

УДК 544.452.42(09)

ВИВЧЕННЯ РОЛІ ІОНІВ В ПРОЦЕСАХ ЗАПАЛЮВАННЯ ТА ГОРІННЯ ГАЗОВИХ СУМІШЕЙ В УКРАЇНІ (перша половина ХХ сторіччя)

Сюх А.В.

(Дніпропетровський національний університет)

Рассмотрена деятельность научных лабораторий Днепропетровского горного и физико-технического институтов в области физики горения и взрывов в первой половине XX столетия. Проанализированы результаты исследований отечественных ученых по изучению роли заряженных частиц в процессах зажигания и горения взрывных газовых смесей.

It was considered the activity of scientific laboratories of Dnipropetrovs'k in the Mountain and Fiziko-technical institutes in the first half of XX century. It was analyzed the results of investigation of home scientists on the study of role of the charged particles in the processes of lighting and burning of explosive gas mixtures.

Проведений попередній аналіз показав, що перші дослідження з фізики горіння та вибуху можна віднести до початку 19 століття. Питання безпеки в гірничий промисловості викликали інтерес видатних вчених того часу (Деві, Пуайє та інші). У другій половині ХІХ ст. значну увагу вивченню вибухів газу в копальнях приділяли Малляр і Ле Шательє.

Основні положення фізики горіння та вибуху вперше були викладені в дисертації В. А. Міхельсона у 1894 р. Між іншим, цей видатний вчений народився в Україні в провінційному містечку Тульчин Подільської губернії. В. А. Міхельсон, розглядаючи теорію теплового поширення полум'я, першим запропонував розмежовувати два процеси горіння: повільне згорання, яке поширюється за допомоги теплопровідності, та вибуховий процес (вибухова хвиля) – поширення полум'я здійснюється за допомоги швидких стиснень. Він вперше методом фотографування перевіряє теоретичну форму поверхні запалювання, знайдену з отриманих рівнянь [1].



Попередником В. А. Міхельсона в Україні був харківський хімік М. О. Чернай, учень М. М. Бекетова, який у 1876 надрукував брошуру «Исследования явлений воспламенения и распределения кислорода при неполном сгорании газовых смесей» [2].

З розвитком досліджень в цьому напрямку деякі вчені починають розглядати модель поширення вибуху як з «класичної» точки зору, тобто при поширенні вибуху в газовій суміші діють лише термодинамічні закони, так і з «електронно-іонної», тобто з точки зору процесів іонізації, що відбуваються у полум'ї.

На початку 20 століття з'являється низка експериментальних праць Габера та Дж. Томсона, які виявили участь заряджених частинок (електронів, іонів) в процесах запалювання та горіння. Дж. Томсон проводив дослідження по запалюванню газових сумішей від розжареного електричним струмом дроту. Він дійшов висновку, що вплив гарячої поверхні на запалювання відбувається тоді, коли ця поверхня починає випромінювати заряджені частинки. Габер

встановив, що горіння газів пов'язане з їх іонізацією, і що між швидкістю поширення запалювання та мірою іонізації, тобто електричною провідністю полум'я, існує тісна залежність.

Отже перед дослідниками постали питання щодо ролі заряджених частинок в процесах запалювання та горіння. Треба було встановити, яким чином дія цих частинок може впливати на процеси, що відбуваються при запалюванні та горінні вибухових сумішей, та звідки виникають ці частинки, або чи не є вони побічним ефектом зміни швидкості вибухових хвиль

Свій внесок у розв'язання цієї проблеми зробили й фізики України. На початку ХХ ст. зі створенням науково-дослідницьких кафедр в Україні починається новий етап розвитку фізики горіння та вибуху. В цей період з'являються праці Г. Є. Євреїнова, М. С. Курнакова, А. Е. Малиновського, М. В. Полякова та інших. Саме вони і заклали фундамент сучасної вітчизняної фізики горіння та вибуху.

Необхідно відмітити, що А. Е. Малиновський починав проводити свої дослідження у лабораторії Гірничого інституту при кафедрі фізичної хімії. Цю лабораторію створив академік Л. В. Писаржевський, саме він першим в Україні почав проводити експерименти з вивчення впливу електричних та магнітних полів на хімічні процеси і таким чином сприяв розвитку фізики горіння та вибуху [3].

Метою роботи є історико-наукове дослідження розвитку фізики горіння та вибуху в першій половині ХХ сторіччя в Україні. Саме в цей проміжок часу на теренах України, в місті Дніпропетровську, починають працювати декілька наукових груп, які вивчають процеси запалювання, горіння і вибуху газових сумішей. Їх дослідження залишаються актуальними і нині, але в сучасній історичній літературі з фізичної хімії та хімічної фізики фактично відсутні відомості про розвиток фізики горіння та вибуху [4]. Але саме вітчизняними вче-

ними було зроблено багато фундаментальних відкриттів в області фізики горіння і вибуху.

Можна з упевненістю стверджувати, що вивчення ролі електронів та іонів в процесах запалювання та вибуху газових сумішей в Україні починається з появою в 1923 році статті професора науково-дослідної кафедри гірничого мистецтва Катеринославського Гірничого інституту Г. Є. Євреїнова [5].

Стаття була присвячена процесам запалювання електричними іскрами рудничних газів. Обраний напрям досліджень автор пояснював тим, що в кам'яновугільних копальнях при використанні звукової сигналізації виникають відкриті електричні іскри.

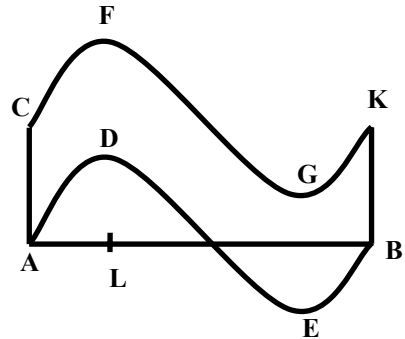
Розглядаючи процес запалювання з термодинамічної точки зору Г. Є. Євреїнов виявив певне протиріччя. Так, за законами термодинаміки для запалювання газової суміші повинна існувати деяка температура – температура запалювання. Але з іншого боку температура не визначає собою запалювання, бо в багатьох випадках запалювання від слабких іскор не відбувається, хоча температура іскор є значно вищою за температуру запалювання. Таким чином, підкреслює Г. Є. Євреїнов, при запалюванні відбуваються не лише тільки термодинамічні процеси. Іскру розмикання можна розглядати як короткочасну вольтову дугу, котра утворилася між поверхнями, що розмикаються. Виявилось, що іскра розмикання створює короткочасний електронний потік між розімкненими поверхнями. Згідно досліджень професора В. Міткевича вольтова дуга також може виникати при випромінюванні електронів сильно нагрітим тілом.

На той час було відомо, що під дією рентгенівських та ультрафіолетових променів, нагрітих тіл і радіоактивного випромінювання газу приходять до особливого стану – іонізації. Явище іонізації полягає в тім, що електрично нейтральні молекули газу здобувають електричні заряди протилежних знаків. Негативні іони утворюються завдяки

приседнанню електронів, а позитивні завдяки відбиранню останніх. Число позитивних і негативних іонів рівняється між собою. Тому *іонізований газ* – це суміш молекул та позитивних і негативних іонів, що підкоряються дії електричних сил завдяки властивим їм зарядам. Якщо іонізований газ буде перебувати в електричному полі, то іони почнуть рухатися за напрямом поля в протилежні сторони. Якщо поле відсутнє, то внаслідок притягування різномісних іонів, останні з'єднуються, тобто відбудеться рекомбінація іонів з утворенням нейтральних молекул. Процес запалювання вибухової суміші з іонної точки зору й полягає в рекомбінації певного числа іонів.

Отже немає сумніву, що запалювання рудничних газів відбувається від відкритих електричних іскор. Але перед Г. Є. Євреїновим постає питання, іскри якого струму являють собою найбільшу загрозу: адже встановлено – процес запалювання іскрами змінного струму відрізняється від запалювання іскрами постійного. Для розв'язання цього питання автором було запропоновано розглядати криву струму як синусоїду, тоді в момент проходження струму через нуль електрорушійна сила екстраструму розмикання теж буде нуль, через чверть періоду струм досягає найбільшого значення і електрорушійна сила буде найбільша, через половину періоду струм і електрорушійна сила буде дорівнювати нулю, через три чверті періоду як струм, так і електрорушійна сила будуть найбільші, але протилежного напрямку, і, нарешті, через цілий період обидві величини знову будуть дорівнювати нулю. З цього випливає, що електрична сила поля, створеного електрорушійною силою екстраструму розмикання, може мати будь-які значення між нулем і деякою максимальною величиною, при чому ця сила може бути й позитивною й негативною. Нехай AC (мал. 1) представляє електричну силу, яка утворюється електрорушійною силою екстраструму розмикан-

ня, а ADEB крива електричної сили поля ланцюга; тоді результуюча електрична сила зобразиться кривою ACFGKB. З цього малюнка видно, що чим менша частота струму, тим більші будуть мак-



Мал. 1

симальні швидкості електронів та навпаки; таким чином частота струму впливає на швидкість електронів.

У полі іскри постійного струму, електрони рухаються з рівномірним прискоренням, причому початкова швидкість залежить від температури розжарення активної частини катода, а кінцева швидкість залежить від величини результуючої електричної сили й тривалості дії цієї сили. В іскрі ж змінного струму електрони рухаються з пульсуючими швидкостями, у яких початкова швидкість визначається тими ж умовами, що й в іскрі постійного струму, але максимальна величина результуючої швидкості залежить від максимальної величини електричної сили LF (мал. 1) і частоти струму, причому величина струму розмикання повинна збільшуватися із частотою струму.

На підставі проведеного дослідження Г. Є. Євреїнов робить висновок: завдяки особливому процесу, що відбувається в іскрі змінного струму, остання є набагато безпечніша за іскру постійного струму; от чому надзвичайно бажано застосовування змінного струму для рудничних сигналізаційних установок.

Якщо питання виникнення тим чи іншим шляхом заряджених частинок в полум'ї не викликало суперечок, то роль цих частинок в самому процесі горіння була ще незрозуміла. Незважаючи на те, що вивчення електричних властивостей полум'я велося на той час більше ніж півсторіччя і за цим напрямом було досягнуто великих успіхів, спроби виявити дію заряджених частинок на процеси горіння залишалися невдалими до 1924 року, коли в лабораторії горіння і вибуху Дніпропетровського гірничого інституту була завершена перша праця А. Е. Малиновського [6].

Досліджуючи іонний характер запалювання гримучого газу і воднево-кисневих газових сумішей, під час поширення вибухової хвилі А. Е. Малиновський вперше експериментально за допомоги порівняно простої установки показав, що сильне електричне поле не тільки зменшує швидкість поширення полум'я, але навіть може зовсім припинити процес горіння. Досліди А. Е. Малиновського вперше встановили, що іони полегшують хімічну реакцію з'єднання пального з киснем, тобто приймають активну участь у процесах горіння, а не є тільки інертним побічним продуктом, як вважали раніше [7].

Отримані результати досліджень визвали велику зацікавленість у науковому співтоваристві. Деякі науковці, такі як Габер, Бернадський, Ретанов, відтворили проведені А. Е. Малиновським досліди. Вони також підтвердили роль іонів в процесах горіння. Але одразу побудувати чітку електронно-іонну модель процесів запалювання та горіння газових сумішей було неможливо. Багато питань стосовно властивостей вільних електронів та іонів, а також впливу різних чинників на данні досліджень були ще нерозв'язані.

У 1931 році А. Е. Малиновський, разом із співробітником К. Т. Ткаченко, продовжує дослідження по з'ясуванню ролі заряджених частинок в процесах горіння та вибухів газових сумішей. Вони розглядали механізм поширення

вибухової хвилі при вибуху газової суміші. Дослідження цього механізму давало змогу встановити явище перенесення іонів фронтом цієї хвилі [8].

Експерименти відбувалися наступним чином. В скляну трубку під постійним тиском подавалася газова суміш ацетилену та повітря, яка запалювалася біля відкритого кінця трубки електричною іскрою. Вибухова хвиля, що виникала при запалюванні, проходила між обкладками двох повітряних конденсаторів, які були розташовані в середині трубки. Конденсатори були з'єднані послідовно в електричний ланцюг разом з «балістичними» гальванометрами. Саме вони і показували, яку кількість іонів було вилонено з вибухової хвилі електричним полем кожного з конденсаторів.

Спостерігаючи за відхиленнями стрілки другого гальванометра А. Е. Малиновський фіксував електропровідність полум'я, яка залежить від кількості іонів, що знаходяться в даній точці. До числа цих іонів і входили, як іони що утворилися при горінні газової суміші (місцеві іони), так і іони, що були перенесені фронтом вибухової хвилі (перенесені іони). На підставі значень другого гальванометра можна було визначити співвідношення між іонами, що утворилися, й іонами, що були перенесені фронтом вибухової хвилі, при умовах: коли включене електричне поле на першому конденсаторі; коли електричне поле відсутнє на останньому.

Дійсно, електричне поле першого конденсатора вилонювало частину іонів, які переносилися фронтом вибухової хвилі, а гальванометр показував в цьому разі зменшення значення електропровідності полум'я. Однак кожного разу дослідники спостерігали горіння між обкладками другого конденсатора, що відповідно вказувало на незмінність кількості місцевих іонів. Таким чином Малиновський експериментально встановив факт переносу іонів фронтом вибухової хвилі. При проведенні досліджень автори звертають увагу на скла-

дність відтворення концентрації та швидкості витікання газової суміші, внаслідок чого отримання однорідності дослідів є дуже складною задачею.

Наступним кроком дослідників було використання фотореєстрації швидкості поширення вибухової хвилі. Використання фотореєстрації давало змогу вивчити вплив електричного поля на швидкість поширення вибуху в початковій стадії розвитку детонаційного періоду і відповісти на питання – чи пов'язаний перенос іонів із зміною швидкості поширення вибухової хвилі при накладанні електричного поля [9].

Для проведення експериментів потрібно було внести зміни в конструкцію попередньої установки. Зробивши необхідні перетворення, всередині трубки було розташовано два циліндричних конденсатори, кожен з яких з'єднувався послідовно з «дзеркальним» гальванометром і батареєю акумуляторів. Трубка була обклеєна чорним папером з розрізом по всій довжині, що збігався з розрізами зовнішніх оболонок конденсаторів, завдяки чому на фотопластині реєструвався рух полум'я через усю трубку.

Як і в попередніх експериментах трубка заповнювалася вибуховою сумішшю, яка рухалася з постійною швидкістю. Момент запалювання регулювався з таким розрахунком, щоб зображення полум'я з'являлося на початку фотопластини. Фотографії можна було отримувати через будь-які проміжки часу, це досягалось розмиканням ланцюга автоматичного запалювання. Отримані фотографії представляли собою результат додавання двох рухів: горизонтального поширення полум'я, вертикального руху пластинки. Розглядаючи фотографії можна було побачити складний рух полум'я. Так його рух до першого конденсатора носив хвилеподібний характер і знімок нагадував синусоїду. При проходженні полум'я крізь конденсатори на фотографіях відмічався рух відбитих хвиль.

Для обчислення швидкості руху вибухової хвилі потрібно було знати

напруженість поля, кількість обертів фотопластини і зафіксувати відхилення стрілки другого гальванометра, коли через обкладки конденсатора, до якого він був підключений, проходила ця хвиля. Виявилось, що швидкість поширення хвилі однакова, як при дії поля першого та другого конденсаторів так і при дії поля тільки на другий конденсатор. Остаточо впевнитися в цьому допомогли фотографії. Зображення рухів хвилі в трубці для обох випадків повністю збігалися між собою, що і підтверджувало отримані дані.

На підставі проведених досліджень Малиновський робить наступні висновки:

1. Явище переносу іонів відбувається при поширенні вибухової хвилі.

2. Пояснення явища переносу іонів зміною швидкості вибухової хвилі треба відхилити, тому що прикладання електричного поля до конденсаторів в різних випадках не змінювало суттєво швидкість хвилі.

3. Ці дослідження не можуть суперечити експериментам, які встановили зменшення швидкості горіння вуглеводів в електричному полі. Навпаки, вони показують, що такий вплив електричного поля має місце тільки при малих швидкостях поширення полум'я, а при переході горіння у вибух цей вплив зникає.

4. Ефект переносу іонів і вплив електричного поля на швидкість горіння спостерігається лише тільки в сумішах, де вміст вуглеводів у надлишку.

Таким чином, Малиновському вдалося експериментально спростувати твердження, що явище переносу іонів відбувається за рахунок зміни швидкості вибухової хвилі.

В 1934 році Малиновський починає вивчення впливу зустрічного імпульсу на вибухову хвилю, який відкрив ще в 1929 році Бон. Вивчаючи детонацію вибухових газових сумішей, Бон встановив, що підвищення швидкості вибухової хвилі відбувається за рахунок накладання ударних хвиль, однаково направлених з вибуховою, а при багаторазовому накладанні таких хвиль можна

скоротити переддетонаційний період. Саме під час переходу горіння у вибух (детонацію) і відбувається перенос активних центрів в ще не захоплені полум'ям шари газу. Тому прискорення детонації можна віднести за рахунок впливу ударних хвиль на область інтенсивності іонізації на фронті полум'я по напрямку його поширення [10].

Для перевірки досліджень Бона А. Е. Малиновський запропонував – дію ударних хвиль спрямувати проти напрямку поширення вибухової хвилі. Тобто на думку Малиновського, якщо активні центри, які знаходяться на фронті полум'я, отримують прискорення, то можна чекати, що при впливі зустрічного імпульсу на вибухову хвилю буде відбуватися зупинка полум'я.

Досліди проводилися за схемою Бонівської установки, вона представляла собою ударну камеру, яка приєднувалася до вибухової трубки за допомогою муфти і мідного крану. Через камеру в трубку закачувалася газова суміш ацетилену з повітрям, кран замикався і з ударної камери відкачувалася вибухова суміш. Далі камера наповнювалася повітрям, відкривався кран, а також і кінець вибухової трубки, якщо потрібно було досліджувати вибух в одкрійтій трубці з обох боків. В ударній камері розміщувалися електроди ударної іскри. Іскру отримували від розряду батареї конденсаторів, з'єднаних з трансформатором високої напруги. Для застосування фотореєстрації трубка мала вікно, і коли полум'я з'являлося у вікні трубки, замикався електричний ланцюг ударної іскри; іскра давала потужну ударну хвилю, що рухалася назустріч полум'ю.

А. Е. Малиновському вдалося спостерігати гасіння полум'я газової суміші ацетилену (4,5 % і 5 % C_2H_2) з повітрям під впливом механічного імпульсу, який був отриманий при накладанні різниці потенціалів близько 20 000 V і ємності батареї 0,02 μF . Для більш вибухових сумішей (5,5% і 6% C_2H_2) вплив зустрічного імпульсу, при накладанні різниці потенціалів порядку 25 000 V, на полум'я

був тимчасовий. Встановити вплив зустрічного імпульсу на швидкість полум'я сильно вибухової суміші (9% C_2H_2) А. Е. Малиновському не вдалося.

Для встановлення верхньої межі гасіння полум'я зустрічним імпульсом, досліджувалися суміші з надлишком горючого (21 – 25% C_2H_2). В цьому разі А. Е. Малиновський також спостерігав гасіння полум'я, але для суміші 21% C_2H_2 гасіння не відбувалося.

Пояснюючи дію механічного імпульсу Малиновський вказує, що при запалюванні газових сумішей, де концентрація ацетилену 4,5 – 5 %, швидкість їх полум'я порівняно невелика, тому і кількість активних центрів попереду фронту хвилі є незначною, механічний імпульс відштовхує ці активні центри назад, тим самим гасить або послаблює полум'я. Для сумішей, які дають великі швидкості полум'я, зустрічний імпульс не може здійснювати гасіння, а тільки на деякий час може зменшувати їх швидкості. Це відбувається тому, що в результаті зіткнення вибухової хвилі з ударною з'являється відбита хвиля, яка проходить до початку вибухової трубки, там знову відбивається і наздогнавши фронт полум'я прискорює горіння. Але через деякий час режим поширення полум'я знову повертається до початкової стадії. В сумішах з надлишком ацетилену (22%, 23%, 25 %) відбувається той самий механізм, що і для сумішей з малою концентрацією.

Отже, перевіряючи гіпотезу Бона А. Е. Малиновський погоджується, що при дії механічного імпульсу може відбуватися прискорення швидкості полум'я за рахунок активних центрів, які знаходяться на фронті вибухової хвилі.

Як було вказано вище, на початку 20 сторіччя Дж. Томсон проводив експерименти над можливістю запалювання газових сумішей від розжарених поверхонь. Провівши дослідження він виявив, що запалювання відбувається лише в той момент, коли поверхня починає випромінювати заряджені частинки (електрони) [7, 11]. Продовжуючи ви-

вчати роль електронів в процесах запалювання Томсон проводить дослідження з використанням рентгенівських променів. Опромінюючи платиновий дріт він намагався з'ясувати, чи можливе запалювання газової суміші від холодної поверхні під час випромінювання нею електронів. Свої досліді Томсон детально не описував, але зазначив, що спостерігав запалювання суміші кисню (90%) і водню (10%) декілька разів. Підтвердження або спростування цього явища в науковій літературі не було, тому, маючи всі підстави для проведення ґрунтовного дослідження, його розпочинає А. Е. Малиновський.

Для проведення досліджень була сконструйована установка, що представляла собою вибухову камеру (залізна трубка) в якій робився отвір. Цей отвір закривався алюмінієвим циліндром для запобігання витіканню газової суміші. Навпроти отвору в вибуховій камері розташовували платинову пластину на ізоляторі, від неї і циліндра були виведені назвні контакти, при підключенні яких до звичайної електромережі можна було добитися прискорення фотоелектронів. Випромінювачем слугувала рентгенівська трубка з водяним охолодженням типу К – II.

Провівши дослідження А. Е. Малиновський не отримав позитивний результат. На його думку спостеріганню запалювання заважало декілька чинників: очистка пластини проводилася тільки механічним способом, недостатня чистота і неналежна точність складання установки. Внаслідок чого були внесені зміни. Вибухову камеру зробили скляною, алюмінієвий циліндр був очищений в розчині сірчаної кислоти, а потім був підданий термічній обробці. Платинова пластинка була розташована, як і в попередньому випадку, контакти від пластини і циліндра також були виведені на зовні. При проведенні дослідів А. Е. Малиновський варіював багато параметрів, а саме: склад суміші, тиск у вибуховій камері, жорсткість рентгенівських променів, потужність ра-

діації, напруженість поля і час експозиції. За рахунок цього він намагався точно визначити при яких умовах відбувається запалювання. Для перевірки на вибуховість газової суміші запалювали від іскор індуктора. Але ці дії знову не дали результату. Тому А. Е. Малиновський вирішив побудувати найбільш точну копію установки, яку використовував Томсон. В новій установці, платинову пластину замінили на дріт. Розміри алюмінієвого циліндру, вибухової камери, кількість витків у спіралі, діаметр платинового дроту було обрано, як і в установці Томсона. Крім цього при проведенні дослідів кожен раз перед впусканням у вибухову камеру газової суміші, платинова спіраль розжарювалася. Але знову запалювання не відбувалося.

Таким чином запалювання суміші кисню з воднем фотоелектронами не було встановлене, хоча потужність рентгенівських трубок без сумніву перевищувала ті, якими користувався Дж. Томсон. Однак імовірно, що запалювання газової суміші при опроміненні її рентгенівськими променями у Дж. Томсона відбувалося внаслідок каталітичної дії, або за рахунок передачі теплоти від дроту, вказує А. Е. Малиновський. Для перевірки такої можливості він проводить підсумкові дослідження.

Спочатку проводилися експерименти, в яких треба було з'ясувати, з якою швидкістю відбувається охолодження платинового дроту після вимикання току розжарювання, та при якому ступені розжарювання відбувається запалювання газової суміші. Але безпосередньо виміряти температуру дроту технологічно було неможливо, тому вимірювався опір, а зміна його значень вказувала на зміну температури. Так запалювання газової суміші відбувалося лише в перші (10 – 12) секунди після вимикання току розжарювання.

Далі перевірялася каталітична дія платини. Після розжарювання проволочки, вибухову камеру наповнювали газовою сумішшю, через деякі проміжки часу (15, 30, 60, 90, 120 сек.). Запалювання відбу-

валося кожного разу, коли проміжок часу не перевищував 90 секунд.

На основі цих спостережень А. Е. Малиновський робить висновок, що у Дж. Томсона запалювання газової суміші відбувалося не за рахунок фотоелектронів, а напевне під каталітичною дією платини. Однак за словами А. Е. Малиновського ці дослідження не є доказом того, що явище запалювання газової суміші електронами неможливе, навпаки для такого запалювання напевно потрібна ще більша щільність струму, чим та, що досягається при фотоелекті [12].

Отже в першій половині ХХ ст. в Україні, а саме в Катеринославі (з 1926 року – Дніпропетровськ), під керівництвом професора А. Е. Малиновського, починають проводитися дослідження по з'ясуванню ролі заряджених частинок в процесах запалювання та горіння газових сумішей. А. Е. Малиновський вперше експериментально підтвердив участь електронів та іонів в процесі го-

ріння. Він першим виявив вплив електричних полів на поширення полум'я і застосовуючи фотореєстрацію довів, що воно залежить тільки від кількості перенесених іонів вибуховою хвилею. Вчений спростував думку, що переніс іонів відбувається за рахунок зміни швидкості вибухової хвилі. Досліджуючи теорію ударних хвиль Бона, для її підтвердження А. Е. Малиновським був запропонований інший підхід. Це привело до необхідності конструювання нової експериментальної установки і дослідження порівняно нових процесів, які відбуваються у вибухових хвилях.

Можна констатувати, що на початку ХХ сторіччя фізика горіння та вибухів починає бурхливо розвиватися й в Україні. Зокрема у Дніпропетровську з'являється декілька наукових груп, які дають потужний поштовх для подальшого становлення хімічної фізики і фізичної хімії в Україні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тепляков Г. М. Владимир Александрович Михельсон. – М., 1971.

2. Чернай Н. Исследования явлений воспламенения и распределения кислорода при неполном сгорании газовых смесей. – Харьков, 1876.

3. Центральний державний архів органів влади і управління (м.Київ). – ф. 166, оп. 6, спр. 3564.

4. Развитие физической химии на Украине. – К.: Наук. думка, 1989.

5. Евреинов Г. Е. Процесс воспламенения рудничного газа электрической искрой // Горный журнал. – 1923. – №1-2 – С. 26.

6. Малиновский А. Э. Роль заряженных частиц в процессах горения и взрыва // СОРЕНА. – 1934. – вып.7 – С. 24.

7. Скалов Б., Соколик А. Роль заряженных частиц в распространении пламени // Журнал физической химии. – 1934 – т. 5, вып.5 – С. 619.

8. Малиновский А. Э., Ткаченко К. Т. Перенос ионов взрывной волной // Журнал

экспериментальной и теоретической физики. – 1934. – Вып. 2 – С. 198.

9. Малиновский А. Э., Наугольников Б. И., Ткаченко К. Т. Фоторегистрация скорости распространения взрывной волны в электрическом поле // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1934. – Вып. 2 – С. 203.

10. Малиновский А. Э., Наугольников Б. И., Ткаченко К. Т. Исследование влияния встречного импульса на взрывную волну // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1934. – Вып. 10 – С. 1053.

11. Малиновский А. Э., Скрынников К. А. К вопросу о возможности зажигания гремучего газа рентгеновскими фотоэлектронами // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1934. – Вып. 2 – С. 193.

12. Малиновский А. Э., Скрынников К. А. К вопросу о возможности зажигания гремучего газа электронами большой скорости // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1935. – Вып. 5 – С. 455.