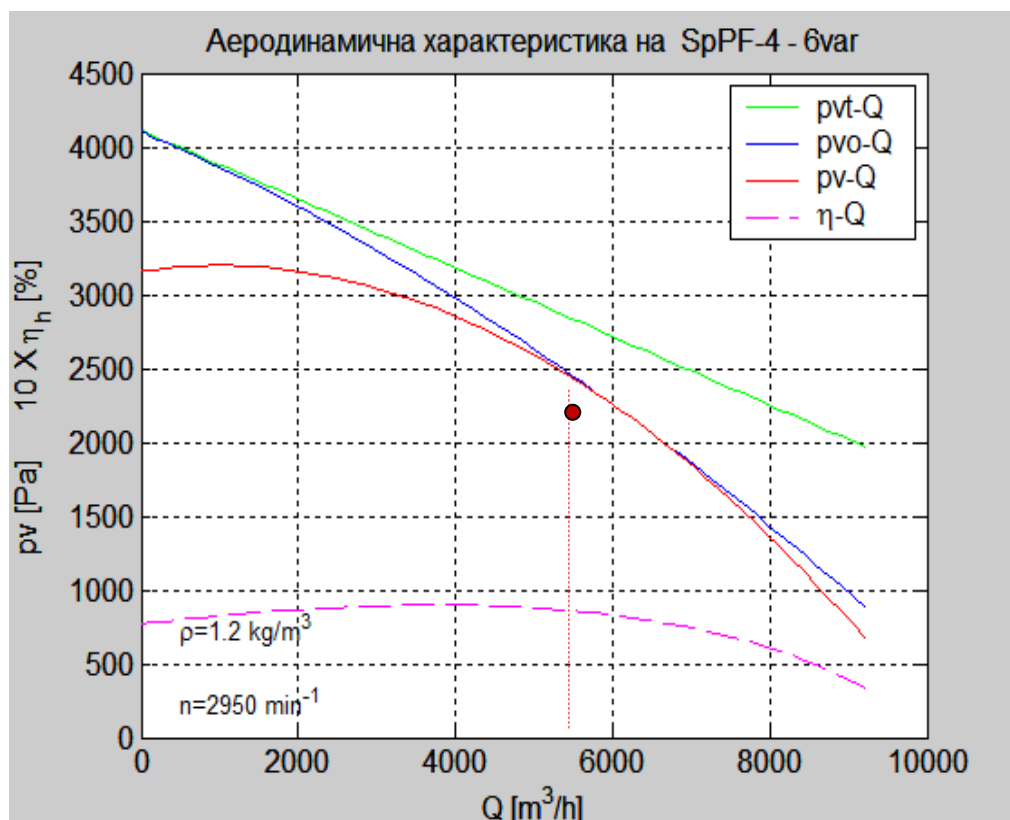


Фиг. 3

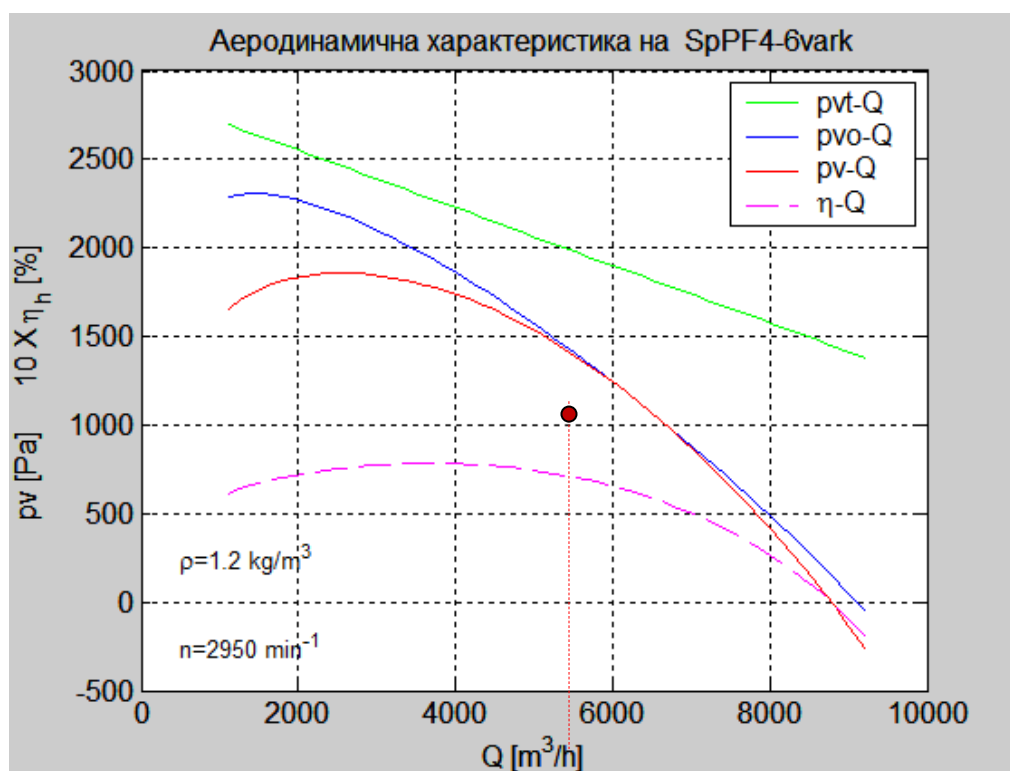
На Фиг. 5 е показана отново пресметнатата характеристика с обновената подпрограма AERCHAR. Вижда се, че изчислената характеристика от Фиг. 5 съвпада приблизително с експерименталната от Фиг. 3.

Това е основание да се приеме, че програмата FANPLUG, с обновената подпрограма AERCHAR, може надеждно да се използва за проектиране на вентилатори със свободно изтичане (FAN PLUGS).

Пресметнати са поредица от вентилатори от серията SPF4 (SpartakPlug Fan-4), с външен диаметър $d_2 = 400 \text{ mm}$, номинален обемен дебит $Q_n = 6250 \text{ m}^3 / \text{h}$, честота на въртене $n = 2950 \text{ min}^{-1}$ и различни статични налягания. Изследвани са загубите и е анализирана възможността за постигане на високо статично налягане. Установено е, че най-значителните загуби - Δp_{3h} , при ъгли $\beta_2 \geq 40^\circ$ стават толкова големи, че обезсмислят проектиране на вентилатор с назад обърнати лопатки.



Фиг. 4



Фиг. 5

Проектиране на вентилатор със свободно изтичане

За илюстрация на програмата е показано пресмятането на вентилатор SPF4-35, като за икономия е изпусната таблицата с координатите на лопатката и някои други данни.

ПРЕСМЯТАНЕ НА ЦЕНТРОБЕЖЕН ВЕНТИЛАТОР - SPF4-35

$Q = 6250.0$ [kubm/h]; $p_s = 1250.0$ [Pa]; $\sigma = 0.08$; $D_2 = 0.40$ [m]; $n = 2950$ [tr/min]; $ISTR = 2$
 $U_2 = 61.8$ [m/s]; $Flv = 0.224$; $PSlv = 0.593$; $PSIs = 0.546$; $ns = 96.5$;

За стандартна атмосфера - $\rho_0 = 1.2$ kg/kubm; $\eta_i = 15.11 \cdot 1.0e-6$ kwm/s

РАБОТНО КОЛЕЛО

$D_1 = 0.28$ [m]; $D_2 = 0.4$ [m]; $D_0 = 0.28$ [m]; $b_1 = 0.16$ [m]; $b_2 = 0.144$ [m]; $b_0 = 20$ [mm];

$\gamma_a = 15.0$ [gr]; $\tau_a = 8.0$ [gr]; $\beta_{t1} = 25.0$ [gr]; $\beta_{t2} = 35.0$ [gr];

$b_h = 0.115$ [m]; $\delta = 2.0$ [mm]; $NZ = 8$; $RL = 0.276$ [m]; $RC = 0.160$ [m]

$D_4 = 0.48$ [m]; $b_4 = 0.144$ [m]

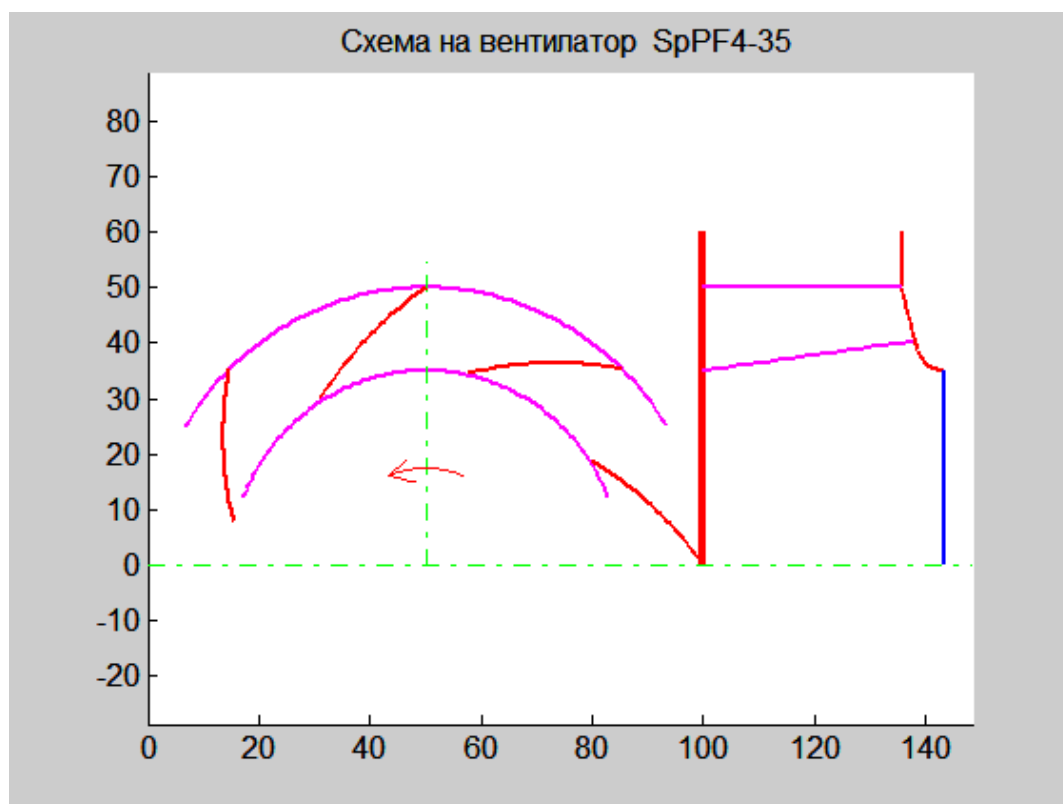
Пресметнато номинално налягане $p_{vn} = 1362.64$ [Pa]

Пресметнат номинален хидравличен КПД $\eta_{ahn} = 0.599659$

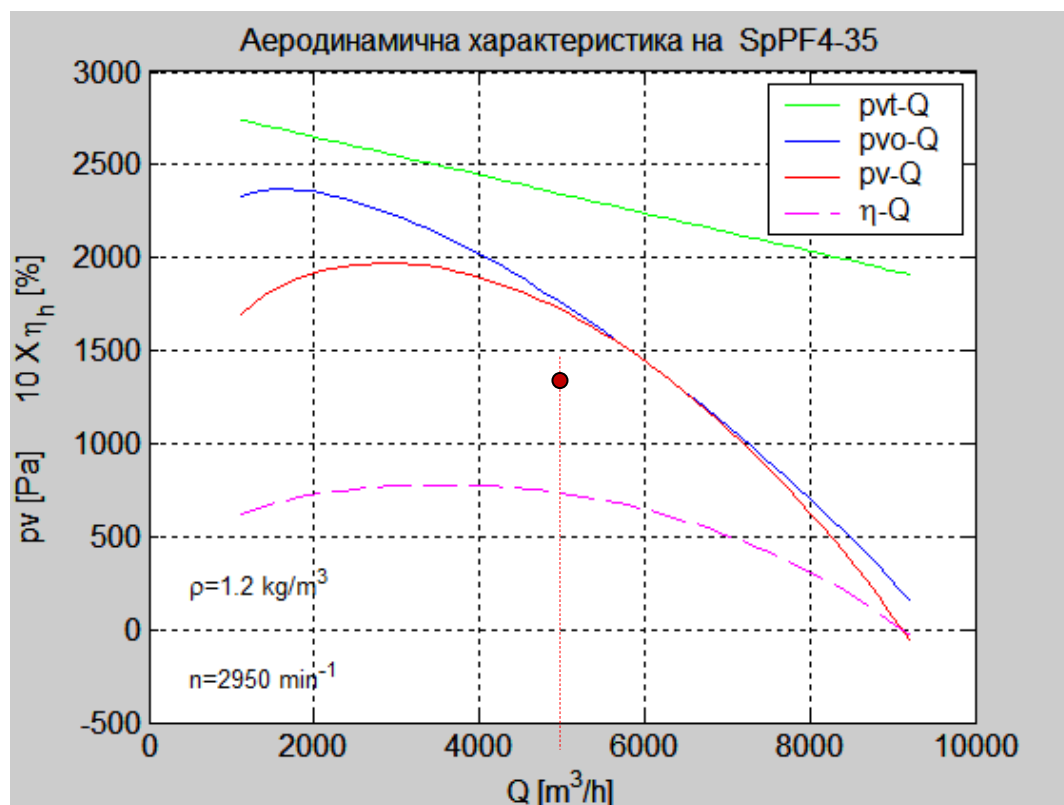
КОНТРОЛНО ПРЕСМЯТАНЕ НА:

пълно налягане p_v [Pa]; статично налягане p_s [Pa]; мощност P [kW]

$p_v = 1362.64$ [Pa]; $p_s = 1253.63$ [Pa]; $P = 3.95$ [kW].



Фиг. 6



Фиг. 7

Заклучение

Създаден е надежден софтуер FANPLUG за проектиране и изследване на вентилатори със свободно изтичане.

Литература

1. Чакъров Т., Проектиране на центробежни вентилатори, Научна конференция ЕМФ'99, Сборник доклади, т.3, ТУ-София, 1999.
2. Чакъров Т. Аеродинамично оразмеряване на центробежни вентилатори. Механика на машините, 44, книга 6, 2002.
3. Чакъров Т., В. Обретенов, Ц. Цалов, Хибриден вентилатор, Научна конференция с международно участие ЕМФ 2015, Сборник доклади, т.2, Созопол, 2015.
4. Соломахова Т., К.Чебышева, Центробежные вентиляторы, Машиностроение, М., 1980.
5. Брусиловский И.В., Аэродинамика и акустика осевых вентиляторов, Выпуск 2650, ЦАГИ, М, 2004.
6. Гутовский Е. В., А. Ю. Колтон, Теория и гидродинамический расчет гидротурбин, Машиностроение, Л., 1974.
7. Бак О., Проектирование и расчет вентиляторов, Госгортехиздат, М., 1961.
8. www.ziehl-abegg.com

маг. инж. Антон Сотиров, "Спартак" АД – Бургас, e-mail: sotirov@spartak.bg

доц. д-р Тодор Чакъров, ТУ-София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, e-mail: todorchakarov@abv.bg

Синтез на работно колело на хидрокинетична турбина с вертикална ос

Валентин Обретенков, Росен Илиев

В работата са представени резултати от изследвания, насочени към създаването на ефективно работно колело на хидрокинетична турбина тип Дариус посредством последователното прилагане на задачите за синтез на геометрията на лопатъчната система и анализ течението през нея. На основата на резултатите от планиран числен експеримент са определени оптималните стойности на някои важни параметри на лопатъчната система. Представени са резултати от числено изследване на обтичането на работното колело от водното течение.

Ключови думи: хидрокинетична турбина, работно колело, лопатъчна система, профил на лопатка

Synthesis of Runner of Vertical Hydrokinetic Turbine

Valentin Obretenov, Rossen Iliev

The paper presents the results of research aimed at creating an effective runner of a Darius hydrokinetic turbine through the consecutive implementation of the tasks of synthesis of the geometry of the blade system and analysis of the flow through it. On the basis of the results of a planned numerical experiment the optimal values of some important parameters of the blade system were determined. The results of a numerical study of the flow of the runner from the water flow are presented.

Keywords: hydrokinetic turbine, runner, blade system, blade profile

Въведение

Един от пътищата за решаване на енергийните проблеми на планетата е разработването на ефективни системи за усвояване енергията на свободните водни течения (в реките, моретата и океаните) чрез т.нар. хидрокинетични турбини. Уместно е да се отбележи, че делът на тази хидроенергийна технология в общия енергиен баланс все още е твърде малък. Основните причини за това са високите стойности на специфичните капиталовложения както и сравнително ниската им ефективност (в сравнение с конвенционалната хидроенергетика).

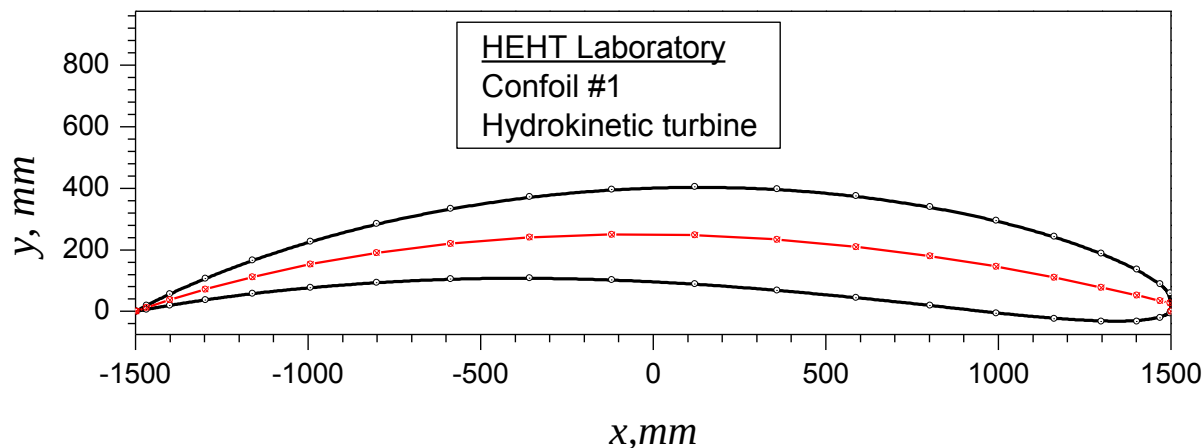
В Лабораторията по хидроенергетика и хидравлични турбомашини (лаборатория ХЕХТ) [7] на ТУ – София от 2010 г. се провеждат изследвания, насочени към разработването на ефективни лопатъчни системи за този вид турбини, а през 2011 г. беше пуснат в експлоатация стенд за изпитване на хидрокинетични турбини (стенд №8) [7,8].

В тази работа са представени резултати от изследвания, насочени към създаването на ефективно работно колело на хидрокинетична турбина посредством последователното прилагане на задачите за синтез на геометрията на лопатъчната система и анализ течението през нея. Изследванията са част от научната програма по проекта ДУНК-01/3.

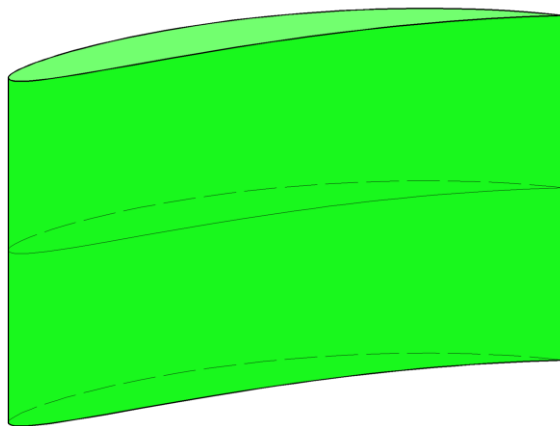
Синтез на профил на лопатките на хидрокинетичната турбина

При синтеза на работните лопатки на хидрокинетични турбини от типа Дариус (Darrieus) обикновено се използват каталожни профили (NACA, NASA, Goettingen и др. [5, 6, 9]). Тук синтезът на профила на лопатките е направен с помощта на програмата VABId, разработена от доц. Т. Чакъров за пресмятане на работни колела за вятърни турбини тип

Дариус [2]. Уместно е да се направи уточнението, че става въпрос за тестова задача (макар и за конкретен обект), а оразмеряването е направено за лопатка, която е разположена фронтално на водното течение, с постоянна кривина по размаха и с хорда $l=3m$. Профилът на лопатката е представен на Фиг. 1, а на Фиг. 2 – 3D модел на лопатката.



Фиг. 1 Профил на лопатката на хидрокинетичната турбина



Фиг. 2 3-D модел на лопатка на хидрокинетичната турбина

Пресмятане на характеристиките на крилото

Изследва се обтичането на изолирано крило с постоянен по височината му профил, чиято хорда е успоредна на дъното на канала. Постановката на задачата може да се формулира по следния начин:

- Крилото е разположено в канал, чиято широчина и дълбочина са съобразени със същественото условие да не внася смущения в течението (осигурено е разстояние, равно на дължината хордата до стените и до дъното на канала);

- Численото изследване е направено за различни стойности на ъгъла на атака на течението (α), дължината на хордата (l) и

височината (размаха) на крилото (h) с цел определяне на оптималните им стойности;

- Изследва се разпределението на скоростите и налягането по повърхността на крилото и на тази база се определят стойностите на подъемната и съпротивителната сили (респ. подъемния и съпротивителния коефициенти).

Изследването е направено с помощта на програмната система ANSYS (решава се т.нар. права хидродинамична задача).

1. Планиран експеримент

Както бе изяснено по-горе, задачата на изследването е да бъдат определени оптималните стойности на дължината на хордата на профила ($l=X1$), ъгъла на атака ($\alpha=X2$) и височината на крилото ($h=X3$). За тази цел е организиран планиран експеримент [1] (3 фактора, чиито стойности варират на 3 нива). Стойностите на основните нива на управляващите параметри са съответно 11 m; 30 deg; 5 m. Интервалите на вариране са 9 m; 20 deg; 3 m. Стойностите на дължината на хордата и височината на крилото са съобразени с данните за реален обект (хидровъзел „Тракия“), за който са известни параметрите (от прединвестиционното проучване).

За определянето на оптималните стойности на трите величини се използва симетричен план [1] с брой на точките на носителя $N=14$. Оптимизационната задача се решава чрез комплексния метод на М.Вох [4], който е подходящ поради нелинейността на модела и наличието на ограничения във факторното пространство. Тоталният екстремум на целевата функция се намира след многократно изчисляване при различни начални точки и сравняване на получените стойности. В конкретния случай целева функция е качеството на крилото ($K=C_y/C_x$; C_x – съпротивителен коефициент; C_y - подемен коефициент).

Използва се регресионен модел от вида [1]:

$$Y = b_0 + \sum_{k=1}^3 b_k x_k + \sum_{l=k+1}^3 b_{kl} x_k x_l + \sum_{k=1}^3 b_{kk} x_k^2 \quad (1)$$

Кодираните стойности на трите управляващи параметъра (матрицата на плана на експеримента), както и резултатите от изчисленията - стойностите на подемния и съпротивителния коефициенти, подемната (F_y) и съпротивителната (F_x) сили, качеството на крилото - са представени в Табл.1.

Таблица 1

Матрица на плана и резултати от изчисленията

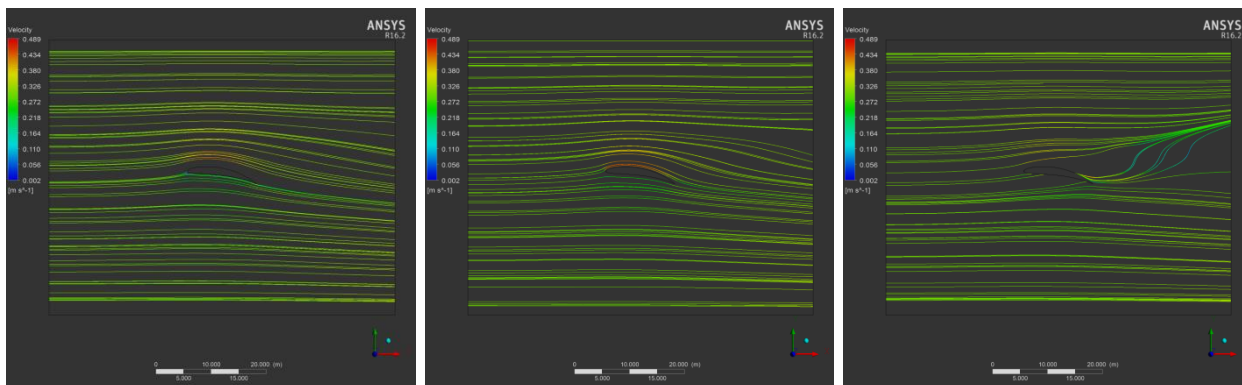
№	X1	X2	X3	F_y	F_x	C_y	C_x	K
	-	-	-	N	N	-	-	-
1.	1	1	1	8000	12114	1,113	1,686	0,660
2.	-1	1	1	385	923	0,536	1,284	0,417
3.	1	-1	1	10390	1517	1,446	0,211	6,845
4.	-1	-1	1	981	63	1,365	0,087	15,611
5.	1	1	-1	3223	2939	1,794	1,636	1,097
6.	-1	1	-1	174	193	0,966	1,074	0,899
7.	1	-1	-1	1250	500	0,696	0,278	2,503
8.	-1	-1	-1	245	18	1,365	0,098	13,948
9.	1	0	0	7745	3017	1,724	0,672	2,567
10.	-1	0	0	400	228	0,890	0,508	1,754
11.	0	1	0	1860	4100	0,753	1,660	0,454
12.	0	-1	0	3781	285	1,530	0,115	13,267
13.	0	0	1	4367	2276	1,105	0,576	1,919
14.	0	0	-1	1684	800	1,704	0,810	2,105

По-долу са приложени разпечатки на основните резултати от проведения планиран експеримент (за обработването на резултатите от числения експеримент е използван е специално разработен за целта софтуер): стойностите на регресионните коефициенти и оптималните стойности на управляващите параметри. Уместно е да се отбележи, че стойностите на регресионните коефициенти са определени за реципрочната стойност на целевата функция (програмата определя нейната минимална стойност в изследвания диапазон).

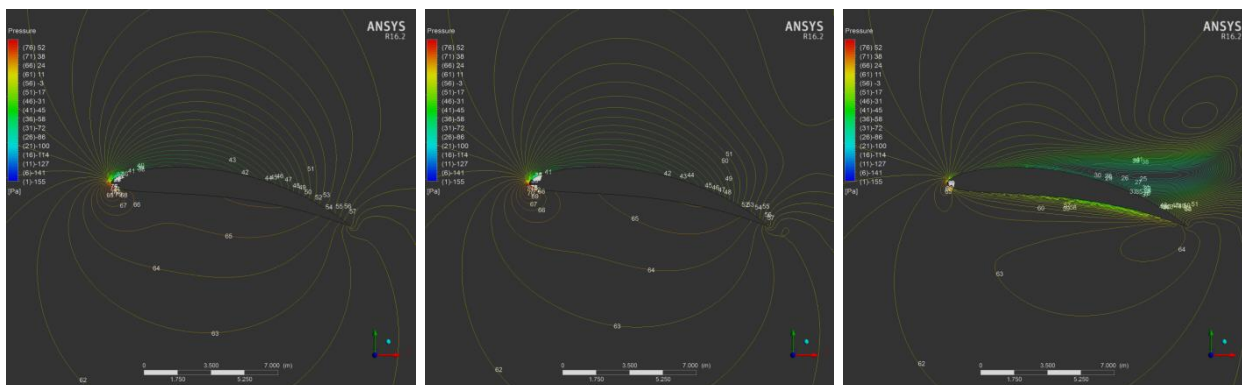
* REGRESSION COEFFICIENTS: *	* OPTIMUM VALUES OF PARAMETERS: *
B0= 0.644807	# * NORMALIZED * REAL *
B1=-0.085441 B2= 0.738307 B3= 0.167428	1 X _{ОПТК} = -0.7589 X _{ОПТ} = 4.1697
B11=-0.16496 B22=0.494197 B33=-0.146727	2 X _{ОПТК} = -1.0000 X _{ОПТ} = 10.0000
B12=-0.18669 B13=-0.115995 B23= 0.268795	3 X _{ОПТК} = -1.0000 X _{ОПТ} = 2.0000

2. Резултати от числени изследвания

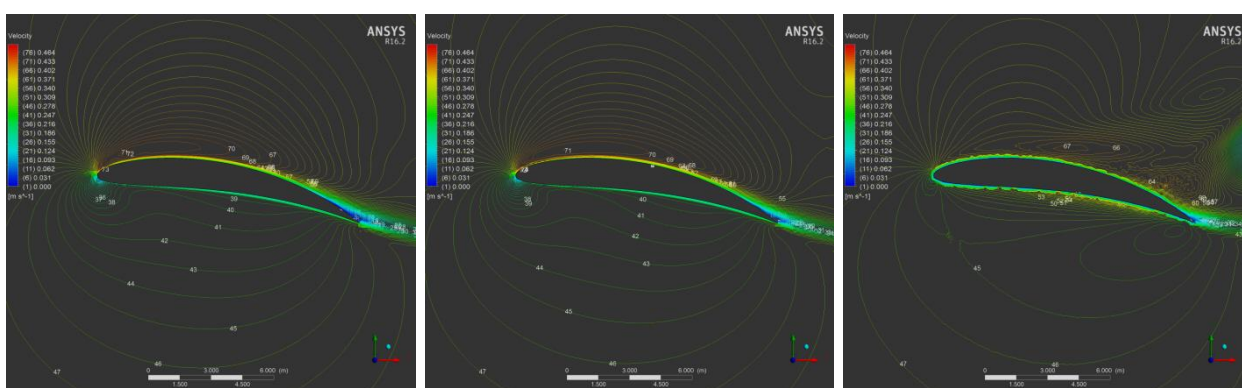
На Фиг. 3 са представени в графичен вид резултати, получени след направеното числено изследване на оптималния вариант на крилото: токови картини и разпределение на скорости и налягане при обтичането му от течението в три равнини по височината му ($z^*=z/h=0.999$; 0.5 и 0.001).



Токови картини



Налягане



Скорости

$z^*=0.002$

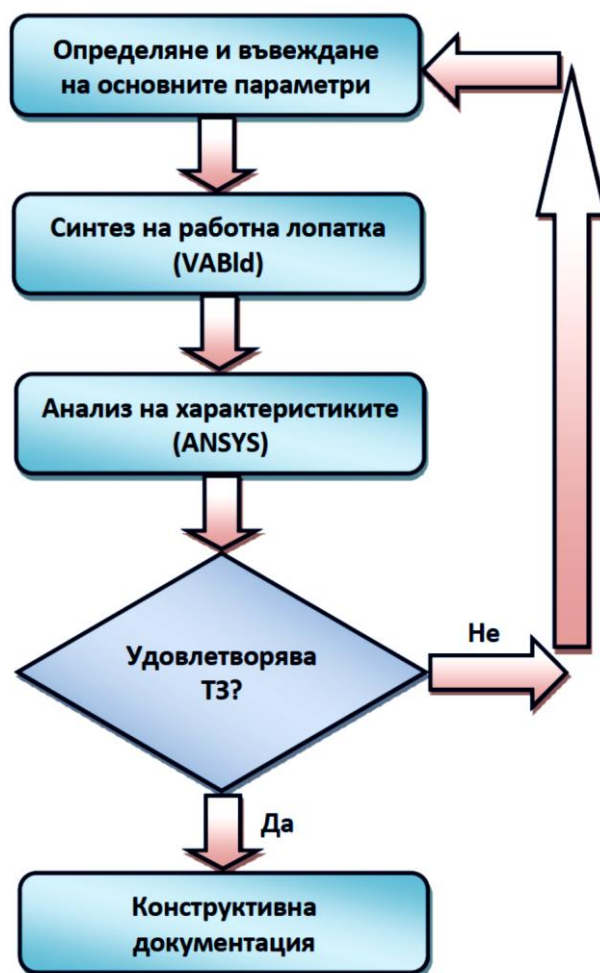
$z^*=0.500$

$z^*=0.992$

Фиг. 3 Токови картини, разпределение на налягане и скорости (оптимален вариант)

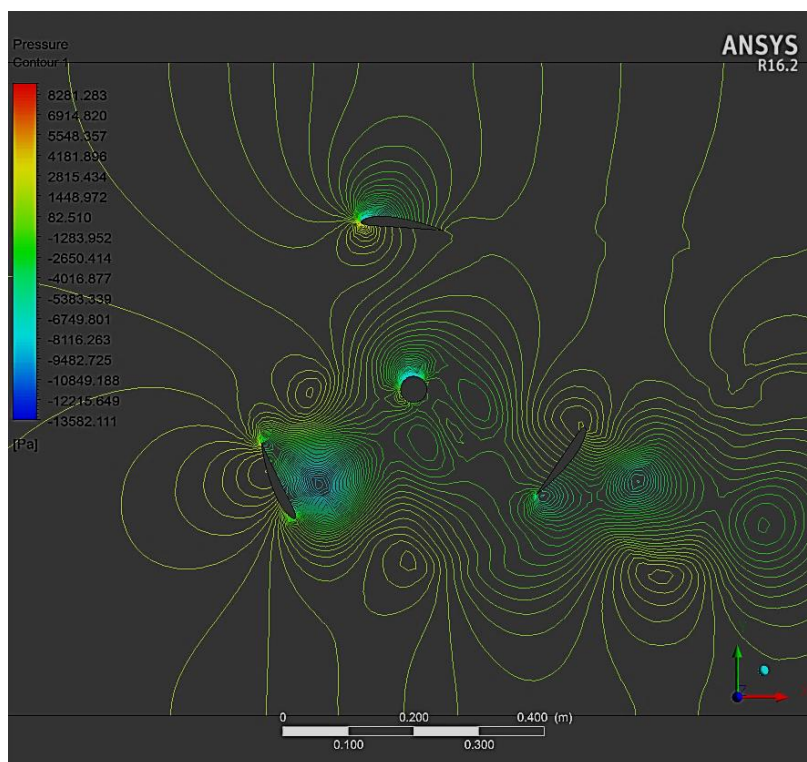
Описаната по-горе изчислителна процедура, базирана на разработен метод и програма за решаване на обратната хидродинамична задача и на програмната система ANSYS следват съвременния подход за проектиране на хидравлични турбомашини [3]: последователно прилагане на двете взаимосвързани задачи: синтез на геометрията на лопатъчната система и анализ на течението през нея. Тази методика, чиято блок-схема е

показана на Фиг. 4, дава възможност за оптимално проектиране на работните лопатки на хидрокинетични турбини от типа Дариус. За да се валидира тази методика е необходимо провеждането на лабораторни моделни изследвания (физическо моделиране). Такива изследвания са планирани да бъдат проведени на стенд №8 в лаборатория ХЕХТ [7].

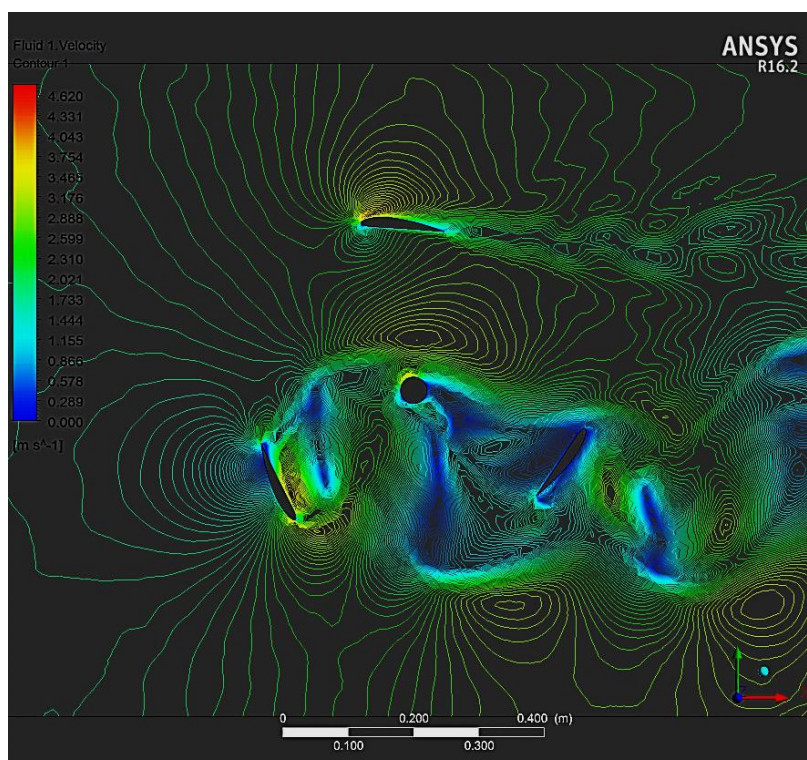


Фиг. 4 Блок-схема на използваната методика

Уместно е да се отбележи, че резултатите от прилагането на описаната по-горе методика всъщност са пилотни (модулите и схемата подлежат на развитие), но следва да се има предвид, че аналогични методики са използвани многократно при създаването на лопатъчни системи за конвенционални водни турбини [3], доказали своята ефективност в реални (експлоатационни) условия. Именно тези резултати дават основание да бъде направена оптимистична прогноза. Разработва се и модул за пресмятане на външните характеристики на хидрокинетичната турбина, т.е. изследва се работата на лопатъчната система на работното колело. Някои предварителни резултати са представени на Фиг. 5 (разпределението на налягането в областта на въртящо се работно колело на моделната хидрокинетична турбина тип Дариус с 3 работни лопатки) и на Фиг. 6 (разпределение на скоростите).



Фиг. 5 Разпределение на налягането в зоната на работното колело



Фиг. 6 Разпределение на скоростите в зоната на работното колело

Заклучение

Основните резултати от направеното изследване се състоят в следното:

1. Създадена е методика за пресмятане на работни колела на хидрокинетични турбини, базирана на разработен в ТУ – София софтуер и на програмната система ANSYS чрез последователно прилагане на двете взаимосвързани задачи: синтез на геометрията на лопатъчната система и анализ на течението през нея.
2. Резултатите от направените числени изследвания показват, че с помощта на приложената методика могат да бъдат определени оптималните стойности на основните параметри на лопатъчната система.
3. Методиката може да бъде използвана и за пресмятане на работни колела на вятърни турбини от същия тип.

Литература

1. Вучков, И., С. Стоянов. Математическо моделиране и оптимизация на технологични обекти. С., Техника, 1980.
2. Обретенов, В., Ц. Цалов, Т. Чакъров. Вятърна турбина с вертикална ос. Научна конференция ЕМФ`2012, сборник доклади, т. II, стр. 28-34, Созопол, 2012.
3. Обретенов, В. Повишаване ефективността на работния процес на активни водни турбини. Екопрогрес, С., 2012.
4. Стоянов, Ст. Методи и алгоритми за оптимизация. Техника, С., 1990.
5. Arshiyd, H. Analysis of hydrokinetic turbines in open channel flows. University of Washington, 2013.
6. Bates, P., J. Ketchum, R. Kimball, M. Peterson. Experimental Characterization of High Solidity Cross-Flow and Axial Flow Tidal Turbines. The 29th American towing tank conference, Annapolis, Maryland, August 2010.
7. Obretenov, V.S., Ts. Tsalov. The new hydraulic laboratory at the Technical University of Sofia. Сборник научных трудов IX международной научно-технической конференции „Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика. Современное состояние и перспективы развития“, стр. 79-87, Санкт-Петербург, 2016. ISBN 978-5-7422-5346-4.
8. Obretenov, V., Ts. Tsalov, St. Mateev. Stand for Testing of Hydrokinetic Turbines. Proceedings of the Conference COFRET'12, pp.266-269, Sozopol 2012, ISBN 978-619-460-008-3.
9. Phommachahn, S., Sutirkno P., Obi S. Duct water current turbine and extremely low head helical turbine. The 10th Asian International Conference on fluid machinery, CP1225, 2010.

проф. д-р Валентин Обретенов, ТУ–София, катедра "Хидроаеродинамика и хидравлични машини", Лаборатория "Хидроенергетика и хидравлични турбомашини", тел.: 02 965 2333, e-mail: v_obretenov@tu-sofia.bg

маг. инж. Росен Илиев, докторант, ТУ–София, катедра "Хидроаеродинамика и хидравлични машини", Лаборатория "Хидроенергетика и хидравлични турбомашини", тел.: 02 965 2349, e-mail: sladow@abv.bg

www.hydrolab.tu-sofia.bg

Определяне на коефициенти за избор на центробежна помпа, работеща в турбинен режим

Александър Станилов

В работата са дадени резултати от проведени изпитания за определяне на коефициенти за избор на центробежна помпа, която да работи в турбинен режим. Резултатите от изпитанията са сравнени с други такива, получени по опитен път.

Ключови думи: помпа, турбина, помпа, работеща в турбинен режим

Determination of coefficients for selecting a centrifugal pump operating in turbine mode

Aleksandar Stanilov

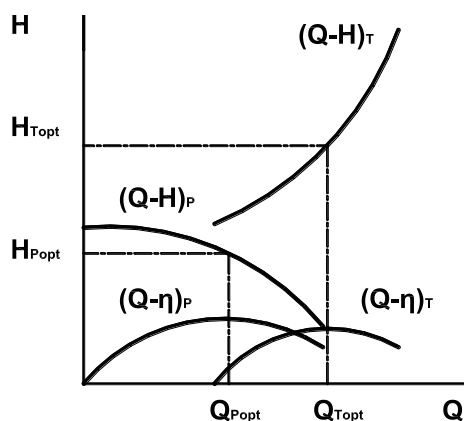
The paper presents results from experiments performed to determine the coefficients for selection of a centrifugal pump, which works in turbine mode. The test results are compared with other ones obtained experimentally.

Keywords: pump, turbine, pump as turbine

Въведение

В някои случаи в практиката за оползотворяване на разполагаема хидравлична енергия вместо класически водни турбини се използват помпи, работещи в турбинен режим (РАТ). Изборът на центробежна помпа за работа като турбина би трябвало да е също толкова лесен, колкото избора на една серийно произвеждана центробежна помпа, но това се оказва доста сериозен проблем, тъй като производителите на помпи не дават информация за поведението на една серийно произвеждана помпа като турбина, а повечето теоретични модели за избора на помпа в турбинен режим не дават еднакви резултати. Ето защо една от основните задачи е да се изгради работещ модел за избора на помпа за работата ѝ като турбина на база на множество проведени експерименти на помпи с различни специфични честоти на въртене.

Като цяло изборът на РАТ се свежда до това да може от известни параметри в помпен режим да се предскаже при какви условия тя ще работи с максимален к.п.д в турбинен режим.



Фиг. 1 Характеристика на центробежна помпа, работеща като турбина и помпа

На Фиг. 1 са показани характеристики на една и съща центробежна помпа, работеща като турбина и като помпа. От характеристиката е видно, че максималният к.п.д при помпен и турбинен режим се получава при различни стойности на напора и дебита на машината или: $Q_{Topt} > Q_{Popt}$ и $H_{Topt} > H_{Popt}$,

където:

Q_{Popt} , Q_{Topt} – дебит на помпата съответно в помпен и турбинен режим при максимална стойност на коефициента на полезно действие, m^3/s

H_{Popt} , H_{Topt} – напор на помпата съответно в помпен и турбинен режим при максимална стойност на коефициента на полезно действие, m

В Табл. 1 са посочени получени резултати, дадени от различни автори [1], [2], [3], [4], [5], за отношенията на дебитите и напорите в турбинен и помпен режим на центробежни помпи с различни специфични честоти на въртене n_s .

$$n_s = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}}, \quad (1)$$

където:

H – напор, mH_2O ;

Q – дебит, m^3/s ;

n – честота на въртене, min^{-1} .

Таблица 1

n_s	Q_{Topt} / Q_{Popt}	H_{Topt} / H_{Popt}
14,6 [4]	1,56	2,05
14,7 [1]	1,63	2,87
20,7 [2]	1,73	2,24
23,0 [4]	1,59	1,95
34,8 [3]	1,55	1,71
36,4 [5]	1,54	1,72
37,7 [4]	1,48	1,73
39,7 [5]	1,35	1,4
45,2 [5]	1,38	1,4
46,1 [2]	1,34	1,52
55,6 [4]	1,15	1,34

Целта на изследването в статията е да се определят опитно характеристиките на помпа, работеща в помпен и турбинен режим и да се сравнят резултатите с представените експериментални данни.

Експериментални резултати

Проведени са изпитания на две помпи със следните параметри на работните колела, където:

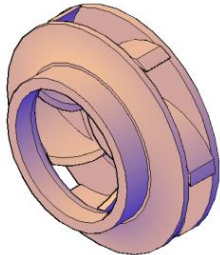
D_1 – диаметър на входа на работното колело, m ;

D_2 – диаметър на изхода на работното колело, m ;

b_1 – широчина на канала на входа на работното колело, m ;

b_2 – широчина на канала на изхода на работното колело, m ;

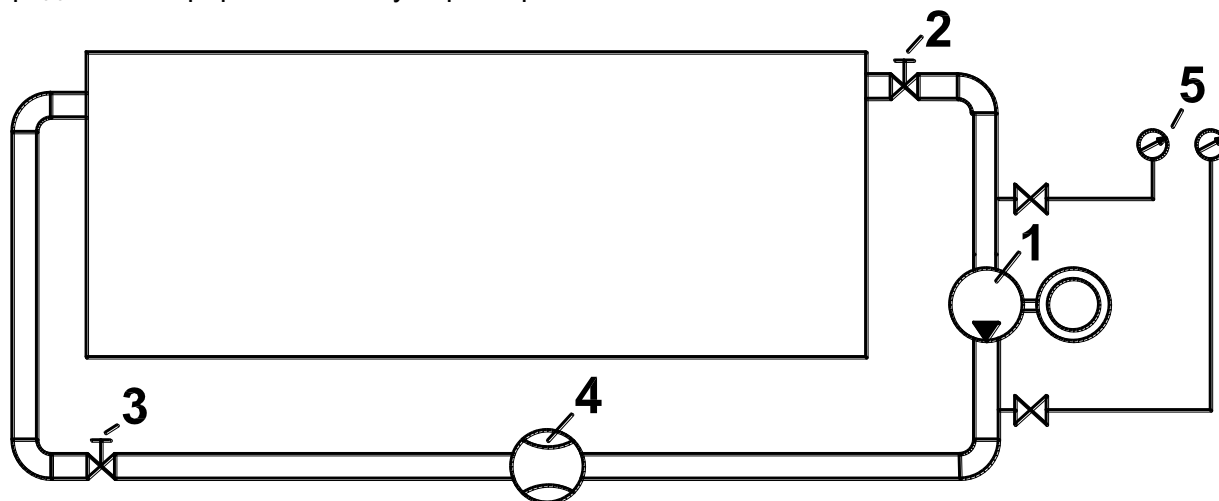
z – брой работни лопатки.

помпа 1		помпа 2	
Геометрични параметри на работно колело на помпа 1	$D_1=0,085m$ $D_2=0,148m$ $b_1=0,030m$ $b_2=0,020m$ $z=6$	Геометрични параметри на работно колело на помпа 2	$D_1=0,068m$ $D_2=0,159m$ $b_1=0,028m$ $b_2=0,020m$ $z=8$
			

Изпитанията се провеждат на два отделни стенда съответно:

За помпен режим

На Фиг. 2 е даден стендът, на който се провеждат изпитанията на моделите в помпен режим. Той се състои от: помпа (изпитван модел) - 1, спирателна и регулираща арматура - 2, 3. В състава на стенда влизат и следните технически средства за измерване на дебит – електромагнитен разходомер тип ABB MAG XM - 4, на налягане – образцови манометри - 5, на електрическа мощност - два ватметъра. Мощността на вала на електродвигателя се определя от тарировъчната му характеристика.

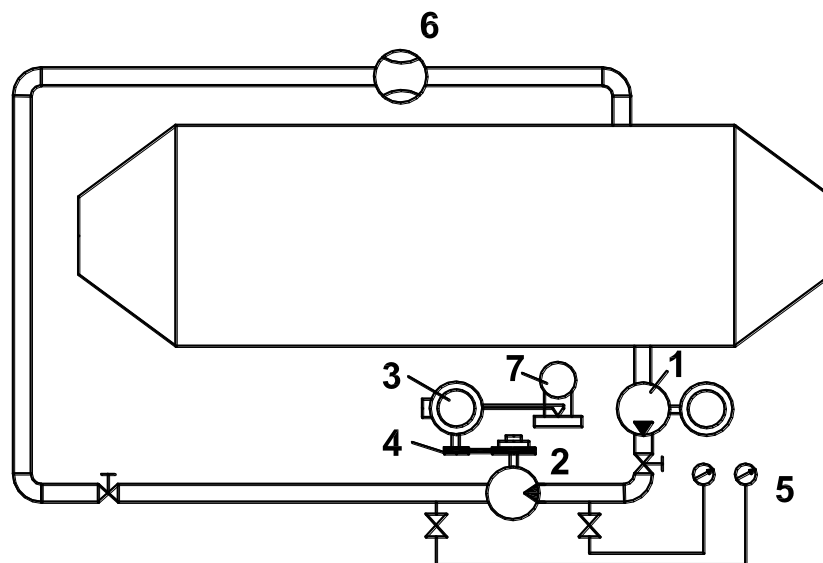


Фиг. 2 Схема на стенд за изпитване на центробежна помпа

За турбинен режим

Стендът (Фиг. 3) се състои от следните елементи: захранващ помпен агрегат – 1, помпа, работеща в турбинен режим - 2, генератор - 3, ремъчна предавка - 4, везна – 7.

Технически средства за измерване на: дебит – електромагнитен разходомер тип MAG FLOW 6000, DN 100 с обхват от 11 до 128 m³/h - 6, налягане – образцови манометри - 5, честота на въртене – с помощта на оптичен тахометър MASTECH тип M2234-A с обхват от 5 до 99999 оборота. Задаването на различни товари става чрез ел. товар с обща мощност 1kW и стъпално регулиране през 100W. Предварително са проведени изпитания за опитното определяне на коефициента на полезно действие на ремъчната предавка.



Фиг. 3 Схема на стенд за изпитване на центробежна помпа в турбинен режим

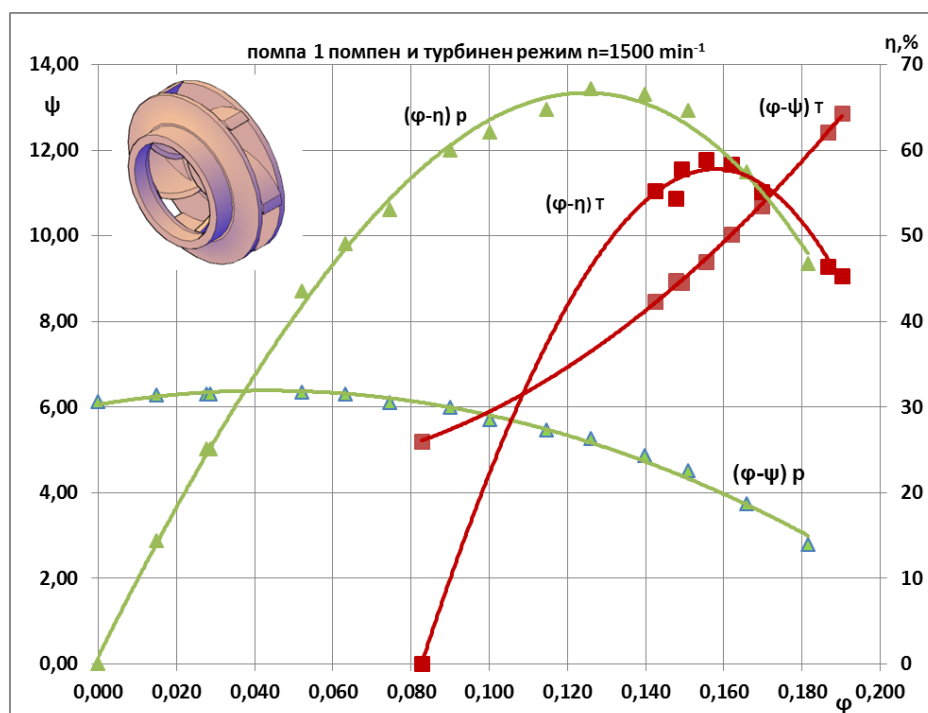
Методиката за извършване на изпитанията е съобразена с изискванията на БДС EN ISO 9906:2012. Техническите средства имат валидни калибрационни свидетелства за периода на провеждане на изпитанията.

На Фиг. 4 и 5 са показани получените характеристики на двете помпи в помпен и турбинен режим. Характеристиките са дадени за безразмерни коефициенти на дебита и напора (φ – коефициент на дебита и ψ – коефициент на напора).

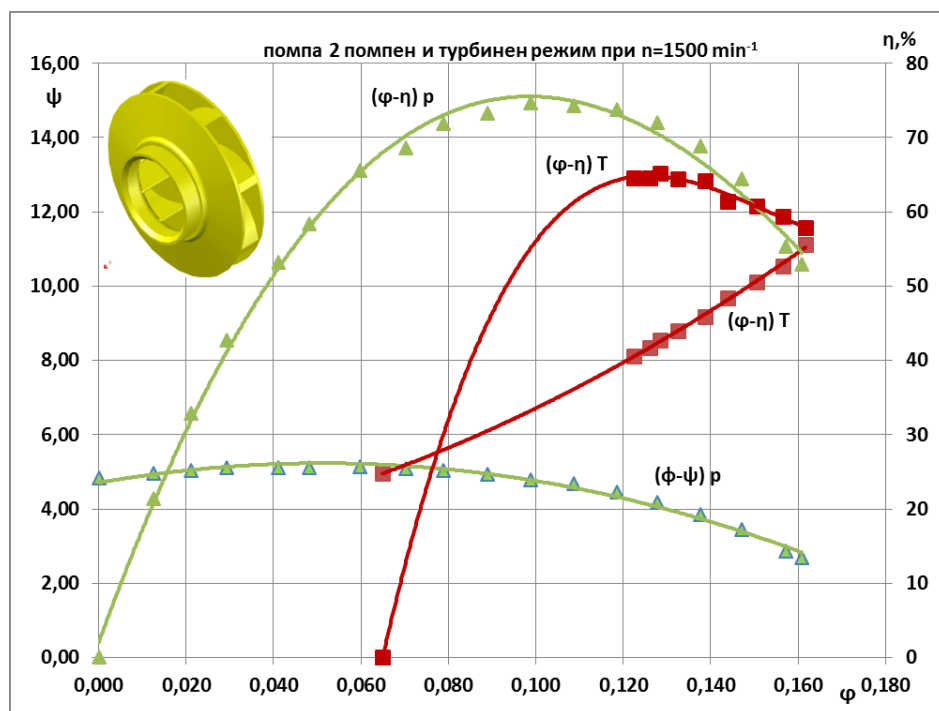
$$\varphi = \frac{Q}{nD_2^3} \text{ и } \psi = \frac{gH}{n^2 D_2^2}, \quad (2)$$

където:

g – земното ускорение, m/s^2 .



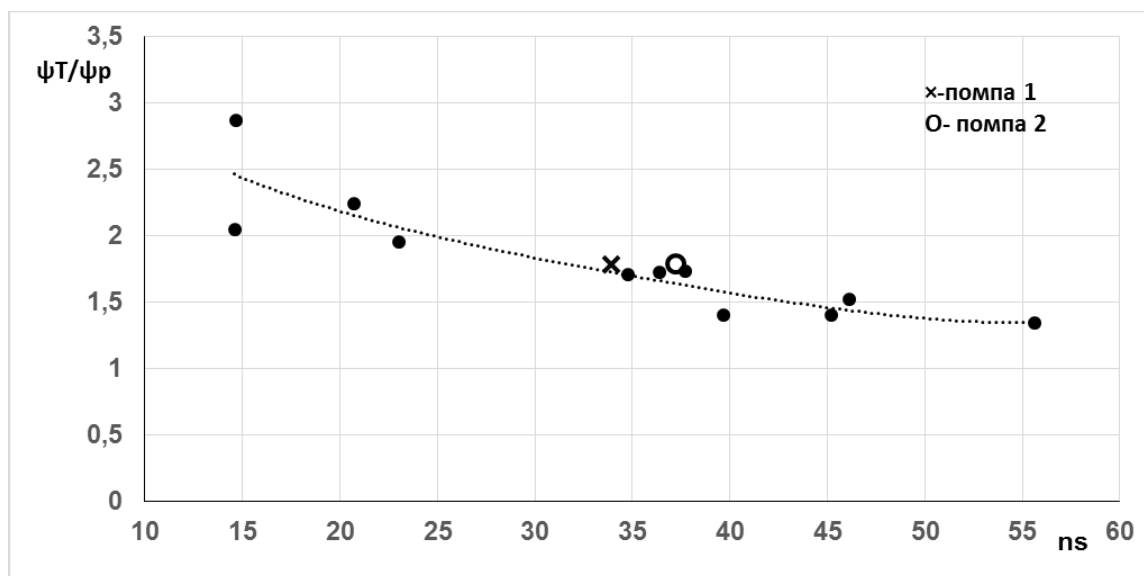
Фиг. 4 Характеристика на помпа 1 в помпен и турбинен режим



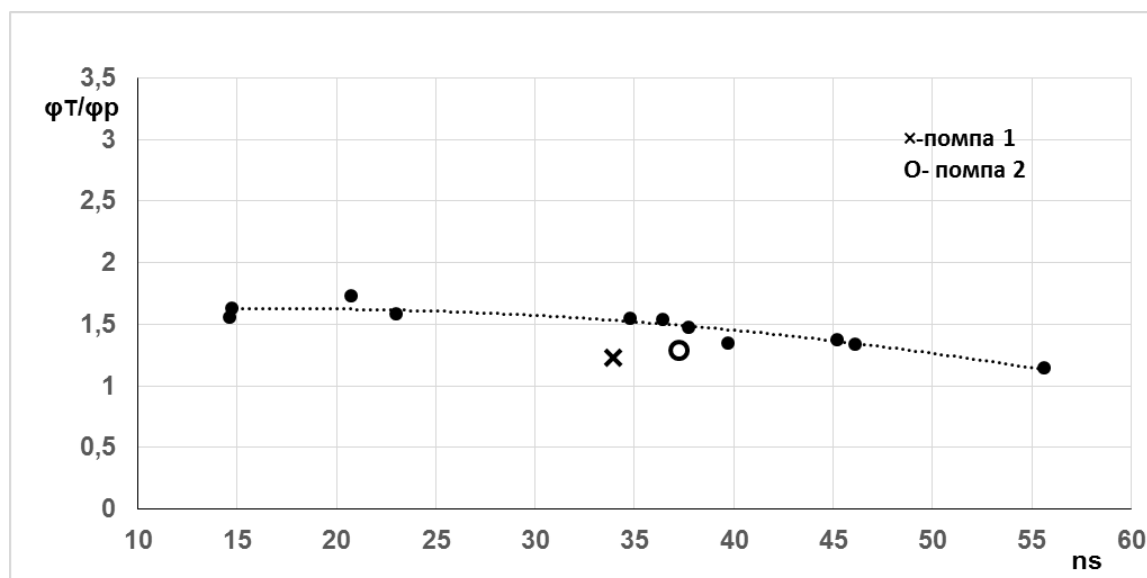
Фиг. 5 Характеристика на помпа 2 в помпен и турбинен режим

След обработка на получените резултати за двете помпи се получават следните отношения за оптималните режими на работа в турбинен и помпен режим. За помпа 1 специфична честота на въртене $ns=33,9$ и $\phi_T/\phi_p=1,23$ и $\psi_T/\psi_p=1,78$. За помпа 2 специфична честота на въртене $ns=37,2$ и отношения $\phi_T/\phi_p=1,29$ и $\psi_T/\psi_p=1,79$.

Резултатите от извършените изпитания се сравняват с дадените във въведението, като се построява графично отношението между специфичната честота на въртене и отделните отношения на дебита и напора в безразмерни коефициенти (Фиг. 6 и 7).



Фиг. 6 Характеристика на коефициентите на напора за различни специфични честоти



Фиг. 7 Характеристика на коефициентите на дебита за различни специфични честоти

От Фиг. 6 се вижда, че получените резултати за отношенията на напорите съвпадат с кривата, построена на база на множество експерименти на помпи с различни специфични честоти. При Фиг. 7 разминаването в резултатите се дължи на факта, че са използвани два различни расходомера за определяне на дебита в помпен и турбинен режим, но това разминаване е в допустимата граница от $\pm 5\%$.

Заклучение

Проведени са изпитания на две помпи с близки специфични честоти на въртене. Получените резултати за параметрите на помпите в турбинен и помпен режим се доближават до сравняваните модели. При провеждане на подобни изпитания трябва да бъде изпълнено условието те да се провеждат с едни и същи измервателни средства.

Литература

1. A. Williams, Pumps as turbines used with induction generations of stand-alone micro hydroelectric power plants, Ph.D.M.E. Thesis, Nottingham Polytechnic, 1992.
2. Manual for micro-hydropower development, Japan International Cooperation Agency (JICA), 2003.
3. S. Joshi, A. Gordon, L. Holloway, L. Chang, Selecting a high specific speed pump for low head hydro-electric power generation, in: Electrical and Computer Engineering Canadian Conference on, 2005, pp. 603–606.
4. S. Derakhshan, A. Nourbakhsh, Experimental study of characteristic curves of centrifugal pumps working as turbines in different specific speeds, Experimental Thermal and Fluid Science 32 (2008) 800–807.
5. P. Singh, Optimization of internal hydraulics and of system design for pumps as turbines with field implementation and evaluation, P.h.D.M.E. Thesis, Karlsruhe University, 2005.
6. БДС EN ISO 9906:2012 Ротодинамични помпи. Хидравлични функционални изпитвания за приемане. Нива 1, 2 и 3 (ISO 9906:2012).

гл. ас. д-р Александър Станилов, ТУ–София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, тел. 02 965 20 37, e-mail: astanilov@tu-sofia.bg

Стенд за изпитване на цилиндрични затвори

Цветан Цалов

В работата е представена конструкция на нов моделен цилиндричен затвор за стенда за изследване на затворни съоръжения в лаборатория ХЕХТ на ТУ-София. Описана е лабораторната уредба за неговото изследване. Показани са резултати от проведени изследвания за определяне на коефициента на дебита в зависимост от големината на отварянето на затвора.

Ключови думи: цилиндричен затвор, опитни изследвания, коефициент на дебита

Fixed Cone Valve Test Rig

Tsvetan Tsalov

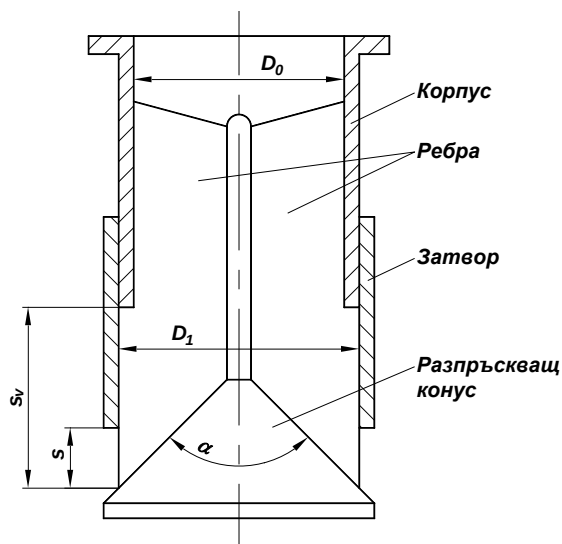
In this article is presented a new construction of a fixed cone valve (FCV), developed for the purpose of the test facility of gates at the HEHT laboratory in the Technical University of Sofia. It is presented as well the test rig and the experimentally obtained flow characteristics of the FCV. The results are presented in terms of FCV discharge coefficient as a function of the opening of the valve.

Keywords: fixed cone valve, experimental study, discharge coefficient

Въведение

Цилиндричният затвор се характеризира с проста и евтина конструкция [2]. Корпусът (Фиг. 1) представлява тръба, на изхода на която е закрепен разпръскващ конус. Ребрата, свързващи конуса и тръбата образуват еднакви по размер изпускателни отвори. По тялото на корпуса се плъзга втулка (затвор), с която може да се променя височината на тези отвори и по този начин да се регулират параметрите на течението през съоръжението. Принципът му на работа се различава от този на другите затворни съоръжения. На изхода му се формира дивергентна конусна куха аерирана струя, в която кинетичната енергия се разсейва [1]. В някои конструкции, за намаляването на разпръскването се използва ограничител на струята [7]. Благодарение на ососиметричното натоварване и отсъствието на аксиална хидравлична сила, регулиращото усилие е малко. Това го прави подходящ за регулиране на големи дебита, тъй като стойността на неговия коефициент на дебита е голям.

Цилиндричният затвор е много ефективно средство за гасене на енергия и аерация при високи налягания (до 30 bar [7]) и големи скорости, като позволява прецизно регулиране в целия диапазон на отваряния [5, 6]. Той се използва предимно при свободно изтичане, като може да работи в хоризонтално и вертикално положение [8], но понякога се монтира и с наклонена ос. Намира приложение като долен изпускател на



Фиг. 1 Схема на цилиндричен затвор

язовири, ограничител на налягане във ВЕЦ, напоителни системи, пречиствателни станции и др. [8].

Разработването на нов цилиндричен затвор е свързано с развитието на лаборатория ХЕХТ при Технически университет – София. Той е необходим за учебната и изследователската работа в лабораторията и ще замени модела от старата лаборатория, като ще даде възможност за разширяване на кръга от провежданите изследвания.

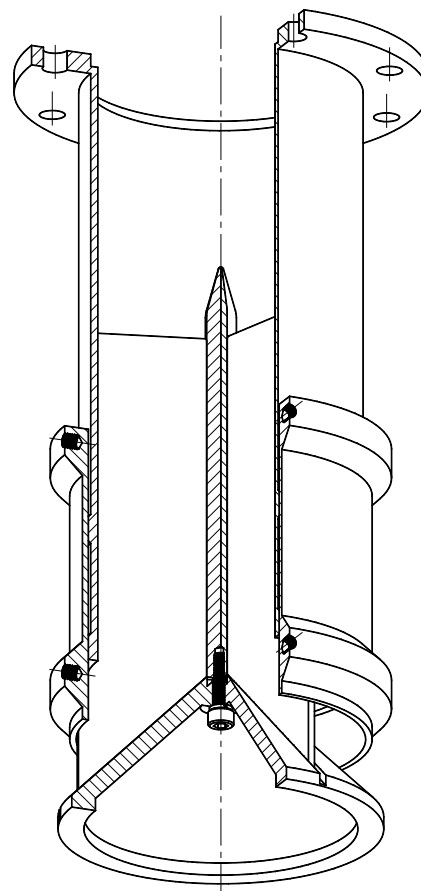
Моделен затвор

Моделният цилиндричен затвор е предназначен за изследване при работа с въздух, следвайки традициите в лабораторията [8]. По тази причина проектите му параметри са съобразени с възможностите на вентилатора от стенд № 6 в лаборатория ХЕХТ [3]. Условният диаметър на затвора е 100 mm, което позволява изследвания при скорости на изтичане до 40 m/s. Изпълнението е за вертикален монтаж, а присъединяването към тръбопровода е с фланец.

Един от основните параметри, влияещ върху характеристиките на цилиндричния затвор е ъгълът при върха на разпръскващия конус. За осигуряването на възможност за изследвания при различни ъгли, конструкцията на затвора е разработена със сменяем разпръскващ конус. На Фиг. 2 горе е показан разрез на затвора, а долу фотография на корпуса на затвора преди обработването на направляващите за затварящата втулка.

Корпусът на затвора е заварена конструкция. Той е изработен от стоманена тръба, вътре в която с три ребра е закрепено централно тяло, в края на което има отвор за фиксиране на разпръскващия конус. След изхода от тръбата ребрата се разширяват радиално. В тази част те са обработени съвместно с направляващата повърхнина за водене на затварящата втулка. По този начин те позволяват да бъде намалена нейната дължина и предотвратяват заклиняване при нейното движение. Входящите части на ребрата са профилирани за намаляване на хидравличните загуби.

Разпръскващият конус е изработен от алуминиева сплав. Той е кух, за да се улесни изработването на отвори за измерване при изследване на разпределението на налягането по работната му повърхност. По външната му повърхност са фрезовани канали, в които при сглобяване влизат ребрата на корпуса. Закрепването към корпуса става по оста с винт през централен отвор. Ъгълът при върха на конуса е $\alpha = 90^\circ$. Това е обикновено използвания ъгъл при цилиндрични затвори, тъй като при малки ъгли се получава вакуум при основата на конуса, а при много големи – разпръскването на струята е прекалено голямо [4].



Фиг. 2 Моделен цилиндричен затвор

Затворът (затварящата втулка) е изработен от стоманена тръба. В двата ѝ края са оформени пояси, в които са изработени по четири радиални отвора за свързване на задвижването и системата за управление.

При определянето на височината на отвора на изхода на корпуса s_v (Фиг. 1), водещите съображения са:

Осигуряване на възможност за отваряне s_m , гарантиращо, че площта на изходящото сечение ще е по-голяма от площта на входното.

Избягване влиянието на дебелината на корпуса върху структурата на течението в зоната на изхода [8] при големина на отварянето, по-малки от s_m .

Големината на отварянето s_m , зависи от геометрията на затвора и може да се определи по зависимостта:

$$s_m > \frac{\pi}{\sin \alpha} \sqrt{\left(D_1^2 - \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\pi} (D_0^2 - d^2) + \frac{2z\delta}{\pi^2} (D_0 - d) \cos \frac{\alpha}{2} \right)}, \quad (1)$$

където:

α – ъгъл при върха на разпръскващия конус;

$D_0 = 104$ mm – диаметър на входа;

$D_1 = 112$ mm – диаметър на затварящата втулка;

$d = 12$ mm – диаметър на централното тяло на корпуса;

$z = 3$ – брой на ребрата;

$\delta = 4$ mm – дебелина на ребрата.

Интерес за изследване представляват затвори с ъгъл на конуса от 70 до 120°. В този диапазон, изменението на стойностите на s_m , определени по уравн. (1), е показано в Табл. 1.

Таблица 1

Минимални стойности на отваряне s_m , при различни ъгли на разпръскващия конус

α , deg	70	80	90	100	110	120
s_m , mm	48.8	42.6	37.9	34.2	31.3	28.9

За големина на височината на отворите в изхода на корпуса е прието $s_v = 50$ mm. При тази големина, влиянието на дебелината на стената на корпуса ще оказва влияние при максимално отваряне само при разпръскващи конуси с ъгъл по-малък от 80°.

Коефициентът на стеснение на сечението в корпуса, предизвикано от ребрата и централното тяло е 0.922.

Задвижването на затвора е електромеханично. Осъществено е със сервомотор тип ЕОРКМО41/4А с мощност 40 W и възможност за ръчно позициониране. Максималната стойност на работния му ход е 45 mm. С цел максимално разширяване на обхвата на изследвания, на същата стойност е настроено и максималното отваряне на затвора – $s_{max} = 45$ mm. Скоростта на движение на регулиращия му елемент е много ниска, което наложи модифициране на трансмисията. Скоростта на движение след промяната е 0.75 mm/s.

Тъй като габаритите на задвижването са големи, монтирането върху корпуса на затвора е затруднено. По тази причина затворът, системата за задвижване и предпазните елементи са монтирани върху платформа. Затварящата втулка на затвора е свързана със системата за задвижване с елементи, позволяващи настройване на положението ѝ. На платформата е



Фиг. 3 Моделен затвор

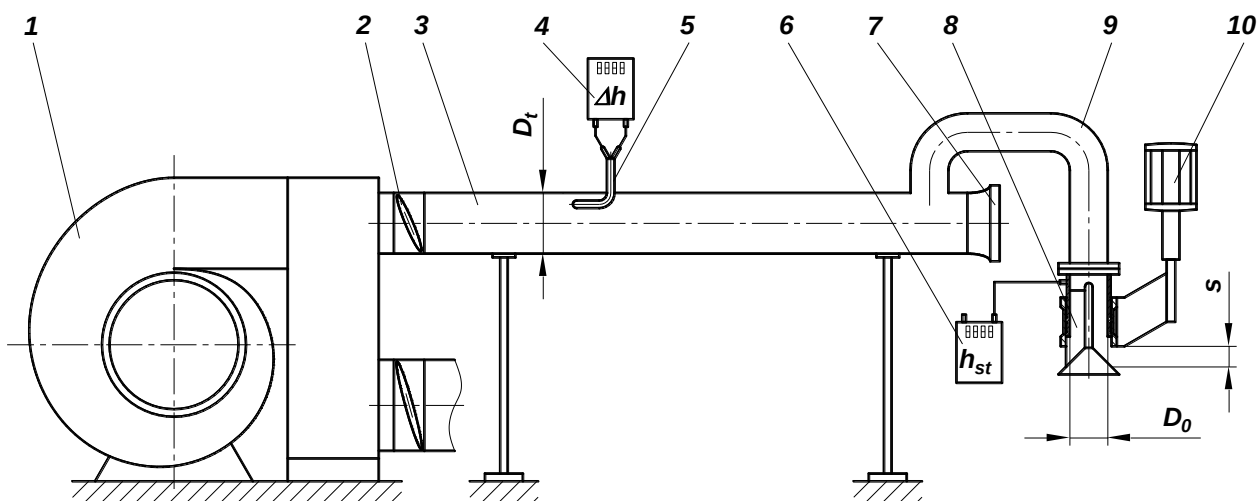
изведен и показалец на отварянето. На Фиг. 3 и Фиг. 4 са показани фотографии на моделния блок.

Опитна уредба

Схема на опитната уредба е показана на Фиг. 5. Моделният блок, състоящ се от затвора – поз. 8 и системата за задвижване и управление – поз. 10, е свързан в отклонението – поз. 9 към горната напорна тръба на стенд № 6 – поз. 3, чийто диаметър е $D_t = 190 \text{ mm}$ [3]. Параметрите на течението на входа на цилиндричния затвор се осигуряват от центробежния вентилатор, модел ВВН-8 – поз. 1. Тяхното регулиране може да се осъществи или чрез дроселиране с дисковия затвор – поз. 2 или чрез промяна на честотата на въртене на вентилатора. За нормално провеждане на изследването е необходимо края на напорния тръбопровод – поз. 3 да бъде херметично затворен с тапата – поз. 7.



Фиг. 4 Моделен блок



Фиг. 5 Схема на опитната уредба

Определянето на дебита през затвора се прави по метода скорост по площ, съгласно ISO 3966. За целта се използва скоростомерната тръба – поз. 5, поставена в напорния тръбопровод. Големината на динамичното налягане Δh , с което се определя средната скорост в тръбопровода се измерва с диференциалния микроманометър – поз. 4. Статичното налягане на входа на цилиндричния затвор h_{st} се измерва с микроманометъра – поз. 6. Големината на отварянето на затвора s се отчита от показалеца, монтиран към затварящата втулка.

Опитни изследвания

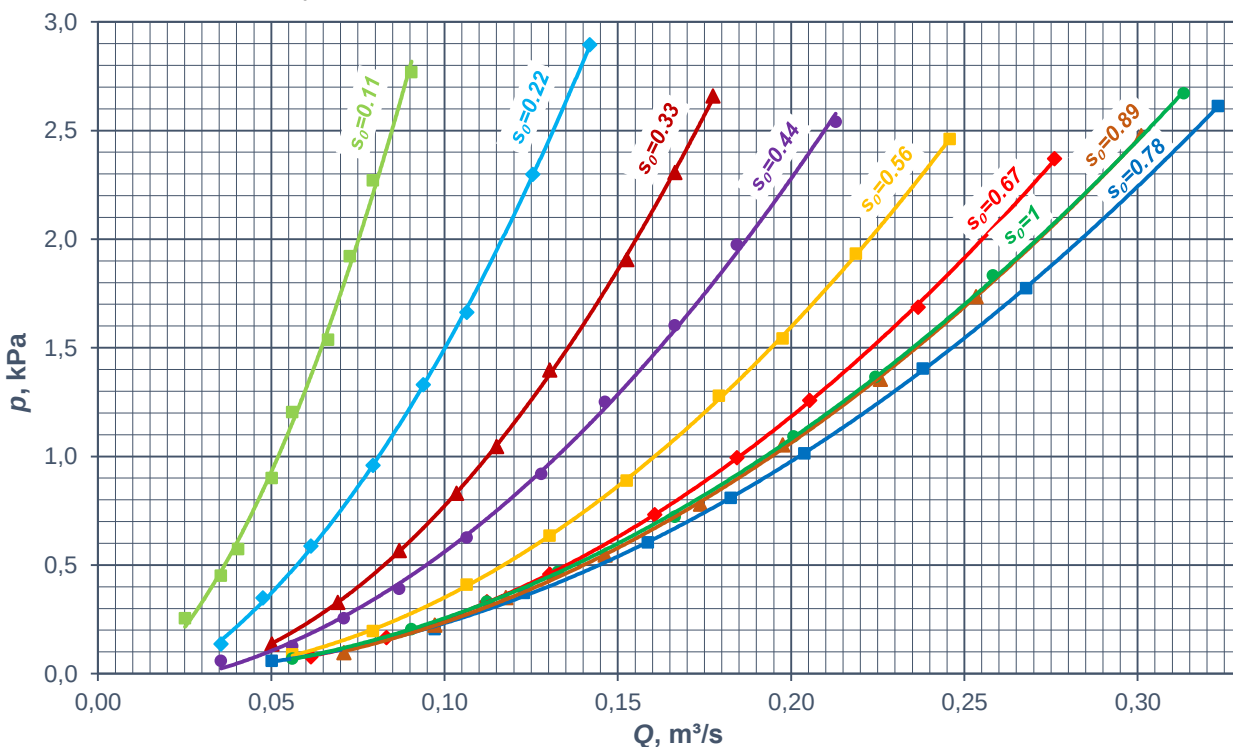
С цилиндричния затвор са проведени изследвания за определяне на характеристиките му. За множество от относителни отваряния $s_0 = s/s_{\max}$ се задават различни параметри на входа му. За всеки от тези режими се определят пада на налягане p и дебита Q през него. На Фиг. 6 са показани получените съпротивителни характеристики. От тях ясно се вижда, че съпротивлението на затвора намалява с увеличаването на относителното отваряне. То става най-малко при $s_0 = 0.78$, след което отново се увеличава. При най-големите изследвани отваряния $s_0 = 0.89$ и $s_0 = 1$ характеристиките съвпадат. Последното потвърждава правилността на избора на височината s_v на изхода на корпуса на затвора и максималната стойност на отварянето му $s_{\max}$.

За всеки режим се определя коефициентът на дебита μ_i , по зависимостта [8]:

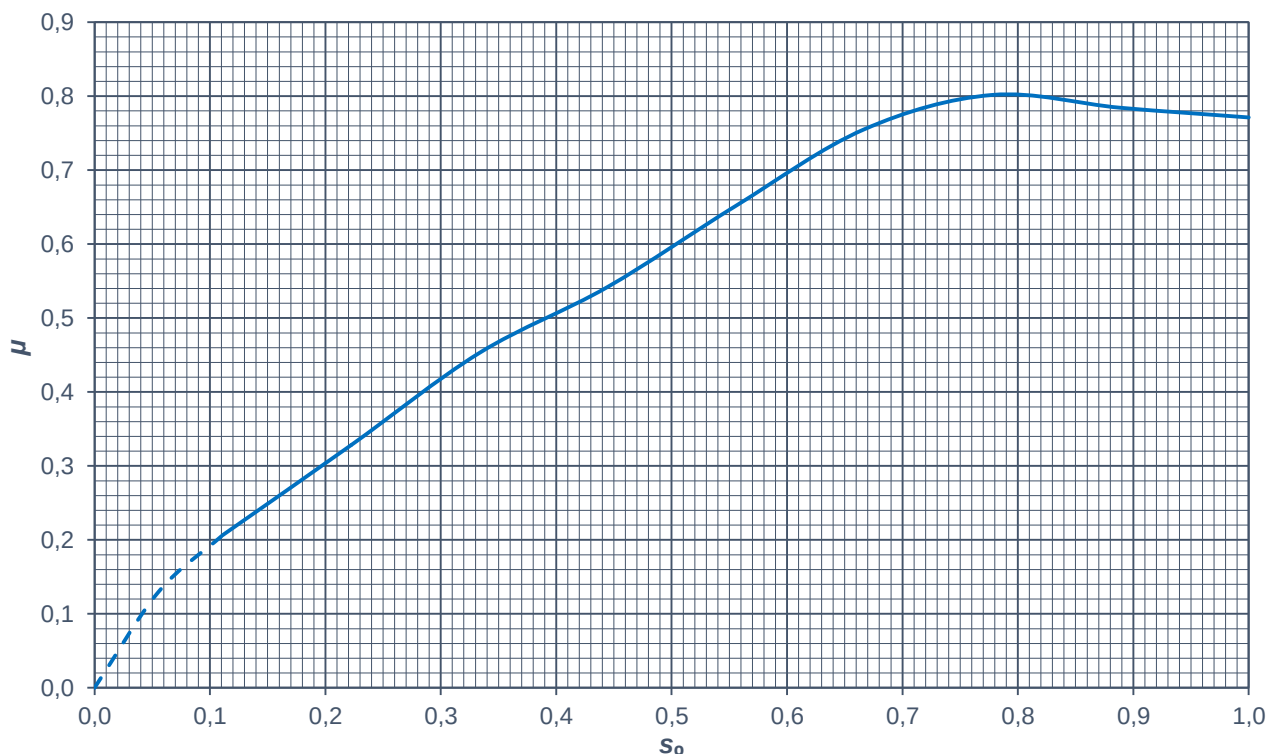
$$\mu_i = \frac{Q}{\frac{\pi D_0^2}{4} \sqrt{\frac{2p}{\rho\alpha}}} \quad , \quad (2)$$

където ρ_α е плътността на въздуха.

Получените резултати показват, че коефициентът на дебита не зависи от пада на налягане през затвора, а само от неговото отваряне. Това дава основание за коефициент на дебита през затвора за определено отваряне да се приеме средната стойност от получените за различните режими при това отваряне. На Фиг. 7 са показани получените резултати за изменението на коефициента на дебита μ в зависимост от относителното отваряне на затвора s_0 при свободно изтичане.



Фиг. 6 Съпротивителни характеристики на цилиндричния затвор



Фиг. 7 Коефициент на дебита при свободно изтичане

Заклучение

Резултатите от проведените изследвания дават основание да бъдат направени следните по-важни изводи:

1. Разработена е конструкция на моделен цилиндричен затвор, която позволява да бъдат монтирани разпръскващи конуси с различни ъгли.
2. Разработена е хидравлична схема на опитна уредба за изследване на цилиндрични затвори. Моделния блок позволява да бъдат провеждани широк кръг от изследвания.
3. Проведени са опитни изследвания за определяне на коефициента на дебита при свободно изтичане в атмосферата.
4. Максималната стойност на коефициента на дебита на изследвания затвор, с ъгъл на разпръскващия конус 90° , е $\mu = 0.8$. Тя е получена при относително отваряне на затвора $s_0 = 0.78$.
5. Изменението на коефициента на дебита в интервала на относителни отваряния от 0.1 до 0.75 е близко до линейно.

Литература

1. Linsley, R. and J. Franzini. Water-Resources Engineering. Third edition. New York: McGraw-Hill, 1979.
2. Mefford, B. Submerged Operation of the Fixed-Cone Valve. PAP 560. U.S. Bureau of Reclamation. 1989. https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/hydraulics_lab/pubs/PAP/PAP-560.pdf.
3. Obretenov, V. and T. Tsalov. The New Hydraulic Laboratory at the Technical University of Sofia. In: Proceedings of the IX Conference "Hydraulic machines, hydraulic drives and hydraulic and pneumatic automation. Current state and prospects for development". Saint Petersburg: 9-10 June. 2016, pp. 79–87. ISBN 978-5-7422-5346-4.
4. Pavlovskii, S. Pressure distribution on the surface of a cone valve. Hydrotechnical Construction. 1967, Vol. 1, No. 4, pp. 375–376.

5. Renna, F., A. Guerini, P. Zenocchini et al. Hydroelectric Plant Discharge Emergency System: Technical Issues and Experimental Results. In: 4th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures. 2012. ISBN 978-989-8509-01-7.
6. Vakili-Tahami, F., M. Zehsaz, M.-A. Saeimi-Sadigh et al. Failure Analysis of Howell-Bunger Valve Using Finite Element Method. Journal of Failure Analysis and Prevention. 2011, Vol. 11, No. 6, pp. 710–717.
7. Wei, W. L., B. Lv, Y. L. Liu et al. Investigation of Effects of Baffle Configuration on the Performance of a Fixed-Cone Valve by Gas-Liquid Two-Phase Model. Applied Mechanics and Materials. 2012, Vols. 166–169, pp. 1824–1829, ISSN 1662-7482. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.166-169.1824>.
8. Радулов, П. Хидромеханични съоръжения. София: Техника, 1979.

ас. д-р инж. Цветан Цалов, ТУ-София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, тел. 02 965 2315, e-mail: tsalov@tu-sofia.bg

Експериментално изследване на възможностите на програмата CFturbo да прогнозира параметри на осова помпа

Огнян Бекриев, Константин Константинов, Александър Станилов

Извършено е изследване на възможностите за анализ на работното колело на осова помпа с програмата CFturbo. Изследвана е осова помпа с обем разход на вода от 25 l/s, напор 2,5 m, при честота на въртене 3000 min^{-1} . Получените резултати показват, че програмата дава близки стойности само в оптималния режим на работа.

Ключови думи: осова помпа, CFturbo

Experimental study of CFturbo program to predict axis pump parameters

Ognyan Bekriev, Konstantin Konstantinov, Aleksandar Stanilov

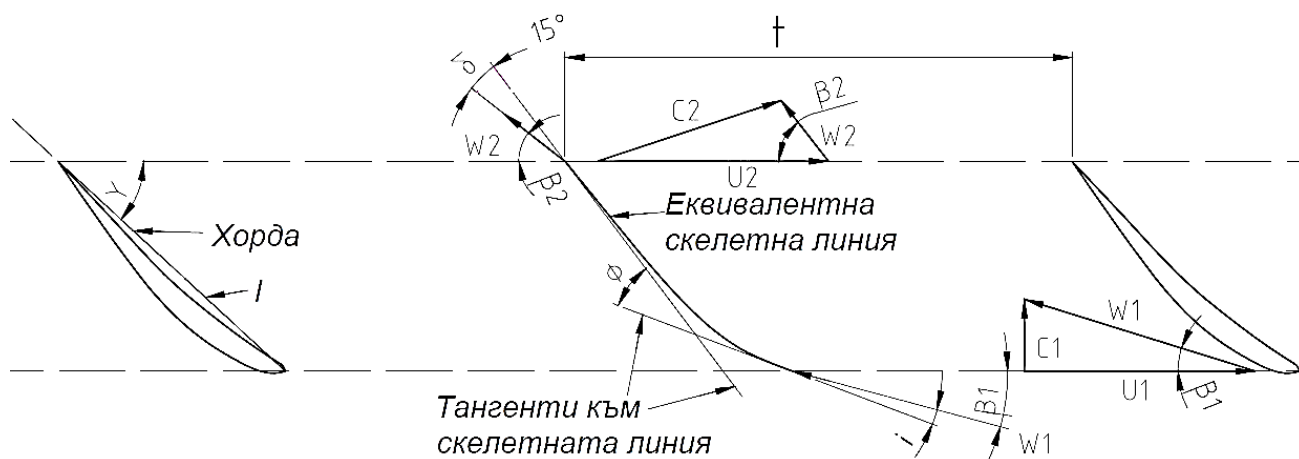
A study was carried out on the possibilities of analysis of the impeller axial pump with the CFturbo program. An axial pump with a volume of water flow of 25 l/s, a head of 2.5 m, at a rotational speed of 3000 rpm was investigated. The results obtained show that the program gives close values only in the optimal operating mode.

Keywords: axial pump, CFturbo

Увод

Програмата CFturbo чрез заложените в нея алгоритми на изчисление пресмята профлите на лопатката на работното колело на осова помпа по зададени дебит Q , напор H и честотата на въртене на колелото n . Програмата дава възможност за пресмятане по два алтернативни метода.

Първият метод е метода на моментите. При него могат да се използват профили NACA 4 или профили, зададени по определени точки. Трябва да бъде зададен и ъгълът на атака на профила. Този метод намира приложение само при вентилатори, с ниско налягане, т.е. такива с висока специфична честота на въртене n_s .



Фиг. 1 Основни означения на профила на лопатка на осова помпа

Вторият метод е метода на Либлейн. При него се използват само профили от серията NASA 65. Методът на Либлейн може да се използва както за помпи, така и за вентилатори. При него машините могат да бъдат с високо налягане, т.е. с ниска специфична честота на въртене n_s . Този метод е използван за изследване на геометричните размери и хидравличните параметри на моделната осова помпа.

На Фиг.1 са показани основните означения на профила на лопатка, които се използват от програмата. В Табл.1 са дадени използваните имена на показаните на Фиг. 1 означения.

Таблица 1

γ	Ъгъл на изтласкване
l/t	Дебелина (дължина/стъпка)
β	Ъгъл на преносното течение
β_B	Ъгъл на лопатката
u	Периферна скорост
w	Преносна скорост
i	Ъгъл на наклона на лопатката: $i = \beta_{1B} - \beta_1$
δ	Ъгъл на отклонение: $\delta = \beta_{2B} - \beta_2$

При използване метода на Либлейн трябва да се спазват следните три ограничения:

- максималната относителна дебелина d / l трябва да бъде по-малка от 0,1;
- числото на Рейнолдс трябва да бъде по-голямо от 2×10^5 ;
- дебелината на профила l / t трябва да бъде в границите от 0.4 до 2.0.

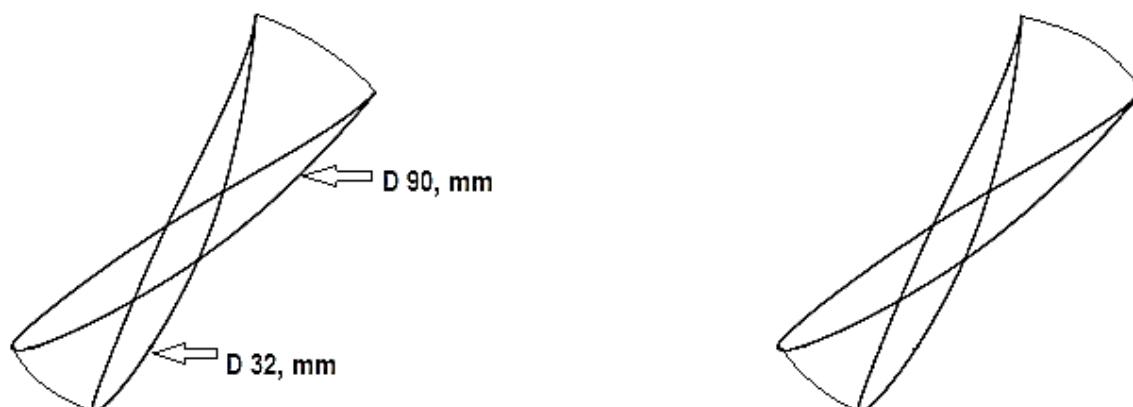
Методът на Либлейн въвежда два параметъра за конструкцията на профила:

- ъгъл на атака i ;
- ъгъл на отклонение δ ;

Основният подход е следният, като при определената дебелина се изчислява дължината на скелетната линия. С ъгъла на относителното течение β_1 и дебелината l/t се определя честотата. Същото се прави и по отношение на наклона на лопатката. Така ъглите на входа и изхода са известни. Ъглите на лопатката се прилагат към еквивалента кръгла скелетна линия с радиус на закръгление:

$$r = \frac{1}{2 \sin \frac{\beta_{B2} - \beta_{B1}}{2}} \quad (1)$$

В обобщение може да се каже, че това е метод основаващ се на използването на характеристики на профил NASA 65, като базов универсален модел и те биват променяни (ъгъл на атака, дебелина, ъгли на входа и изхода) в зависимост от необходимите параметри на работното колело. Това става като се правят корекции със съответен изчислен параметър на съответните стойности.



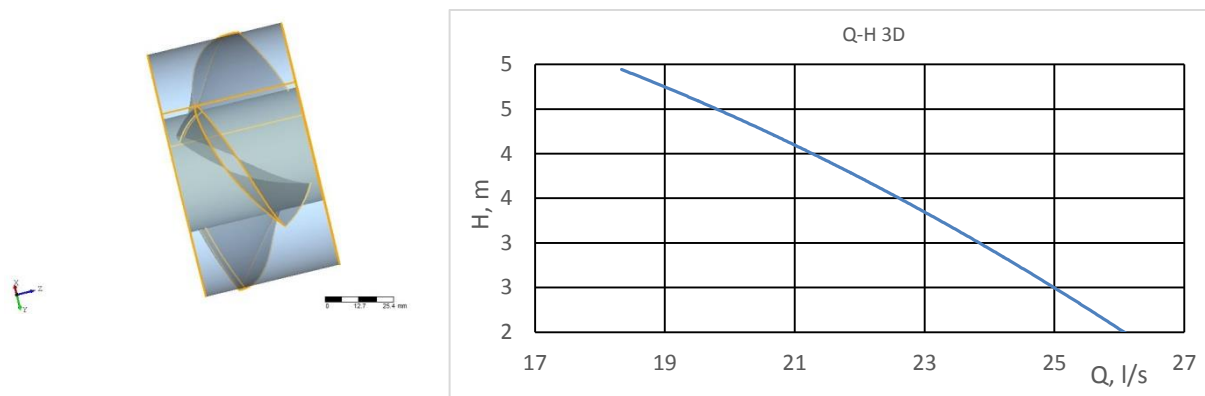
Фиг. 2 Профили на лопатката на работното колело на моделната осова помпа

Експериментално изследване

Параметрите на моделната осова помпа са обемен разход на вода $Q = 25 \text{ l/s}$, напор $H = 2,5 \text{ m}$ при честота на въртене $n = 3000 \text{ min}^{-1}$. Работното колело на моделната осова помпа е с три лопатки. Измерени са характерните геометрични размери и ъгли на профилите на лопатката за две характерни сечения, показани на Фиг. 2.

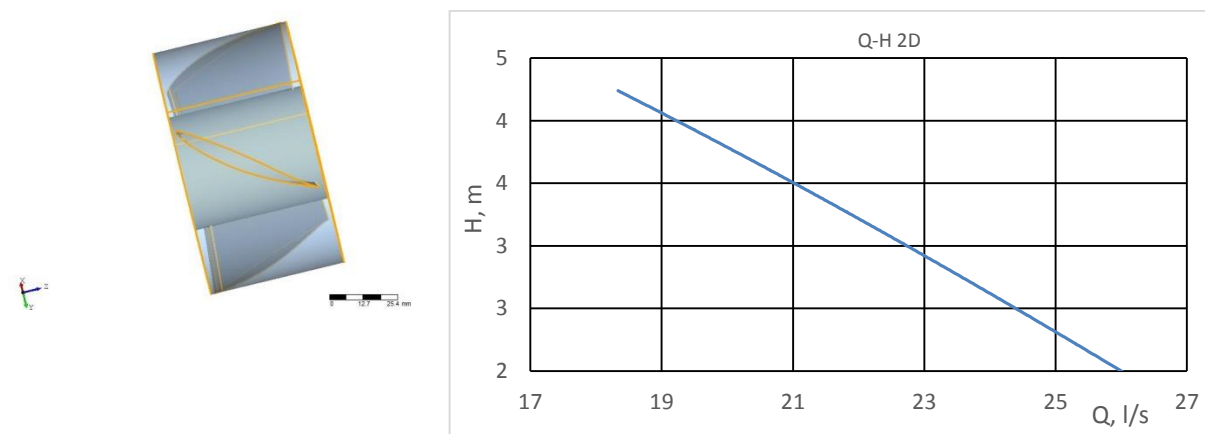
След определени процедури в програмата CFturbo са въведени параметрите на моделната осова помпа. Програмата дава възможност за две решения.

Първото решение е работно колело с 3D лопатка. Характеристиката $Q - H$, давана от програмата CFturbo за 3D лопатка е показана на Фиг. 3.



Фиг. 3 Характеристика на осова помпа с 3D лопатка

Второто решение е работно колело с 2D лопатка. Характеристиката $Q - H$, давана от програмата CFturbo за 2D лопатка е показана на Фиг. 4.

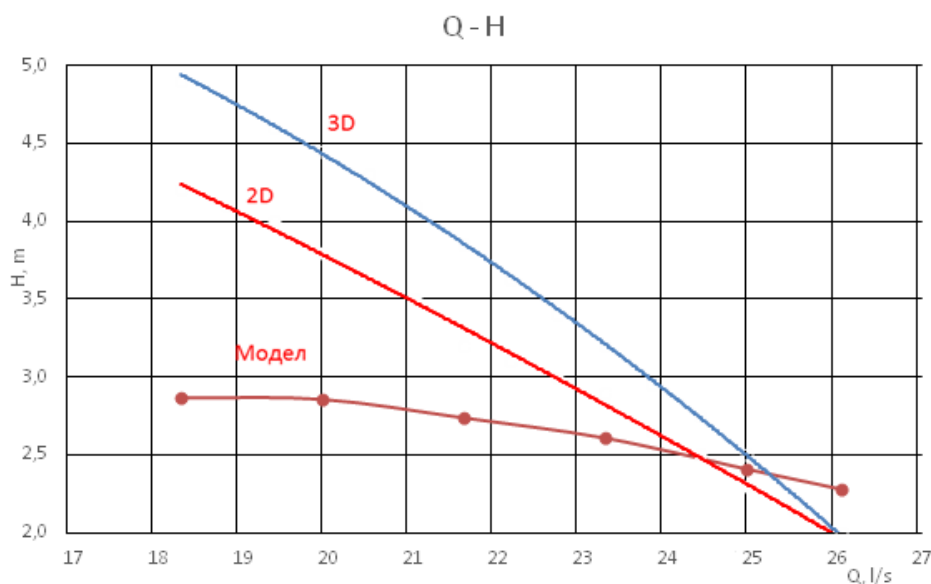


Фиг. 4 Характеристика на осова помпа с 2D лопатка

Моделната осова помпа бе изпитана на стенд за изпитване на осови помпи с размер DN100. Той отговаря изцяло на изискванията на БДС EN ISO 5198:2000 „Центробежни, диагонални и осови помпи. Правила за хидравлични функционални изпитвания. Прецизен клас (ISO 5198:1987)“.

Получените експериментални резултати са показани на Фиг. 5.

На Фиг. 5 са дадени за сравнение и характеристиките получени за 2D и 3D лопатка от програмата CFturbo.



Фиг. 5 Характеристика на моделна осова помпа

За сравнение в Табл. 2 са дадени геометричните размери, ъгли и скорости на трите варианта лопатки.

Таблица 2

Параметър	CFturbo (2D, 3D)	Модел
D, mm	90	90
$\beta_1, ^\circ$	15	27
$\beta_2, ^\circ$	30	52
u, m/s	14,1	14,1
c_m , m/s	5,5	4,3

Заклучение

От получените резултати на Фиг.5 се вижда, че програмата CFturbo дава задоволителен резултат при работа на помпата с разходи на вода около 25 l/s. Вижда се, че въпреки съществуващата разлика в ъглите на лопатката на трите варианта се получават близки резултати за напора и разхода на помпата. Съществена разлика има при разход от около 20 l/s. Тогава програмата CFturbo дава значително по-висок напор от създадения от моделната осова помпа.

Научните изследвания, резултатите от които са предоставени в настоящата публикация са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2016 г. с договор № 162ПД0019-02.

Литература

1. CFturbo 10. User manual for CFturbo 10 software. CFturbo Software & Engineering GmbH, 2015.

доц. д-р Огнян Бекриев, ТУ-София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, тел. 02 965 2567, e-mail: bekriev@tu-sofia.bg

маг. инж. Константин Константинов, докторант, ТУ-София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, тел. 02 965 2038, e-mail: k.k_nov@abv.bg

гл. ас. д-р Александър Станилов, ТУ-София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, тел. 02 965 2038, e-mail: astanilov@tu-sofia.bg

Моделиране в среда на Simulink на електрохидравличен управляващ модул за цифрово управление на хидравлични кормилни устройства

Александър Митов, Йордан Кралев, Илчо Ангелов

Въз основа на извършените в предходна работа [8] проучване, анализ и математично моделиране на конкретен тип електрохидравличен управляващ модул (PVE) служещ за цифрово управление на хидравлични кормилни устройства (ХКУ), в настоящата работа е представена реализацията на математичния модел в среда на Simulink. Извършена е оптимална настройка на вграден в модела цифров ПИД регулатор. Представени са резултати от реакцията на управляван от модула следящ хидравличен разпределител.

Ключови думи: електрохидравличен управляващ модул, Simulink, кормилни устройства

Modeling in Simulink environment of electrohydraulic control unit for digital control of hydraulic steering devices

Alexander Mitov, Jordan Krlev, Ilcho Angelov

Based on the research, analysis and mathematical modeling [8] of a particular type of electrohydraulic control module (PVE) for digital control of hydraulic steering unit (HSU), the present work presents the realization of the mathematical model in an environment of Simulink. An optimal tuning of a built-in digital PID regulator has been made. The results of the response of a module controlled by a hydraulic proportional spool valve are presented.

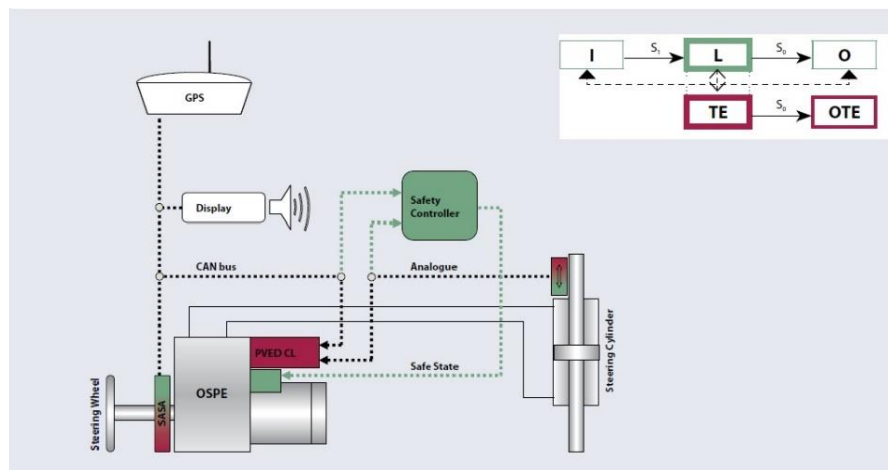
Keywords: electrohydraulic control unit, Simulink model, steering devices

Въведение

В съвременните мобилни машини нуждата от пропорционално електрическо управление на кормилната система е следствие на необходимостта от дистанционно управление, посредством GPS. Освен това осъществяването на механично управление с променливо предавателно отношение от волана към управляемата ос на машината е често търсена функция за подобряването на производителността и комфорта на водача [6]. В този аспект нараства и нуждата от разработване на електрохидравлични управляващи модули (ЕХУМ) за цифрово управление на ХКУ, намиращи приложение в кормилните системи за нискоскоростни мобилни машини.

Уместно е да се отбележи, че въвеждането ЕХУМ е целесъобразно, както при компоновката на новопроектирани, така и при автоматизацията на съществуващи мобилни машини. В първия случай ЕХУМ е вграден в електрохидравлично кормилно устройство (ЕХКУ), а при втория е реализиран като индиректно управление на самостоятелен електрохидравличен блок, свързан най-често към конвенционално ХКУ. Пример за това са ЕХКУ тип OSPE на Danfoss, които обединяват в себе си технологията OSP с хидростатично кормилно управление и технологията EH_i (Electrohydraulic Steering Valve) [3], която реализира пропорционално електрическо управление на изпълнителния хидравличен цилиндър за задвижване на управляемата ос на мобилни машини. Кормилната система се състои от ЕХКУ с вграден ЕХУМ тип PVE, контролер, SASA сензор, хидравличен цилиндър и вградена програмно в контролера система за управление. Входното въздействие при тези устройства се формира от електронен джойстик, GPS, програмно в контролера на машината (определен закон за движение) или от сензора тип SASA генериращ управляващ сигнал при

завъртенето на волана, респ. вала на ЕХКУ. Архитектурата на системата е показана на Фиг. 1, съгласувана с EU Machinery Directive 2006/42/EC [3] и стандарта ISO 13849-1.



Фиг. 1 Архитектура на кормилна система с ЕХКУ [7]

За случая на дистанционно управление посредством контролер, поведението на машината зависи силно от вграденият програмно регулатор. Качеството на управление за този случай, може да се подобри при извеждане на по-точен модел на обекта. Моделно-ориентираните подходи за проектиране на регулатори са в основата на съвременната теория на автоматичното управление на непрекъснати процеси. В последните години такива подходи се използват и в софтуерното инженерство при проектиране на изчислителни системи за обработка на сигнали в реално време.

Предназначението на математичните модели е да заместят присъствието на реалния обект, за да улеснят или ускорят опознаването му. Целта при моделирането е да се имитира динамиката на интересувашите ни показатели за качество като функция на управляемите величини. Основният компромис при моделирането е между точността и сложността на модела. В сложните модели по-трудно се откриват важните за управлението им математически свойства, а по-точните модели позволяват достигане до по-високи показатели за качество.

В предходна работа [8] е извършено проучване и анализ на съществуващи схемни решения на ЕХУМ за цифрово управление и е представен математичен модел на конкретен тип модул.

Основна цел на настоящата работа е да представи реализацията на математичния модел в среда на програмния продукт MATLAB/Simulink даваща възможност за изследване на поведението и характеристиките му в условия на числена симулация [2]. Извършен е синтез и настройка на включения в модела ПИД регулатор. Представени са симулационни динамични характеристики във вид на преходни процеси при управление на следящ хидравличен разпределител.

Структурно представяне на електрохидравличен управляващ модул

Разграничилият се нов тип електрохидравлични кормилни устройства (ЕХКУ) OSPE, дава възможност за управление на посоката на движение, респ. траекторията на мобилни машини чрез подаване на управляващи сигнали от електрически и дистанционен интерфейс – електронен джойстик, GPS и др.

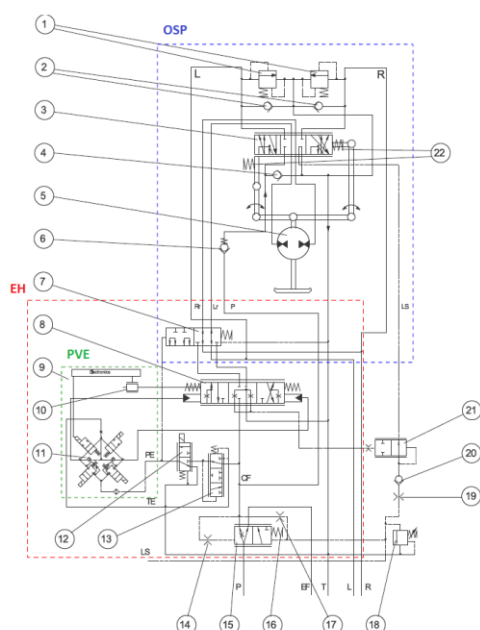
Този тип кормилни устройства е подходящ за превозни средства с управление на траекторията посредством преден мост. Концепцията на поведение на всяка разновидност на OSPE кормилното устройство се базира на RM-технологията на Sauer-Danfoss. Тя дава възможност, режимът на работа на електрохидравличното устройство да се избира с помощта на електрохидравличен клапан (EH Valve) [7]:

► Пътен режим - електрохидравличното управление (EH) е изключено, тогава ЕХКУ функционира като хидро-механично кормилно устройство с реакция (Reaction unit);

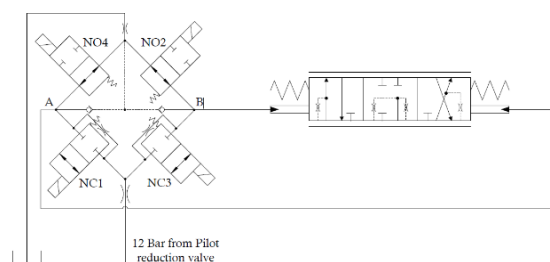
► Полеви режим - електрохидравличното управление (EH) е включено, тогава ЕХКУ функционира като кормилно управление без реакция (Non-reaction unit);

Непрекъснатото навлизане в страната на мобилни машини реализирани на база на такъв тип ЕХКУ доведе до нуждата от изучаването му, не само с практически, но и с изследователски интерес.

На Фиг. 2 е показана хидравлична схема на разглеждания тип кормилно устройство с вграден ЕХУМ. На Фиг. 3 е показана хидравличната схема на електропропорционалната част на ЕХКУ, състоящата се от четири двупътни двупозиционни (2/2) клапана, свързани в паралел и управляващи хидравлично плунжера на следящ разпределител, определящ посоката на движение на изпълнителния сервоцилиндър в цифров режим [5].

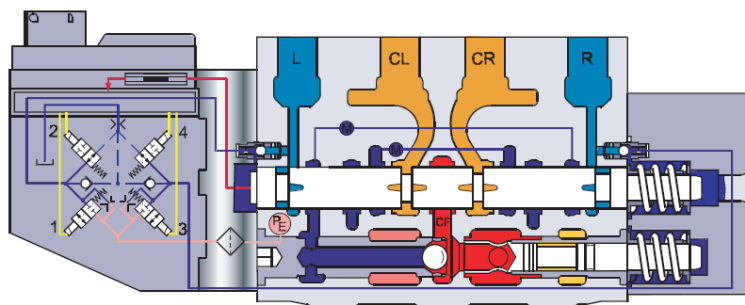


Фиг. 2 Хидравлична схема на ЕХКУ тип OSPE [7]



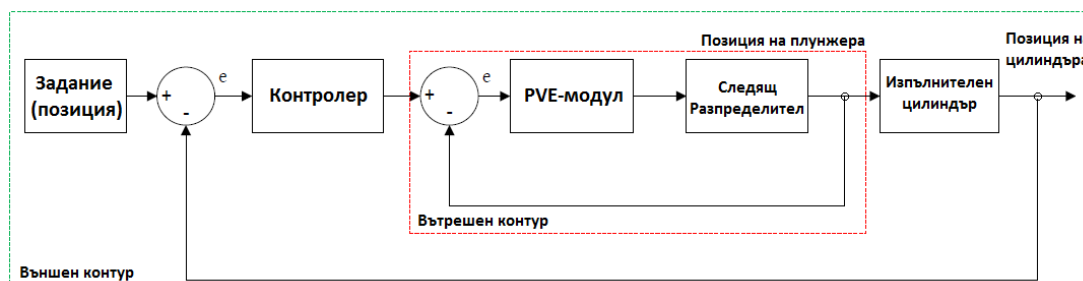
Фиг. 3 Хидравлична схема на управление на следящия разпределител в ЕХКУ

На Фиг. 4 е показано схемно-конструктивното изпълнение на електрохидравличен блок с цифрово управление. Показана е структурна схема (Фиг. 5) на затворената система за управление реализирана с вграден ЕХУМ. Тя се състои от два контура – вътрешен и външен. Вътрешният контур, реализиран от локална обратна връзка (по преместване на плунжера, чрез LVDT сензор), се състои от ЕХУМ тип PVE за цифрово управление на ЕХКУ и управляваният от него вграден следящ разпределител.



Фиг. 4 Принципно конструктивно изпълнение [7]

Външният контур, с глобалната обратна връзка, се състои от задание (формирано от напр. от електронен джойстик), програмируем контролер, ЕХКУ и изпълнителен сервоцилиндър. Изходният сигнал за системата е преместването (позицията) на цилиндъра.

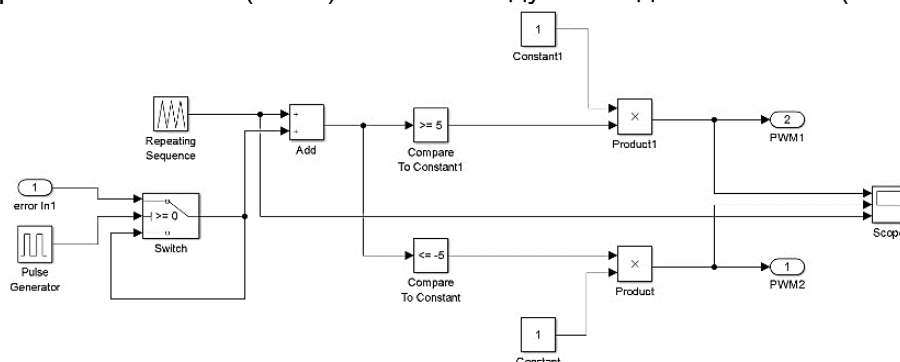


Фиг. 5 Структурна схема на затворената система за управление

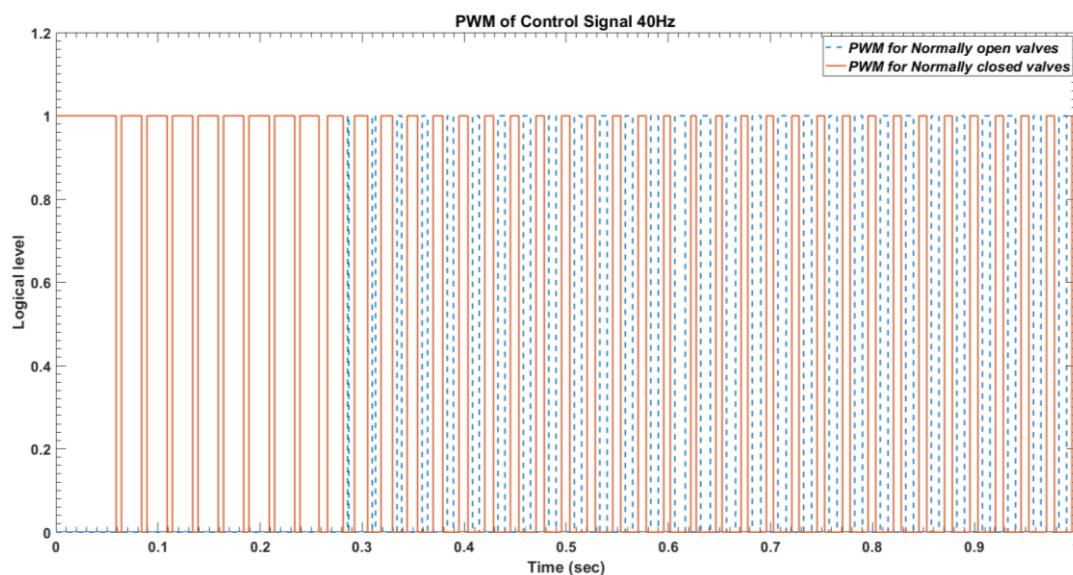
Моделиране в среда на SIMULINK на електрохидравличен управляващ модул

Математичния модел на ЕХУМ тип PVE е представен подробно в [5, 8] и е реализиран в средата на програмния продукт MATLAB/Simulink [2]. Модела дава възможност за синтез, както на конструктивните параметри, така и на параметри на системата за управление, в условия на числена симулация.

- Генератор на ШИМ сигнал (Фиг.7) към PVE-модула - модел в Simulink (Фиг. 6).



Фиг. 6 Модел на генератор на ШИМ сигнал в Simulink



Фиг. 7 ШИМ сигнал за управление на 2/2 клапаните

- Дебит предизвикан от свиваемостта на работната течност – модел в Simulink (Фиг.8):

$$\frac{dp}{dt} \frac{V}{K} + \frac{dV}{dt} = q_{in} - q_{out}, \quad m^3/s, \quad (1)$$

$$\frac{dp}{dt} \frac{V}{K} + \dot{V} = q_{in} - q_{out}, \quad m^3/s, \quad (2)$$

където:

V – обем на система, m^3 ; K – модул на обемна еластичност, Pa

$\dot{V}$ – дебит предизвикан от свиваемостта, m^3/s ;

q_{in}, q_{out} – дебит на входа и на изхода на 2/2 клапаните.

- Уравнение на непрекъснатост за двупътните двупозиционни клапани (NO-NC) клапани - модел в Simulink (Фиг.9):

$$q_{NO,NC} = \mu S_v \sqrt{\frac{2}{\rho}} (p_1 - p_2), \quad m^3/s, \quad (3)$$

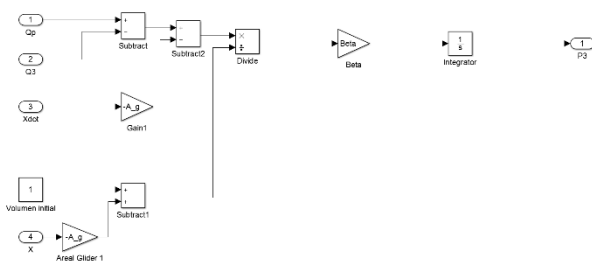
където:

$q_{NO,NC}$ – дебит през 2/2 клапаните; μ – коефициент на дебита;

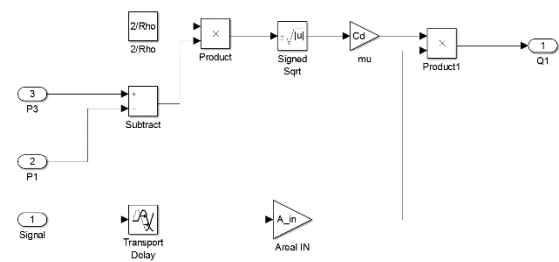
ρ – плътност на работната течност, kg/m^3 ; p_1, p_2 – налягане в т.1 и т.2, Pa .

- Пад на налягане в двупътните двупозиционни клапани (NO-NC) клапани.

$$\Delta p = \frac{K}{V} \int (q_{in} - q_{out} - \dot{V}) dt + p_i, \quad Pa. \quad (4)$$



Фиг. 8 Дебит през 2/2 клапани



Фиг. 9 Пад на налягане в 2/2 клапани

- Равновесие на силите действащи върху плунжера на следящия разпределител– модел в Simulink (Фиг.10):

$$\sum_{i=1}^n F_i = m_{sp} \cdot \ddot{x}, \quad N, \quad (5)$$

$$F_{pr} - F_{spr} - F_{fl} \pm F_{fr} = m \cdot \ddot{x}, \quad N, \quad (6)$$

$$F_{pr} = p_a \cdot A_A - p_B \cdot A_B \mp F_{fr}, \quad N, \quad (7)$$

където:

m_{sp} – маса на плунжера, kg ; $\ddot{x}$ – ускорение на плунжера, m/s^2 ;

F_{pr} – силата от налягане, действаща от двете страни на плунжера, N ;

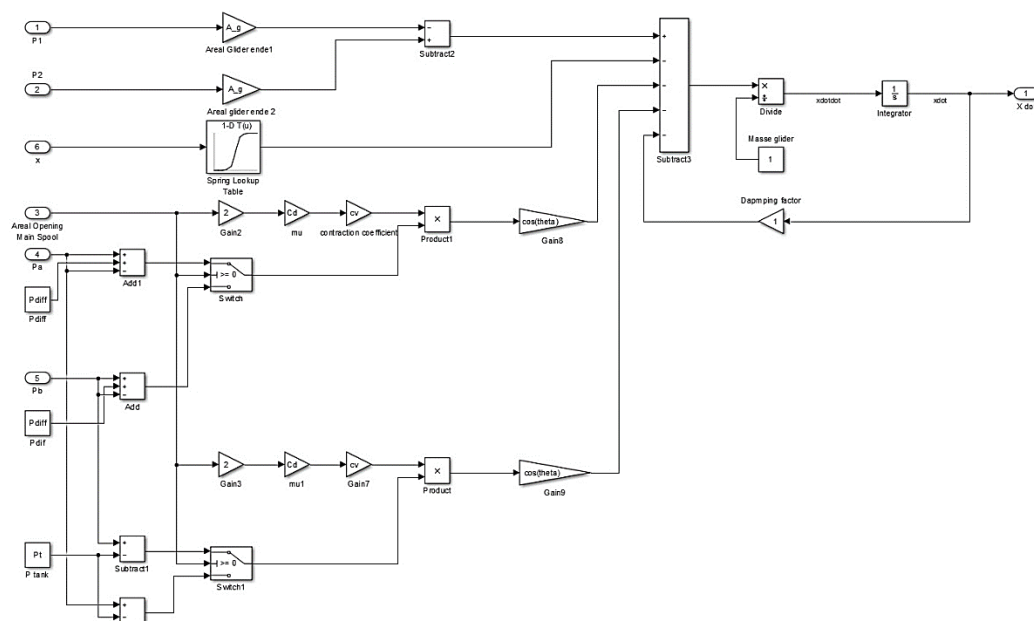
F_{spr} – силата на пружината, N ; F_{fr} – сила от триене, N ;

F_{fl} – хидродинамична сила, N ; p_a, p_B – налягане в зони А и В, Pa ;

$A_A = A_B = A$ – площ от двете страни на плунжера, m^2 .

- Пружинна сила действаща върху плунжера на следящия разпределител:

$$F_{spr} = -c \cdot x_{sp} + F_{of}, \quad N, \quad (8)$$



Фиг. 10 Баланс на силите действащи върху плунжера на следящ на разпределител в Simulink

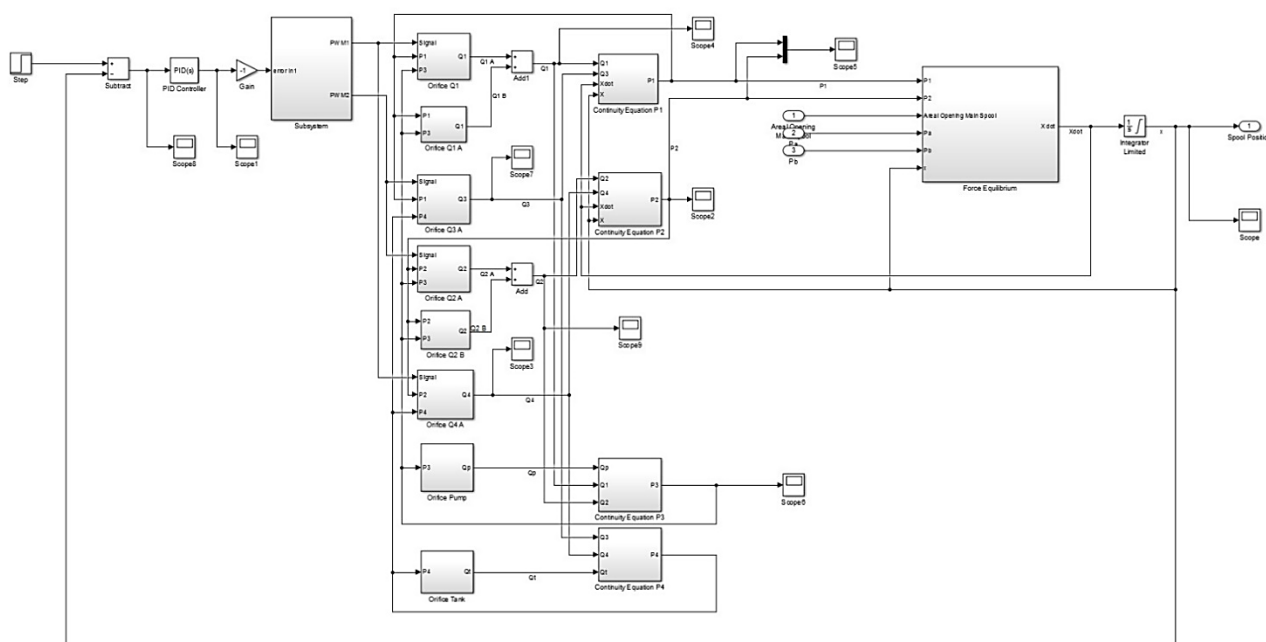
- Хидродинамична сила в установен режим:

$$F_f = 2\mu K_c S \Delta p \cos\theta, N. \quad (9)$$

- Движение на плунжера на следящия разпределител - модел в Simulink (Фиг. 11):

$$F_{res}(t) = m_{sp} \cdot \ddot{x}(t), \quad N, \quad (10)$$

$$x(t) = \iint \frac{F_{res}(t)}{m_{sp}} + \dot{x}(0)dt + x(0)dt. \quad (11)$$



Фиг. 11 Основен Simulink модел на EXUM

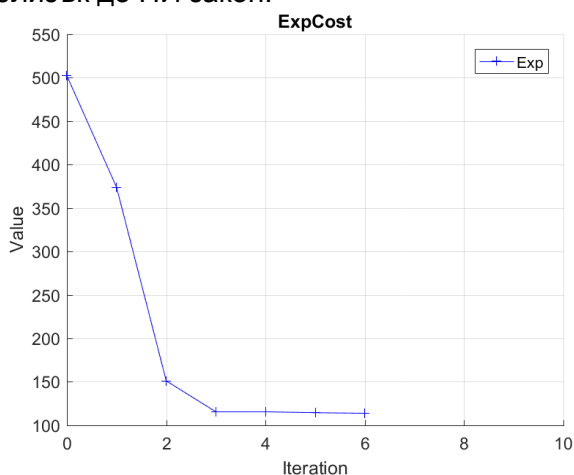
Настройка на вграден регулатор за електрохидравличен управляващ модул

Функцията на регулатора е да осигури достигане и поддържане на зададен ход на плунжера на следящия разпределител (Фиг. 4). По този начин електрохидравличният управляващ модул предава информацията за положението на плунжера от електрическата към хидравличната сигнална област. Отворената система за управление е едномерна. Входният сигнал е заданието за запълване на импулсите към генератора на ШИМ сигналите (Фиг. 6), които управляват електромагнитните 2/2 клапани. Изходният сигнал е преместването на плунжера, измерено в милиметри. Динамиката на системата за управление е близка до линейната. Това позволява да се използва линеен регулатор от класа на ПИД законите [1]. Описанието на регулатора в честотната област има вида:

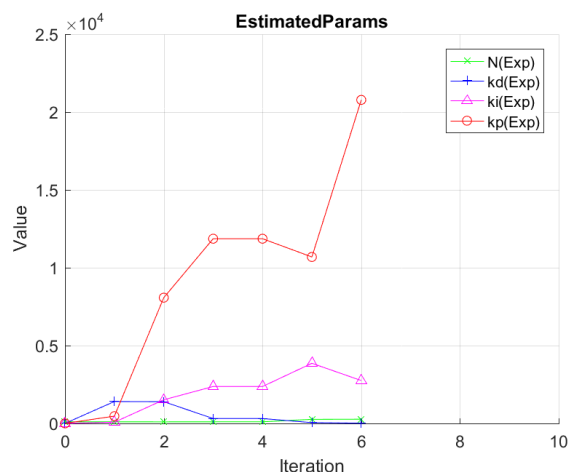
$$u(s) = \left(k_p + \frac{k_i}{s} + \frac{k_d s}{N s + 1} \right) (r(s) - y(s)). \quad (12)$$

Увеличаването на пропорционалната съставка увеличава амплитудата на управляващото въздействие и е свързано с подобряване на бързодействието и точността на системата. Интегралната съставка осигурява добро потискане на нискочестотни смущения и точност в установен режим. Диференциалната съставка води до увеличаване на честотата на управляващия сигнал, което в някои случаи намалява скоростта на отклонение от заданието в установен режим. За разглежданата система ПИД регулатора е настроен с оптимизационна процедура по метода на най-малките квадрати [4]. Целевата функция е сума от квадратите на грешката от регулиране.

Оптимизационната процедура достига локален минимум за 6 итерации. Целевата функция (Фиг. 12) намалява от стойност 500 до около 100. Началните условия за параметрите са (1,1,1,100). В резултат от оптимизацията се наблюдава многократно увеличаване на коефициента на пропорционалност и коефициента на интегриране (Фиг. 13). Диференциалната съставка остава близка до 0. Следователно полученият регулатор е близък до ПИ закон.

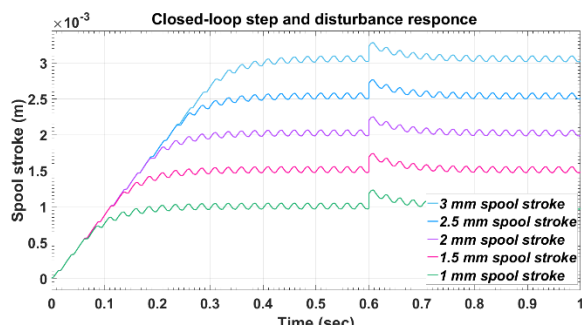


Фиг. 12 Целева функция

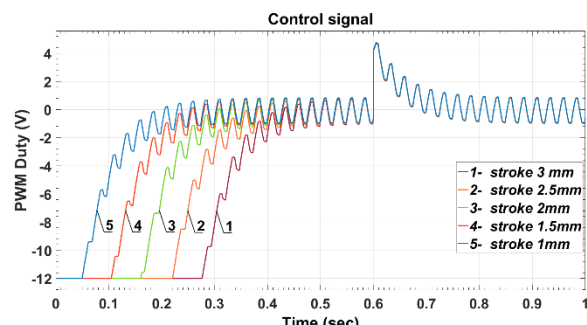


Фиг. 13 Настройка на параметрите - ПИД

Фиг. 14 показва реакцията на затворената система с оптимално настроен ПИД регулатор на стъпаловиден сигнал и смущаващо въздействие при различно ниво на задание за преместване. Времето за регулиране е между 200 и 300 ms. Преходните процеси имат апериодичен характер. Наблюдават се високочестотни колебания с малка амплитуда ($\pm 3\%$ от установената стойност) предизвикани от ключовия режим на работа на вътрешните 2/2 клапани. Фиг. 15 показва съответните управляващи сигнали. Вижда се, че до достигане на заданието към отворената система регулатора подава максимално управляващо въздействие, което е необходимо условие за максимално бързодействие на затворената система.



Фиг. 14 Модел на генератор на ШИМ сигнал в Simulink



Фиг. 15 Модел на генератор на ШИМ сигнал в Simulink

Заклучение

Настоящата работа представя симулационен модел в среда на Simulink на електрохидравличен управляващ модул, който преобразува електрически сигнал в хидравличен и реализира цифрово управление на хидравлични кормилни устройства. Модела дава възможност за синтез, както на конструктивните параметри, така и на параметрите на системата за управление и вградените в нея регулатори.

Извършена е настройка на вграден ПИД регулатор с оптимизационен метод. Постигнатото качество на затворената система с регулатор е допустимо и позволява неговата практическа реализация.

Изследванията в настоящата работа са в изпълнение на договор № ДМ07/7 финансиран от Фонд "Научни изследвания".

Литература

1. Åström, K., T. Hagglund. PID Controllers: Theory, Design and Tuning, Second Edition, ISBN 1-55617-516-7, USA, 1995.
2. Bertelsen, D., C. Jeppesen, et. al. Modelling and control of OSPE valve, Aalborg University, Autumn, 2010.
3. Danfoss Inc. Steering. EHi Steering valve, Technical Information, BC00000379en-US0201, Apr. 2017.
4. Gill, P., W. Murray and M. Wright. Practical Optimization, Academic Press, London, 1981.
5. Mitov, Al., J.Krlev, Il.Angelov. Investigation of Static Characteristics of Digitally-Controlled Electrohydraulic Steering System, Journal of Food Packaging Science, Technique and Technologies, ISSN 1314-7773, 2016.
6. Pfeffer, P., M. Harrer. Lenkungshandbuch. Lenksysteme, Lenkgefühl, Fahrdynamik von Kraftfahrzeugen, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden, 2011.
7. Sauer-Danfoss Inc.: OSPE Steering Valve SASA Sensor, Technical Information, 11068682, Sep 2012.
8. Митов, Ал., Й. Крлев, Ил. Ангелов. Проучване и анализ на съществуващи схемни решения на електрохидравличен управляващ модул за цифрово управление на хидравлични кормилни устройства, НК Сливен` 2017, Сливен, 2017.

ас. д-р Александър Митов, ТУ-София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, тел. 0886 208 937, е-mail: alexander.mitov@mail.bg

гл. ас. д-р Йордан Крлев, ТУ-София, катедра „Системи и управление“, тел. 0882 093 195, е-mail: jkralev@yahoo.com

проф. д-р Илчо Ангелов, ТУ-София, катедра „Хидроаеродинамика и хидравлични машини“, 0887 857 820, е-mail: ilangel@tu-sofia.bg

Получаване на влакнести композиционни материали чрез трансфер на полимерно свързващо вещество

Сашо Александров, Краса Костова, Петя Генчева

Извършени са изследвания за определяне на оптималните технологични параметри, температура, налягане, време в процеса на трансферирането на полимерни свързващи вещества върху арамидни тъкани.

Ключови думи: текстил, арамидни влакна, полимерни свързващи вещества

Preparation of fiber composite materials by transfer of a polymeric sliding substance

Sasho Aleksandrov, Krassa Kostova, Petia Gencheva

Studies have been conducted to determine the optimal technological parameters, temperature, pressure, time of transfer of polymeric binders on aramid fibers.

Keywords: textile, aramid fibers, polymer binders

Въведение

Изработването на полимерни композиционни изделия за различни цели обикновено се извършва с използването на препрег материали, това са предварително импрегнирани тъкани със свързващо вещество(смола) или предварително ламинирани тъкани с филм(фолио) на свързващото вещество [1, 2].

Получаването на такива препрег материали се извършва на поточни линии, където свързващото вещество се нанася върху тъканта по различни начини: от фолио, чрез прехвърляне (трансфериране) от носеща подложка, от разтвор или от стопилка на полимерния свързвател [3].

Широко се използва технологията с използването на носеща подложка [4] тъй като дава възможност за по-точно и равномерно дозиране на свързващото вещество. Първоначално свързващото вещество, смолата, се нанася върху носещата подложка и след подсушаване, веднага се трансферира, прехвърля, върху основната тъкан. Като носеща подложка се използва силиконизирана хартия, едностранна или двустранна, с площна маса 100-150 гр/м². Подложката не дава да се слепват отделните слоеве при навиването на препрег материалите и така могат да се съхраняват и транспортират. Същевременно има възможност за директно трансфериране върху арамидната тъкан на същата технологична линия. Здравината на хартията трябва да позволява на материала да не се свива, деформира или да се къса при преминаването на линията. Освен това от значение е и адхезионната способност на подложката. Тя трябва да позволява лесно отделяне на смолата от нея и прехвърлянето върху тъканта при различни скорости и температури, но същевременно да не се отделя при преминаването през машината до трансферирането. След преминаването през зоната на трансфера хартията се навива на отделен вал, а свързващото вещество, прилепено към тъканта, вече готов препрег, се навива на водещия вал, като се използва отново силиконизирана хартия откъм страната на смолата за да се предотврати прилепването. На Фиг. 1 е показана схема на непрекъсната линия за получаването на препрег материали.

Механизмът на прехвърляне на смолата върху тъканта, зависи от прилепването ѝ към хартията, от твърдостта на смолата, от температурата на притискащия вал, от скоростта, от вискозитета на смолата, от силата на притискане и опън на водещия вал. Освен тези основни параметри на работа определящи свойствата на препрега от значение са и физико-механичните свойства на образувания филм от свързващото вещество върху и между влакнестото пространство на тъканта. За тази цел са проведени изследвания за определяне на оптималното количество смола, температурата на трансфера, здравината на адхезионното покритие (филма).



Фиг. 1 Схема на трансфериране на свързващо вещество върху тъкан

Експериментална част

Изследването на прехвърлянето на смолата от хартията върху арамидната тъкан за получаването на препрег се извършва по следния начин: Количество смола се нанася върху хартията и се остава да изсъхне на въздуха при нормални условия. Използван е разтвор на модифициран поливинилбутирал (PVB) в елиов алкохол. Прехвърлянето върху материала се извършва на текстилната преса при еднакви условия за налягане и време, променя се само температурата, Табл. 1.

При проведените изпитвания се установи, че смолата се прехвърля много добре още при 90°, като повишаването на температурата води до изменения на вискозитета на смолата, повишаване на течливостта и проникването на поливинилбутирал в тъканта, но се увеличава загубата PVB от намаляване на адхезионната способност, Табл. 2. Следва да се отбележи, че загубата на смола е в приемливи граници, около 3 %.

Използва се арамидна тъкан ALKEX, площна маса 410 гр/м², сплитка лито, гъстина 70 н/м по основа и по вътък. Линейна плътност на влакната 3400 дтекс.

Таблица 1

Трансферирано количество смола върху тъканта

Т, °С	Арамидна тъкан ALKEX NT, ширина 1600 мм, 410 гр/м ²			Силиконизирана хартия, 110 гр/м ²		
	Изходна тъкан, гр	Готов препрег, гр	Количество смола, гр	Хартия със смола, гр	Хартия след трансфериране на смолата, гр	Количество прехвърлена смола, гр
90	8,755	11,813	3,058	5,132	1,996	3,136
110	10,555	12,231	1,676	4,377	2,653	1,724
120	8,862	11,134	2,272	4,696	2,340	2,356
140	8,154	11,599	3,445	7,296	3,749	3,546

Таблица 2

Влияние на температурата върху трансфера на смолата

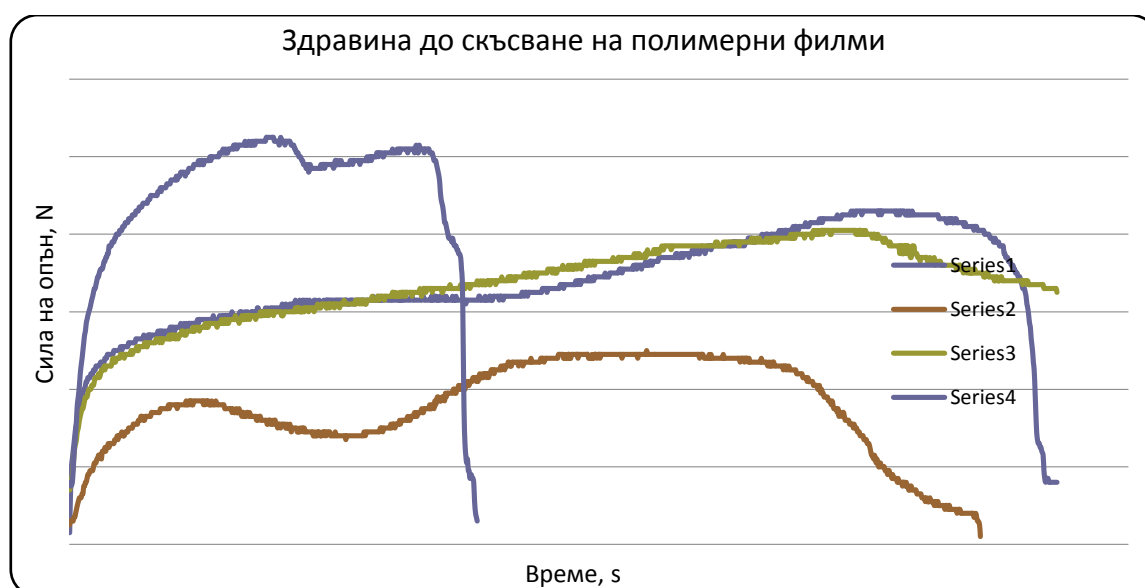
Т, °C	Налягане, кг	Време, сек	Количество смола върху хартията, гр	Количество смола върху тъканта, гр	Загуба, %
90	8	4	3,136	3,058	2,48
110	8	4	1,724	1,676	2,78
120	8	4	2,356	2,272	3,56
140	8	4	3,547	3,445	3,04

При тази технология на получаването важни са и механичните свойства на готовите композиционни материали, които основно се определят от свойствата на влакнестата матрица и получения полимерен филм на свързвателя. Здравината на филма зависи най-напред от вида на полимера, но оказват влияние и температурата на обработка, влагата, налягането, наличието на въздух в затвореното пространство и редица още фактори. Въздушните мехурчета могат да създадат определена пористост на изделието. На Фиг. 2 и Табл. 3 са показани измененията на здравината и удължението на филми от полимерния материал в зависимост от температурата на последващото сушене и термообработка на свързателя.

Таблица 3

Физико-механични показатели на полимерни филми, обработени при различни температури

Температура на обработка, °C	Здравина до скъсване, N	Удължение, %
100	5	180
120	8,6	188
140	8,1	200
170	12,2	90



Фиг. 2 Изменение на здравината до скъсване на полимерни филми обработени при различни температури (1-120 ; 2- 100; 3-140; 4- 140)

Изследванията са проведени на предварително отлети филми, изсушени и термообработени при условия близки до производствените. Лентите се изследват по

стандарт за полимерни фолия. Вижда се, че при температура от 170°C здравината и разтегливостта се променят рязко, което се дължи на протичащите процеси на кондензация в полимерната матрица.

Прехвърлянето на смолата от подложката върху тъканта се извършва с помощта на горещ вал, който осигурява преминаването на полимера във вискоеластично състояние и прилепването му към тъканта. Процесът се извършва за много кратко време и се определя от скоростта на движение на основната тъкан, обикновено от 2 до 10 м/мин. При това е необходимо да се осигури добра адхезия към тъканта и отделяне от подложката. От значение е релефната повърхност на тъканта, наличието на антиадхезионни обработки за съвместимост с различните полимери. Тук оказва влияние и твърдостта, гъвкавостта и еластичността на полимерния филм, подходящите параметри ще осигурят добро прилепване, без пукнатини и гънки или разкъсването му при преминаването от подложката върху тъканта. Наличието на влага и въздух между тъканта и полимерния филм създават предпоставки за възникване на нежелани дефекти в покритието. Всички тези фактори изискват изключително точно определяне на технологичния режим за да се осигури добро прилепване на полимерния филм към тъканта и здравина на готовия препрег с оглед по нататъшното му използване за изработване на изделия.

Заклучение

В технологичния процес на получаване на композиционни препрег материали на автоматична непрекъсната линия могат да се регулират редица параметри, които влияят на залепването на свързващото вещество към тъканта и свойствата на готовия материал: скорост на движение (от 1 до 10 м/мин.), температура на притискащия вал (от 20° до 90°C), сила на натиск (от 200 N до 1200 N, в зависимост от диаметъра на вала), вискозитет на смолата (2000-3000 mPa.s), концентрация (от 40% до 55% в етилов алкохол).

Литература

1. <http://www.calitzler.com/coating-impregnating-saturating>
2. <http://santex-group.com/>
3. Александров С., П. Генчева, Кр. Костова, Хр. Христов, Възможностите за получаване на импрегнирани тъкани (преперг материали) за балистична защита, Созопол, 2016, Конференция ЕМФ.
4. <http://www.coatema.de/en/>

доц. д-р инж. Сашо Александров, ТУ-Габрово, тел. 0889713149, e-mail: sasho49@abv.bg
инж. Краса Костова, Централна изпитвателна лаборатория за тилови имуществва към
Институт по отбрана „Проф. Цветан Лазаров“, тел.: 02 92 21 378, e-mail: krasa.kostova@abv.bg

д-р инж. Петя Генчева, Централна изпитвателна лаборатория за тилови имуществва към
Институт по отбрана „Проф. Цветан Лазаров“, тел.: 02 92 22 463, e-mail: p_gencheva@abv.bg

Полиетилен с ултрависоко молекулно тегло (UHMWPE), поливинилбутирал и наноразмерен волфрамов карбид, комбинирани в единна система за балистична защита

Петя Генчева, Краса Костова, Сашо Александров

Представена е комбинация от разнородни материали, обединени в единна композитна система с цел създаване на олекотено средство за индивидуална балистична защита. Полиетилен с ултра високо молекулно тегло (UHMWPE) е армиран със смес от поливинилбутирал и наноразмерен волфрамов карбид. Балистичните и физико-механични изпитвания, доказват повишаване на якостта и балистичната защита с повишаване съдържанието на ултрадисперсен волфрамов карбид в така създадената единна система. Сканираща електронна микроскопия показва сравнително равномерно разпределение на частиците от волфрамов карбид по повърхността на високо якостен полиетилен.

Ключови думи: балистична защита, волфрамов карбид, поливинилбутирал

Ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE), polyvinyl butyral and nanoparticles WC combined in a unified ballistic protection system

Petia Gencheva, Krasa Kostova, Sasho Aleksandrov

Presented is a combination of various materials, combined into a single composite system to create a lightweight means of individual ballistic protection. Polyethylene ultra high molecular weight (UHMWPE) is reinforced with a mixture of polyvinyl butyral and nanorazmeren tungsten carbide (WC). Ballistic and physico-mechanical tests demonstrated an increase in strength and ballistic protection with increasing content of ultradispersen tungsten carbide. Scanning electron microscopy shows a relatively uniform distribution of particles of tungsten carbide on the surface of high strength polyethylene.

Keywords: individual ballistic protection, tungsten carbide (WC), polyvinyl butyral

Въведение

През последните десетилетия средствата за индивидуална балистична защита (СИБЗ) се наложиха като продукти от първостепенна важност в процеса по оборудването на служителите в сектора сигурност и отбрана, както и контингенти от въоръжените сили за изпълнение на различни мисии зад граница. Основното предназначение на средствата за индивидуална балистична защита е предпазване на жизнено важни органи на потребителите от характерните заплахи за съответните региони (стрелково и хладно оръжие). При извършване на рутинните служебни ангажименти на боеца е важна както високата степен на защита, така и възможно по ниско тегло на оборудването, което той носи със себе си. Това налага и особено внимание в процеса по конструиране, подбор на материали и създаване на СБЗ.

Създаването на средства за индивидуална защита е отговорна задача, стояща пред изследователите, конструкторите и производителите на подобен род изделия. Изборът на подходящ модел, изработен от материали които да са леки, да осигурят добра защита и комфорт при носене. Композитните системи подходящи за внедряване в система за балистична защита, могат да се състоят от две или повече съществуващи материали, конфигурирани така, че да осигурят максимално допустими норми на техните свойства

[1]. Избора на многослойните композитни материали, органични и неорганични вещества, метални сплави, високомолекулни влакна, полимерни материали и наночастици, съчетаването на които свойства да доведе до създаване на висока балистична защита за ползвателя [2].

Целта на това изследване, е да се създаде олекотена система за балистична защита, съчетаваща композитни материали, като полиетилен със свръх висока молекулна маса, наночастици и полимери с висока якост обединени в единна система.

Материали и експериментална процедура

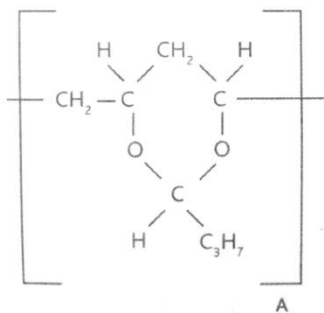
Използвани материали

Високоякостен полиетилен

Полиетилен със свръхвисока молекулна маса (UHMWPE) е термопластичен полиетилен с изключително дълги макромолекулни вериги и с молекулна маса обикновено между 3,5 и 7,5 милиона масови атомни единици [3]. Използван е многослоен нетъкан материал, получен по технологията Spunbonded от кръстосани под 0/ 90° влакна от свръх високомолекулен полиетилен, тип Dyneema SB 21. Материалът е с дебелина 0,1 мм и маса от около 140 g/m². Многофиламентните влакна от полиетилен придават на композитната система механична здравина и еластичност, като забавят навлизането на осколките/куршума, чрез първоначалното удължаване, разслояване и изтегляне по дължина на влакната, а високият им модул на еластичност абсорбира кинетичната енергия на удара.

Поливинилбутирал

Поливинилбутирал (PVB) е с добра адхезионна способност и е устойчив към ултравиолетовите лъчи. Намира широко приложение при ламинирането, производство на безопасни стъкла и при производството на средства за индивидуална балистична защита. PVB, чиито мономер е представен на Фиг. 1, е полиацетал, произведен чрез кондензация на поливинилов алкохол с n-бутиралдехид в присъствието на киселинен катализатор [4].



Фиг. 1 Мономер на поливинилбутирал

При кондензационната реакция в състава на поливинилбутирал остават и ограничени количества ацетатни групи, като винилбутирал, винил алкохол и винил ацетат, съответно 76, 22 и 2% [5]. Промяната в химичния състав води до промяна и в свойства, в зависимост от количеството и вида на всеки от мономерите във веригата [6]. Хидрофобните единици винилбутирал осигуряват еластичност, якост и съвместимост с различни пластификатори. Хидрофилни алкохолни единици винил предоставят високо сцепление с неорганични материали. PVB може да притежава висока пластичност в зависимост от добавените пластификатори, като алкилови фталати [7] или дибутил себакати [8]. Благодарение на своята структура и присъствие на пластификатор, образуваните повърхностни филми PVB могат да притежават свойства подобни на каучук [9].

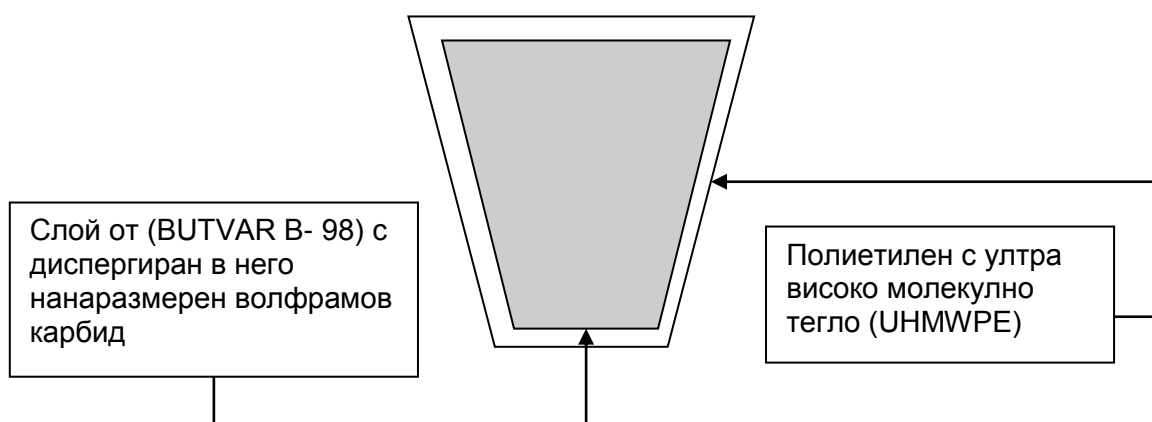
Използваният при опита поливинилбутирал е (BUTVAR B-98), произведен от EASTMAN [12], е бяло прахообразно вещество. Поливинилбутиралът създава устойчиво покритие, което спомага внедряването на наночастиците в композитната система и допълнителното уякчава високоякостния полиетилен.

Микро- и нанопълнители

Наноразмерени частици от волфрамов карбид са със среден размер на частиците от около 10^{-6} nm до 10^{-9} nm. Малкият размер и силно развитата повърхност на частиците с помощта на разтвора на поливинилбутирала, проникнат в микропорите на материята и създават устойчив слой.

Целева подготовка**Получаване на композитната система за СИБЗ**

Материалът от полиетилен с ултрависоко молекулно тегло (UHMWPE) с трапецовидна форма с размери 28 cm x от 25 към 16 cm, подходяща за индивидуална протекторна защита на слабините е представен на Фиг. 2. Всеки многослоен лист от UHMWPE е с нанесен върху него слой от разтвор поливинилбутирал (BUTVAR B-98) и диспергиран в него наноразмерен волфрамов карбид.



Фиг. 2 Полиетилен с ултрависоко молекулно тегло (UHMWPE) с нанесен върху него слой от поливинилбутирал (BUTVAR B- 98) с диспергиран в него наноразмерен волфрамов карбид

Подготовка на наноемулсия на основата на поливинилбутирал

Приготвя се разтвор на поливинилбутирал (BUTVAR B-98) 15 мас. ч.%, чрез разтваряне в етанол C_2H_5OH (чза) с добавен по 3 ml ледена оцетна к-на. Към него се добавя прах от волфрамовкарбид, като за равномерното разпределение на частиците се използва магнитна бъркалка, въртяща се при 1200 RPM в продължение на 3 часа при стайна температура. За проследяване на влиянието на количеството наночастици от WC върху балистичните и якостни показатели, са подготвени три разтвора с добавен към всеки един от тях съответно по 3, 5 и 8 g волфрамов карбид.

Така приготвените разтвори се нанасят еднослойно върху (UHMWPE), като на всеки от листовите се нанася еднакво количество разтвор. Нанасянето се извършва ръчно с помощта на шпакла. Вече импрегнираните тъкани се изсушават в продължение на 72 часа при стайна температура ($22^{\circ}C$) докато етанола се изпари напълно. Приготвят се пакети от по 10 слоя за всеки от количествата волфрамов карбид.

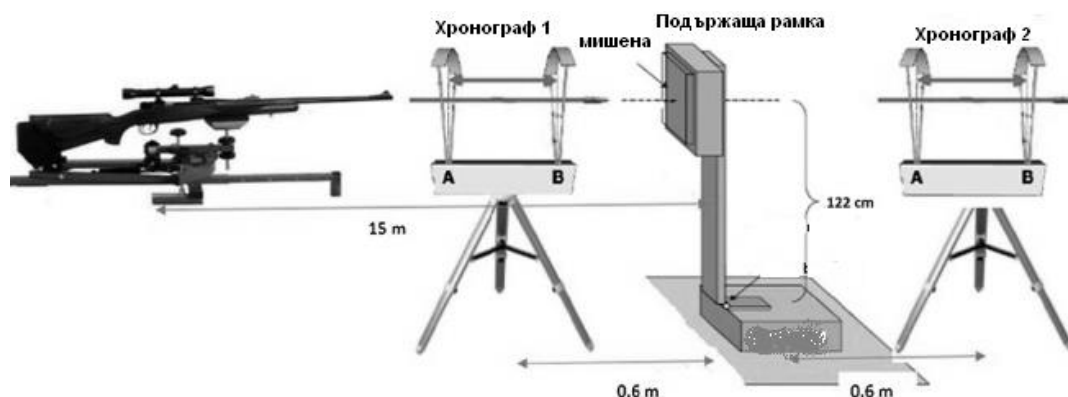
Експериментални данни**Физикомеханични изпитвания**

Физикомеханичните изпитвания за якост на опън са проведени на динамометър WPM „Шопер“, и са в съответствие с изискванията на БДС EN ISO 13934-1 [10]. Измерването на масата е извършено съгласно стандарт БДС EN 12127 [11].

Балистични изпитвания

Балистичните изпитвания са проведени под стандарт Ballistic Test Method for Personal Armour Materials and Combat Clothing, STANAG 2920 Ed.3. Схема на установката за провеждане на балистични изпитвания е представена на Фиг. 3. Определено е V50 с

имитатор на осколки при нормални условия на околната среда (20°C и относителна влажност $81,0 \pm 1,5$). Стрелбата е проведена с калибър на цевта $7,62 \times 39 \text{ mm}$, имитатор на осколки АЗ/7623 с маса $1,102 \pm 0,02 \text{ g}$, насочване на цевта 00 ± 10 , разстояние между края на цевта и панела $5 \text{ m} \pm 50 \text{ mm}$, брой на разчетените изстрели три пробити и три непробити. Разстояние между попаденията $> 30 \text{ mm}$.



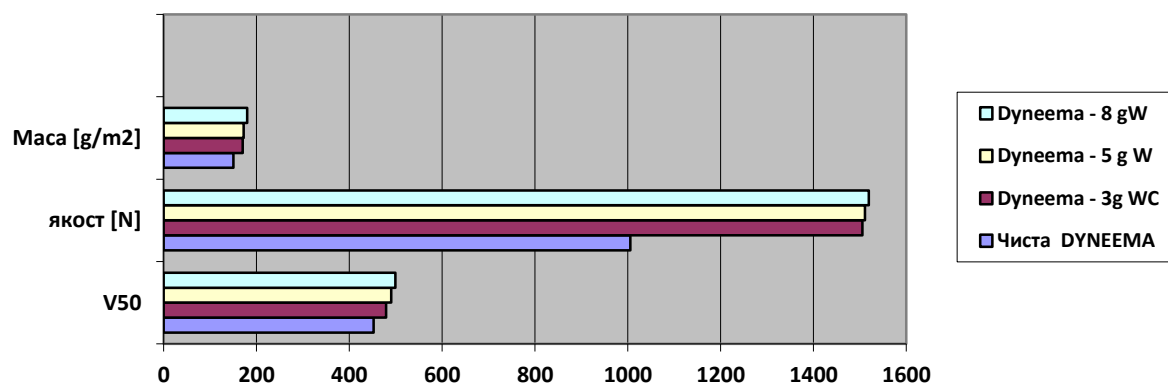
Фиг. 3 Схема на установката за провеждане на балистични изпитвания

Таблица 1

Физико-механични и балистични показатели на композиционните материали

10 слоя високоякостен полиетилен, производител DYNEEMA	Балистика с имитатор на осколки V50 [m/s]	Отклонение при V50 [m/s]	Маса [g/m ²]	Якост на опън [N] (1 cm – ширина на пробата)
Чиста DYNEEMA	452	$\Delta=40$	150,1	1005
15g butvar/100ml C ₂ H ₅ OH, 3 g WC	479	$\Delta=33$	170	1505
15g butvar/100ml C ₂ H ₅ OH, 5 g WC	490	$\Delta=32$	172	1511
15g butvar/100ml C ₂ H ₅ OH, 8 g WC	499	$\Delta=38$	180	1519

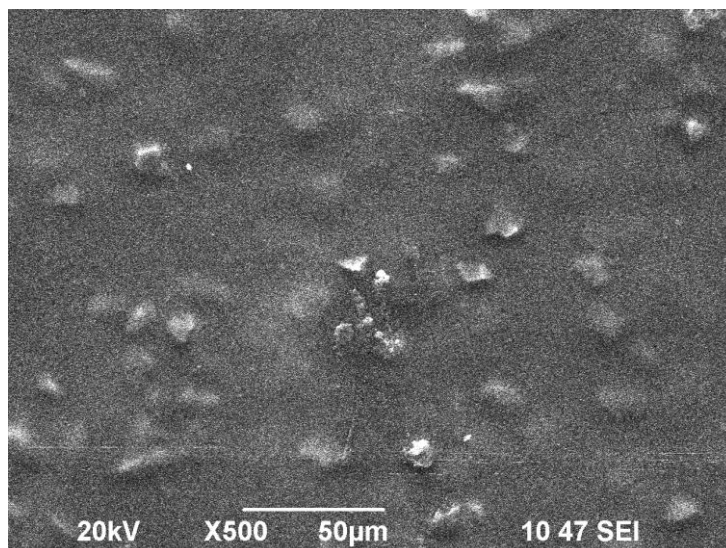
Проследявайки Табличните и графични данни, се вижда, че якостта, балистичните показатели и теглото нарастват експоненциално с нарастване количеството WC в композитната система. Като цяло наблюдаваме повишаване на балистичните показатели за всички проби със съдържание на наноразмерни частици от волфрамов карбид в сравнение с необработения високомолекулен полиетилен. Лекото повишаване на масата се дължи на високата плътност на наноразмерния прах от волфрамов карбид.



Фиг. 4 Графично представяне на проведените физико-механични и балистични изпитвания

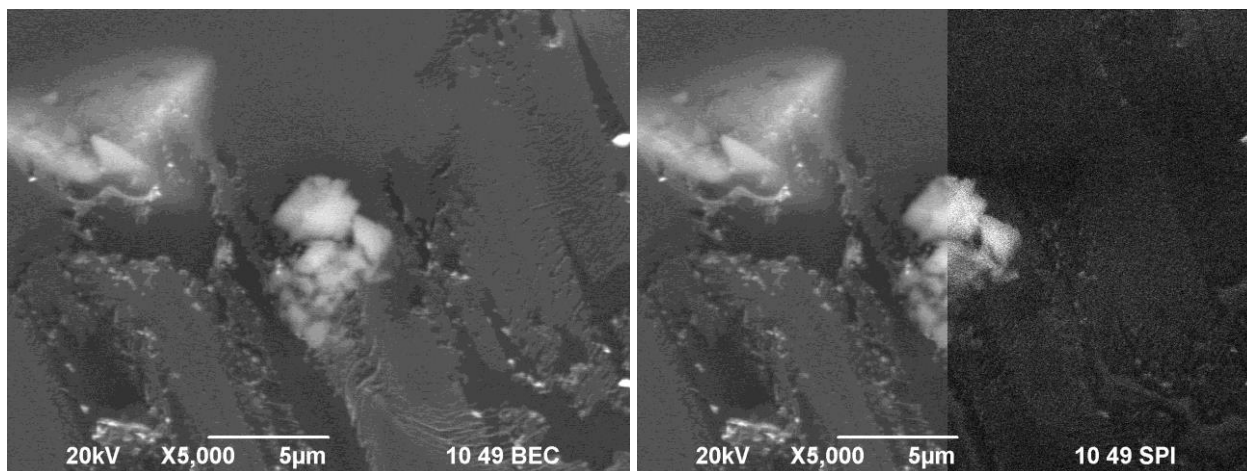
Резултати от сканиращата електронна микроскопия

Използваната сканираща електронна микроскопия модел JEOL JSM 6390 и INCA Oxford е с твърдотелен детектор за характеристично рентгеново лъчение. Получените изображения са както от вторични електрони, при които се наблюдава морфология на отложените частици, така и изображения в обратно разсеяни електрони, които дават информация за полуколичествен анализ, на който отложените частици се виждат като по-светли обекти (Фиг. 5, 6 и 7).

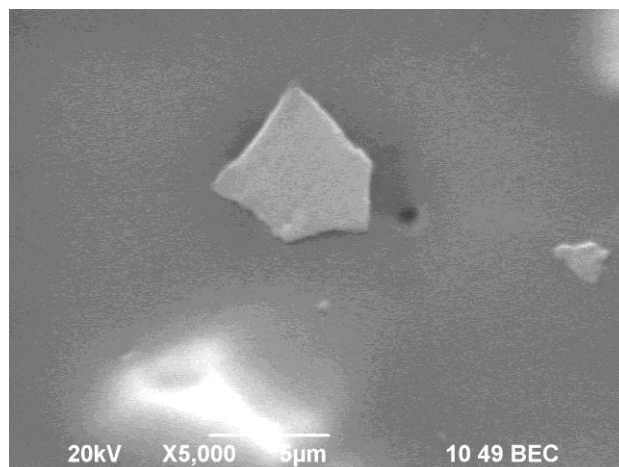


Фиг. 5 Сканираща електронна микроскопия на образец от (UHMWPE) с отложен върху него наноразмерни частици от WC при увеличение x500 и 50µm

На показаните изображения (Фиг. 5, 6 и 7) се виждат по-светли обекти от волфрамов карбид с неправилна форма, внедрени в аморфната структура на поливинилбутирала и сравнително равномерно разпределени върху високомолекулния полиетилен. Детектирането на частиците от сканиращата електронна микроскопия, предполага промяна на свойствата на материята, което се потвърждава от направените изпитвания.



Фиг. 6 Сканираща електронна микроскопия при увеличение x5000 и 5µm, на образец от (UHMWPE)- с отложен върху него наноразмерни частици от WC с неправилна форма



Фиг. 7 Сканираща електронна микроскопия при увеличение x5000 и 5µm, на образец от (UHMWPE)- представени са частиците от WC с неправилна форма

Заклучение

Създадената композитна система би довела до намаление на теглото на СИБЗ и ще създаде висока балистична защита, което се доказва и с проведените физикомеханични и балистични изпитвания. Анализите показват, че използването на поливинилбутирал съвместно с наноразмерен волфрамов карбид води до повишаване здравината на високомолекулярния полиетилен, както и повишаване на балистичните показатели. Повишаване на граничната балистична скорост V50 е обвързана и с повишеното съдържанието на наноразмерен волфрамов карбид в армиращата матрица от поливинилбутирал и ултрависоко молекулярния полиетилен. Сканиращата електронна микроскопия еднозначно доказва отложени наноразмерни частици от волфрамов карбид.

Литература

1. M.F. Ashby, Y.J.M. Bréchet, Designing hybrid materials, *Acta Mater*, 51 (19) (2003), pp. 5801–5821.
2. M.F. Ashby, *Materials selection in mechanical design*, (3rd ed) Pergamon Press, Oxford (2005).
3. Kurtz, Steven M. *The UHMWPE handbook: ultra-high molecular weight polyethylene in total joint replacement*. Academic Press. (2004), ISBN 978-0-12-429851-4.
4. S.B. Seymour, C.E. Carraher, *Polymer Chemistry - An Introduction*, 2nd Edition, Marcel Dekker, New York, (1988).
5. W.J. Roff, J.R. Scott, *Fibres, Films, Plastics and Rubbers - A Handbook of Common Polymer*, Butterworths, London, (1971).
6. M.L. Hallensleben, *Polyvinyl compounds, others* B. Elvers, S. Hawkins, G. Schulz (Eds.) (5th ed.), *ULLMANN'S encyclopedia of industrial chemistry*, vol. A21, VCH, Weinheim (1992), pp. 743-758.
7. N.M.S. El-Din, M.W. Sabaa, *Thermal degradation of poly(vinyl butyral) laminated safety glass* *Polym Degrad Stab*, 47 (1995), pp. 283-288.
8. A.K. Dhaliwal, J.N. Hay, *The characterization of polyvinyl butyral by thermal analysis* *Thermochim Acta*, 391 (2002), pp. 245-255.
9. J.-Y. Cha, C.-H. Lee, S. Choe, *Morphology and mechanical properties of nylon 6 toughened with waste poly(vinyl butyral) film*, *J Appl Polym Sci*, 67 (1998), pp. 1531-1540.
10. БДС EN ISO 13934-1 Текстил. Свойства при опън на платове. Част 1: Определяне на максималната сила и разтегливост при максимална сила чрез използване на STRIP метод.

11. БДС EN 12127 Текстил. Платове. Определяне масата на единица площ, чрез използване на малки проби.
12. <http://www.eastman.com/Company/Pages/Home.aspx>

д-р инж. Петя Генчева, Централна изпитвателна лаборатория за тилови имуществва към Институт по отбрана „Проф. Цветан Лазаров“, тел.: 02 92 22 463, е-mail: p_gencheva@abv.bg
инж. Краса Костова, Централна изпитвателна лаборатория за тилови имуществва към Институт по отбрана „Проф. Цветан Лазаров“, тел.: 02 92 21 378, е-mail: krasa.kostova@abv.bg

доц. д-р инж. Сашо Александров, ТУ-Габрово, тел. 0889713149, е-mail: sasho49@abv.bg

Повърхностна модификация на леки, термосвързани нетъкани текстилни материали

Маргарита Незнакомова, Диляна Господинова

Интересът към плазмено-химично окислените повърхности, като химически активни подложки, имащи големи възможности за взаимодействие с химични реагенти (присаждане), клетки и тъкани, непрекъснато нараства. За обработка на текстилни материали най-често се използва плазма, генерирана чрез диелектричен бариерен разряд, горящ при атмосферно налягане и различна честота. Плазменото обработване променя хидрофилните свойства на тъканите, независимо от тяхната основа.

Ключови думи: студена плазма, плазмена модификация, нетъкан текстил, хидрофилен баланс

Surface modification of thermobonded nonwoven textile materials

Margarita Neznakomova, Dilyana Gospodinova

Interest in plasma-chemically oxidized surfaces, such as chemically active substrates, which have great potential for interacting with chemical reagents (grafts), cells and tissues, is continually increasing. For the textile materials processing, the plasma generated by dielectric barrier discharge, burning at atmospheric pressure and at different frequencies, is most commonly used. Cold plasma treatment changes the hydrophilic properties of tissues, regardless of their basis.

Keywords: cold plasma, plasma surface modification, nonwoven textile, hydrophilic balance

Въведение

Актуалността на нанокompозитите на влакнеста основа е определена от комплекса от техните технологични и функционални свойства – устойчивост на разкъсване, пробив, еластичност, гъвкавост, възможност да се използват в шевните технологии за създаване на специално облекло, така и като защитни средства в медицината. Адаптирането към човешкия организъм дава възможност за формиране на тази основа не само на функционализирани, но и на многофункционални нанокompозити. Те се получават сравнително лесно в технологично и конструкционно отношение, тъй като във влакнестите материали има голямо количество – твърда фаза (влакна до 100 m² на 1 g), капиляри и пори на нано-, микро-и макроструктурно ниво, разположени между тях.

Използването на нетрадиционни технологии, базирани на електрохимични, плазмени, лазерни, електроимпулсни и други високоефективни методи за обработка на текстилните материали, съществено изменя свойствата на изделията с различна структура и предназначение. Обработката със студена плазма получена от бариерен електрически разряд, позволява да се модифицират повърхностните свойства без да се променят обемните характеристики на изделието. Може да се получи материал с принципно нови физико-механични и химични свойства. С масовото използване на синтетичните влакна в текстилното производство се появяват и редица проблеми. Тези материали имат добри здравина, гъвкавост, намалена мачкаемост, при незадоволителни от технологична и потребителска гледна точка повърхностни свойства. Повърхностната модификация на синтетичните влакна, както и на изделията на тяхна основа, включително след тяхното заключително облагородяване и в частност промазване, подобрява хидрофилността им, възможността за багрение и адхезията към метални и неметални покрития.

Леките нетъкани изделия намират широко приложение като помощни шевни материали; подложки за промазване с поливинилхлорид, полиуретан, полиетилен, полиакрилати и други. Те служат като основа за изработване на хидроизолации, основа за пигментен печат, подложен материал при Фигурално прошиване, подложен материал за бродиране. Напоследък се използват масово за медицински пластири, поради което са особено интересни като носители на нановлакна с медицинско приложение – регенеративни пластири или предпазни маски. Могат да се получат по методите на термо- и адхезивно свързване в зависимост от областта на приложение, от синтетични влакна и са с площна маса - 35-85 g/m². Структурата и хидрофилността на носителя на слоя от нановлакна получени по метода на електроовлажняването, влияе върху процеса на получаване на влакната, тяхната и на настила морфология, свойствата на съставния продукт и определя възможността за използването им като елемент на многослойните изделия с определено предназначение. Контактния хипоалергичен слой от нановлакна обикновено е много тънък, поради което нетъкания носител обикновено на основа полипропилен (ПП) или полиетилентерефталат (ПЕТ), трябва да поема влагата и да я предава без да я задържа. Задачата на този разпределителен елемент се състои в бързото едностранно проникване на течността и предаването ѝ към следващ слой- адсорбционен, човешка кожа и/или околния въздух. Морфологията и повърхностните свойства на подложката при електроовлажняване има също така много голямо значение при избора на параметрите на процеса, на получаваните нановлакна и адхезията между съставните слоеве. Това влияе и върху качеството на съставното изделие с определено предназначение.

Влагообменните свойства на материалите определят тяхната способност да поглъщат влага и да я отдават навън. Този процес зависи основно от структурата на материала (предпочита се структура с отворени пори и с връзка между тях), и от степента на хидрофилност. При съчетаване на тези два фактора протича бърз процес на сорбция (поглъщане на вода от повърхностния слой на материала на границата разделяща двете фази) и дифузия (преместването на влагата във вътрешността на материала, което зависи до голяма степен от неговата обемност). При високо влагосъдържание преносът на влага се извършва и под действието на капилярни сили. Процесът във вътрешността на материала се ускорява при разлика в налягането и влажността от двете страни по дебелина. Освен градиента на налягането и концентрацията, върху преноса влияе и температурната разлика. Това има голямо значение за отнемането на влагата от нановлакната в момента на контакт с носителя на мата при получаване на двуслойни и многослойни хибридни материали. От друга страна при използване на продуктите влагата се пренася във вид на пара или течност по посока на топлинния поток (от по-топлите към по-студените слоеве), от тялото през материала към периферията, доколкото капилярно-порестите свойства на влакнестите материали определят такива показатели като сорбционен капацитет, хигроскопичност, въздухо- и паропроницаемост.

Целта на настоящата работа е изучаването на тези параметри след обработка в студена технологична плазма на бариерен електрически разряд при атмосферно налягания и промишлена честота.

Експериментални изследвания

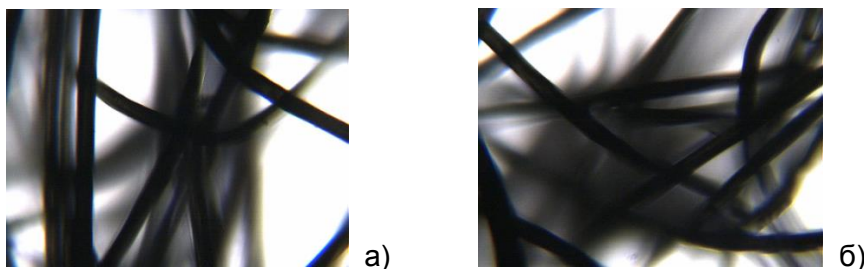
Създаването чрез електроовлажняване двуслойни материали от хаотично преплетени сухи влакна, са свързани на местата на контакт само с кохезионни и електростатични сили. Тяхната структура се определя от съвкупността от структурата на влакната и подложката, които имат различни пори, като диаметрите на капилярите на двете структури са различни по размер. Поради тази причина от основно значение е пълното охарактеризиране на носителя използван за получаването на многослойни структури с участие на слой от нановлакна и измененията в резултат на повърхностното им функционализиране.

До заздравяването на настила чрез горещо пресоване в неговия състав се въвеждат термопластични твърди вещества, които в резултат на повишената температура частично се стапят, обвиват влакната и при изстудяване ги свързват в точките на контакт. Характерно

свойство на тези материали е малката (лесно регулируема) дебелина, удачно комбинирана с висока здравина и еластичност, и незначителни прахопоемане и прахопропускливост.

Материали и методи за изследване

Изследва се топлинно свързан нетъкан текстилен материал, с площна маса 55 g/m^2 от 100 % ПЕТ с линейна плътност 3,4 dtex и дължина 57 mm. Термообработката е извършена с високотемпературен, тривалов каландър с един гравирен вал. След това материалът е промазан с черна полиакрилтна дисперсия, оцветена в маса. Избран е оцветен подложен материал, за да може да се открие ясно нанослоя след неговото нанасяне при следващи изследвания.



Фиг. 1 Снимка на структурата на термосвързан нетъкан текстил преди и след плазмено обработване ($U_{\text{eff}} = 10 \text{ kV}$ и $t = 15 \text{ min}$)

Изследвани са настъпилите промени след обработка в бариерен електрически разряд при три стойности на захранващото напрежение $U_{\text{eff}} = 6, 8$ и 10 kV и времена (t) на обработване съответно - 1, 5, 10 и 15 min.

Определени са тегловното изменение на масата, влагопоемането при 100 % влажност на въздуха с електронен влагомер Sartorius MA 30, въздухопропускливостта съгласно БДС EN ISO 9237:1999, здравина на пробив БДС 9585-72 и дебелината EN ISO 5084. Разликата в дебелината на изходния материал в mm е 0,18-0,22, на различни места и измененията след плазмената обработка не бяха статистически доказани. Диапазонът на изменение на повърхностната плътност е в рамките на $\pm 5 \%$. За намаляване на неравномерността на изследваните показатели, изследваните образци са от една партида. Измерванията са проведени в помещение при относителна влажност на въздуха 40-60 % и температура на въздуха 20-25°C.

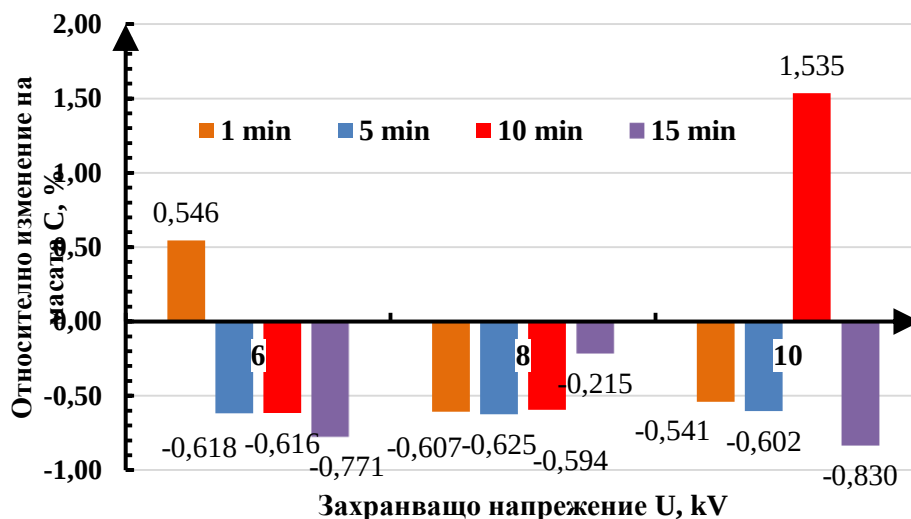
Анализ на получените резултати

Добре известно е, че обработката в студена технологична плазма променя повърхностния слой на подложката на дълбочина до $5\div 10 \text{ nm}$, като запазва нейните обемни свойства. Променя се масата на текстилното изделие в посока зависеща от режима на обработване. Получените резултати (Фиг. 2) показват, че с увеличаване на времетраенето на процеса се получава почистване на повърхността на материала, което е в различна степен и зависи от приложеното напрежение. Максимално намаление на масата се наблюдава при режим с параметри $t = 15 \text{ min}$ и захранващо напрежение $U_{\text{eff}} = 10 \text{ kV}$.

Очистването е свързано с отстраняване на малки количества примеси и нискомолекулни фракции, дължащи се на процесите на получаване на влакната и на акрилатната промазка, а увеличаването на масата е свързано с процесите на окисление на свободните радикали от въздуха. Това изменение зависи от повърхностната плътност на материала и с нейното нарастване степента на почистване намалява, в по-голяма степен при по-плътни материали.

Наблюдава се достатъчно еднородно въздействие на плазменото обработване върху порестия нетъкан материал в целия обем на изследваните пробни образци. Извършена е статистическа обработка на експериментално получените резултати, която доказва тяхната достоверност. Сравнените по F- критерия дисперсии са еднородни и между тях няма статистически доказана разлика, т.е. двете статистически съвкупности са извадки от една и съща генерална съвкупност, тъй като $F_r < F_m$. По същия начин сравняването на $t_R < t_T$ показва, че между двете средни стойности x_1 и x_2 няма статистически доказана разлика.

Особено интересни резултати се получават по отношение на здравината на обработения материал.



Фиг. 2 Зависимост между относителното изменение на масата С (%) в зависимост от режима на обработване на изследвания нетъкан текстилен материал

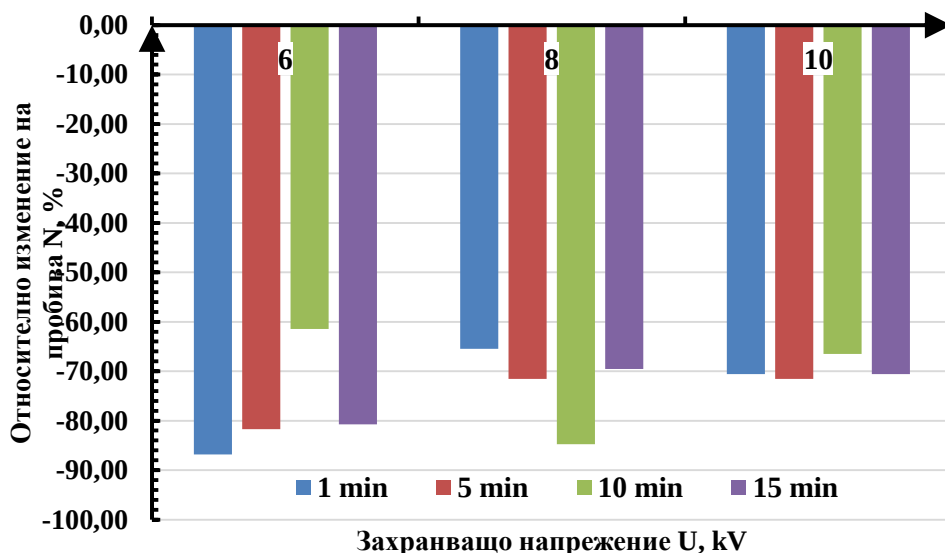
При всички режими на обработка относителното изменение на пробив нараства (Фиг. 3). Максимална здравина се получава при време на третиране $t = 1 \text{ min}$ и захранващо напрежение 6 kV. Характерно за режима на работа при захранващо напрежение от 6 kV е, че в обема на работната междина се получават множество химични реакции, които възникват случайно във времето и не могат да бъдат контролирани. Това е основната причина да се препоръча режим на обработване със захранващо напрежение $U_{\text{eff}} = 10 \text{ kV}$ и време на обработване $t = 15 \text{ min}$.

Това нарастване на здравината на пробив вероятно се дължи на промяната на повърхността на влакната и нетъканото изделие. Както е известно ПЕТ влакната са гладки с развит повърхностен финокристален строеж. В резултат на процеса ецване се получава грапавост, установена от редица изследователи с помощта на Атомно силов микроскоп [1, 2], вследствие на което нараства адхезионната здравина на изделието. Освен това настъпват и промени в акрилатната промазка на повърхността - възникват повърхностни функционални групи в резултат на намаляване на междумолекулното взаимодействие и увеличаване на подвижността на макромолекулите. След обработване с бариерен електрически разряд може да се каже, че срокът на експлоатация на плазмено-модифицираното изделие се увеличава значително.

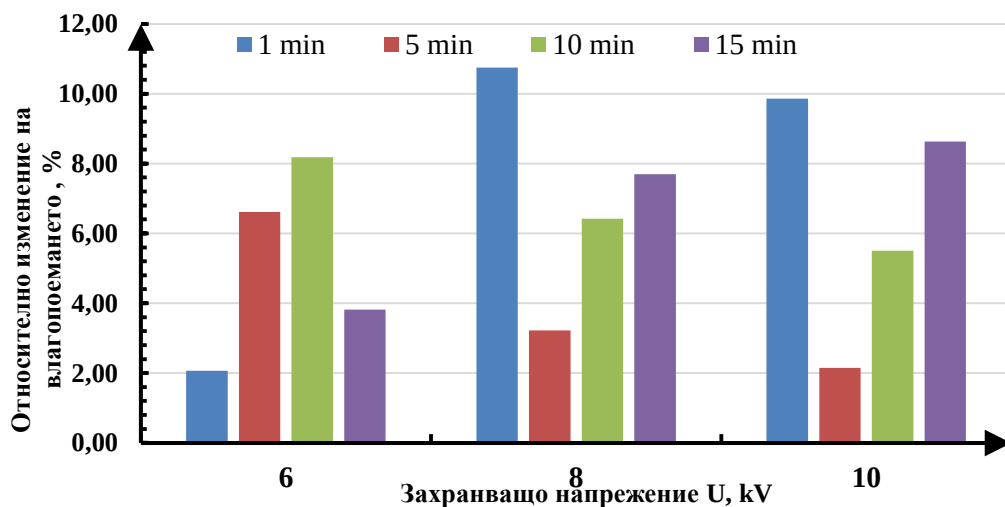
Влагопоемането е параметър, който също зависи от продължителността на плазмено обработване и приложеното захранващо напрежение. Вероятно от една страна се облекчава достъпът на влага до основата от ПЕТ влакна, дължащо се на почистването, а от друга на изменението на характера на повърхността.

Получените резултати доказват, че в резултат на обработката няма запушване на порите, а само промяна на техния размер, което се обяснява със запазването на стойността на въздухопропускливостта $V_p = 280 \text{ dm}^3/\text{h.cm}^2$. При всички режими на плазмено обработване се наблюдава значително увеличение на влагопоемането, което се дължи на увеличената грапавост на макроструктурата и следствие на това - по-развитата контактна повърхност в резултат на възникване на капилари с по-малък диаметър. Това се потвърждава от сравнението на капилярната активност на две проби - необработена и третирана $t = 10 \text{ min}$ с $U_{\text{eff}} = 10 \text{ kV}$. Височината на стълба течност за необработената проба е 40 mm/h, а за плазмено модифицираната - 84 mm/h. Както повишаването на здравината,

така и на хидрофилността показват, че обработката в студена технологична плазма променя не само повърхността на влакната и нетъкания текстил, но и неговата морфология.



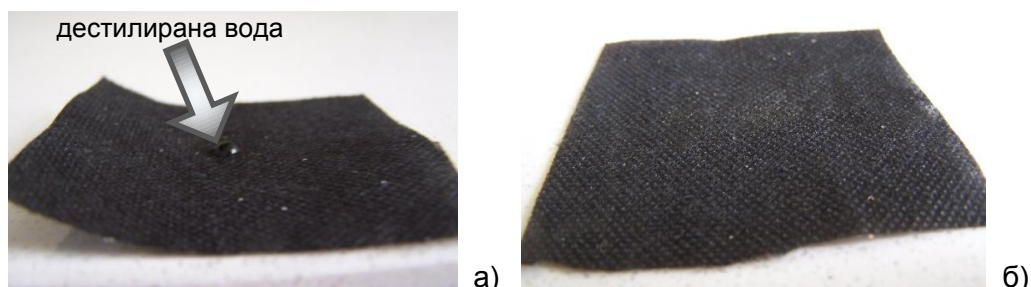
Фиг. 3 Зависимост между относителното изменение на пробива N (%) и захранващото напрежение U_{eff} при различно време на плазмено обработване



Фиг. 4 Зависимост между относителното изменение на влагопоемането от захранващото напрежение (U_{eff}) при различни времена (t) на плазмено обработване

Изменението на структурата на повърхностния слой на нетъкания текстил, използван за носител на слоя от нановлакна при получаване на влакнести композити, водещо до известно увеличаване на грапавостта ѝ и вероятно изменение на химичния състав ще доведе до промяна на адхезията на две части на съставния продукт. Установеното нарастване на омокрянето би трябвало да повлияе върху равномерността на слоя нанесени нановлакна. Отсъствието на окисление и деструкция на полимера, определено с нарастването на здравината на пробив, а следователно, и отделянето на газообразни продукти на деструкция, позволява да се препоръча обработка на хидрофобните полимерни материали в условия на бариерен разряд при атмосферно налягане за модификация на повърхността на носителя и получаване на влакнести композити с медицинско предназначение.

Техниката на измерване на контактния ъгъл на умокряне е използвана за разкриване на измененията в свободната повърхностна енергия, настъпваща след обработката в студена технологична плазма.



Фиг. 5 Промяна на повърхностното омекряне преди (а) и след (б) провеждане на плазмено обработване ($U_{\text{eff}} = 10 \text{ kV}$, $t = 15 \text{ min}$) във въздушна атмосферна плазма

Фиг. 5 ясно показва резултатът от проведената плазмено обработка, който се изразява в повишена хидрофилност на пробните образци.

Изводи

Основните изводи, които могат да се направят на базата на проведените експериментални изследвания са:

1. Обработката в студена технологична плазма позволява успешно да се почисти и активира повърхността на носителя на слоя от нановлакна, използван във влакнестите композити. В зависимост от работния режим, може да се увеличи хидрофилността или хидрофобността, в зависимост от плазмобразуващата среда и поставената цел да се получи по-висока или по-ниска адхезия между двата съставни слоя на изделието.
2. Установено е, че се променя морфологията на използвания термосвързан и промазан нетъкан текстил с ниска площна маса, като се наблюдава увеличаване на нейната плътност и грапавост.
3. Обработването в бариерен разряд води до увеличаване срока на експлоатация на модифицираното изделие в степен, която зависи от параметрите на режима на обработка.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от договор МОН-ДУНК – 01/3.

Литература

1. Мельников Б.Н., Федосов С.В., Шарнина Л.В., Акулова М.В. Применение тлеющего разряда в текстильной и строительной промышленности // Изд-во ИГХТУ г Иваново, 2008, 232 С.
2. Гришанова И.А. и др. Адгезионная прочность композиционных материалов: Тезисы докл. "Новые технологии и материалы легкой промышленности": VI Междунар. науч.-практ. конф. Казань: КГТУ, 2010. – С.44-45.

проф. д-р Маргарита Незнакомова, ТУ - София, катедра „Текстилна техника“, тел. 02 965 35 69, e-mail: mpn@tu-sofia.bg

доц. д-р Дилиана Господинова, ТУ - София, катедра „Електрически апарати“, тел. 02 965 39 65, e-mail: dilianang@tu-sofia.bg

Оценка на ефекта от обработката на текстилни платове с наноразтвор от SiO₂

Михаил Панчев, Габриела Карамфилова

В статията са представени резултатите от изследвания на текстилни платове, предназначени за работно облекло, преди и след контролирано нанасяне на различно количество емулсия от наноразтвор на SiO₂. Ефектът върху обработените материали е оценен чрез скоростта на омокряне, влагоразпространение, водо- и маслоотблъскване.

Ключови думи: наноразтвор, текстилно печатане, скорост на омокряне, влагоразпространение, водо- и маслоотблъскване

Evaluation of the effect caused by treatment of textile fabrics with a nanoparticle solution of SiO₂

Mihail Panchev, Gabriela Karamfilova

The paper presents results from a study on textile fabrics for working clothes before and after controlled dosing of nanoparticle emulsion of SiO₂. The effect is assessed by measuring the rate of wetting, the moisture management properties, and the water and oil repellence.

Keywords: nanoparticle solution, textile printing, rate of wetting, moisture management properties, water and oil repellence

Въведение

В страните от Европейския съюз действа директива, която налага правила за поддържане на реда и дисциплината, безопасните условия на труд, а също и удобството на служителите, които прекарват по-голяма част от времето си на работното място. Това в значителна степен може да се постигне и с въвеждането на униформено и/или работно облекло.

Към работното облекло се поставят изисквания както за неговата конструкция, форма и степен на прилягане, неговата естетика, актуалност и съответствие на модните тенденции, така и по отношение на неговата защитна функция, свързана със създаването на бариера към околната среда. То трябва да притежава свойства като водо- и маслоотблъскване, влагопренос и т.н.

В областта на специалните методи за облагородяване и апретиране все още стои проблемът за намаляване на степента на замърсяване, регулиране на хидрофобността и влагопреноса, както и придаването на свойства, които текстилните материали преди обработката не са притежавали, т. нар. функционализиране.

Класическият метод на обработка за намаляване степента на замърсяване се извършва с флуоркарбонови полимери от първо до трето поколение и флуоросъдържаща полимерна дисперсия. Като основен недостатък на конвенционалните флуоркарбонови полимери е ниската перманентност на постигнатия ефект и задължителната топлинна обработка след пране. Образованата в условията на термофиксиране плътна и с висока степен на подреденост структура от перфлуорни фрагменти в условията на пране се нарушава, което налага реорганизирането ѝ след сушене (процесът е известен като реактивиране) [1]. Друг недостатък на флуоркарбоновите полимери е, че при някои от тях е установена токсичност и те се акумулират в тъканите на растения, животни и хора. Затова през 2001 г. повечето фирми производители на флуоркарбонови полимери спират производството им.

С навлизането на нанотехнологиите, и особено прилагането им в текстилното облагородяване, стана възможно с нанасянето на един слой върху текстилните платове да се комбинират няколко специални обработки, които подобряват физико-химичните и физико-механични им свойства. Най-често се използват комбинации, които придават на платовете т. нар. "лотос ефект" на незамърсяемост, водо- и маслоотблъскване.

В повечето изследвания нанасянето на емулсия от наноразтвор се извършва ръчно по метода на напръскване [3,4] или чрез метода на пълно напояване. Когато се използва метода на пълно напояване, разходната норма за обработка се покачва, а от друга страна - обработеният плат има водо- и маслоотблъскващи свойства както от лицевата, така и от опаковата страна, което го прави неподходящ за изработването на облекла.

При ръчно нанасяне на емулсията от наноразтвор чрез метода на напръскване могат да възникнат проблеми, свързани с неравномерно му разпределение върху текстилния материал. Това налага да се търсят решения за контрол върху количеството нанесена емулсия.

Целта на настоящото изследване е да се установи възможността за използване на текстилен принтер за контролирано нанасяне на емулсия от 2% наноразтвор на SiO_2 за придаване на водо- и маслоотблъскване върху текстилни материали, предназначени за работно облекло.

За постигане на целта се поставят следните задачи:

- Да се подберат платове за работно облекло, с които да се проведе експеримента;
- Да се извърши контролирано нанасяне на наноразтвор върху избраните платове с текстилен принтер;
- Да се определи поведението на капките от субстанциите, включени в Tchibo test;
- Да се определи скоростта на омокряне и влагоразпространение на пробите;
- Да се анализират получените резултати.

Експериментална част

За провеждането на експеримента са избрани шест тъкани, използвани за работно облекло с различни сплитки, площни маси, гъстини и линейна плътност на основните и вътъчните нишки. Характеристиките на тъканите са представени в Табл. 1.

Таблица 1

Характеристики на изследваните тъкани

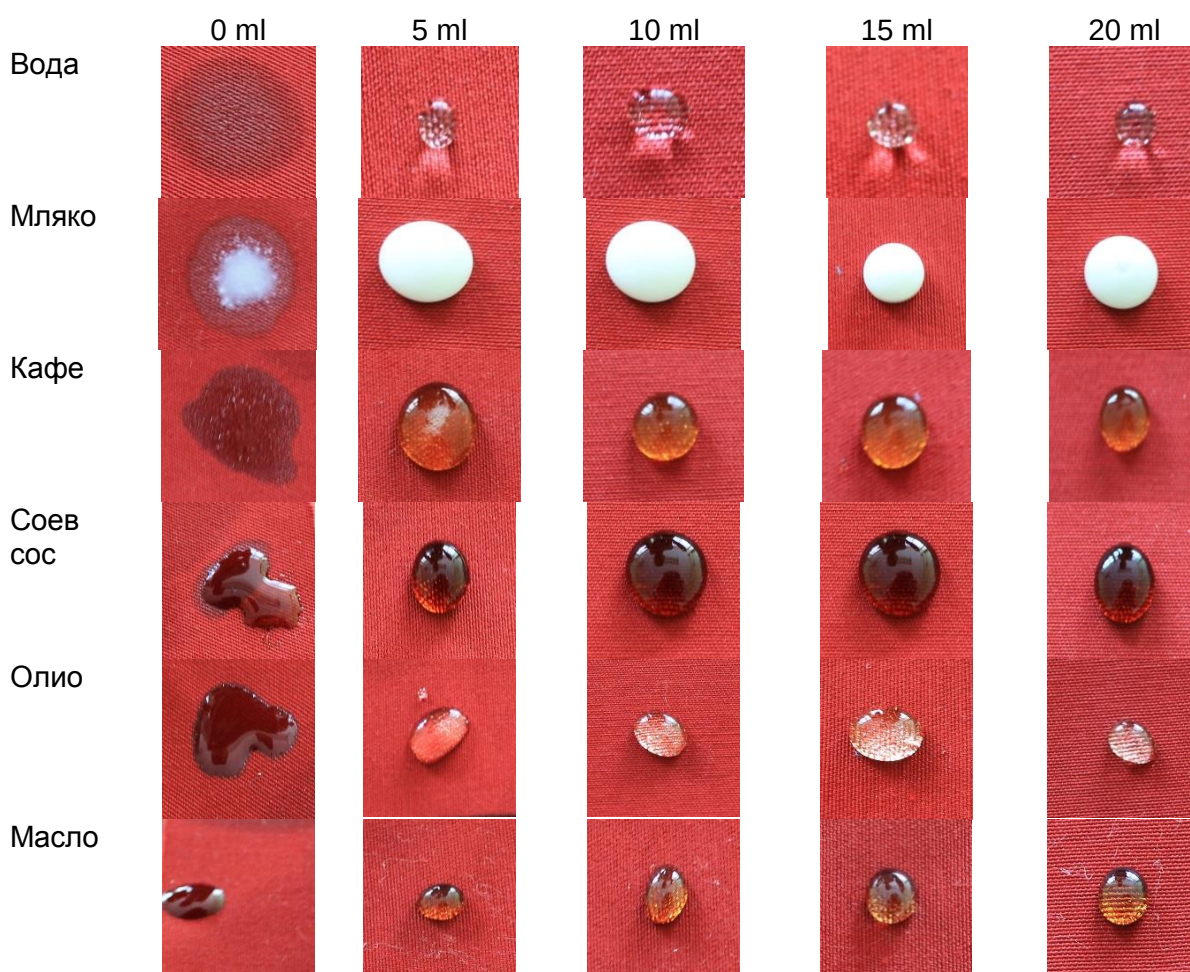
Материал	Площна маса, g/m^2	Гъстина, н./dm		Състав	Линейна плътност, tex		Сплитка
		Р _о	Р _в		Tt,о	Tt,в	
1. Бял	283	440	260	П/ПЕ 67/33	44	44	Кепър
2. Червен	219	460	270	П/ПЕ 67/33	28	28	Кепър
3. Зелен	200	480	220	П/ПЕ 67/33	28	28	Кепър
4. Син	220	320	250	П 100%	46	46	Лито
5. Светлолилав	234	760	260	П 100%	16	50	Панама
6. Тъмнолилав	174	480	360	П 100%	16	32	Кепър

Обработката на платовете за водо- и маслоотблъскване се извършва на принтер за печатане на текстилни изделия Texjet plus на фирма Polyprint. Емулсия от 2% наноразтвор на SiO_2 се зарежда в една от касетите за мастило. Управлението на принтера се извършва със специализиран софтуер. Програмата има опция да се регулира количеството на подаваното мастило (в нашия случай емулсия). Последователно се задава количеството наноразтвор, което отговаря на 5, 10, 15 и 20 ml/m^2 . След нанасяне на определеното количество емулсия платове се оставят да престоят 24 часа на стайна температура, за да

изсъхнат. Условията, при които е проведено сушенето, са: температура на въздуха – 26°C и относителна влажност - 60%.

Установяването на ефекта на водо- и маслоотблъскване се извършва чрез Tchibo test, при който се нанася капка от течности с различно повърхностно напрежение, като се използва вода, прясно мляко, горещо кафе, соев сос, слънчогледово олио и машинно масло.

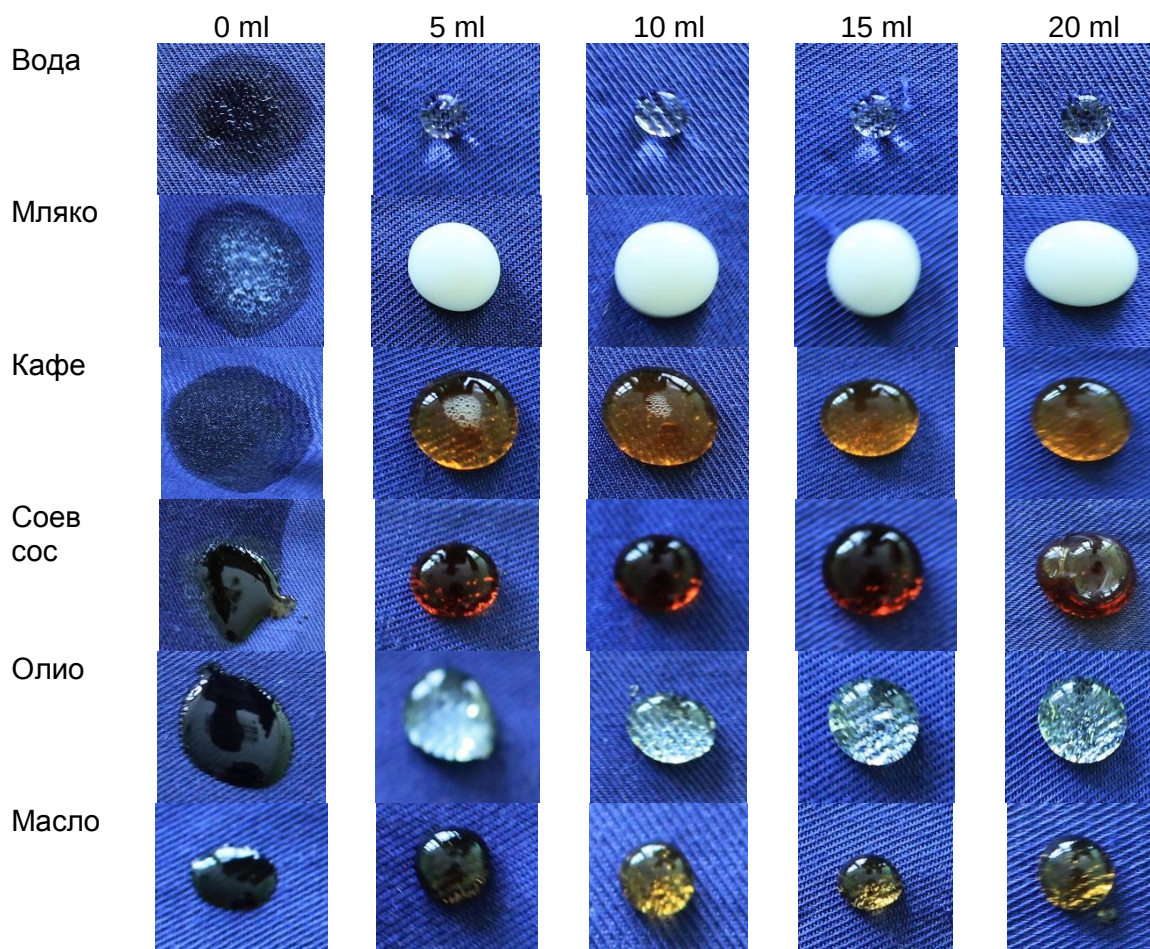
На Фиг. 1 и Фиг. 2 са представени резултатите за два от изследваните материали. Избрани са материали с различен химичен състав. Поведението на другите материали е идентично. Независимо от количеството нанесено емулсия и вида на материала (П/ПЕ или П), капката се оформя като „перла“. Това дава основание да се приеме, че желаният ефект е постигнат.



Фиг. 1 Поведение на капките от субстанциите, включени в Tchibo test, при състав на плата П/ПЕ 67/33

Чрез използването на контролирано нанасяне на емулсията с помощта на текстилен принтер се постига намаляване на разходната норма до 5 ml/m², което е десет пъти по-малко от заложената от производителя норма за ръчно напръскване от 50 ml/m².

За допълнителна оценка на ефективността на обработката са определени скоростта на омокряне и влагоразпространение с помощта на уред ММТ [2]. За целта от всеки вид материал се приготвят по три проби с размери 8 x 8 cm и различно количество на нанесената емулсия.



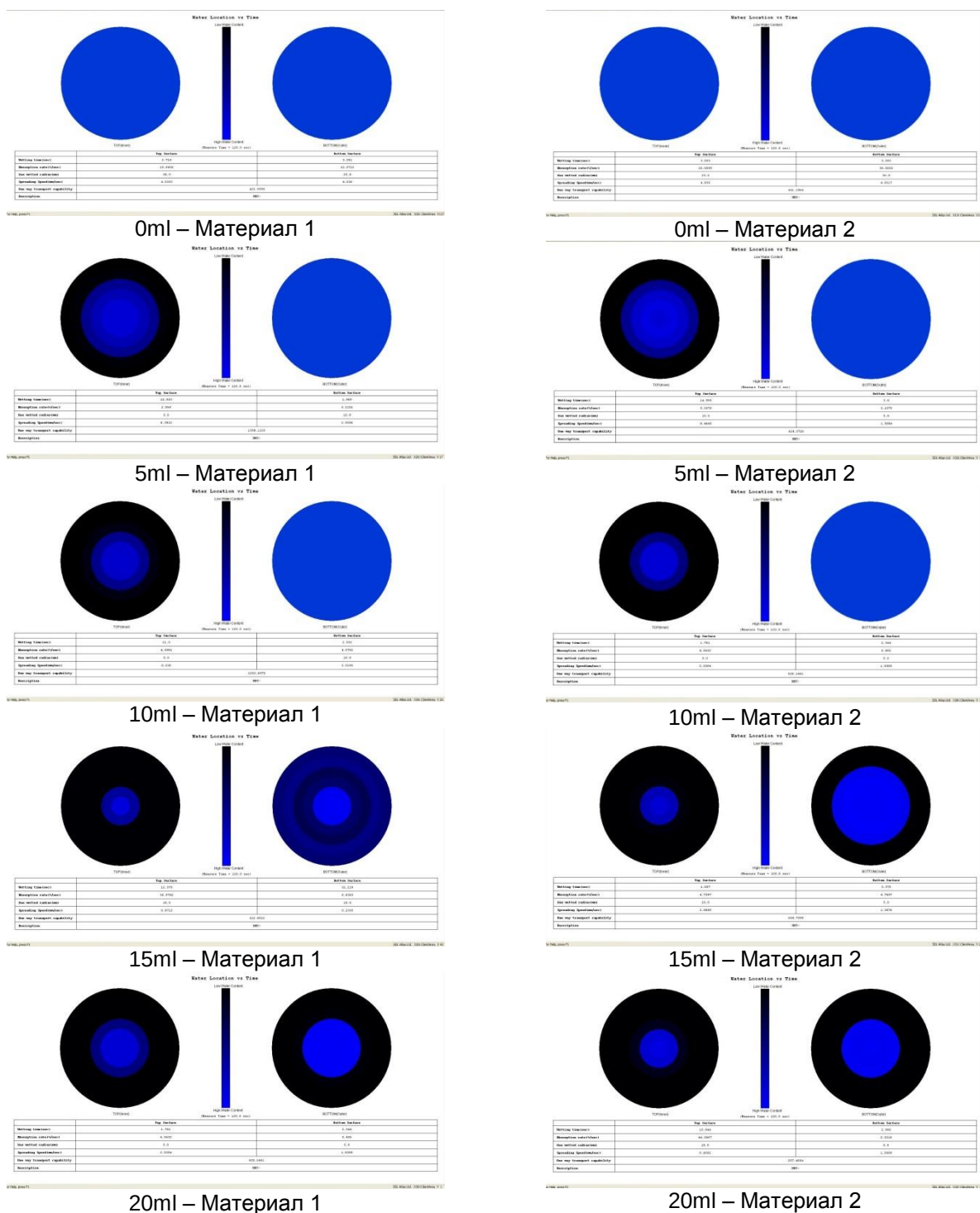
Фиг. 2 Поведение на капките от субстанциите, включени в Tchibo test, при състав на плата 100% П

На Фиг. 3 са представени резултатите за радиуса на омокряне на същите два плата, за които е направен Tchibo test. Вляво на всяка фигура са представени резултатите за омокрянето на горната повърхност (върху която е извършено накапването), а вдясно – на долната повърхност (след преминаването на водата през структурата на тъканата).

Ясно се вижда, че при необработените проби радиусът на омокряне е много голям – на практика е омокрена цялата измервателна площ. С увеличаване на количеството нанесен разтвор радиусът на омокряне намалява. Тенденцията е по-силно изразена за горната повърхност. Радиусът на омокряне на долната повърхност започва да намалява рязко при количество на нанесения разтвор над 10 ml/m^2 . Причината е преминаването на определена част от емулсията през тъканта, достигайки до опаковата страна.

Характеристиките за скорост на омокряне и влагопренос за шестте изследвани тъкани са обобщени в Табл. 2÷5.

Вижда се, че времето да омокряне на горната повърхност WTT рязко се увеличава с нарастване на количеството нанесена емулсия, като при необработените проби средното време за омокряне на 6-те проби е 2,6 s а при обработка с 20 ml/m^2 достига 59 s, т.е. нараства средно 20 пъти. Този факт доказва отново ефективността на проведената обработка (Фиг.4). Подобна тенденция се наблюдава и за долната повърхност – от 3,6 s времето за омокряне WTB нараства до 54 s. Получените резултати потвърждават изводите, направени за изменението на радиуса на омокряне, а именно, че при нанасяне на повече от 10 ml/m^2 се получава преминаване на емулсията от другата страна на плата, съпроводено с получаване на водоотблъскващ ефект и върху опаковата повърхност.



Фиг. 3 Определяне на радиуса на омокряне

Потвърждение на получения ефект се получава и от измерените стойности на скоростта на влагоразпространение на горната TAR и долната BAR повърхност. С увеличаване на количеството нанесен разтвор скоростта намалява – първоначално за горната, а над 10 ml/m² - и за долната повърхност.

По-голямото количество нанесена емулсия води и до значимо намаляване на влагопреносните свойства на тъканите, като при необработени тъкани обобщеният индекс на влаготранспорт има стойност 0,6, а при обработени с 20 ml/m^2 е два пъти по-малък (0,3).

На Фиг. 4 е представено изменението на времето за омокряне на горната повърхност на плата при различно количество нанесен наноразтвор.

Таблица 2

Средни стойности на характеристиките на тридименсионален пренос на вода при 0 ml/m^2

проба	WTT (s)	WTB (s)	TAR (%/s)	BAR (%/s)	TWRradius (mm)	BWRradius (mm)	TSS (mm/s)	BSS (mm/s)	R (%)	OMMC (-)
1	2,81	3,09	14,83	13,32	29,51	25,89	5,33	5,07	311,25	0,61
2	3,09	3,09	16,09	12,36	26,98	29,65	4,83	4,85	318,72	0,62
3	2,81	3,20	18,55	13,42	27,11	30	5,16	5,21	300,58	0,64
4	2,87	7,15	18,09	12,45	28,33	22,66	5,63	3,81	289,94	0,59
5	2,51	2,79	17,65	12,58	27,96	27,13	5,45	3,84	312,57	0,47
6	1,59	1,94	16,33	13,84	28,53	29,47	4,29	2,72	297,45	0,59

Таблица 3

Средни стойности на характеристиките на тридименсионален пренос на вода при 5 ml/m^2

проба	WTT (s)	WTB (s)	TAR (%/s)	BAR (%/s)	TWRradius (mm)	BWRradius (mm)	TSS (mm/s)	BSS (mm/s)	R (%)	OMMC (-)
1	14,34	2,96	4,85	13,50	10,21	28,54	0,74	5,56	498,54	0,51
2	15,26	2,532	4,59	14,57	5,58	23,69	0,83	6,01	453,63	0,58
3	13,06	2,437	3,00	13,25	5,69	27,54	0,79	5,83	367,14	0,57
4	10,56	2,36	2,98	12,58	8,57	26,54	0,87	5,87	474,52	0,69
5	9,79	3,14	3,58	13,69	9,47	27,89	0,91	6,01	499,25	0,72
6	11,12	2,73	4,18	17,25	5,69	26,51	0,84	7,04	301,07	0,84

Таблица 4

Средни стойности на характеристиките на тридименсионален пренос на вода при 10 ml/m^2

проба	WTT (s)	WTB (s)	TAR (%/s)	BAR (%/s)	TWRradius (mm)	BWRradius (mm)	TSS (mm/s)	BSS (mm/s)	R (%)	OMMC (-)
1	24,28	3,33	5,82	14,47	5,14	29,29	0,33	6,23	316,59	0,5
2	24,81	3,19	9,63	13,59	3,74	28,74	0,51	5,12	414,344	0,6
3	22,71	3,56	5,80	15,04	5,92	27,28	0,72	5,24	317,25	0,56
4	22,57	4,25	6,58	14,73	4,67	29,45	0,89	4,54	318,56	0,68
5	23,96	3,14	7,24	14,54	5,18	28,94	0,69	5,36	219,21	0,72
6	24,58	3,87	8,19	13,97	6,09	29,31	0,73	4,98	217,56	0,59

Таблица 5

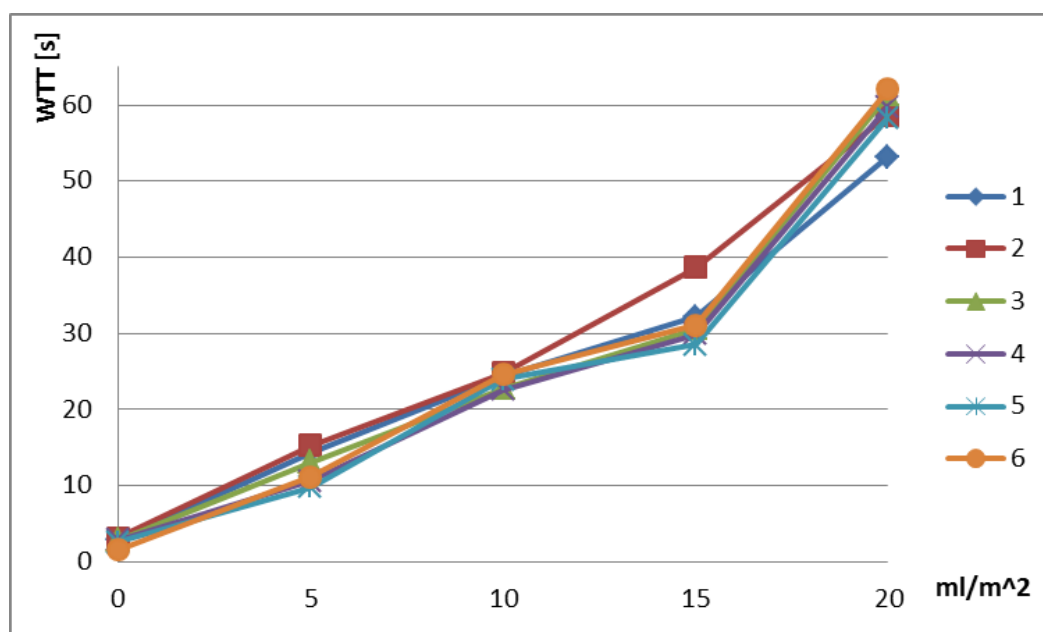
Средни стойности на характеристиките на тридименсионален пренос на вода при 15 ml/m²

проба	WTT (s)	WTB (s)	TAR (%/s)	BAR (%/s)	TWRadiu (mm)	BWRadiu (mm)	TSS (mm/s)	BSS (mm/s)	R (%)	OMMC (-)
1	32,15	34,78	4,91	3,01	5,31	10,24	0,24	0,14	544,64	0,41
2	38,65	37,68	5,98	3,95	5,23	9,74	0,26	0,64	694,38	0,32
3	30,62	32,2	5,72	3,14	4,69	10,51	0,24	0,32	588,47	0,41
4	29,87	35,84	4,52	3,87	5,14	11,54	0,21	0,26	601,85	0,32
5	28,53	33,65	4,87	3,14	4,98	12,09	0,47	0,54	625,31	0,33
6	31,08	30,87	4,92	3,22	5,74	11,12	0,32	0,25	684,12	0,34

Таблица 6

Средни стойности на характеристиките на тридименсионален пренос на вода при 20 ml

проба	WTT (s)	WTB (s)	TAR (%/s)	BAR (%/s)	TWRadiu (mm)	BWRadiu (mm)	TSS (mm/s)	BSS (mm/s)	R (%)	OMMC (-)
1	53,18	54,87	3,91	3,5201	3,53	5,32	0,14	0,11	944,44	0,31
2	58,65	57,68	4,98	3,05	4,63	4,57	0,16	0,34	894,88	0,42
3	61,35	62,25	4,72	3,34	2,99	5,65	0,14	0,22	888,37	0,31
4	59,78	55,48	3,52	3,47	3,54	5,75	0,11	0,16	901,65	0,22
5	58,35	63,56	3,87	3,54	5,38	6, 59	0,27	0,24	925,91	0,23
6	62,08	31,78	3,92	3,42	3,84	5,72	0,12	0,15	984,82	0,34



Фиг. 4 Изменение на времето за омокряне на горната повърхност на плата при различно количество нанесен наноразтвор

Изводи

От проведените експериментални изследвания могат да се направят следните изводи:

1. За нанасяне на емулсия от наноразтвор на SiO_2 може да бъде използван текстилен принтер. Това позволява прецизно нанасяне и дозиране на количеството емулсия.
2. С използването на текстилен принтер се намалява разходът на емулсия от 50 ml/m^2 до 5 ml/m^2 , като се запазва ефектът на водо- и маслоотблъскване.
3. За работни облекла се препоръчва количеството нанесена емулсия да е в границите $5\div 10 \text{ ml/m}^2$, тъй като се получава задоволителен резултат по отношение на водо- и маслоотблъскващите свойства, без ефектът да се проявява и върху опаковата страна, която контактува с кожата на работника.
4. Чрез намаляване на разходната норма се намалява и себестойността на проведената обработка, като в зависимост от количеството нанесена емулсия тя варира от 0,50 до 2 лв./ m^2 , съотв. при количество нанесен разтвор 5 ml/m^2 и 20 ml/m^2 .

Литература

1. Василева, В., Багрила и текстилни спомагателни средства, ХТМУ, София, 2002.
2. Кръстева, Д., Текстилни изпитвания и анализ, ТУ-София, С., 2012.
3. Незнакова М., И. Рахнев, Придаване на ефект на намалена замърсяемост на тъкани „Деним“, предназначени за работно облекло, Текстил и облекло, 9, 2011, стр. 251-257.
4. Незнакова М., Придаване на специални свойства на площни изделия от 100% вълна, Текстил и облекло, 12, 2010, стр. 350-355.

гл. ас. д-р Михаил Панчев, ТУ-София, катедра „Текстилна техника“, тел. 02 965 38 80, e-mail: mpanchev@tu-sofia.bg

Габриела Карамфилова, студент в ТУ-София, катедра „Текстилна техника“, e-mail: g.karamfilova@gmail.com

Възможност за измерване на линейно преместване на плетени структури при двумерно циклично натоварване с компютърно зрение

Даниела Софронова, Каролина Илиева

Доказано е, че компютърното зрение може успешно да се интегрира към измервателен стенд за двумерно многоциклово натоварване с малки опънови сили. С него е възможно освен да се измерва линейното преместване с достатъчна точност на база на разпознаване на маркери, но и да се извършва наблюдение на деформационното поведение на изпитваните образци в реално време и да се оценяват различни параметри. Описани и визуализирани са стъпките за изготвяне на алгоритъма на програмата в среда на NI Vision за обработка на изображенията, заснети с камера при извършване на експериментално изпитване на плетени структури.

Ключови думи: компютърно зрение, линейно преместване, стенд, двумерно многоциклово натоварване, малки опънови сили

A possibility for measuring a linear displacement of knitted structures by biaxial cycle loading via computer vision

Daniela Sofronova, Karolina Ilieva

It has been demonstrated that computer vision can be successfully integrated into a testing device for biaxial cycle loading with small tensile forces. It is possible with it to measure the linear displacement with sufficient accuracy based on marker recognition, but also to monitor the deformation behavior of the test samples in real time and to evaluate different parameters. The steps of making the algorithm of the program in NI Vision environment for processing camera-captured images in performing experimental testing of knitted structures are described and visualized.

Keywords: computer inspection, linear displacement, homemade device, biaxial cycle loading, low stress

Въведение

В последните години заедно с развитието на компютърните технологии се наблюдава засилен интерес от прилагането на системите за компютърно (машинно) зрение при автоматизирането на редица инженерни решения [6, 9, 14, 15, 17]. В литературата са описани огромен брой приложения на компютърното зрение, свързани със събиране и автоматична обработка на изображения на обекти от реалния свят с цел да се извлече и интерпретира визуална информация от тях: геометрични параметри, форма, цветови характеристики, текстура на повърхността и други признаци, въз основа на които може да се определя качеството на детайли, продукти и изделия. Визуалните сцени биха могли да бъдат двумерни изображения или двумерни изображения на тримерни обекти.

Интегрирането на компютърното зрение в специализирани уреди за експериментално изследване на механичното поведение на различни по вид материали, в частност и на площни текстилни материали, с цел измерване на линейното преместване, се среща рядко. В повечето случаи последното се измерва със сензори (електрически или оптични) от висок или по-нисък клас [2, 3, 4, 5, 20]. При тях точността на измерването е в пряка зависимост от параметрите на отделните елементи и начина на организация на системата, докато при

компютърно зрение [8, 10] тя се влияе единствено от разработения алгоритъм. Измервателните системи с компютърно зрение са стабилни, като обработката може да се извършва в или извън реално време. Безспорно преимущество на визуалната инспекция е и възможността за наблюдение и анализ на възникналите в образа деформации в резултат от прилагането на различни видове натоварвания, както и за оценка на различни параметри.

Целта на настоящия доклад е да се изследва възможността за интегриране на компютърно зрение към стенд за изпитване на бримкови структури при двумерно циклово натоварване с малки опънови сили за измерване на линейното преместване на база на идентифициране и следене на маркери.

Теоретична част

Структура на системите за машинно зрение

Системите за машинно зрение включват няколко елемента, основният от които е една или няколко *цифрови или аналогови камери* (черно-бяла или цветна) с подходяща оптика за възприемане на изображения.

Системите поддържат интерфейс на камерата за цифровизиране на образите, известен като кадров уловител, който превръща аналоговите видеосигнали в цифров протокол под формата двумерен масив от числа, отговарящ на нивото на светлинната интензивност на съответните точки от зрителното поле (пиксели). Данните се записват в компютърната памет, за да могат да се обработят от *софтуера за машинно зрение*.

Другите елементи са *лещи за фокусиране на желаното поле от образа* върху сензора за изображение, както и подходящи *специализирани източници на светлина* - светодиодни излъчватели, флуоресцентни, халогенни или инфрачервени лампи и др. От значение е осигуряване на осветяване на обекта с оглед подчертаване на негови характерни особености и прикриване и намаляване на тези, които не са съществени за него, например отражения или сенки.

Част от структурата са още *синхронизиращ сензор за откриване обекта за проверка*, който превключва между получаване на изображението и обработката му, и различни видове *изпълнителни механизми*.

Методи за разпознаване на маркери

Един от начините на извличане на желана информацията от заснетите изображения е свързан с откриване и следене на маркери, които могат да бъдат част от инспектирания елемент или изкуствено добавени в най-различни варианти. Най-често се използват маркерите с форма на квадрат, правоъгълник или окръжност, тъй като тези геометрични примитиви по принцип са лесно откриваемы в изображенията.

Съдържанието в квадрата е равномерно достъпно само с хомография, като кадрите се изчисляват от върховете на квадрата, което ги прави уникални [3].

При маркерите с кръгла форма позите се изчисляват от целия контур на маркера, вместо от 4-те върхове, което води до по-лесното им откриване.

Съгласно [1] квадратните маркери носят по-голям символичен товар в сравнение с кръглите със същия размер, но кръглите маркери дават по-голяма точност за местоположение.

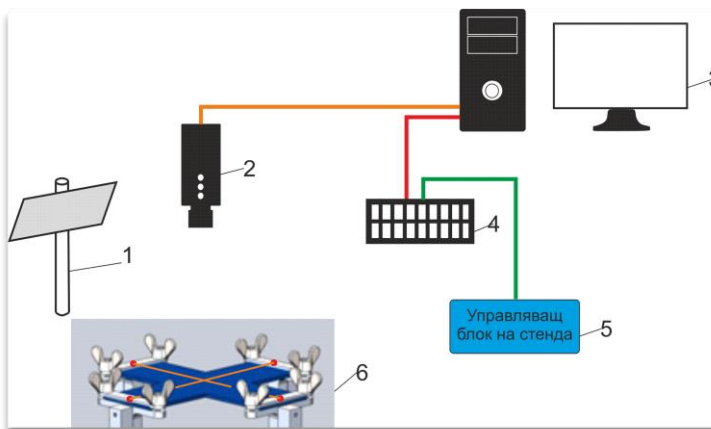
За идентификация на маркерите с цел измерване на линейно преместване се прилагат различни оптични техники като фотоеластичност, геометрично моаре, моаре интерферометрия, холографска интерферометрия, метод на мрежата и корелация на модела (DIC) и др. [9, 17]. Трябва да се отбележи, че някои от тези техники могат да измерват преместванията единствено в равнината, а други - и извън нея, при това за всякакъв вид образци (равнинни или не). За всички подходи е характерно, че се влияят от дизайна на маркера [5, 13].

Най-често използваният метод за различни приложения е DIC, в резултат на неговата простота и гъвкавост. При него се измерва степента на корелация на модела, открит в изображението, с известни модели. Използват се още дигиталните методи, при които се чете бинарен код или се извличат маркерите от топологията на изображението [5, 13].

Експериментална част

Структура на интегрираното компютърно зрение към измервателен стенд

Основавайки се на научно-приложния опит в областта [1, 6, 9, 11, 12], авторът прилага представената на Фиг. 1 схема на системата за компютърно зрение с приложение за измерване на линейно преместване на база на разпознаване на маркери. Маркерите са разположени върху клемите на стенда 6 за извършване на дву- и тримерни многоциклови натоварвания в областта на малките опънови сили. За провеждане на изследването е осигурена определена осветеност 1 на обекта (визуална сцена), който се явява в случая образец от плетен плат. С 2 е означена камерата, с която се извършва заснемане на процеса, а с 3 – персонален компютър. Данните, постъпващи от камерата, се събират и обработват от програма, развита в среда на NI Vision Builder, която от своя страна може да се интегрира в логиката на програмата за управление на устройствата 4 и 5, което е описано подробно в [18, 19, 20].



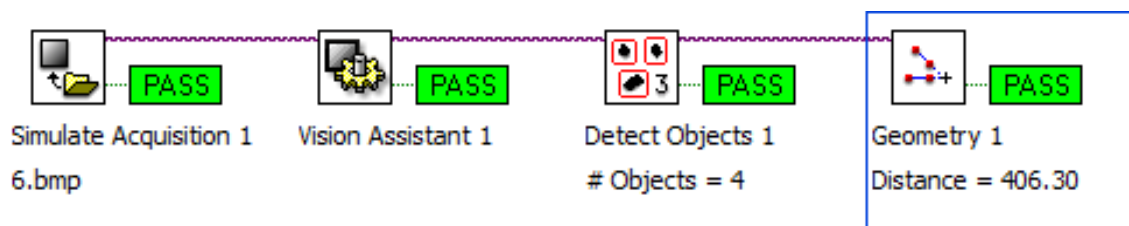
Фиг. 1 Схема на интегрираното компютърно зрение към измервателен стенд за измерване на линейно преместване на база на разпознаване на маркери

В настоящия доклад изследването се провежда извън реално време с цел предварително оценяване възможностите на компютърното зрение в конкретния случай. За целта се прилага видеозапис на изпитване, проведено с плетена структура при едновременно натоварване на опън по двете направления. Видео е заснето с цифров фотоапарат Panasonic FZ 2000 с резолюция за заснемане на изображения 3840x2160 пиксела до 30 кадъра. От значение в случая е единствено цветът на пробата, без да се интересуваме от вида и параметрите на структурата. Видеофайлът е конвертиран в цифрови изображения с определена стъпка. В бъдещи изследвания ще бъдат представени и теоретичните изчисления за отстоянието на камерата съобразно оптиката ѝ и площта на визуалната сцена. А според резолюцията, отстоянието и максималното поле за инспектиране ще се определи и точността на измерването – брой пиксели за mm. От значение е също определянето на скоростта на обработката на изображенията, поради което в бъдеще ще бъдат тествани няколко алгоритми, базирани се на различни методики за обработка на изображенията, за разпознаването на маркерите и за изчисляване на разстоянието между тях.

Разработване на алгоритъм в среда на NI Vision Builder

За следене на позицията на физически обекти е необходимо да се разработи алгоритъм, включващ няколко последователни стъпки. Първоначално се задава местоположението на изображенията, подлежащи на обработка, след което се извършват манипулации, намаляващи шумовете или преобразуващи част от нюансите на сивото в обикновена комбинация на черно и бяло (т.нар. бинаризация). Следващата стъпка е свързана с броене, измерване и/или идентифициране на обекти или други характеристики на изображението. Най-често се прилага метода за откриване на маркери от топологията на изображението [1]. Последният стадий в работата на програмното осигуряване е да вземе решение, съобразно заложените критерии.

На Фиг. 2 е представен разработеният алгоритъм, състоящ се от четири основни стъпки.



Фиг. 2 Алгоритъм за изчисляване на линейното преместване

1) Регистриране на изображенията

За регистриране на изображенията се задава пътят до тях. На Фиг. 3 е илюстрирано оригиналното изображение с разположението на маркерите.

2) Обработка на изображението

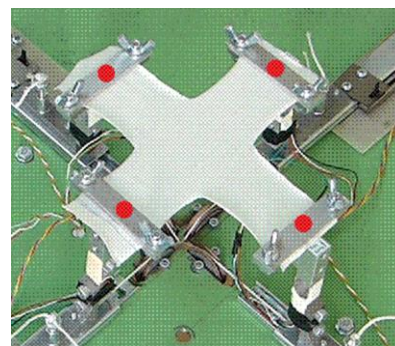
Програмното осигуряване на системите за машинно зрение, което се предлага на пазара, обикновено включва различни техники за обработка на изображения, някои от които са сравнително елементарни, а други се базират на много сложни алгоритми. Броенето на пиксели е сред използваните техники, при което се определя количеството светли и тъмни точки в изображението. Първоначално обработката се свързва с извличане на единия от основните цветове на изображението – синия или зеления цвят, след което се прави прагово преобразуване за преработка на сивите тонове в опростени черни и бели. Обработеното изображение е представено на Фиг. 4.

3) Откриване и следене на маркерите

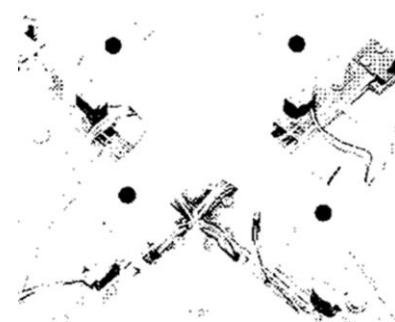
За откриване и следене на позицията и ориентацията на маркерите също могат да се приложат различни функции. Една от тях е *Detect Objects*. При нея има възможност както за избор на осветеността на търсения обект – светъл, тъмен и сив, така и на метода за идентифициране на обектите. Методите са разделени в три основни групи: ръчно, автоматично и локално търсене. За целите на настоящото изследване е използван локалният метод, при който има възможност за въвеждане на размерите на прозореца, с който се осъществява търсенето на маркерите. Освен това, чрез функцията *Detect Objects*, могат да се дефинират минималната и максималната площ на обектите, които се търсят в границите на цялото изображение или в допълнително зададени граници. Откритите обекти, отговарящи на зададените параметри, се извеждат в списък заедно със съответните им параметри. Като допълнение могат да бъдат зададени още очакваният минимален и максимален брой обекти.

4) Изчисляване на разстоянията между маркерите по двойки

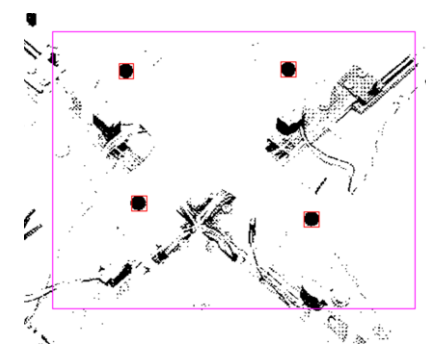
Определянето на линейното преместване става чрез изчисляване на разстоянията между идентифицираните маркери по двойки. Изведеният резултат е в пиксели, както се вижда от Фиг. 2, тъй като не е направена калибрация на камерата.



Фиг. 3 Оригинално изображение



Фиг. 4 Обработка на оригиналното изображение



Фиг. 5 Откриване на маркерите

Симулация на работата на алгоритъма

Програмата позволява извършване на симулация за определяне на необходимото време за изпълнение на всяка една от стъпките на алгоритъма. Може да се оцени също ефективността на разработения алгоритъм. В табл. 1 са представени резултатите от извършената симулация със стъпка на итерациите 15. От илюстрираните в таблицата данни се вижда, че най-времеемък е етапът за откриването или разпознаването на маркерите. Най-малко време отнемат стъпките за изчисляване на разстоянията между маркерите.

Таблица 1

Резултати от симулацията на алгоритъма

№	Описание на стъпките от алгоритъма	Време, ms	Средна стойност, ms	Средно-квадратично отклонение, ms	Най-малко време, ms	Най-дълго време, ms
1	Регистриране на изображение	591,000	39,400	2,551	36,000	46,000
2	Обработка на изображението	347,000	23,133	2,093	20,000	28,000
3	Откриване на маркерите	636,368	42,425	3,083	36,828	47,960
4	Изчисляване на разстоянието 1	9,526	0,635	0,497	0,391	2,371
5	Изчисляване на разстояние 2	4,411	0,294	0,079	0,245	0,570
6	Визуализация на резултатите	78,006	5,200	4,957	1,603	14,790
Сумарно		1749,011	119,601	8,635	103,462	138,947

Средната стойност на времето за осъществяване на една итерация от инспекцията е 119,601 ms със стандартно отклонение 8,635 ms, което означава, че за 1 секунда е възможно да се обработват 8,36 изображения.

Изводи

От направеното в настоящия доклад изследване се установява, че компютърното зрение може успешно да се интегрира към измервателен стенд за изчисляване на линейното преместване при дву- и тримерни циклови натоварвания с малки опъновы сили на база на разпознаване на маркери. Ni Vision Builder е подходяща среда за разработване на алгоритми за визуална инспекция. Въпреки че извършената симулация е извън реално време, тя дава първоначална представа за точността и скоростта на извличане на търсените данни. В бъдеще предстои да се проведат изследвания за тестване на различни алгоритми, с които да се търси минимизиране на времето за инспекция, като се варира с формата на маркерите, техниките за обработка на изображенията, идентификацията на маркерите и изчисляването на разстоянието в реално време.

Настоящото изследване е извършено в рамките на проект към НИС на ТУ-София №171ПР0009-02.

Литература

1. Beglov, V., Object information based on marker recognition, Thesis in University of Eastern Finland, Department of Computer Science, 2013.
2. Ben Abdesslem, S., Elmarzougui, S., Saki, F., Dynamic Fatigue of Plain Knitted fabric, Journal of Textile and Apparel, Technology and Management, Vol. 5 (2), 2006.
3. Das, P., R. Ghoshal, D. Kole, R. Ghosh, Measurement of Displacement and Velocity of a Moving Object from Real Time Video, International Journal of Computer Applications, Vol. 49 (1), pp.12-16, 2012.

4. Escárpita, D. A.A., Cárdenas, D., Elizalde, H., Biaxial Tensile Strength Characterization of Textile Composite Materials, <http://dx.doi.org/10.5772/48105>.
5. Geandier, G., D. Thiaudière, R. N. Randriamazaoro et al., Development of a synchrotron biaxial tensile device for in-situ characterization of thin films mechanical response, <http://romanee.lmt.ens-cachan.fr/PDFs/GEANDIER.2010.1.pdf>.
6. Hirzer, M, Marker Detection for Augmented Reality Applications, Thesis in Inst. for Computer Graphics and Vision Graz University of Technology, Austria, 2008.
7. Koehler, J., A. Pagant, D. Stricker, Detection and Identification Techniques for Markers Used in Computer Vision, DOI 10.4230/OASlcs.VLUDS.2010.36, pp.36-44.
8. Miguel, E., Bradley, D., Thomaszewski, B., Bickel, B., Matusil, W., Otaduy, M.A., Marschner, S., Data-Driven Estimation of Cloth Simulation Models, Eurographics, Vol. 31 (2), 2012.
9. Orteu, J., 3D computer vision in experimental mechanics, Optics and Lasers in Engineering, Vol.47, 2009, pp. 282-291.
10. Quaglini, V., Corazza, C., Poggi, C., Experimental characterization of orthotropic technical textiles under uniaxial and biaxial loading, Composites:Part A, Vol.39, 2008, pp. 1331-1342.
11. Sutton, M., J. Yan, V. Tiwari, H. Schreier, J. Orteu, The effect of out-of plane motion on 2D and 3 D digital image correlation measurements, Optics and Lasers in Engineering, Vol. 46, 2008, pp.746-757.
12. Yilmaz, A., O. Javed, M. Shah, Object Tracking: A Survey, ACM Computing Surveys, Vol. 38, No. 4, Article 13, Publication date: December 2006.
13. Yoneyama, S., A. Kitagawa, K. Kitamura, H. Kikuta, In-plane Displacement Using Digital Image Correlation with Lents Distortion Correction, JSME International Journal, Vol. 49, No. 3, 2006, pp.458-467.
14. NI Vision Builder for Automated Inspection Tutorial, 2011.
15. Гълъбов, М., Въведение в компютърното зрение, Велико Търново, 2015, Available from: https://www.researchgate.net/publication/280831839_VVEDENIE_V_KOMPUTRNOTO_ZRENIE [accessed May 3, 2017].
16. Маринов, Н., Цифрова обработка на изображения, Лекция 1, УАСГ, 2010.
17. Николов, А., Методи за откриване на характерни точки и тяхното съответствие в стереодвойки изображения, http://www.iict.bas.bg/SPiR/papers/A_Nikolov/Feature%20Points%20Detection%20Methods%20and%20Their%20Correspondence%20in%20Stereo-images.pdf
18. Софронова, Д., Създаване на нова методика за изпитване на плетени платове при двумерно и пасивно тримерно натоварване на опъване, Сборник доклади от XIII-та Общотекстилна конференция' 2014 „Иновации в текстила и облеклото“, 2014, с. 207-222.
19. Софронова, Д., Софронов, Я., Гендов, Хр., Стоилов, Т, Разработване на нов метод за изпитване на плетени платове на двумерно и пасивно тримерно многоциклово натоварване с малки опънови сили, Сборник доклади от XIII-та Общотекстилна конференция'2014 Иновации в текстила и облеклото, 2014, с. 194-206.
20. Софронова, Д., Софронов, Я., Гендов, Хр., Разработване на софтуер за управление на двигателите и сензорната система на стенд за двумерно многоциклово натоварване, Сборник доклади от XIX-та Научна конференция с международно участие ЕМФ' 2014, 2014, с.193-202.

гл. ас. д-р Даниела Софронова, ТУ-София, катедра „Текстилна техника“, тел. 02/ 965 39 21, e-mail: dcholeva@tu-sofia.bg
Каролина Илиева, студент в ТУ-София, катедра „Текстилна техника“, email: breathoflifex@gmail.com

Анализ на видовете дигитални бодови редове при машинно бродирание

Даниела Софронова, Радостина Ангелова

Представени и анализирани са класификации на видовете дигитални бодови редове, използвани при машинното бродирание. Една част от тях са разработени от отделни автори, а друга се основават на съществуващи фирмени CAD софтуерни пакети за управление на автомати за бродерия. Анализът е предпоставка за създаване на комплексна класификация на бодовите редове, която е в процес на разработка.

Ключови думи: машинна бродерия, класификация, дигитални бодове, анализ

Analysis of the types of digital stitches in machine embroidering

Daniela Sofronova, Radostina Angelova

Classifications of the types of digital stitches used in machine embroidering are presented and analyzed. Some of the classifications are developed by individual authors, while others are based on existing CAD software packages for embroidery machine control. The presented analysis is the required background for creation of a complex classification of the digital stitches used in machine embroidering that is under development.

Keywords: machine embroidery, classification, digital stitches, analysis

Въведение

Съществува огромно разнообразие от машинни бродерии като се използват различни видове помощни материали и технологии на изработване [9]. За създаване на бродерии с високо качество без наличие на дефекти [10] е задължително познаването на видовете бодови редове и тяхното предназначение в дизайна.

Дигиталните бодови редове при машинното бродирание са тези бодови редове, които се програмират на специализираните софтуерни кодове, предназначени за създаване на програми за управление на бродирация автомат. При по-старото поколение бродиращи машини те са синоними с машинните бодови редове, тъй като различните ефектни бодови редове там се постигат чрез конкретни настройки на машинните параметри: опъване на горния конец, опъване на долния конец, наличие (или отсъствие) на краче и транспортни зъби [8].

Машинното бродирание е ориентирано главно към малкия и средния бизнес, но в България то е развито в много по-малки мащаби, отколкото е в САЩ или множество азиатски държави. Водещите световни производители на индустриални бродиращи автомати Melco (САЩ), ZKF (Германия), Tajima (Япония), SWF (САЩ), Avance (САЩ) и т.н. непрекъснато развиват предлаганите от тях продукти благодарение на най-новите достижения на компютърните и комуникационните технологии. Това засяга и софтуерните кодове: Wilcom (Австралия), Sierra SEU (на SWF, Avance), Pulse (на Tajima), Design Shop (на Melco) [11-21]. Предлагат се и уеб приложения, като това на Wilcom [15], които позволяват онлайн визуализации на дизайните, комбиниране и конвертиране на бродерията, автоматизиране на процесите на проектиране, възможност за виртуален 3D преглед от страна на клиента на дизайна на бродерията върху облекло или друго изделие преди процеса на дигитализиране и др.

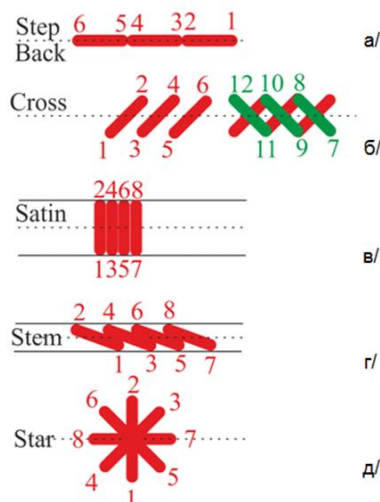
Прегледът на редица публикации върху видовете бодове в машинното бродирание, показва, че все още няма приета единна класификация на видовете бодови редове за машинно бродирание. Съществената част от публикациите са свързани директно с проблеми на технологията и дизайна и се представят основно в рекламни публикации [7]. Най-всеобхватните източници на информация за машинното бродирание от 2010г. насам се срещат в уеб сайтовете на водещите производители на бродиращи автомати и в наръчниците на софтуерните продукти. Единични автори, например Start [7], предлагат свои собствени интерпретации, основавайки се напълно логично на бодовите редове от ръчното бродирание, за което е характерно прилагането на огромно разнообразие от техники. За разлика от ръчното бродирание, обаче, при машинното на този етап от развитието на сектора прокарването на иглата е само от едната страна на плата и е възможно получаване на прави двулицеви бодове, характерни за грайферните шевни машини, и свободни примки, без възли и стегнати примки. Други автори [3, 5] вземат под внимание крайния външен вид на бодовите редове или тяхното предназначение, а трети [4, 7, 8, 9], най-голямата част от авторите, се позовават на вече разработени техники и стратегии за дигитализиране на бодови редове в различни софтуерни продукти за създаване на дизайни на машинна бродерия.

Целта на настоящата работа е да систематизира и представи анализ на видовете дигитални бодови редове при машинното бродирание, основавайки се на съществуващите класификации и софтуерни кодове. Обобщението на информацията е задължителната предпоставка за създаване на комплексна класификация на бодовите редове, която е в процес на разработка.

Съществуващи класификации

Класификация на Start

Класификацията на Barry Start [7] се основава изцяло на ръчното бродирание. Той разглежда общо 5 вида бодови редове, показани на Фиг. 1, заедно с последователността на стъпките.



Фиг. 1 Видове бодове според Start [7]

а) прав лицев, б) кръстосан, в) сатен, г) стебло, д) звезда

Класификация на Chernenko

Chernenko [3] класифицира бодовите редове без да се базира на конкретен софтуерен продукт. Той предлага групирането им в: **прав двулицев бод*, **сатен с постоянна ширина* и **сатен с променлива ширина* (Фиг. 2). Дори и според самия автор класификацията е непълна и не може да отрази разнообразието на получаваните дигитални бодови редове.



Фиг. 2 Видове бодови редове според Chernenko [3]

Класификация на Hart Momsen

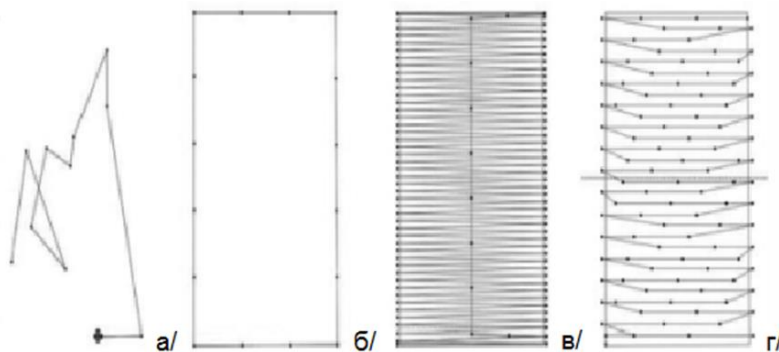
Hart Momsen [5] класифицира видовете дигитални бодови редове в четири основни групи спрямо тяхното предназначение в дизайна на машината бродерия, а именно: **за очертаване*, **за компенсация на потъването на бодовете*, **за гъстина* и **път за изработка на дизайна*. Към първата група тя отнася 6 вида очертаващи бодови редове, а към третата отнася три метода за формиране на гъстината – чрез промяна на броя бодове за единица дължина или разстоянието между бодовете от автоматично зададена стойност и чрез абсолютна гъстина, зададена от потребителя.

Класификация, основаваща се на GR3 Editor, SysTech, Русия

Tikhomirov [7] разглежда общо четири основни вида бодови редове: **единичен*, **прав двулицев*, **зигзаговиден* и **тъканоподобен*. В основата на разработката му са възможностите на софтуерния продукт GR3 Editor.

Класификация, основаваща се на Pulse Signature, Tajima, Япония

Като се базират на софтуера Pulse Signature на Tajima, Lamb [7] и Belova [1] разглеждат също четири основни вида бодови редове: **ръчен дигитализиран прав двулицев бодов ред*, **прав двулицев*, **бод, следващ автоматично генерирана траектория*, **сатен* и **запълващ* – Фиг. 3.



Фиг. 3 Основни видове бодове според Lamb [7] и Belova [1], а) ръчно дигитализирани бодове, б) прав двулицев по определен контур, в) сатен, г) тъканоподобен

Класификация, основаваща се на Urfinus, Русия

Според класификацията на Urfinus [2] бодовите редове са групирани в два основни групи – прости и сложни обекти. Дефинирани са общо 4 вида дигитални бодове при прости обекти и 15 вида – при сложни (между които няколко вида тъканоподобни).

Класификация, основаваща се на Espima, Украйна

Предложената от Espima [7] класификация се основава на принципа на образуване на традиционните бодови редове. В нея бодовите редове са разделени в две основни групи. Към първата група, наименована прави двулицев бодови редове, са включени **индивидуални бодове*, **макрос от бодове* и **мотиви*, а към втората – **площни* и **контурни* бодови редове.

Класификация, основаваща се на EmbroideryStudio e4, Wilcom, Австралия

От компанията Wilcom [8, 15] също извършват класифициране на видовете дигитални бодови редове съгласно разработените алгоритми в софтуерния им продукт. Те ги групират

в: **контурни* бодови редове (единични, тройни, стебло, сатен и др.) и **запълващи* бодови редове.

Анализ на класификациите

Прави впечатление, че всеки един от авторите създава собствено групиране на дигиталните бодови редове при машинното бродирание, на база на което могат да се създадат различни вариации. Start [7] използва традиционните бодове от ръчното бродирание и те са заложили в софтуерите на различни производители. Трябва да се подчертае, обаче, че се наблюдават различия в алгоритмите за задаването им.

Chernenko [3] класифицира бодовите редове в три основни групи, като се основава на завършената форма на запълващите бодови редове, които предават основните елементи на художественото произведение – контури, линии, петна. Според неговата класификация се отчита единствено геометрична форма на бодовете, независимо от вида на програмата и алгоритмите, чрез които са създадени. Съществени недостатъци на предложената класификация се свързват с невъзможността за отразяване на визуалната форма на създадените обекти.

Предложението на Hart Momsen [5] за групиране на видовете дигитални бодови редове е интересно и отличаващо се от тези на останалите автори. Първоначално тя ги разделя съгласно предназначението им в дизайна на машинната бродерия, което е подходящо, но липсва описание на добре известните бодови редове.

Всички останали класификации са разработени въз основа на възможностите на различни софтуерни продукти - EpsimaUrfinus, Pulse и EmbroideryStudio [7, 8, 11, 14, 15]. Според първите два софтуера бодовите редове са класифицирани в две основни групи, но наименовани по различен начин. Особено при тях е, че се използва терминът „*обект*“ вместо бодови редове, тъй като задачата на програмирането е разпределяне на даден модел в отделни обекти, на всеки един от които могат да се присвоят различен тип запълване. Запълването от своя страна може да бъде с различна гъстина, стъпка и/или направление на запълване и др. Понятието „*обект*“ се среща и в други софтуерни продукти, например в [4]. Недостатък на класификацията е липсата на някои от видовете бодови редове и ясното дефиниране на признаците, по които те се разграничават. Belova [1], Lamb [7] и Tikhomirov [7] групират бодовите редове в четири групи като класификациите на Lamb и Belova са сходни, тъй като отново се основават на идентичен софтуерен продукт – този на Tajima.

Заклучителна част

Направената съпоставка на съществуващи авторски класификации на дигиталните бодови редове при машинното бродирание, основани в това число на съществуващи CAD софтуерни продукти на водещи компании в областта показва, че не съществува единна терминология при обозначаване на един и същ тип бодови редове. Налице са съществени вариации в наименованията, използвани от различните компании, което се отразява и в изследванията, посветени на машинното бродирание. Наличието на обща, комплексна класификация може да улесни ориентирането на изследователи и потребители във възможностите на конкретни автомати за бродирание или работата със специфичен CAD софтуерен пакет. Следващата задача на настоящото изследване е именно създаването на такава комплексна класификация.

Литература

1. Belova, M., Four whale types of stitches, 2012, <http://embroidery-digitizing.ru>.
2. Campbell, E., <http://www.mrxstitch.com/ghost-embroidery-machine-stitch-types-machine-embroidery-digitizing-stitch/>
3. Chernenko, D.A., Systematization of the design parameters of the automated embroidery and modeling of the deformation of the system “cloth-embroidery”, PhD, Orel State Technical University, Russia, 2006, pp. 120.
4. Instruction Book of DigitizerPro v2.0, 2007.

5. Hart Momsen, H., 2015, <https://printwearmag.com/features/building-blocks-embroidery-0>
6. Patent US 5506784, A Method for automatically generating a chenille filled embroidery stitch pattern, 1996.
7. Ripka, G., A. Mychko, I.Deyneka, The analysis of machine embroidery stitches types classification, TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture, Vol. 14, No. 2, 2014, p.120-126.
8. Zhang, Y., Conceptual Embroidery For Fashion In A Chinese Context, PhD in The Hong Kong Polytechnic University and ITC, 2009.
9. Софронова, Д., Възможности на машинното бродирание за създаване на дизайнерски интерпретации, Сборник доклади от НК на ЕМФ, Созопол, 2015.
10. Софронова, Д., Р. А. Ангелова, Класификация на дефектите при машинното бродирание, Сборник доклади от НК на ЕМФ, Созопол, 2016.
11. <https://www.wilcom.com/products/embroiderywebapi.aspx>
12. <http://www.avance-emb.com/home/professional-embroidery-machine-comparison>
13. <http://www.dmc-usa.com/Education/How-To/Learn-the-Stitches/Embroidery-Stitches.aspx>
14. <http://www.tajima.com.hk>
15. <https://www.wilcom.com>
16. <http://www.zskmachines.com>
17. <http://swfcentral.com/>
18. <http://www.avance-emb.com/>
19. <http://www.mrxstitch.com/extended-stitch-types-in-machine-embroidery-bean-stitch-and-motif-stitching/>
20. www.coldesi.com
21. <http://vintagecraftsandmore.com/tag/borders>

гл. ас. д-р Даниела Софронова, ТУ–София, катедра „Текстилна техника“, тел. 02 965 39

21, e-mail: dcholeva@tu-sofia.bg

доц. д-р Радостина Ангелова, ТУ–София, катедра „Текстилна техника“, тел. 02 965 29

04, e-mail: radost@tu-sofia.bg

Проектиране на цели бански костюми за жени

Христо Петров

Обект на настоящата разработка са някои особености в алгоритмите за проектиране и изграждане на стандартна основна конструкция на дамско облекло от еластомерен трикотаж. Разработени са варианти на цели бански костюми за типови женски фигури в съответствие с моделните им и конструктивни особености.

Ключови думи: типови фигури за жени, бански костюми, моделни варианти

Design of full swimsuits for women

Hristo Petrov

Objects of the present invention are some features in the design algorithms and the construction of a standard basic construction of elasticated knitwear. Variations of full swimsuits for typical female Figures have been developed in accordance with their model and design features.

Keywords: typical figures for women, swimwear, model variants

Въведение

В теорията и практиката съществува разнообразие от алгоритми за геометрично разгъване на повърхността на облеклото на плоскост. В съответствие с вида и предназначението на облеклото, създаването на една стандартна конструктивна основа е пряко свързано с:

- телесните измерения, които характеризират формите и пропорциите на човешкото тяло в неговата динамика;
- вида, структурата и свойствата на площните текстилни материали, от които ще се изработва проектираното изделие.

Еластомерните трикотажни материали се характеризират с относително по-голяма деформируемост при опън, т.е. по-висока структурна подвижност и разтегливост. Това свойство е в основата за лесно приемане на форми, съответстващи на изразените изпъкналости и вдлъбнатости от човешката фигура. В горните опорни участъци изделията се приближават към формата на човешкото тяло и се характеризират с относително стабилни размери. Формирането на долните участъци се извършва за сметка на разтягането на изделията в съответните опорни повърхности от фигурата, напр. в областта на ханша. Различната степен на деформиране за различните видове материали в областта на ниските натоварвания, изисква определянето на напречните и надлъжни относителни деформации.

При проектирането на плътно прилягащо към тялото облекло в повечето случаи се налага обиколните размери на изделието да бъдат по-малки от действителните размери на тялото. Тази разлика е в пряка връзка с деформационните свойства на използваните платове. Практическата задача се свежда до намиране на еднотипни зависимости за оразмеряване на конструкциите, които са приложими за дадена група платове при избягване на изключения и специални случаи. Чрез използването на тези зависимости изделието трябва да осигурява:

- обвиване на всички изпъкналости и вдлъбнатости от повърхността на тялото, за които то е проектирано;

- упражняване на външен натиск, по-нисък от допустимия върху телесните повърхности, с оглед осигуряване на комфорт при носене;
- запазване на възприятието за равнинна композиция на плата при деформиране, особено когато отсъства нарочен акцент върху някоя част от облеклото.

Теоретична част

За разработените моделни варианти конструктивната основа е построена за стандартен типоразмер 164/92/100 и е без прибавки за шев. Предварителните изчисления включват определянето на следните съставни линии и конструктивни участъци, като прибавките за свобода по основните оразмерителни линии е 0,0 см.

1. Дължина на гърба до линията на гърдите: $D_{ГР (ЛГ)} = 1,3 D_{7 Г (3)} = 1,3 \cdot 17,4 \approx 22,6$ см.
2. Дължина на гърба до линията на талията: $D_{ГР (ЛТ)} = D_{7 Т (3)} + П_d = 39,9 + 2,0 = 41,9$ см, където $П_d = (1,0 \div 3,0)$ см.
3. Дължина на гърба до линията на ханша: $D_{ГР (ЛХ)} = 1,5 D_{ГР (ЛТ)} = 1,5 \cdot 41,9 \approx 62,8$ см.
4. Дължина на изделието: $D_{изд} = D_{ГР (ЛТ)} + D_{Т ПЛ С} - (1,0 \div 5,0) = 41,9 + 27,5 - 2,0 = 67,4$ см.
5. Дължина до линията на талията отпред: $D_{ПР Ч (ЛТ)} = D_{ГР (ЛТ)} + \delta = 41,9 + 4,0 = 45,9$ см, където $\delta = 1/3 (D_{7 Т (ПР)} - D_{7 Т (3)}) = 1/3 (51,9 - 39,9) = 4,0$ см.
6. Широчина на гърба по линията на гърдите: $Ш_{ГР (ЛГ)} = 0,4 C_{Г III} - 1,0 = 0,4 \cdot 46,0 - 1,0 = 17,4$ см.
7. Широчина на подмишечния участък по линията на гърдите: $Ш_{ПМУ (ЛГ)} = 0,2 C_{Г III} + 1,0 = 0,2 \cdot 46,0 + 1,0 = 10,2$ см.
8. Широчина на предната част по линията на гърдите: $Ш_{ПР Ч (ЛГ)} = 0,4 C_{Г III} = 0,4 \cdot 46,0 = 18,4$ см.
9. Широчина на вратната извивка: $Ш_{ВР ИЗВ} = 0,2 O_{Ш} - (0,0 \div 0,6) = 0,2 \cdot 37,4 - 0,48 = 7,0$ см.
10. Височина на вратната извивка: $В_{ВР ИЗВ} = 1/3 Ш_{ВР ИЗВ} = 1/3 \cdot 7,0 \approx 2,3$ см.

Геометричното построение се извършва по следния примерен начин (Фиг.1).

$В - Г = D_{ГР (ЛГ)} = 22,6$ см; $В - Т = D_{ГР (ЛТ)} = 41,9$ см; $В - Х = D_{ГР (ЛХ)} = 62,8$ см; $В - Д = D_{изд} = 67,4$ см; вдясно от точки В, Г, Т, Х и Д се прекарват хоризонтални прави; $Г - Г_1 = Ш_{ГР (ЛГ)} = 17,4$ см; нагоре от т. Г₁ се издига вертикална права $\Rightarrow$ т. в; $Г_1 - Г_2 = 2/3 Ш_{ПМУ (ЛГ)} - 1,0 = 2/3 \cdot 10,8 - 1,0 = 5,8$ см; от точка Г₂ надолу се спуска вертикална права $\Rightarrow$ т. Т₂Х₂ и Д₂; $В - В_1 = Ш_{ВР ИЗВ} = 7,0$ см; $В_1 - В_2 = В_{ВР ИЗВ} = 2,3$ см; $В_1 - в_1 = 0,5 В_{ВР ИЗВ} + 0,5 = 0,5 \cdot 2,3 + 0,5 = 1,65$ см; $в - в_2 = 0,1 D_{ГР (ЛГ)} = 0,1 \cdot 22,6 = 2,26$ см; $В_2 - Р = Ш_P = 12,9$ см; $Г_2 - К = 0,25 Г_2 В_2 = 0,25 \cdot 20,3 \approx 5,1$ см; $К - К_1 = (0,6 \div 1,0)$ см; $Г_1 - К_2 = 0,5 Г_1 В_2 = 0,5 \cdot 20,3 \approx 10,2$ см; $Г_1 - К_3 = 0,3 Ш_{ПМУ (ЛГ)} = 0,3 \cdot 10,2 \approx 3,1$ см; гладка линия $РК_2К_1К_3Г_2$.

$Г_2 - Г_3 = Р_{РАЗДЕЛЯНЕ} = (5,0 \div 10,0)$ см; от точка Г₃ надолу се спуска вертикална права $\Rightarrow$ т. Т₃Х₃ и Д₃; $Г_3 - Г_4 = 1/3 Ш_{ПМУ (ЛГ)} + 1,0 = 1/3 \cdot 10,8 + 1,0 = 4,4$ см; $Г_4 - Г_5 = Ш_{ПР Ч (ЛГ)} = 18,4$ см; от точка Г₅ надолу се спуска вертикална права $\Rightarrow$ т. Т₅Х₅ и Д₅; $Т_5 - В_6 = D_{ПР Ч (ЛТ)} = 45,9$ см; $Г_5 - Г_6 = 0,5 Р_{ГР 3} = 0,5 \cdot 18,9 = 9,9$ см; $Г_1 - Г_7 = 0,5 Ш_{ГР (ЛГ)} - 1,0 = 0,5 \cdot 17,4 - 1,0 = 7,7$ см; надолу от точки Г₆ и Г₇ се спускат вертикални прави $\Rightarrow$ т. Т₆Х₆Д₆ и Т₇Х₇Д₇; $В_6 - В_5 = В_6 - В_7 = Ш_{ВР ИЗВ} = 7,0$ см; с център т. В₆ и радиус $R = Ш_{ВР ИЗВ} = 7,0$ см се построява дъга от окръжност между точки В₅ и В₇; $а - а_1 = 2 в_2 = 2 \cdot 2,3 = 4,6$ см; права линия $В_6 - а_2 - Р_1 = Ш_P = 12,9$ см; $Г_4 - К_4 = 0,15 Ш_{ПМУ} = 0,15 \cdot 10,2 = 1,53$ см; $Г_4 - К_5 = 2/3 Г_4 а_1 = 2/3 \cdot 22,0 = 14,6$ см; $К_5 - К_6 = (1,2 \div 1,5)$ см; гладка линия $Р_1К_6К_4Г_3$.

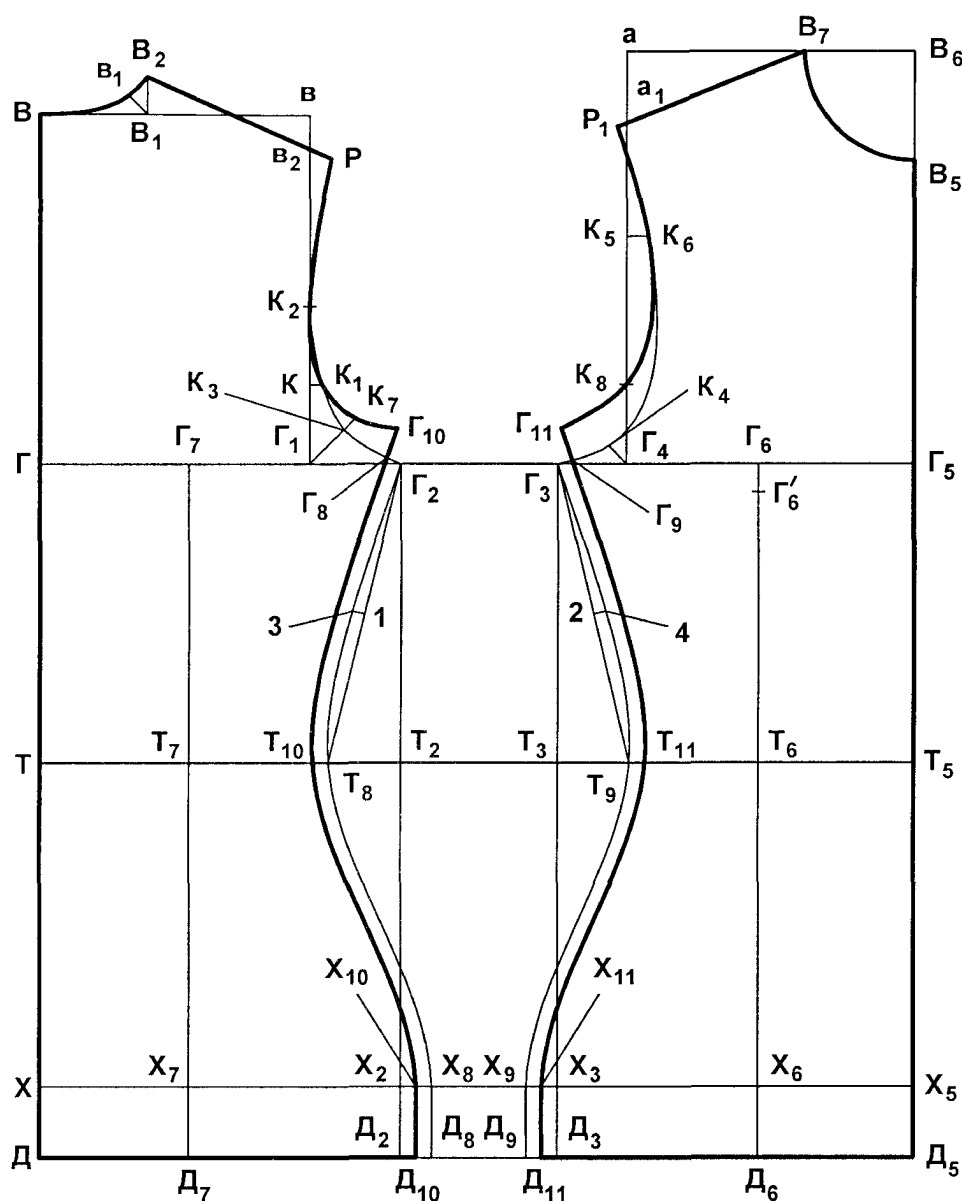
Разтвор на свивките по линията на талията: $Р_{СВ} = (ТТ_2 + Т_3Т_5) - C_T = (23,2 + 22,8) - 36,8 = 9,2$ см; $Т_2 - Т_8 = Т_3 - Т_9 = 0,5 Р_{СВ} = 0,5 \cdot 9,2 = 4,6$ см; $Х_2 - Х_8 = Х_3 - Х_9 = 0,5 [C_X - (XX_1 + X_3X_5)] = 0,5 [50,0 - (23,2 + 22,8)] = 2,0$ см; $Т_8 - 1 = Т_9 - 2 = 0,5 Т_8Г_2$; перпендикуляри $1 - 3 = 2 - 4 = 0,8$ см; гладки линии $Г_2Т_8Х_8Д_8$ и $Г_3Т_9Х_9Д_9$ като линиите от ханша до дължината са вертикални прави.

Построяват се нови гладки линии $Г_8Т_{10}Х_{10}Д_{10}$, отстояща вляво от линията $Г_2Т_8Х_8Д_8$ на разстояние 1,0 см (за гърба) и $Г_9Т_{11}Х_{11}Д_{11}$ отстояща вдясно от линията $Г_3Т_9Х_9Д_9$ на разстояние 1,0 см (за предната част); продължават се нагоре гладките линии над точки Г₈ и

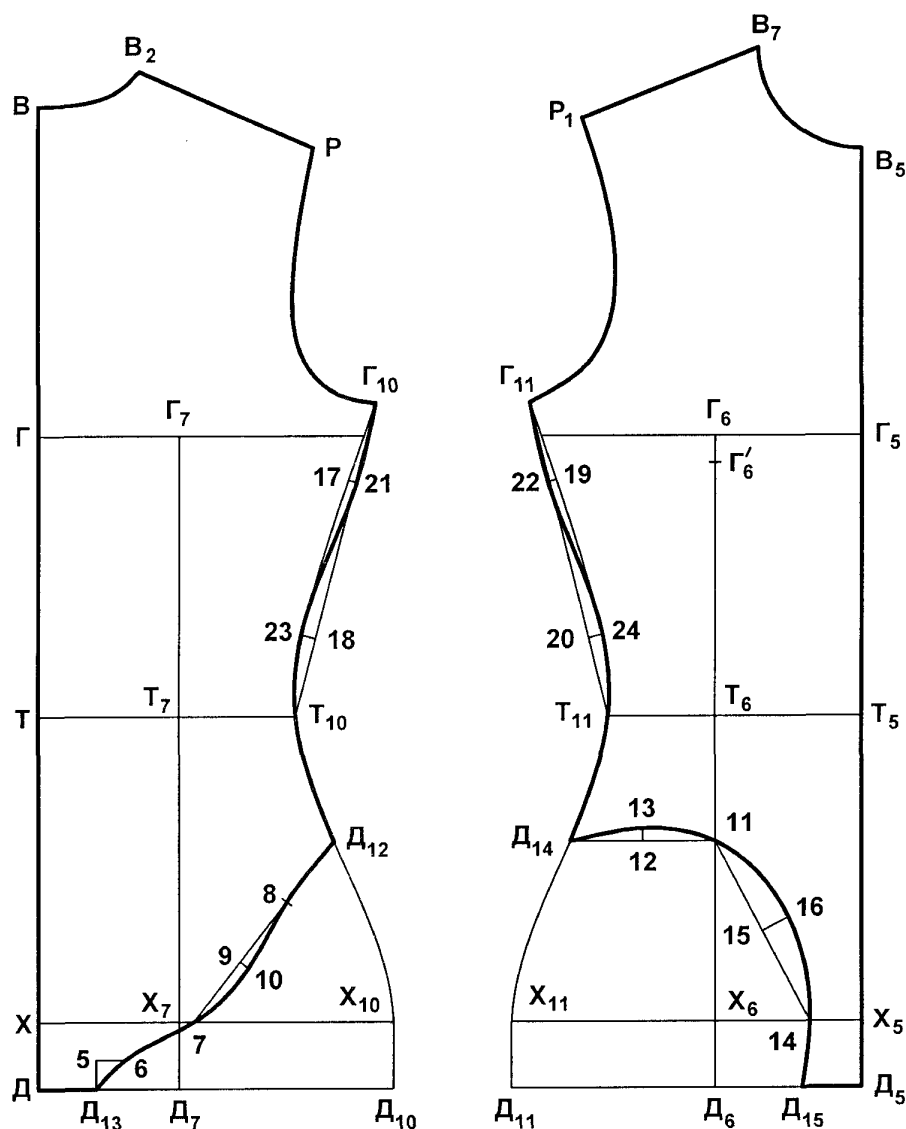
Γ_9 , така че $\Gamma_8\Gamma_{10} = \Gamma_9\Gamma_{11} = 2,5$ см; $K_3 - K_7 = 1,0$ см; гладка линия $PK_2K_1K_7\Gamma_{10}$; $\Gamma_4 - K_8 = \Gamma_1K$; гладка линия $P_1K_6K_8\Gamma_{11}$.

За построението на моделните варианти са внесени корекции в конструктивната основа както следва (Фиг.2).

$T_{10} - D_{12} = 9,0$ см; $D - D_{13} = 4,0$ см; $D_{13} - 5 = 2,0$ см; $5 - 6 = 2,0$ см; $X_7 - 7 = 1,0$ см; $D_{12} - 8 = 8 - 9 = 1/3 D_{12}7$; $9 - 10 = 0,7$ см и $9,10 \perp D_{12}7$; гладка линия $D_{12}, 8, 10, 7, 6, D_{13}$; $T_{11} - D_{14} = 9,0$ см; $D_5 - D_{15} = 4,0$ см; вдясно от т. D_{14} се прекарва хоризонтална права $\Rightarrow$ т. 11 ; $11 - 12 = 0,5 D_{14}11$; $12 - 13 = 0,9$ см и $12,13 \perp D_{14}11$; $X_5 - 14 = 3,5$ см; права линия $11 - 14$; $14 - 15 = 0,5 (14,11)$; $15 - 16 = 0,9$ см и $15,16 \perp 14,11$; гладка линия $D_{14}, 13, 11, 16, 14, D_{15}$; $\Gamma_{10} - 17 = T_{10} - 18 = \Gamma_{11} - 19 = T_{11} - 20 = 0,25 (\Gamma_{10}T_{10})$; перпендикуляри $17 - 21 = 19 - 22 = (0,5 \div 0,7)$ см и $18 - 23 = 19 - 24 = 1,0$ см; гладки линии $\Gamma_{10}, 21, 23, T_{10}, D_{12}$ и $\Gamma_{11}, 22, 24, T_{11}, D_{14}$.



Фиг. 1 Построяване на основната конструкция



Фиг. 2 Оформяне на двата основни детайла за моделиране

Експериментална част

Моделирането на основните детайли се извършва върху уточнената базова конструкция в съответствие с конструктивните особености за всеки модел.

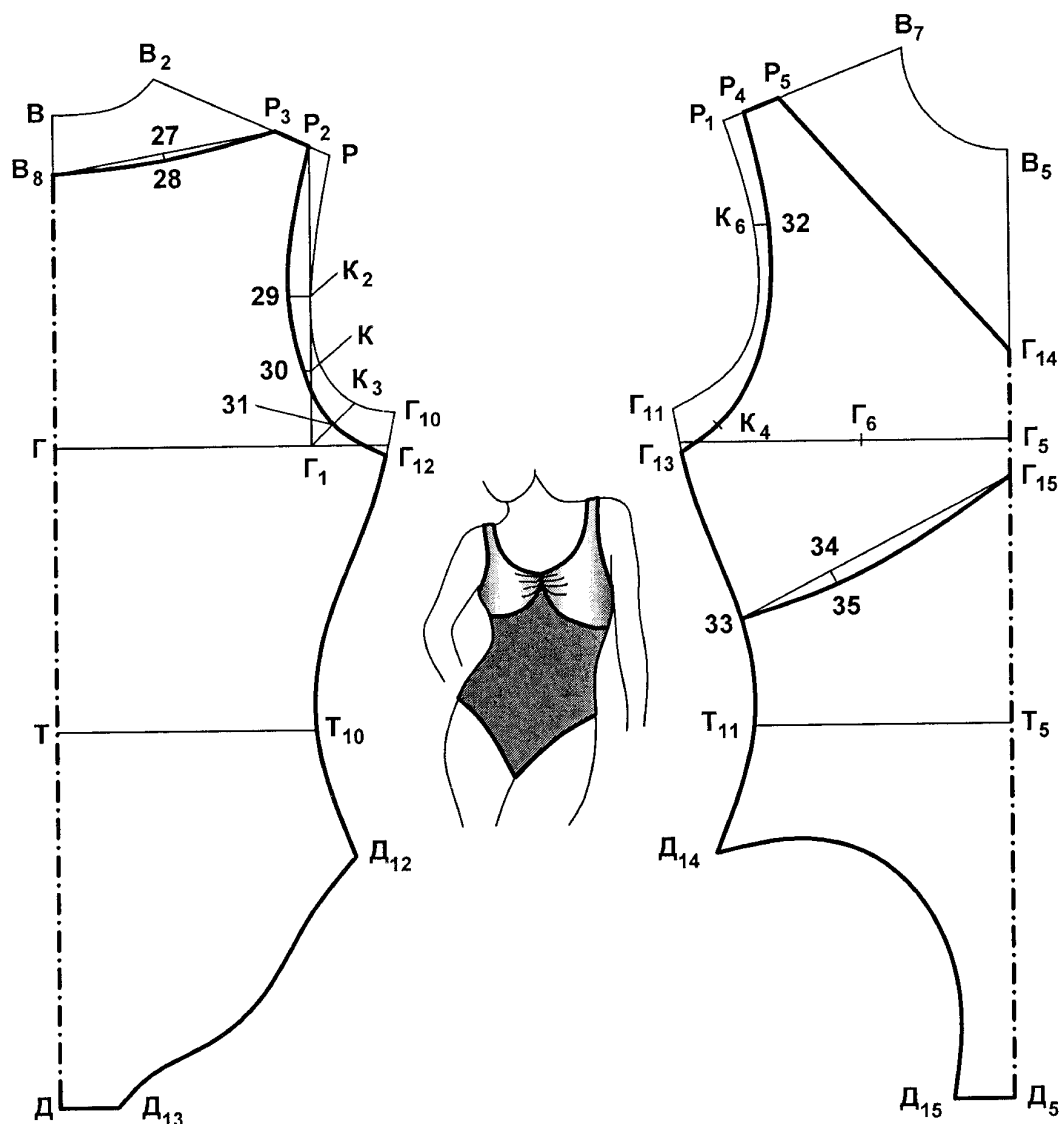
Бански костюм – модел 1 (Фиг. 3)

За гърба: $B - B_8 = 4,0$ cm; $P - P_2 = 1,5$ cm; $P_2 - P_3 = 2,5$ cm; права линия $B_8 - P_3$; $B_8 - 27 = 0,5 B_8 P_3$; $27 - 28 = 0,5$ cm и $27, 28 \perp B_8 P_3$; гладка линия $B_8 28 P_3$; $K - 30 = 0,5$ cm; $G_1 - 31 = 0,5 G_1 K_3$; $G_{10} - G_{12} = 3,0$ cm; гладка линия $P_2, 29, 30, 31, G_{12}$.

Детайли: $B_8, 28, P_3, P_2, 29, 30, 31, G_{12}, T_{10}, D_{12}, D_{13}, D, X, T, G, B_8$.

За предната част: $P_1 - P_4 = 1,5$ cm; $K_6 - 32 = 1,0$ cm; $G_{11} - G_{13} = 3,0$ cm; гладка линия $P_4, 32, K_4 G_{13}$; $P_4 - P_5 = 2,5$ cm; $G_5 - G_{14} = 6,0$ cm; права линия $P_5 - G_{14}$; $G_{14} - G_{15} = 8,5$ cm; права линия $33 - G_{15}$; $33 - 34 = 1/3(33 G_{15})$; $34 - 35 = 1,0$ и $34, 35 \perp 33 G_{15}$.

Детайли: $P_4, P_5, G_{14}, G_5, G_{15}, 35, 33, G_{13}, K_4, 32, P_4$ и $33, 35, G_{15}, T_5, D_5, D_{15}, D_{14}, T_{11}, 33$.



Фиг. 3 Построение на модел 1

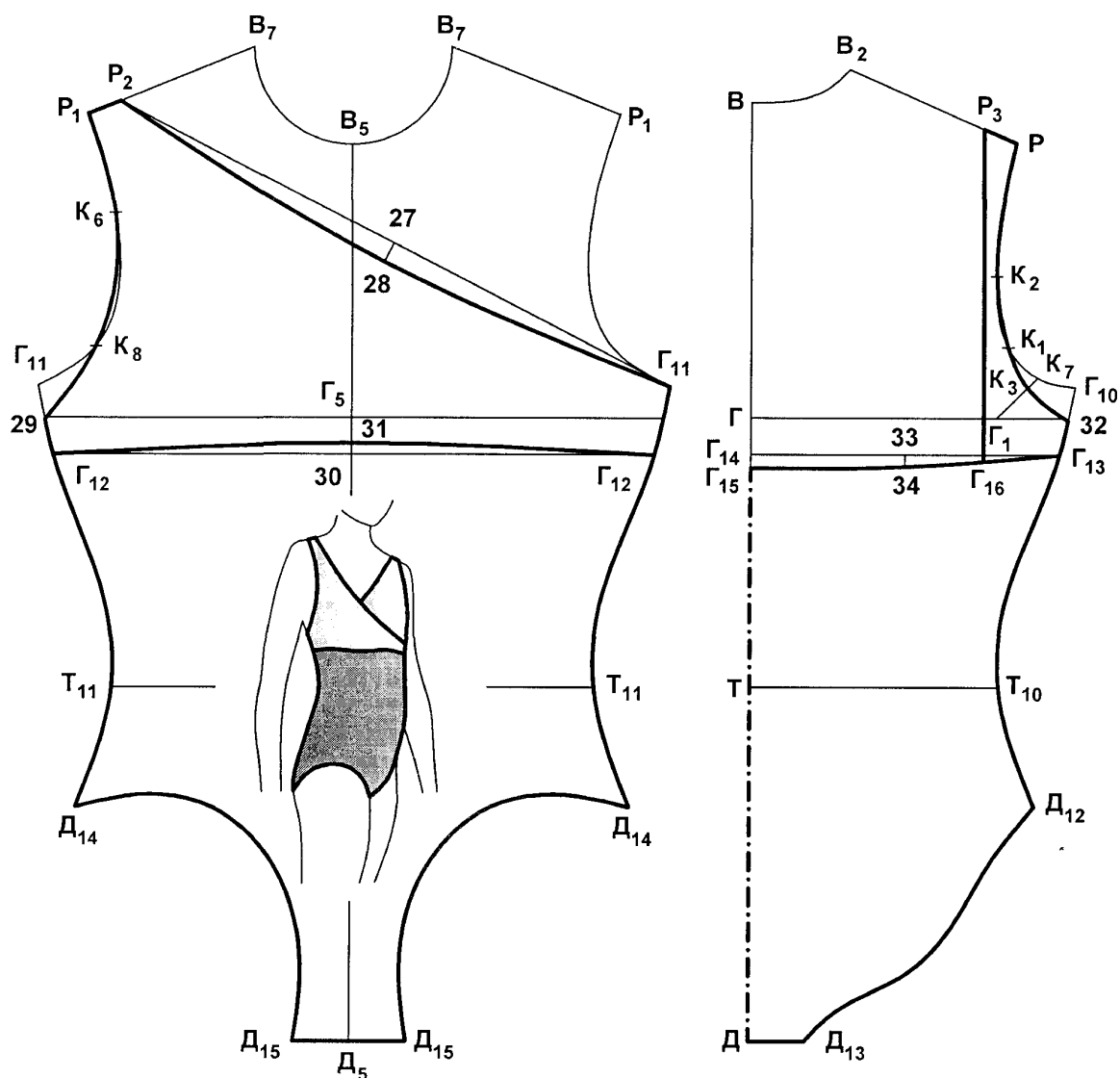
Бански костюм – модел 2 (Фиг. 4)

За предната част: Съвместяват на двете предни части по линията на предната среда – B_5D_5 ; $P_1 - P_2 = 2,5$ cm; права линия $P_2 - G_{11}$; $P_2 - 27 = 0,5P_2G_{11}$; $27 - 28 = 1,5$ cm и $27,28 \perp P_2G_{11}$; гладка линия P_228G_{11} ; $G_{11} - 29 = 2,5$ cm; гладка линия P_1, K_6K_829 ; $29 - G_{12} = 2,5$ cm; вдясно от точка G_{12} (от дясната предна част) се прекарва хоризонтална права линия $\Rightarrow$ т. 30 и т. G_{12} (от лявата предна част; $30 - 31 = 0,8$ cm; гладка линия $G_{12}31G_{12}$.

Детайли: $P_1P_228G_{11}G_{12}31G_{12}29K_8K_6P_1$ и $G_{12}31G_{12}T_{11}D_{14}D_{15}D_{15}G_{12}$.

За гърба: $P - P_3 = 2,5$ cm; $G_{10} - 32 = 2,5$ cm; гладка линия $PK_2K_1K_332$; $G_{14} - 33 = 0,5G_{14}G_{13}$; $33 - 34 = 0,85$ cm и $33,34 \perp G_{14}G_{13}$; гладка линия $G_{15}34G_{13}$; надолу от т. P_3 се спуска вертикална права $\Rightarrow$ т. G_{16} .

Детайли: $P_3PK_2K_1K_332G_{13}G_{16}P_3$ и $G_{15}34G_{16}G_{13}T_{10}D_{12}D_{13}D_{15}$.



Фиг. 4 Построение на модел 2

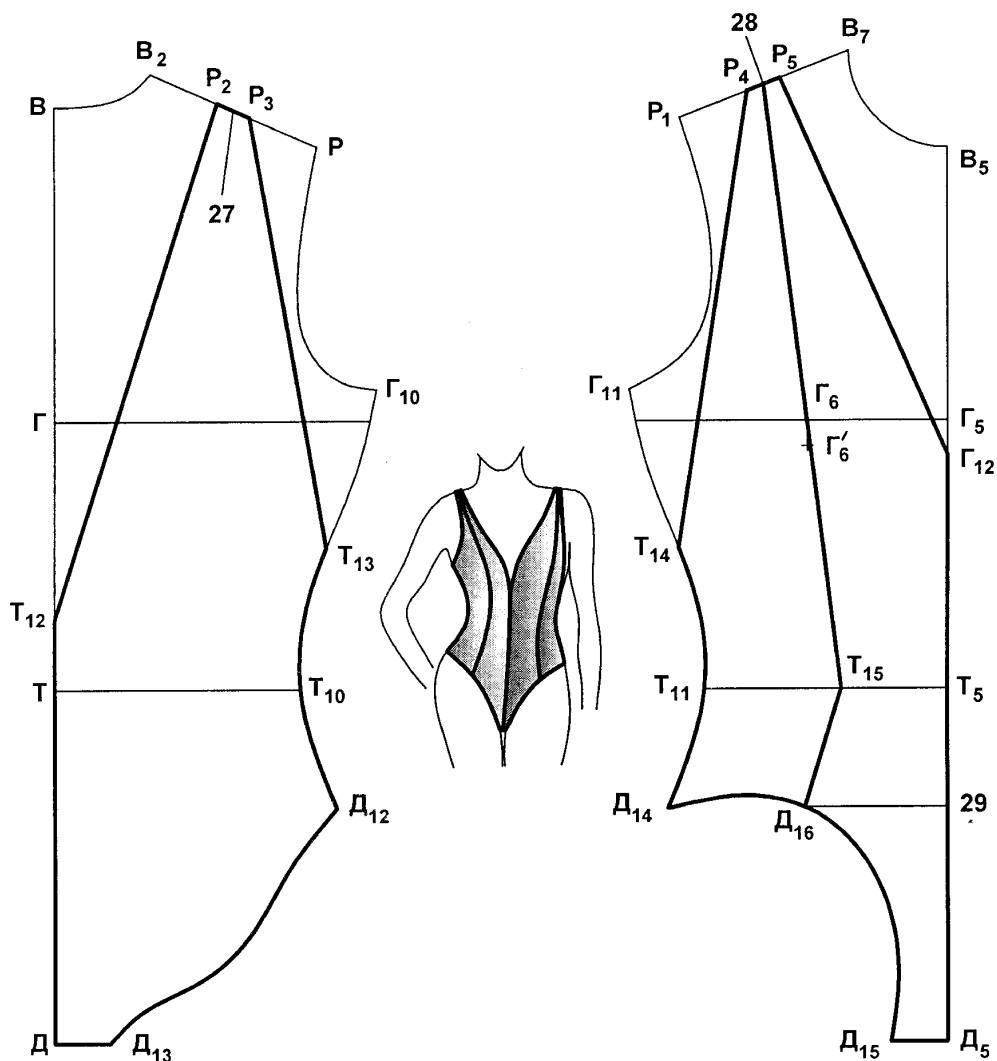
Бански костюм – модел 3 (Фиг. 5)

За гърба: $B_2 - 27 = 0,5B_2P$; $27 - P_2 = 27 - P_3 = 1,25$ cm; $T - T_{12} = 5,0$ cm; права линия $T_{13} - P_2$; $\Gamma_{10} - T_{13} = 12,0$ cm; права линия $P_3 - T_{13}$.

Детайли: $P_2P_3T_{13}T_{10}D_{12}D_{13}DTT_{12}P_2$.

За предната част: $P_1 - 28 = 0,5P_1B_7$; $28 - P_4 = 28 - P_5 = 1,25$ cm; $T_{11} - T_{14} = 12,0$ cm; права линия $P_4 - T_{14}$; $\Gamma_5 - \Gamma_{12} = 2,5$ cm; права линия $P_5 - \Gamma_{12}$; $T_5 - T_{15} = 7,5$ cm; права линия $28 - T_{15}$; $T_5 - 29 = 8,5$ cm; вляво от т. 29 се прекарва хоризонтална права $\Rightarrow$ т. D_{16} ; права линия $T_{15} - D_{16}$.

Детайли: $P_428T_{15}D_{16}D_{14}T_{11}T_{14}P_4$ и $28P_5\Gamma_{12}T_529D_{15}D_{16}T_{15}28$.



Фиг. 5 Построение на модел 3

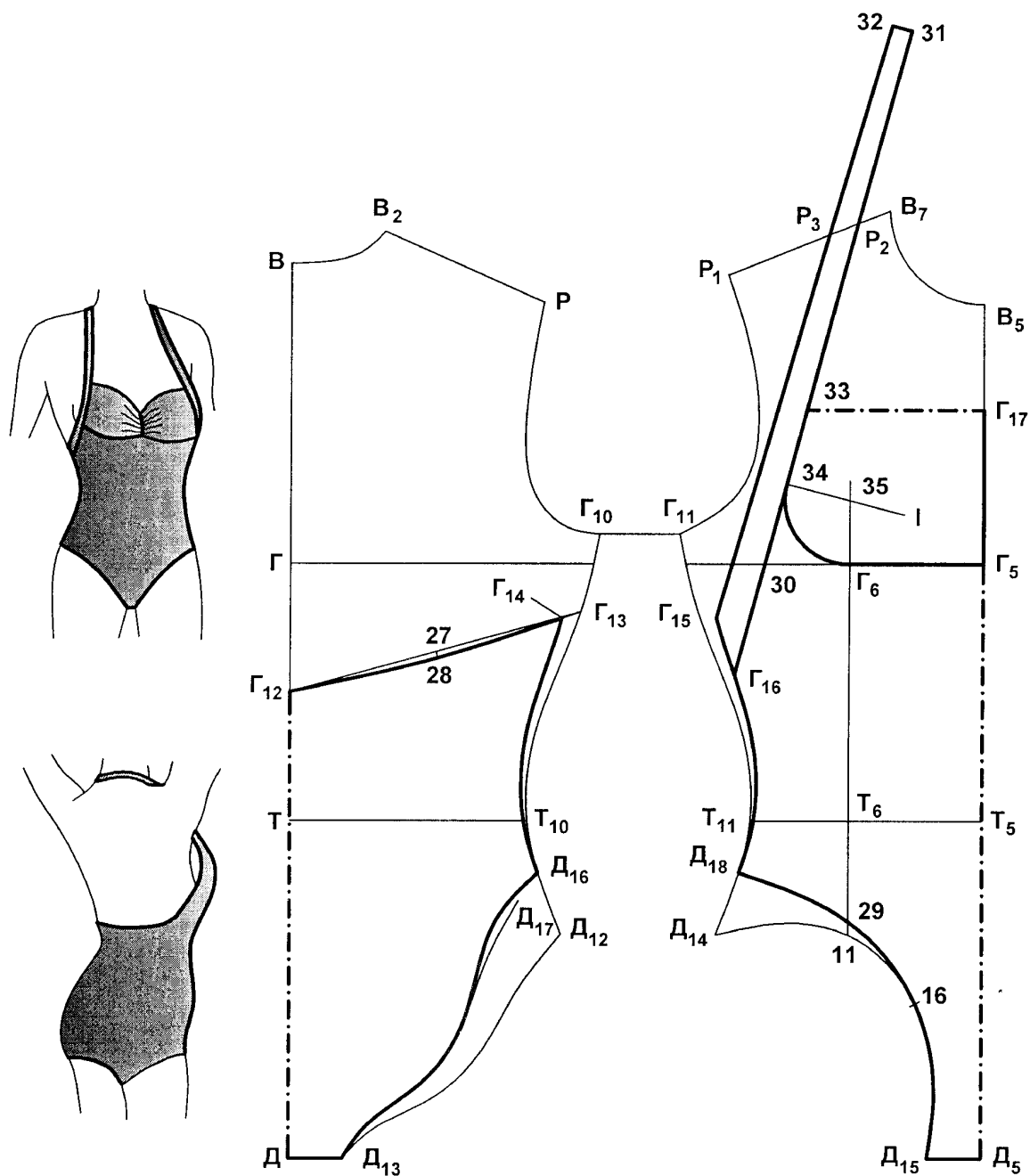
Бански костюм – модел 4

За гърба: $G - G_{12} = 0,5 GT$; $G_{10} - G_{13} = 6,0$ cm; права линия $G_{12} - G_{13}$; $G_{12} - 27 = 0,5 G_{12} G_{13}$; $27 - 28 = 0,5$ cm и $27, 28 \perp G_{12} G_{13}$; $D_{12} - D_{16} = 5,0$ cm; линията $D_{16} G_{13}$ се завърта в посока обратна на часовниковата стрелка спрямо т. D_{16} до пресичането на гладката линия $G_{12} 28 G_{13}$, така че $G_{13} - G_{14} = 1,5$ cm; линията $D_{13} D_{12}$ се завърта в посока обратна на часовниковата стрелка спрямо т. D_{13} , така че $D_{12} - D_{17} = 4,0$ cm; очертава се нова гладка линия $D_{13} D_{16}$ съгласно показаното на фигурата.

Детайли: $G_{12} 28 G_{14} D_{16} D_{13} D T G_{12}$.

За предната част: $D_{14} - D_{18} = 5,0$ cm; $11 - 29 = 1,0$ cm; гладка линия $D_{18}, 29, 16, D_{15}$; построява се гладка линия $D_{18} G_{15}$ огледална на $D_{16} G_{14}$ (от гърба) спрямо средата на отсечката $G_{10} G_{11}$; $G_{15} - G_{16} = 4,5$ cm; $B_7 - P_2 = 2,5$ cm; права линия $G_{16} - P_2 (\Rightarrow$ т. 30) и правата се продължава до т. 31, така че $P_2 - 31 = 15,0$ cm; $31 - 32 = 1,5$ cm и $31, 32 \perp G_{16} 31$; права линия $G_{15} - 32 \Rightarrow$ т. P_3 ; $B_5 - G_{17} = 8,0$ cm; вляво от т. G_{17} се прекарва хоризонтална права $\Rightarrow$ т. 33; $33 - 34 = 30 - G_6$; от т. 34 се построява права $I \perp G_{16} 31$; продължава се нагоре вертикалната права над т. $G_6 \Rightarrow$ т. 35; с център т. 35 и радиус $R = 35 G_6$ се построява дъга от окръжност 34 G_6 .

Детайли: $G_{16} 34 G_6 5 T D_{15} D_{18} 29 D_{16} G_{16}$; $G_{17}, 33, 34, G_6 G_{17}$; $G_{16}, G_{15}, P_3, 32, 31, P_2, G_{16}$; $33, 34, 30, G_{16}$.

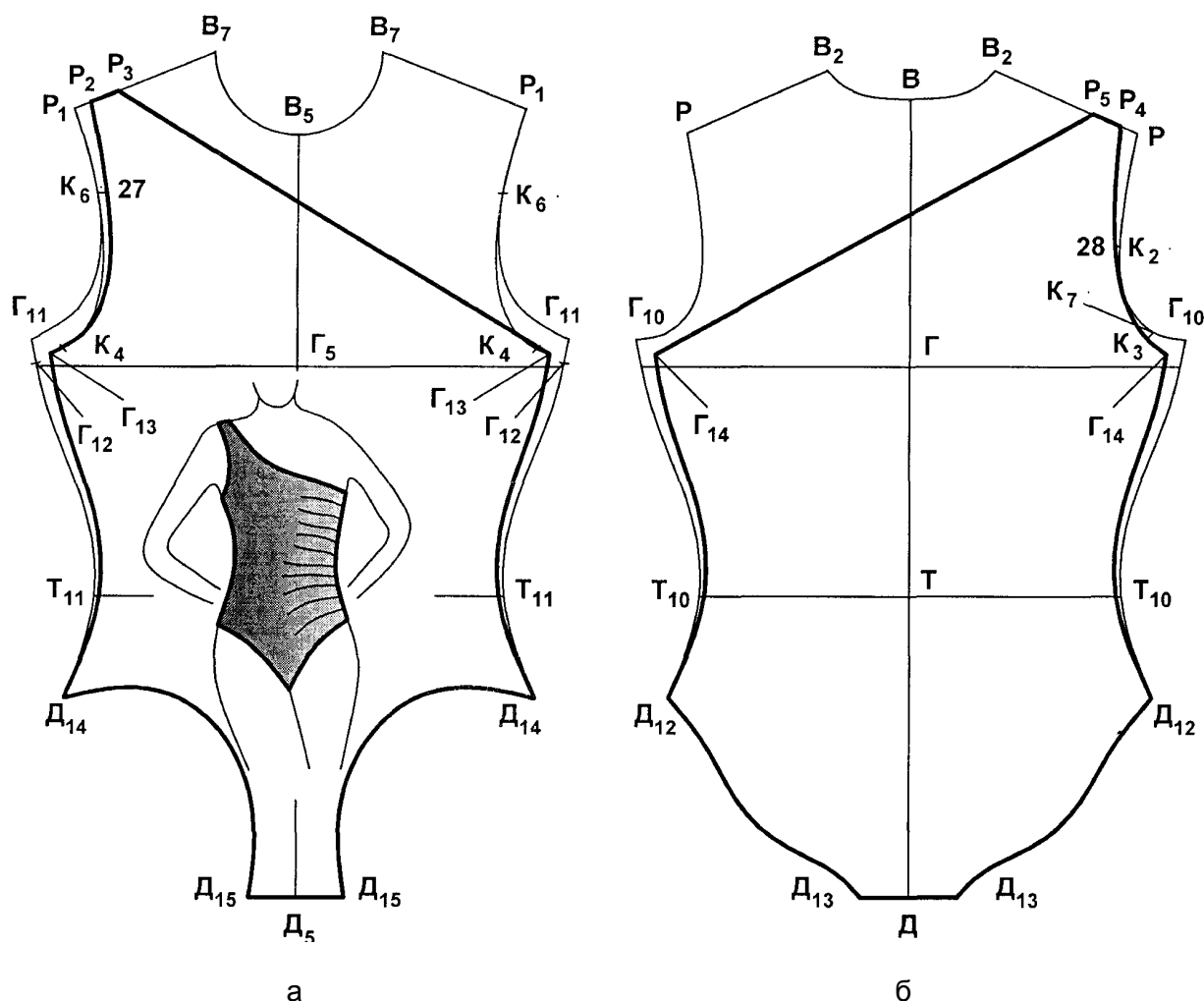


Фиг. 6 Построение на модел 4

Бански костюм – модел 5

За предната част (Фиг.7а): Съвместяват на двете предни части по линията на предната среда – B₅D₅, като построението се извършва едновременно и симетрично върху двете предни части; Γ₁₁ – Γ₁₂ = 2,0 cm; за дясната половина линията D₁₄T₁₁Γ₁₂ се завърта по посока на часовниковата стрелка (за лявата половина ротацията е в посока обратна на часовниковата стрелка) спрямо точка D₁₄, така че Γ₁₂ – Γ₁₃ = 1,5 cm ⇒ т. Γ₁₃; гладка линия P₁K₆K₄Γ₁₃.

P₁ – P₂ = 1,5 cm; K₆ – 27 = 0,8 cm; гладка линия P₂27K₄Γ₁₃; P₂ – P₃ = 2,5 cm; права линия P₃ – Γ₁₃.



Фиг. 7 Подготвяне на предната част и моделиране върху гърба

За гърба (Фиг.7б): Съвместяват на двете части на гърба по линията ВД; построяват се нови линии на страничния шев за двете части на гърба $Д_{12}Г_{14}$, еднакви по форма и размери със съответстващите им линии от предните части ($Д_{14}Г_1$).

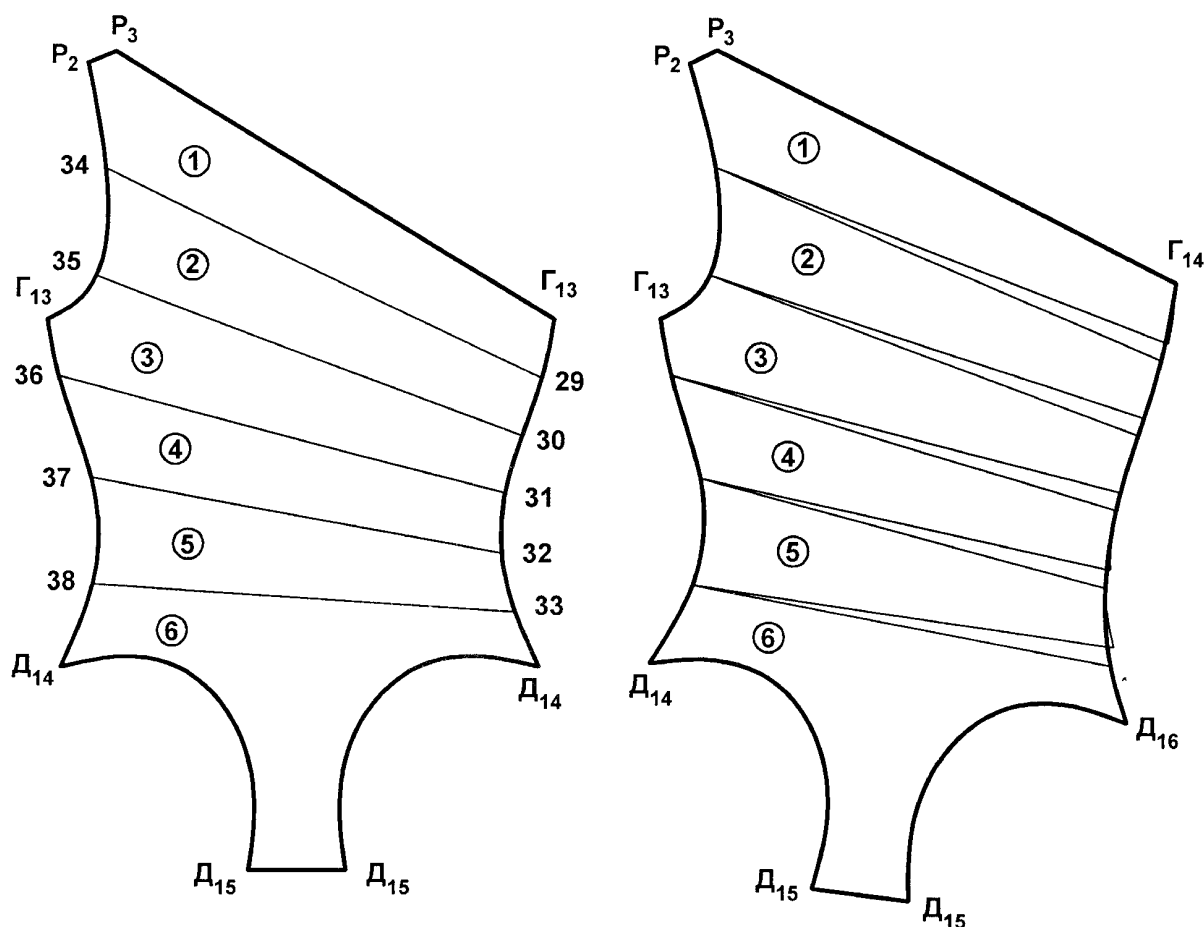
$P - P_4 = 1,5$ cm; $K_2 - 28 = 0,4$ cm; гладка линия $P_4 28 K_3 Г_{14}$; $P_4 - P_5 = 2,5$ cm; права линия $P_5 - Г_{14}$.

Детайли: $P_5 P_4 Г_{14} Д_{12} Д_{13} Д_{14} Г_{14} P_5$.

Линията на страничния шев $Г_{13} - Д_{14}$ от лявата половина на предната част (Фиг.8а) се разделя на шест равни части $\Rightarrow 29, 30, 31, 32$ и 33 ; сумата от дължините на линиите на ръкавната извивка $P_2 - Г_{13}$ и на страничния шев $Г_{13} - Д_{14}$ от дясната половина на предната част се разделя на също на шест равни части $\Rightarrow 34, 35, 36, 37$ и 38 ; с прави линии се съединяват междинните точки съгласно показаното на фигурата, като се оформят шест сектора.

Първите два сектора (Фиг.8б) се отварят съответно в точки 29 и 30 на разстояние 1,5 cm, а третия сектор – на 0,5. $1,5 = 0,75$ cm, като се въртят в посока обратна на часовниковата стрелка спрямо точки 34, 35 и 36; останалите три сектора се отварят последователно в точки 32 и 33 на разстояние 1,5 cm, а четвъртия сектор – на 0,5. $1,5 = 0,75$ cm, като се въртят по посока на часовниковата стрелка спрямо точки 37, 38 и 36; оформя се нова гладка линия между точки $Г_{14}$ и $Д_{16}$ съгласно показаното на фигурата.

Детайли: $P_2 P_3 Г_{14} Д_{16} Д_{15} Д_{13} P_2$.



Фиг. 8 Моделиране върху предната част

Заклучение

Предложен е алгоритъм за оразмеряване и геометрично построение на базова конструкция на цели бански костюми за жени от еластични материали с деформационни показатели, които удовлетворяват изискванията за прилягане, налягане и възприятие. Разработени са пет моделни варианта с широко приложение от основните детайли върху една и съща основна конструкция, за стандартен типоразмероръст.

Литература

1. Петров, Хр., Проектиране на облекла, ТУ – София, София, 2009.
2. Burgo Fernando, IL MFDELLISMO METODO PROFESSIONALE BILINGUE, Istituto di moda Burgo, 2004.
3. Helen Joseph-Armstrong, Patternmaking for Fashion Design, Fourth Edition, 2015.
4. Kovar, R., 2002: Flat Knitting Technology, Knitting Technology, 2/2002.
5. Kovar, R., 2002: Compressive Stocking Wear, Knitting Technology, 2/2002, pp.66-69, 2002.

проф. д-р Христо Петров, ТУ–София, катедра „Текстилна техника“, тел. 02 965 3629, e-mail: petrov@tu-sofia.bg

Компютърно моделиране и изследване на работните движения на оператор на шевна машина

Диана Германова-Кръстева, Христо Петров,
Александрина Лалева, Къдрие Чолакова, Нехрибан Хашим

С помощта на компютърна симулация са моделирани и изследвани движенията на оператор на шевна машина при изработване на подглавник за автомобилна седалка. Разработен е виртуален модел на работното място, зададени са пола и антропометричните данни на оператора, симулирани са позата и движенията му. Използван е софтуерен продукт CATIA на фирма Dassault Systemes, Франция.

Ключови думи: работно място, шевна машина, работни движения, компютърно моделиране, симулация

Computer modelling and study of the working movements of operator of sewing machine

Diana Germanova-Krasteva, Hristo Petrov,
Alexandrina Laleva, Kadrie Cholakova, Nehriban Hashim

By means of computer simulation are modelled and studied the operator's movements when sewing a car headrest. A virtual model of the workplace is developed. The operator's gender and anthropometric data are set. The posture and his movements are simulated. The CATIA software of Dassault Systemes, France, is used.

Keywords: workplace, sewing machine, working movements, computer modelling, simulation

Въведение

Производството на части за автомобили набира все по-голяма скорост у нас. Тази тенденция е може би най-силно изразена при производството на автомобилни седалки. Капацитетът на фирмите от този бранш непрекъснато се увеличава. Освен машиностроене, основна част от производствената им дейност е изработването на калъфи за седалки, подлакътници, подглавници и други елементи от текстил и кожа.

Големият обем продукция и работата главно с немски, френски и японски производители, поставя високи изисквания както към качеството на изделията, така и към организацията и ефективността на производството.

Фирмите провеждат изследвания и се стремят да оптимизират всички отделни аспекти от организацията на производството и на работното място. В тази връзка, обект на изследване са и работните движения на операторите, като се търсят възможности чрез премахване на излишните движения да се повиши производителността на труда.

Въпросът с оптимизиране на работните движения е поставен на научна основа още в началото на миналия век с развитието на индустриализацията. Тогава американецът Frank Gilbreth прави първата класификация на движенията и определя времената за тяхното изпълнение [5]. По-късно неговите изследвания стават основа за разработването на т.нар. „системи за задаване на планови времена“, които се използват за определяне на теоретичните нормовремена за изпълнение на дадена операция.

Анализът на работните движения чрез компютърна симулация на работата на манекен е сравнително нов подход. Направената интернет справка показва, че методът намира приложение главно за моделиране на движенията при монтаж на автомобилни части и при

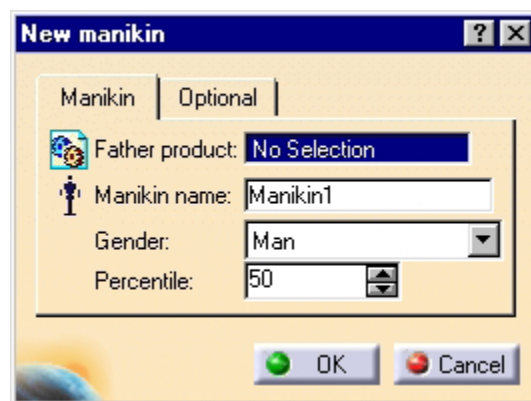
управление на автомобили [1, 3-4]. Областите на приложение са свързани с автомобилната индустрия, тъй като софтуерният продукт за компютърна симулация на движенията на виртуален манекен е част от PLM системата CATIA на френския гигант Dassault Systemes, а неговите софтуерни продукти за проектиране са стандарт за автомобилпроизводството в света.

Модулът Human Builder на CATIA не е прилаган у нас, което прави разработката новост за нашата страна, а и за шевната индустрия в световен мащаб.

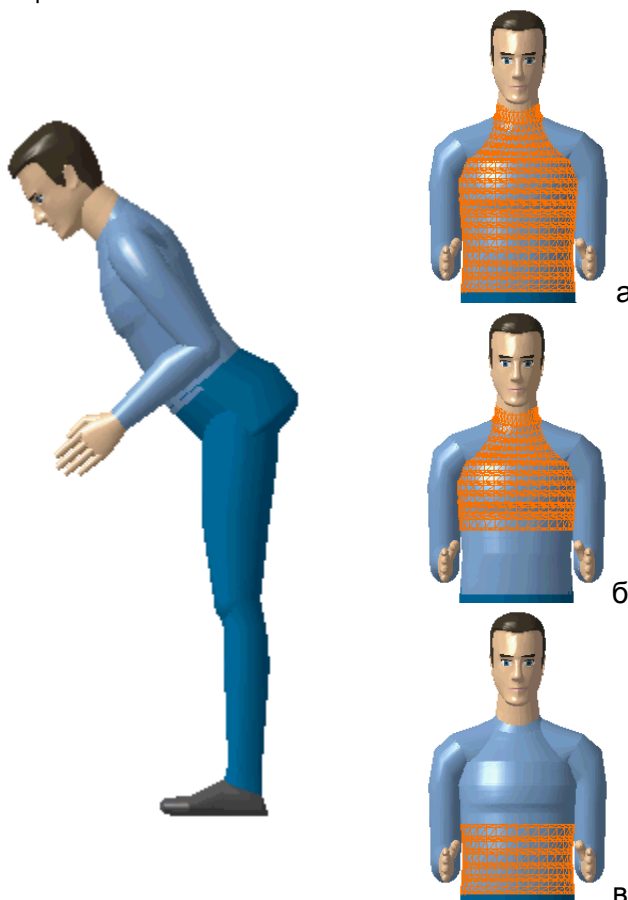
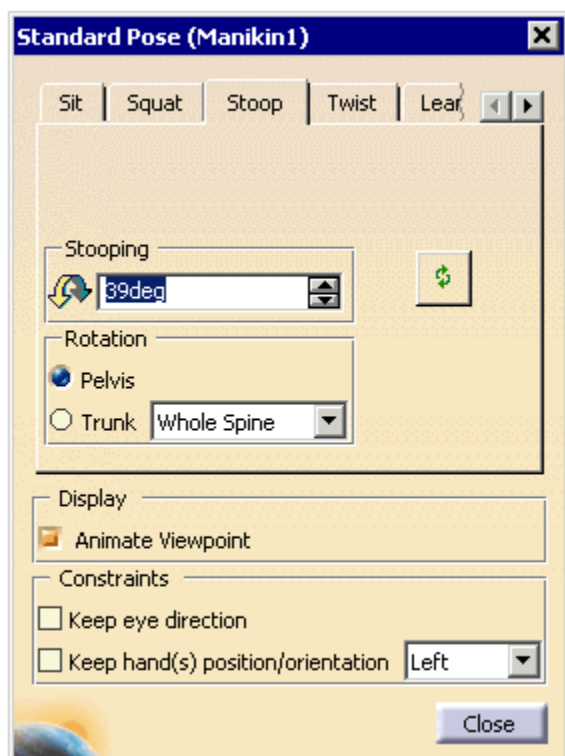
Теоретична част

Модулът Human Builder на CATIA дава възможност да се разработи компютърен манекен с желан от потребителя пол и антропометрични данни (Фиг. 1).

Програмата позволява да се избере поза на манекена, измежду 7 стандартни пози: седнал, клекнал, наведен, завъртян около оста на тялото, наклонен настрани, държащ елемент в ръка, с повдигнати лакти. За всяка поза се задават параметрите, които я определят. Например, при навеждане се задава ъгълът на наклон на тялото (Фиг. 2) и коя част от него се накланя – целият гръб (а), торакалната (б) или лумбалната (в) секция.

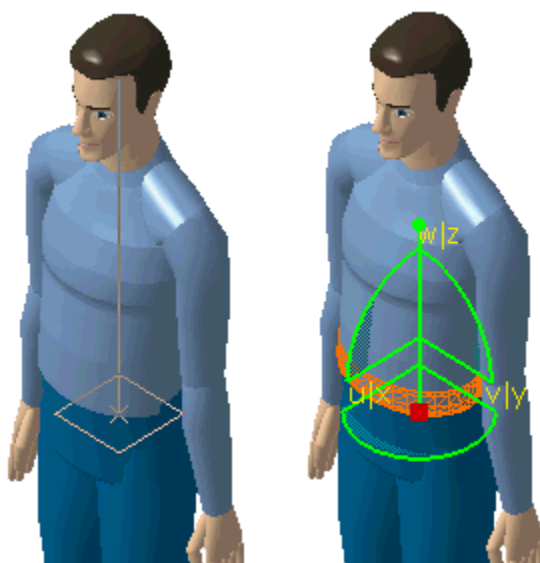


Фиг. 1 Задаване на манекен

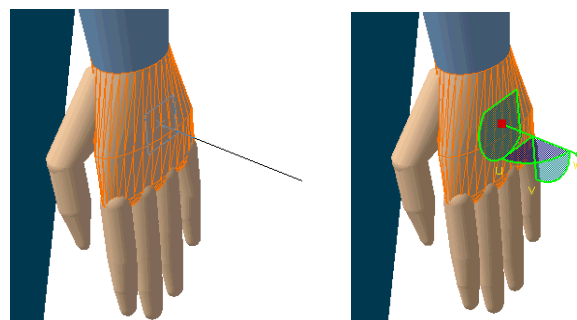


Фиг. 2 Задаване на поза и параметрите на позата

Позиционирането на манекена в 3D пространството се извършва чрез компас, който може да бъде поставен върху част от човешкото тяло (Фиг. 3) или върху повърхнина от тялото (Фиг. 4).



Фиг. 3 Поставяне на компас върху тялото на манекен



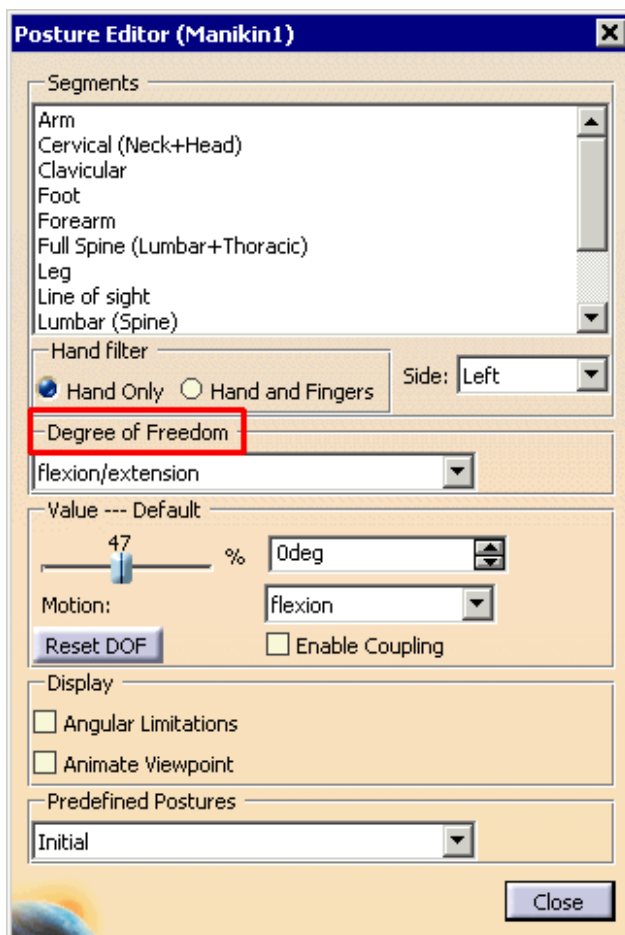
Фиг. 4 Поставяне на компас върху повърхнината от тялото на манекен

Чрез избиране на равнина от компаса и нейното движение чрез мишката на компютъра манекенът следва зададената от потребителя траектория.

Движението на отделните сегменти от тялото на манекена се извършва съгласно принципите на кинематиката. Манекенът се състои от 68 съчленени връзки и 6 стави, като диапазонът на движение зависи от разположението на съседната връзка.

Задаването на движенията на манекена се извършва с т. нар. Posture Editor (Фиг. 5), в който се задават:

- сегментът от човешкото тяло, който ще се движи – рамо, гръб, глава, крак и т.н.;
- дали ще се движи само ръката или ръката и пръстите;
- дали ще се движи крайник от лявата или дясната част на тялото – ръка, крак, респ. части от тях;
- степените на свобода – задава се вида на движението: flexion/extension (свиване/разтягане), abduction/adduction (отдалечаване/приближаване) и medial rotation/lateral rotation (ротация към тялото/ротация в посока, обратна на тялото). Връзката между степените на свобода, вида на движението и оста, по която се извършва е дадена в Табл. 1;
- обемът на движението – задава се като ъгъл или като процент от максимално допустимото движение;
- какво и как да бъде показано на дисплея – ъгловите ограничения или избор на гледна точка, която дава максимално добра видимост към степените на свобода;
- позата – начална, изправена, седнала и т.н.



Фиг. 5 Редактор на движенията

Таблица 1

Връзка между степените на свобода, вида на движението и оста, по която се извършва [2]

Степени на свобода	Вид движение на частите на тялото	Ос
флексия (свиване) екстензия (разтягане)	дорзална флексия (свиване на ставната връзка) хиперекстензия	трансверсална (напречна)
абдукция (отдалячаване) аддукция (приближаване)	еверсия (огъване навън спрямо тялото), улнарно отклонение (отклонение на пръстите на ръката в посока на лакътната кост), повдигане инверсия (огъване навътре към тялото), радиално отклонение, потъване	сагитална (разделяща тялото на лява и дясна част)
медиялна ротация латерална ротация	пронация (завъртане около надлъжната ос навътре към тялото) супинация (завъртане около надлъжната ос навън спрямо тялото)	надлъжна

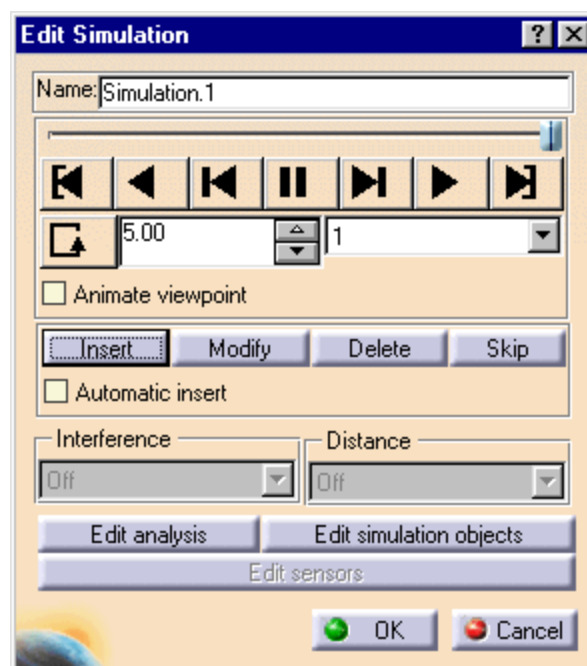
* Трите оси на движение са изобразени на Фиг. 6.

За всяка част от човешкото тяло се задават степени на свобода. Например, предмишницата има две степени на свобода: flexion/extension (свиване/разтягане спрямо ставния ъгъл) и пронация/супинация (завъртане около надлъжната ос навътре/навън към тялото).

Симулацията на работните движения на оператора се извършва чрез последователно движение на отделните части на тялото на манекена. Софтуерът дава възможност за добавяне, модифициране, изтриване и прескачане на определени движения (Фиг. 7).



Фиг. 6 Оси на движение на частите на манекена



Фиг. 7 Симулация на последователните движения на манекена

Експериментална част

Експериментите са проведени за работно място, част от производствената линия на фирма „Граммер“ за изработване на подглавник за кола. На изследваното работно място се съединяват 3 детайла. За изпълнение на монтажните операции се използва колонна шевна машина.

Снимка на изработвания подглавник е представена на Фиг. 8, а на машината – на Фиг. 9.



Фиг. 8 Снимка на изработвания подглавник



Фиг. 9 Общ вид на използваната машина

Направени са видеозаписи на работните движения на двама оператора (работнички), от първа и от втора смяна и при различна позиция на камерата, с цел да има видимост към всяко движение.

След детайлен преглед на записите е установено, че едната работничка извършва само движения, необходими за изпълнение на операцията. Втората работничка изпълнява операцията за 232 s, като могат да бъдат премахнати някои излишни движения, при което времето за изпълнение спада до 192 s (редукция на времето с 20,8%).

След изчистване на „паразитните“ движения работата на операторите е разделена на 24 действия, представени в Табл. 2.

Таблица 2

Действия за изпълнение на операцията

№	Действие	№	Действие
1	Посягане с лява ръка за детайл 1	13	Съединяване на двата детайла
2	Вземане на детайл 1	14	Посягане с дясната ръка за детайл 3
3	Поставяне на детайл 1 върху машината	15	Вземане на детайл 3
4	Посягане с дясна ръка за печата	16	Поставяне на детайл 3 върху зоната на шиене на машината
5	Вземане на печата	17	Съединяване на детайл 3 с другите два детайла
6	Прегъване на детайл 1 с лявата ръка и обръщане на част от него с опаковата страна	18	Посягане с лявата ръка към другия край на детайл 2
7	Поставяне на печат с дясната ръка върху загънатата опакова страна	19	Поставяне на втория край на детайл 2 върху зоната за шиене на машината
8	Посягане с лявата ръка за детайл 2	20	Досъединяване на детайли 1 и 2
9	Вземане на детайл 2	21	Снемане от машината на готовото изделие
10	Поставяне на детайл 2 върху детайл 1	22	Проверка на готовото изделие
11	Вземане на двата детайла с двете ръце	23	Обръщане на изделието с лицевата страна навън
12	Поставяне на детайлите в зоната на шиене на машината	24	Поставяне на готовото изделие в касетката

На Фиг. 10 и 11 са показани моменти от изпълнение на действия №15 и №16.

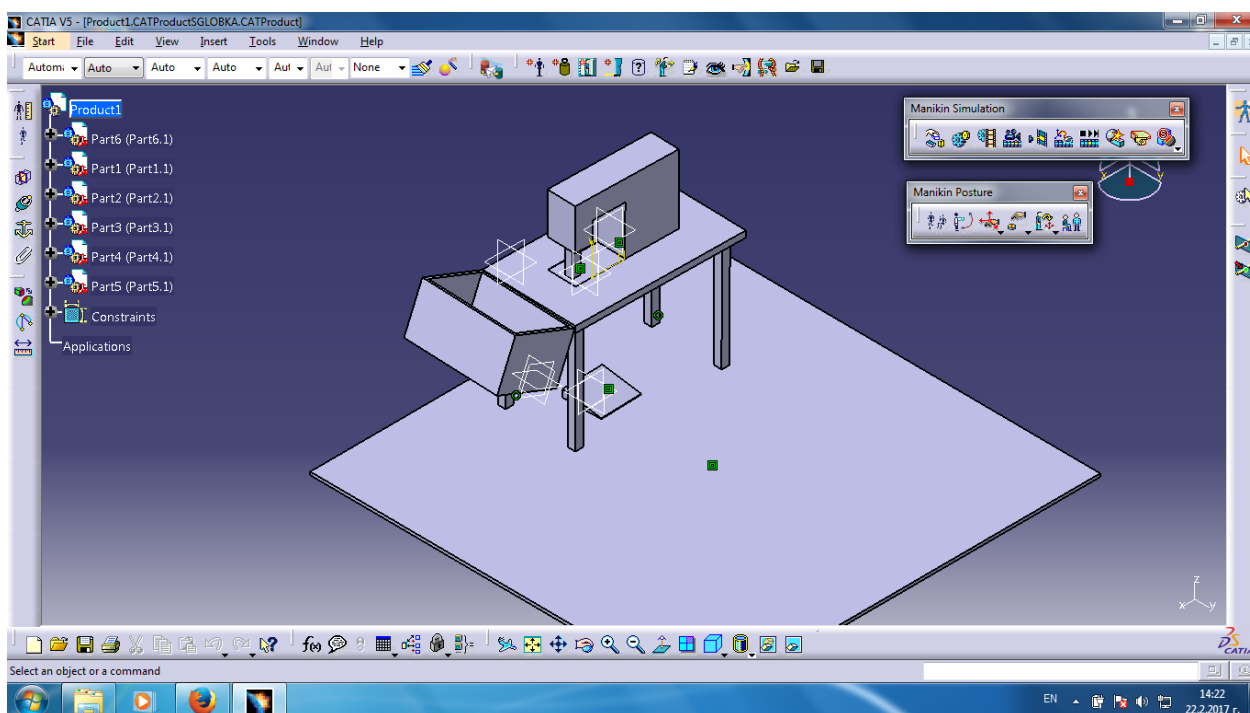


Фиг. 10 Вземане на детайл 3



Фиг. 11 Поставяне на детайл 3 в зоната на шиене

С помощта на модула Part Design на продукта CATIA е разработен компютърен модел на работното място (Фиг. 12), включващ следните основни елементи: под, работна маса, шевна машина, крачен педал и кош за детайли, като са спазени измерените от реалното работно място размери.



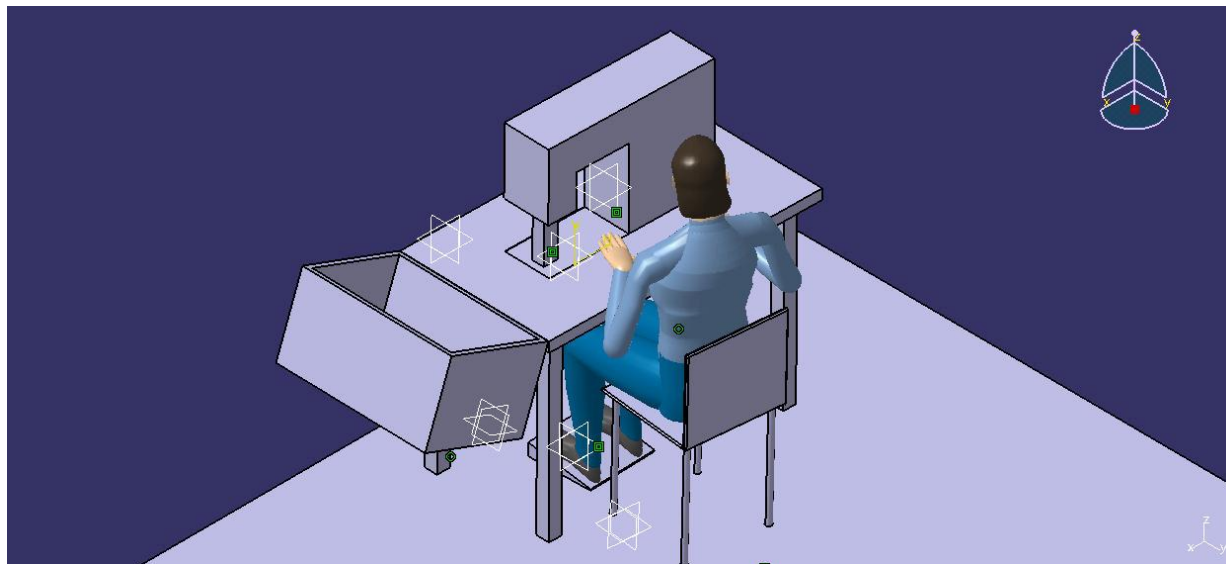
Фиг. 12 Компютърен модел на работното място

Първата стъпка от работата в модула Human Builder е импортирането на детайлите, формиращи работното място, и тяхното позициониране.

След това е създаден манекен от женски пол, стандартна фигура, съответстваща на 50% персентил в разпределението. Зададена е седяща поза, като параметрите на позата и позиционирането спрямо работното място съответстват на измерените във фирма „Граммер“. Краката на оператора са поставени върху крачния педал на машината, а ръцете – върху работния плот (Фиг. 13).

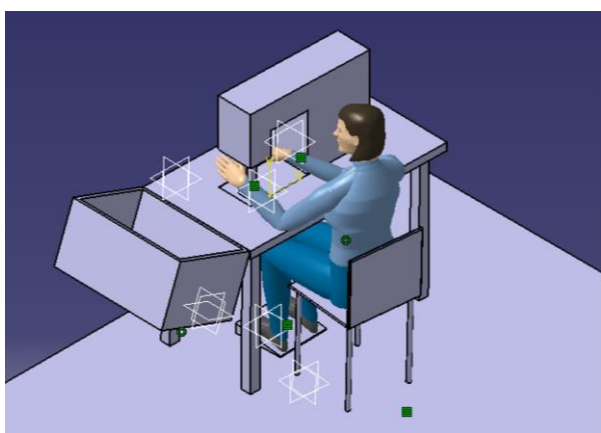
Двадесет и четирите работни действия, описани в Табл. 2, са разделени на 125 движения на отделните части на човешкото тяло. Дефинирани са вида и параметрите на движение за преминаване от една в друга поза. При последователното им свързване в симулационния редактор се получава видеоклип за визуализиране и анализ на движенията.

Полученият клип е записан във формат avi, който не изисква наличието на CATIA за гледане на клипа, а могат да се ползват универсални видеоплейъри.

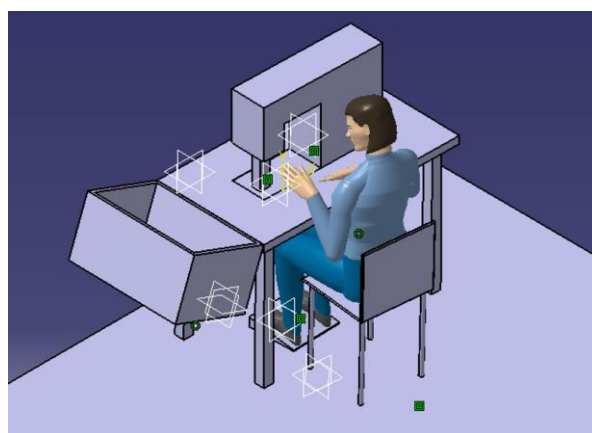


Фиг. 13 Начална поза на манекена

На Фиг. 14 и 15 са показани моменти от разработената симулация.



Фиг. 14 Съединяване на детайли 1 и 2



Фиг. 15 Изрязване на конци

Заклучение

Направен е първи опит за симулиране на работните движения на оператор на шевна машина с помощта на модула Human Builder на PLM системата CATIA на фирма Dassault Systemes, Франция.

Изводите, които могат да се направят от проведеното изследване, са:

1. Модулът Human Builder може да бъде използван за симулиране на работните движения на оператор на шевна машина.
2. Повечето шевни операции са свързани с изпълнението на много на брой и сложни като траектория движения, което изисква разделянето им на по-прости и дефинирането на вида и параметрите на движение, съобразно съответната част на човешкото тяло.
3. При работа на шевна машина движение извършват значителен брой сегменти от човешкото тяло, което налага задаване на траекторията на всеки един от тях.
4. Програмата проверява за наличие на проникване (Penetration Analysis) на даден елемент в друг, но не предлага възможност за избягването му. Поради тази причина,

има случаи, при които, при задаване на движенията от поза в поза, отделни части от манекена (най-вече ръцете) навлизат в елементи от работното място (плот, машина, кош). Проблемът се решава чрез задаване на повече междинни пози, което обаче води до повишаване и на без това немалкия им брой.

5. Симулирането на сложни траектории, особено при наличие на множество движещи се сегменти, изисква значителен опит и немалък времеви ресурс. В същото време, методът предлага възможност както за кинематичен, така и за визуален анализ на движенията. Корекцията във вида и параметрите на движение се извършва сравнително лесно, което позволява и относително бързо намиране на оптималните работни движения за изпълнение на дадена операция.

Представените резултати са от съвместен проект на катедра „Текстилна техника“ при ТУ-София с фирмите „Граммер“ АД и „Хайкад Инфотех“ ООД. Фирма „Граммер“ предостави всички условия за обследване на работното място, а фирма „Хайкад Инфотех“ – PLM системата CATIA на Dassault Systemes за компютърно моделиране на работното място и движенията на оператора.

Литература

1. Ding Z., Manual Assembly Modelling and Simulation for Ergonomics Analysis, PhD Thesis, University of Liverpool, 2013.
2. Human Builder Manual, Version 5 Release 14, Dassault Systemes.
3. Human Modeling V5R20, Advanced Engineering Services, Haycad Infotech.
4. Père C., N. Meylaender, F. Mérienne, Full Body Motion Capture in CAD Environment, Proceedings of Virtual Concept, Cancun, Mexico, November 27th – December 1st 2006.
5. Германова-Кръстева Д., Приложение на системите за задаване на планови времена в шевното производство, Текстил и облекло, 11-12, 2013, стр. 261-270.

проф. д-р Диана Германова-Кръстева, ТУ–София, катедра „Текстилна техника“, тел. 02 965 27 92, e-mail: dianakra@tu-sofia.bg

проф. д-р Христо Петров, ТУ–София, катедра „Текстилна техника“, тел. 02 965 36 29, e-mail: petrov@tu-sofia.bg

бак. инж. Александрина Лалева, ТУ–София, катедра „Текстилна техника“, e-mail: alexandrina.laleva@gmail.com

бак. инж. Къдрие Чолакова, ТУ–София, катедра „Текстилна техника“, e-mail: kadrie.dj.1@gmail.com

бак. инж. Нехрибан Хашим, ТУ–София, катедра „Текстилна техника“, e-mail: ehi1991@abv.bg