XIV Международна научна конференция
„Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, 10-12 септември 2026 г, Варна
XIV International Scientific Conference
„Civil Engineering Design and Construction“, Sept. 10 - 12, 2026, Varna, Bulgaria
ISSN 2683-071X (online) ISSN 2738-7879 (CD)

КЛАСИФИКАЦИЯ НА МЕТОДИ ЗА ПРАКТИЧЕСКО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПЛАМНАТА ТЕМПЕРАТУРА НА ТЕЧНИ СМЕСИ

Борис Прешелков[1], Спас Якимов[2]

CLASSIFICATION OF METHODS FOR THE PRACTICAL DETERMINATION OF THE FLASH POINT OF LIQUID MIXTURES

Boris Preshelkov, Spas Yakimov

Abstract:
This paper reviews and analyses the known practical methods for determining the flash point of liquid mixtures. Experimental methods are excluded from the scope. The characteristic problems associated with each of the analysed methods are defined. A classification model is selected and criteria are chosen for classifying the methods for flash point determination. Conclusions are drawn regarding the applicability of the methods.

Keywords:
flash point; lower explosive limit; vapour pressure; liquid mixtures; liquid component; activity coefficient.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Пламната температура (ПТ) на течностите е най-често използваната критериална характеристика в света, която служи за разделяне на течностите по групи на горимост и прилагане на противопожарни изисквания. Република България не е изключение. От ПТ на наличните в промишлено помещение течности зависи неговата категория по пожарна опасност (КПО). Това е основната пожарна групираща характеристика на промишлените помещения, по която инженерите по пожарна безопасност в Република България и редица други държави от постсоциалистическото пространство определят какви мерки за пожарна безопасност следва да приложат. В зависимост от ПТ, помещенията се разделят на експлозивоопасни (Ф5А и Ф5Б) и експлозивобезопасни (Ф5В) [14].

При масовото използване на ПТ като критерий за пожарна и експлозивна опасност, за чистите вещества са правени доста изследвания и характеристиката им обикновено лесно се намира в онлайн бази данни с отворен достъп или в справочници [1, 2, 4, 12]. Промишлените течности обаче рядко представляват чисто вещество. Повечето от тях са смес от вещества. Изследванията на такива смеси са сравнително малко. Достъпни данни

[1] Борис Прешелков, гл асистент, д-р, катедра ССС, Архитектурен факултет, Варненски свободен университет „Черноризец Храбър“, Варна 9007, к.к. Чайка, ул "Янко Славчев" 84, boris.preshelkov@vfu.bg; Boris Preshelkov, Ch. assistant, Phd, CBF Department, Faculty of Architecture, Varna Free University „Chernorizets Hrabar“, Yanko Slavchev 84, Chayka Resort, Varna, Bulgaria, 9007, boris.preshelkov@vfu.bg.
[2] Спас Якимов, маг.инж, гр. Пловдив, spas.yakimov@gmail.com.

има основно в източници от бившите социалистически държави, където централизираното производство и потребление са позволявали да се правят изследвания на използваните промишлени смеси и да се създават общи бази данни. Затова в руски справочници [1, 2, 4] могат да се открият пожароопасните характеристиките на голям брой течни промишлени смеси. При несвързани един с друг производители, определянето на ПТ на промишлена течност се извършва за сметка на производителя, често като нормативно задължение. Производителят сам избира дали да предостави получените данни извън нормативно задължителните случаи, какъвто е информационният лист за безопасност (ИЛБ) [17, 18].

В процеса на работата си, инженерът по пожарна безопасност се сблъсква със случаи, когато се налага да анализира пожарната опасност на помещения с промишлени течности, за които няма информация с каква пламна температура са. В такъв случай се налага да определи ПТ достоверно, с приоритет на безопасността. Самостоятелното проучване за достъпни методи често води до използване на непредназначени за конкретната цел методи, ненадеждни такива или неправилно прилагани научни методики.

Целта на настоящето изследване е да класифицира достъпните методи за теоретично (безекспериментално) определяне ПТ на течни смеси и да се създаде възможност за предварителен избор на надежден за конкретната цел метод. Извън обхвата на изследването са стандартните и други експериментални методи за определяне на ПТ.

2. АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ ЗА ИЗЧИСЛИТЕЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПЛАМНАТА ТЕМПЕРАТУРА НА ТЕЧНИ СМЕСИ

2.1. Физичен смисъл на пламната температура и трансформации на течните смеси

Пламната температура е най-ниската температура, при която парите над нивото на течността припламват кратко, когато се поднесе източник на запалване. Терминът е стандартизиран и условията, при се осъществява този процес, са строго определени от стандартите по Регламент (ЕО) № 1272/2008 (CLP) и методите на изпитване, определени по Регламент (ЕО) № 440/2008 [16, 15].

Физичното обяснение на процеса е, че при тази температура концентрацията на пари в паро-въздушната смес над нивото на течността достига долната експлозивна граница (ДЕГ). За достигането на концентрацията, компонентите в сместа се изпаряват с различни скорости, определени от парните им налягания. Изчислителната задача за определяне на ПТ на течни смеси включва два свързани проблема [9, 10]: определяне на състава на парите при изпарение на смес от течности и проверка дали концентрацията на парите в този си състав е достигнала ДЕГ.

Основни входни данни за задача с течни смеси са вида на компонентите в сместа и съотношенията на моларните им фракции. Компонентите в сместа си взаимодействат и изменението на парното налягане на отделния компонент зависи от неговата моларна фракция и от взаимодействието с другите компоненти. В резултат на тези взаимодействия над повърхността на течността се получава смес от пари, чийто моларен състав значително се различава от процентния състав на компонентите в течната смес [9, 10, 12].

Така образуваната смес от пари притежава ДЕГ, която зависи от моларната фракция (при идеален газ – обемното процентно съдържание) на всеки от компонентите в парната смес. С повишаване на температурата на течната смес, се повишава концентрацията на парите във въздуха над повърхността на течността. При определена температура, концентрацията на парите се изравнява с характерната за сместа ДЕГ и е възможно възникването на припламване. Тази температура е ПТ на течната смес.

При този процес се променят агрегатното състояние на компонентите в сместа, процентното съотношение помежду им и индивидуалните им характеристики при взаимодействие с другите компоненти на сместа.

Математическото моделиране на тези процеси варира от възможно най-простите и практически приложими начини до сложни физико-химично-термодинамични модели, използващи взаимодействия на молекулно ниво между компонентите на сместа [7, 9, 10].

2.2. Консервативен компонентен (КК) метод

Това е най-простият и лесен метод, който се използва в практиката и е в интерес на пожарната безопасност. При него за характеристика на сместа се приема най-опасната характеристика на съдържащ се компонент. Това се отнася и за ПТ на течната смес.

Предимството му е, че е изключително надежден, лесен и достъпен. Методът е допустим по Регламент (ЕО) № 1907/2006 (REACH) и Регламент (ЕС) № 2020/878 [17, 18] и в практиката на инженера по пожарна безопасност се срещат ИЛБ с ПТ, определена по този метод. Недостатък е голямата грешка, която се получава при използването му. При метода не се отчитат процентното съдържание на опасния компонент в течната смес, нито влиянието на другите компоненти. Употребата на този метод често се характеризира с презастраховане и води до ненужни разходи за пожарна безопасност.

2.3. Количествена зависимост структура-свойство (QSPR) методи

При QSPR методите се използват набори от структурни, топологични, електронни и други дескриптори на молекулите [6]. При съответствие на дескриптори, чрез статистически зависимости между структура и характеристика се определят неизвестни характеристики на веществата.

Основно предимство на тези методи е, че при строго определени условия са разрешени за използване от REACH при определяне на характеристики и вписването им в ИЛБ [17, 18]. Проблем при използването е, че изгражданите модели са частни и обхващат точно определена група вещества, дескриптори и условия. Използването им става с установяване на точния модел, като се намерят приложимите именно към този модел входни данни. За смеси от вещества с различни молекули е необходимо всички компоненти да попадат в обхвата на съответния метод и за всеки значещ компонент да са известни входните данни. Това прави QSPR методите приложими само в частни случаи, от висококвалифицирани специалисти с компетентност в молекулното моделиране.

2.4. Методика с парните налягания на компонентите и ДЕГ на парната смес (PsLFL)

2.4.1 Същност на методиката

Методиката е теоретично обоснована чрез физичните трансформации на течната смес до достигане способност на парите за кратко припламване при поднасяне на източник на запалване [9, 10]. С нея се определя какво количество от всеки компонент ще се изпари - съставът на парната фаза - ДЕГ при този състав – температурата, при която концентрацията на пари ще достигне ДЕГ. Тази температура е ПТ на течността.

В течни смеси, парното налягане P_i [Pa] на компонента не е равно на характеристичното налягане на наситените пари на чистия компонент. Парното налягане на компонента в течната смес се определя по закона на Раул (Raoult’s law) [7, 9,10]:

$$P_i = P_i^{sat}\, x_i\, \gamma_i\,, \tag{1}$$

където P_i^{sat} е парно налягане на i-тия компонент [Pa]; x_i – моларната фракция на *i*-тия компонент; γ_i е коефициента на активност на *i*-тия компонент.

С коефициентите на активност се отчита взаимодействието между компонентите в сместа, което води до отклонение от идеалния случай [9,10]. За идеални смеси $\gamma = 1$.

Обемната концентрация $c_{i,\%}$ [%] на съответния компонент в паро-въздушната смес над повърхността на течността се описва с уравнението:

$$c_{i,\%} = 100\ \frac{p_i}{p} = 100\ \frac{p_i^{sat}.x_i.\gamma_i}{p}, \quad (2)$$

където P е атмосферното налягане [Pa].

Обемната концентрация на пари от течността $c_{0\%}$ [%] в паро-въздушната смес над повърхността се определя като сума от концентрациите на отделните компоненти:

$$c_{0\%} = \sum_i c_{i,\%} \quad (3)$$

Използва се уравнението на Le Chatelier [9, 10] за определяне ДЕГ на смес от газове:

$$LFL_{mix} = \frac{1}{\sum_i \frac{y_i}{LFL_i}}, \quad (4)$$

където LFL_{mix} е ДЕГ на парите на течната смес [%]; LFL_i е ДЕГ на *i*-тия компонент в сместа [%]; y_i е моларната фракция на i—тия компонент в състава на парите.

Обемната концентрация на парите в паро-въздушната смес $c_{0\%}$ се изравнява с LFL_{mix} на сместа, когато е изпълнено условието [10]:

$$\sum_i \frac{c_{i,\%}}{LFL_i} = 1. \quad (5)$$

В такъв случай парите на течната смес ще припламнат при поднасянето на източник на запалване, защото концентрацията им е равна на ДЕГ на течната смес. Тоест, равенство (5) е вярно при температура, равна на ПТ на течната смес.

2.4.2 Изчислителна процедура

По тази методика ПТ се определя чрез итерации. Задава се стойност на температурата, определят се парните налягания на компонентите, обемните концентрации на компонентите в паро-въздушната смес, чрез ДЕГ на компонентите, се проверява дали равенство (5) е изпълнено. Ако не е изпълнено се задава нова температура и т.н. [9, 10].

За ДЕГ на чистите вещества (компонентите в сместа) са правени множество изследвания и са достъпни в публични бази данни или справочници. Трудност при използването на тази методика е определянето на парните налягания на компонентите при използваните температурни итерации, а основен проблем се явява определянето на коефициентите на активност γ_i на отделните компоненти [9].

2.4.3 Парни налягания на чистите компоненти

За изчисляване на парното налягане при различна температура, в световен мащаб се използват различни варианти на уравнението на Антоан (Antoine equation) [1, 2, 12]. Най-

често уравнението е сведено до десетичен логаритъм с три характеристични константи за съответното вещество [2, 4]. За *i*-тия компонент в течна смес, уравнението има вида:

$$lgP_i^{sat} = A_i - \frac{B_i}{T+C_i}. \quad (6)$$

Срещат се и други варианти на уравнението, включително с натурален логаритъм [1, 6] или разширени форми с допълнителни коефициенти [12]. Константите A, B и C могат да бъдат намерени в достъпни бази-данни или справочници, като трябва да се внимава за коя форма на уравнението са и при какви дименсии на налягането и температурата.

Королченко [2] предлагат метод, по който могат да бъдат изчислени константите на Антоан. Необходимо е да са известни парните налягания P_1, P_2 и P_3 [kPa] при три температури $t_1<t_2<t_3$ [ºC] на веществото. Впоследствие трите константи A, B и C за уравнението на Антоан се изчисляват по следните зависимости:

$$A = \frac{n \lg P_1 - \lg P_3}{n-1}; \quad (7)$$

$$n = \frac{(t_2-t_1)(\lg P_3 - \lg P_2)}{(t_3-t_2)(\lg P_2 - \lg P_1)}; \quad (8)$$

$$B = \frac{(t_2-t_1)(A-\lg P_1)(A-\lg P_2)}{\lg P_2 - \lg P_1}; \quad (9)$$

$$C = \frac{B}{(A-\lg P_2)-t_1}. \quad (10)$$

Така получените константи A, B и C са за зависимостта с десетичен логаритъм (6) , като температурата е в [ºC], а парното налягане се получава в [kPa] [2].

2.4.4 Коефициенти на активност

Коефициентите на активност γ_i на компонентите показват как се отклонява поведението им спрямо закона на Раул за идеални смеси [9, 10]. Коефициентът на активност не е характеристичен коефициент на отделния компонент, а зависи от взаимодействията с другите компоненти в течната смес. Известни са няколко модела за определяне на коефициенти на активност: емпиричния модел на Margules за бинарни смеси; полуемпиричния корелационен модел на van Laar; моделът на Wilson за локалния състав (local-composition); NRTL (Non-Random Two-Liquid) и UNIQUAC (Universal Quasi-Chemical) моделите; UNIFAC (UNIversal Functional-group Activity Coefficients) и модифицираният на негова основа Modified UNIFAC Dortmund модел [7, 20].

Някои от тези модели продължават да се разработват активно и към наличните данни се правят нови изследвания и се добавят нови данни. Типичен пример е Modified UNIFAC Dortmund, който продължава да се разработва от Dortmund Data Bank и чрез периодични издания се попълва с нови данни [7, 20].

2.4.5 Приложимост на методиката

Методиката може да се използва, когато се установи приложим метод за определяне на коефициентите на активност и са налични достъпни данни за компонентите, необходими за използването на метода. Не се препоръчва използване на методиката във

варианта за идеални смеси, защото без отчитане на коефициентите на активност грешката може да е много голяма и в ущърб на безопасността [9].

2.5. Програмен продукт на DDBST

DDBST (Dortmund Data Bank Software & Separation Technology) са разработили комерсиален програмен продукт, в който има модул за определяне на ПТ на база на разработвани от тях и постоянно попълван с данни UNIFAC-базирани модели, включително Modified UNIFAC [7, 19, 20]. Според описанието на софтуера за 2026 г. продуктът притежава собствена база данни, като при липса на необходими данни, интерфейсът иска от потребителя да бъдат попълнени [19]. Резултатите са описани като представяни под формата на таблици, които съдържат входните данни, използвани модели, междинни резултати и крайни резултати. По описанието, предимства на продукта са многобройни: достъпност за използване (при комерсиалните условия на производителя), високата степен на достоверност и проследимост на резултатите.

2.6. Методика по ГОСТ 12.1.044 „Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения“

Освен експериментални методи, в ГОСТ 12.1.044 [13] се съдържат „разчетни методики“ за определяне пожаро- и взривоопасните характеристики на вещества, включително смеси [5, 13]. В стандарта е налична методика за определяне ПТ. Методиката е стандартна за държавите, въвели системата на ГОСТ и се препоръчва за използване от институции като ВНИИПО [13] и автори като Монахов и Королченко [2, 4]. В основата на зависимостта е модел на термодинамично равновесие:

$$\sum_i x_i \exp\left[\frac{\Delta H_{v,i}}{R}\left(\frac{1}{T_{f,mix}} - \frac{1}{T_{f,i}}\right)\right] = 1\,, \tag{11}$$

където x_i , $\Delta H_{v,i}$ [J mol^{-1}] и $T_{f,i}$ [K] са съответно моларната фракция, топлината на изпарение и пламната температура на *i*-тия компонент; $T_{f,mix}$ е пламната температура на сместа [K]; R = 8,314 е универсалната газова константа [J (mol.K)$^{-1}$].

При използването на зависимостта $T_{f,mix}$ се определя по метода на итерациите [13].

Трудност при тази методика е, че за много вещества липсват достъпни данни за топлината на изпарение. Нейната стойност също може да бъде изчислена.

Метод за изчисляване топлината на изпарение е представен от Yaws et al [12]. С метода се отчита изменението на топлината на изпарение при промяна на температурата, което го прави подходящ за използване при температури, близки до ПТ.

$$\Delta H_v = A\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n\,, \tag{12}$$

където ΔH_v е в [kJ mol^{-1}]; T е температурата на течността [K]; A, T_c и n са регресионни коефициенти, характерни за отделния компонент в сместа.

В изданието са представени в таблици регресионните коефициенти и граничните условия на голям набор от течности [12]. С този метод е възможно надеждно изчисляване топлината на изпарение на представеното в изданието множество от течности.

Друг метод за теоретично определяне топлината на изпарение е представен в Краткий справочник физико-химических величин под редакцията на Мищенко [3]. В него

е представена емпирична формула за теоретично извеждане топлината на изпарение от температурата на кипене (13). В обхвата на формулата изрично е отбелязано, че се отнася само за неполярни течности. Определената по тази формула топлина на изпарение е при температура, равна на температурата на кипене на течността.

$$\Delta H_v = T_b(36{,}61 + 19{,}14\, lgT_b), \tag{13}$$

където T_b е температурата на кипене [K].

Королченко също предлагат теоретична зависимост за топлината на изпарение, като се знаят константите от уравнението на Антоан [2]. Те предлагат формулата:

$$\Delta H_v = \frac{4{,}576\ B\ T^2}{(T-273{,}2+C)^2}, \tag{14}$$

където B и C са константи от уравнението на Антоан за температура в [°C] и парно налягане в [kPa]; T [K] е температурата на течността.

Зависимостта е валидна за органични течности с парно налягане от 0 до 100 kPa [2]. Определената топлина на изпарение е за работната температура, т. е. ПТ.

С определянето на топлината на изпарение по някой от тук изброените методи се разрешава основния проблем за практическото използване на зависимостта по ГОСТ.

Изчисленията по тази методика не са стандартно регулирани в Република България, но при липса на друга достъпна методика, ПТ би могла да се изчисли по този начин.

2.7. Методика на Liaw

Liaw комбинира равновесното състояние на наситени пари, правилото на Le Chatelier и закона на Раул в едно уравнение [10]:

$$1 = \sum_i x_i\, \gamma_i(T_{f,mix}, x)\, \frac{P_i^{sat}(T_{f,mix})}{P_i^{sat}(T_{\mathrm{fp},i})}, \tag{15}$$

където $P_i^{sat}(T_{f,mix})$ [Pa] е парното налягане на *i*-тия компонент при ПТ на течната смес $T_{f,mix}$ [K]; $P_i^{sat}(T_{\mathrm{fp},i})$ [Pa] е парното налягане на *i*-тия компонент при пламна температура на същия компонент $T_{\mathrm{fp},i}$ [K]; γ_i е коефициентът на активност при моларна фракция x и пламната температура на течната смес $T_{f,mix}$.

Методиката се основава на същите зависимости като PsLFL, но ги комбинира в едно общо уравнение. Отново се използва метода на итерациите: задава се температура T - решава се дясната страна на уравнението - проверява се дали е равна на единица – ако не е равна се задава нова температура и т.н., докато се установи при коя температура дясната страна на уравнението е равна на единица. Това е пламната температура на течността [10].

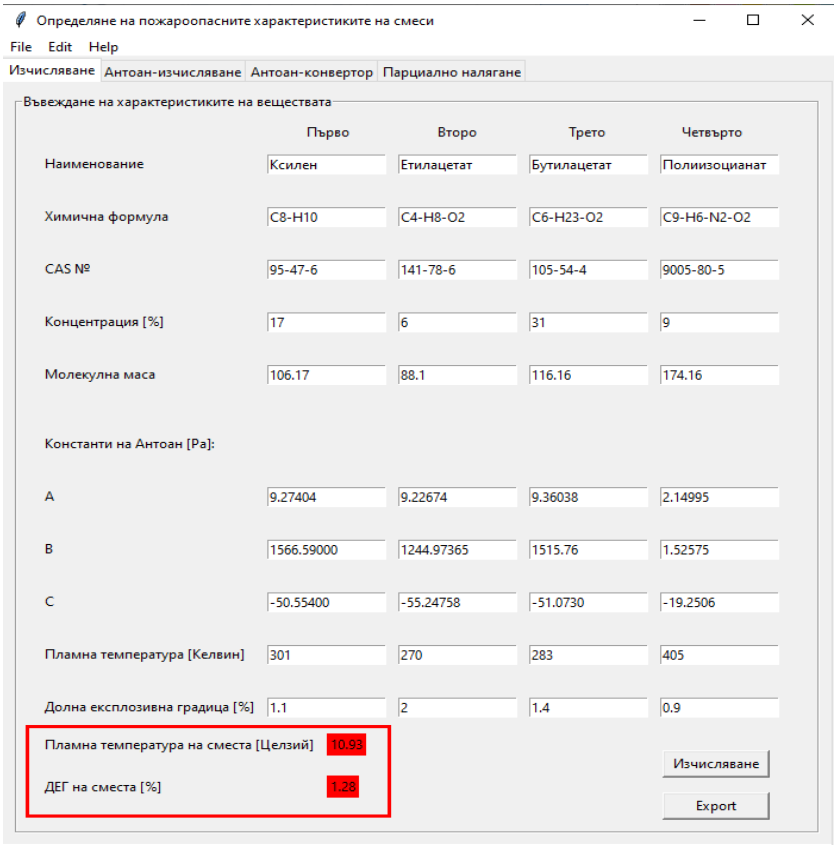
Предимството на методиката е, че цялата изчислителна процедура, макар и по метода на итерациите, се свежда до една зависимост. Недостатък отново е необходимостта да се определят коефициентите на активност γ_i на компонентите в сместа.

Надеждността на методиката е висока и методиката е широко използвана, включително със сравняване с експериментални данни [8].

2.8. Авторски програмен продукт за определяне на пламната температура (АПП)

При разработването на дипломната си работа за магистърска степен във Варненски свободен университет „Черноризец Храбър“, инж. Спас Якимов разработи програмен продукт за определяне пожароопасните характеристики на течни смеси. Програмата реализира методика, базирана на парциалните налягания на компонентите по закона на Раул, чрез която се определят пламната температура и долната експлозивна граница на течната смес, като има възможност за комбиниране до четири компонента в течна смес. Създадена е възможност за използване на константи на Антоан в различни мерни единици, с наличен конвертор между дименсиите. С програмата могат да се определят ПТ на течната смес и ДЕГ на сместа. Резултатът може да бъде експортиран във файл на Excel.

Основната част от интерфейса на програмния продукт е показан на фиг. 1.



Фигура 1. Интерфейс на програмата за изчисляване пожароопасните характеристики

3. КАЧЕСТВЕНА КЛАСИФИКАЦИЯ НА МЕТОДИТЕ

За да може да се избере кои методики са подходящи за използване в различни случаи е направена инженерна Pugh матрица [11] с методиките. Тъй като пламната температура се използва за целите на безопасността [14], несъответстващи с безопасността методики (като идеалния случай на закона на Раул) са отхвърлени предварително.

За матрицата на Pugh са използвани критериите „достъпност на данни“, „лекота на използване“, „точност“ и „проверяемост“. Точността на дадена методика е обвързана с научната ѝ обоснованост. За „проверяемост“ като критериална стойност е взето предвид или наличието на валидиращ (удостоверителен) протокол или изчислителен отчет с пълните данни, или да е възможно възпроизвеждането на данните и изчисленията само чрез публични бази данни и при знания за строежа на веществата, влизащи в рамките на инженерното образование по пожарна безопасност. Резултатите са показани в табл. 1.

Методът с най-голям брой отрицателни критерии в матрицата е семейството на QSPR методиките. Въпреки това, методиките са с висока степен на точност и при използването им за целите на REACH се изисква да бъдат придружени с валидираща и удостоверителна документация. Те са приложими в специалните случаи, когато точността и удостоверяването са с приоритет, без оглед на сложността и достъпността до данните.

Таблица 1. Матрица на Pugh

Критерий	КК	QSPR	PsLFL	DDBST	ГОСТ	Liaw	АПП
Достъпност на данни	+	-	0	+	+	0	+
Лекота на използване	+	-	0	+	0	+	+
Точност	-	+	0	+	0	0	0
Проверяемост	+	+	0	+	+	0	0

Методиката с нулева критериална стойност е PsLFL. Необходимостта от определяне на метод и данни за коефициентите на активност прави методиката използваема само при ограничен брой случаи, от висококвалифицирани специалисти. Вероятността да бъде избран неподходящ метод влияе на точността. Проверимостта на методиката също е ограничена на нивото на инженери по пожарна безопасност.

Същите неща се отнасят и за методиката на Liaw, като при нея използването е едно ниво по-лесно с оглед възможността да се работи само с една зависимост.

Методиките с по два (+) и без (-) са ГОСТ и АПП. Характеристиките на методиките са различни. При ГОСТ изчисленията лесно могат да бъдат повторени, докато при сегашното състояние на АПП проверяемост е налична само при ръчно описване от автора на използваните зависимости, методи и коефициенти. От друга страна, АПП се използва много по-лесно, отколкото изпълнението на изчислителните процедури по ГОСТ.

КК има един основен недостатък – точността. Но тя никога не е за сметка на безопасността. По всички други критерий КК е с (+) и неслучайно в REACH се позволява да бъде използван за вписване на данни в ИЛБ [18].

По матрицата на Pugh, най-добър вариант за определяне на ПТ е програмният продукт на DDBST. При него всички критерии са с (+).

По инженерната матрица на Pugh може да се направи избор коя методика за какви случаи е подходяща, като се имат предвид целта на определяне на ПТ, конкретния състав на течната смес, квалификацията на инженера, достъпността до данни и методи.

4. ИЗВОДИ

Програмният продукт на DDBST е методиката с най-добра приложимост, като се включват качествените критерии за достъпност, лекота на използване, точност, проверимост и предварително заложения критерий за пожарна безопасност. После следват консервативния компонентен подход, авторския програмен продукт за определяне на пожароопасните характеристики на течни смеси, методиката по ГОСТ и т.н.

В зависимост от целта на определяне на ПТ и конкретния случай е възможно използването на други методики да се окаже по-подходящо за конкретната цел и случай.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Земский Г., Огнеопасные свойства неорганических и органических материалов: Справочник, Москва, ВНИИПО, 2016.

[2] Корольченко А., Корольченко Д. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник в 2 ч., 2-е перераб. и доп. изд., Москва, Ассоциация „Пожнаука", 2004. ISBN 5-901283-02-3.

[3] Мищенко К., Равдель А., (редакторы), Краткий справочник физико-химических величин, 7-е изд., Ленинград, Химия, 1974.
[4] Монахов В., Показатели пожарной опасности веществ и материалов. Анализ и предсказание, газы и жидкости, Москва, ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2007. ISBN 5-901140-54-0.
[5] Шебеко Ю., Навценя В., Копылов С., Горшков В., Корольченко И., Полетаев А., Полетаев Н., Васина О., Веревкин В., Белов С., Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов, Москва, ВНИИПО, 2002.
[6] Boethling R., Mackay D., (eds.), Handbook of Property Estimation Methods for Chemicals: Environmental and Health Sciences, Boca Raton, CRC Press LLC, 2000. ISBN 1-56670-456-1.
[7] Gmehling J., Rasmussen P., Flash Points of Flammable Liquid Mixtures Using UNIFAC, Industrial & Engineering chemistry Fundamentals, 21, 2, 1982, p. p. 186-188. DOI: 10.1021/i100006a016.
[8] Hristova M., Damgaliev D., Popova D., Estimation of Water-Alcohol Mixture Flash Point, Journal of the University of CTM, 45, 1, 2010, p. p. 19-24.
[9] Hristova M., Measurement and Prediction of Binary Mixture Flash Point, CEJ of Chemistry, 11, 1, 2013, p. p. 57-62. DOI: 10.2478/S11532-012-0131-1.
[10] Liaw H., Chiu Y., A General Model for Predicting the Flash Point of Miscible Mixtures, Journal of Hazardous Materials, 137, 1, 2006, p. p. 38-46. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.01.078.
[11] Pugh S., Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering, Addison-Wesley, 1991.
[12] Yaws C. L., Chemical Properties Handbook: Physical, Thermodynamic, Environmental, Transport, Safety, and Health Related Properties for Organic and Inorganic Chemicals, New York, McGraw-Hill, 1999. ISBN 0-07-073401-1.
[13] ГОСТ 12.1.044-2018, Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов, номенклатура показателей и методы их определения, Москва, Стандартинформ, 2018.
[14] Наредба № Із-1971 за строително-технически правила и норми за осигуряване на безопасност при пожар. Обн. ДВ, бр. 96/04.12.2009 г.; изм. ДВ, бр. 46/06.06.2025 г.
[15] Регламент (ЕО) № 440/2008 на Комисията от 30.05.2008 г. за определяне на методи за изпитване в съответствие с Регламент (ЕО) № 1907/2006.
[16] Регламент (ЕО) № 1272/2008 (CLP) на Европейския парламент и на Съвета от 16.12.2008 г. относно класифицирането, етикетирането и опаковането на вещества и смеси, за изменение и отмяна на Директиви № 67/548/ЕИО и № 1999/45/ЕО и за изменение на Регламент (ЕО) № 1907/2006.
[17] Регламент (ЕО) № 1907/2006 (REACH) на Европейския парламент и на Съвета от 18.12.2006 г. относно регистрацията, оценката, разрешаването и ограничаването на химикали, за създаване на Европейска агенция по химикали.
[18] Регламент (ЕС) № 2020/878 на комисията от 18.06.2020 г. за изменение на приложение II към Регламент (ЕО) № 1907/2006.
[19] DDBST GmbH, Flash Point Estimation. DDBSP Documentation. Avialable: https://vww.ddbst.com/files/files/ddbsp/2026/Documentation/FlashPointEstimation.pdf. [посетен на 19.05.2026 г.]
[20] DDBST GmbH, Parameters of the Modified UNIFAC (Dortmund) Model. Published parameters, interaction parameters, subgroups and group surfaces/volumes, main groups. Avialable: https://www.ddbst.com/PublishedParametersUNlFACDO.html. [посетен на 19.05.2026 г.]