

УДК 533.9.03

М.Қ. Досболаев*, А. Қасен, А. Ниязымбетов, Т.С. Рамазанов

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
 Эксперименттік және теоретикалық физика ғылыми зерттеу институты Алматы қ., Қазақстан,
 E-mail: merlan@physics.kz

ИП-5 импульсті плазмалық үдеткіштің электрлік және энергетикалық қасиеттерін экспериментте зерттеу

Бұл жұмыста «ИП-5» импульсті плазмалық үдеткіштің электрлік қасиеттерін зерттеу нәтижелері (вольтамперлік сипаттамасы «ВАС») келтірілген. Сонымен қатар плазма тогы мен плазма ағыны энергия тығыздығының үдеткіш бойымен таралуы анықталды.

Түйін сөздер: плазмалық үдеткіш, электрлік қасиеттер, плазма

M.K. Dosbolayev, A. Kasen, A. Niazymbetov, T.S. Ramazanov

Electric and energetic properties of small pulse plasma accelerator in experiment

In this paper shows the results of the electrical properties (current-voltage characteristic "CVC") of plasma accelerator "ИП-5". Was investigated the plasma current and the energy density distribution of the plasma flow along the accelerator.

Key words: plasma accelerator, electrical properties, plasma

M.K. Dosbolayev, A. Kasen, A. Niazymbetov, T.S. Ramazanov

Исследования электрических и энергетических свойств малого импульсного ускорителя плазмы в эксперименте

В данной работе показаны результаты исследования электрических свойств (вольтамперная характеристика «ВАХ») плазменного ускорителя «ИП-5». А также исследовалось распределение плазменный тока и плотности энергии плазменного потока вдоль ускорителя.

Ключевые слова: плазменный ускоритель, электрические свойства, плазма.

Кіріспе

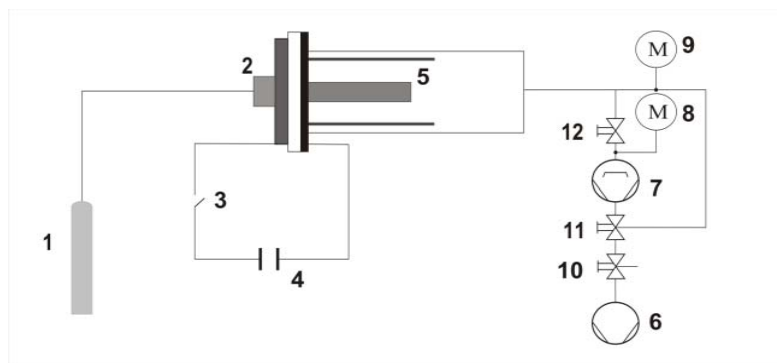
Плазманы үдетудің бірнеше әдісі бар, олардың бірі жоғары кернеу түсірілген электродтар арасына газды импульсті түрде енгізу. Бұл жағдайда үдеткіштің жұмыс істеу принципі келесідей: диэлектрик арқылы оқшауланған электродтарға алдын-ала зарядталған конденсатордан кернеу түсіріліп электродтар арасына газ импульсті түрде бүркіледі. Осы мезеттегі газ қысымының шамасы үшін электродтарға түсірілген кернеу өткізгіш кернеу мәнінен асқанда доғалы разряд пайда болады. Разряд тогы тудырған магнит өрісі плазма бөлшектеріне үлкен күшпен әсер етіп, оны камера бойымен үдетеді.

Әдетте импульсті плазмалық үдеткіштердегі плазма ағынының жылдамдығы $10-10^3$ км/с болады. Бұл жылдамдықтарға иондардың кинетикалық энергиясы бірнеше эВ - тан $10^5 - 10^7$ эВ - қасәйкес келеді. Мұндай қасиетке ие плазма ағыны термоядролық синтез қондырғыларын жоғары температуралы плазмамен толтыруда және әртүрлі материалдарды өңдеуде қолданылады [1-3].

Осылайша бұл саланың ғылым мен техникадағы маңыздылығы мен жаңашылдығын ескере отырып, ИП-5 импульсті плазмалық үдеткіштің лабораториялық моделі жасалынды, оның принциптік схемасы 1-суретте көрсетілген. ИП-5 келесі бөліктерден тұрады: 5 бір-бірінен диэлект-

рик арқылы оқшауланған бір өсті цилиндр формалы электродтар жүйесі. Сыртқы электродтың диаметрі 58 мм, ішкісі - 10 мм, сәйкесінше ұзындықтары 50 мм және 20 мм. 2 газды импульсті режимде жіберуге арналған электродинамикалық клапан, 4 сиымдылығы 150 мкФ кернеуі 5 кВ болатын конденсатор. Жүйені вакуумдап, газбен толтыру үшін 6 механикалық сорғы, 7

диффузиялық сорғы және 10-12 клапандар қолданылды. Вакуум деңгейі 8 жылулық және 9 ионды аспаптар көмегімен бақыланып отырды. Осылайша жұмыс камерасында 10^{-4} торр шамасында вакуум алу жүзеге асты. Плазмалық үдеткіш камерасы кварцтан жасалған, диаметрі 60 мм, ұзындығы 450 мм. ИП-5 плазмалық үдеткіштің максимал энергиясы 2,2 кДж.



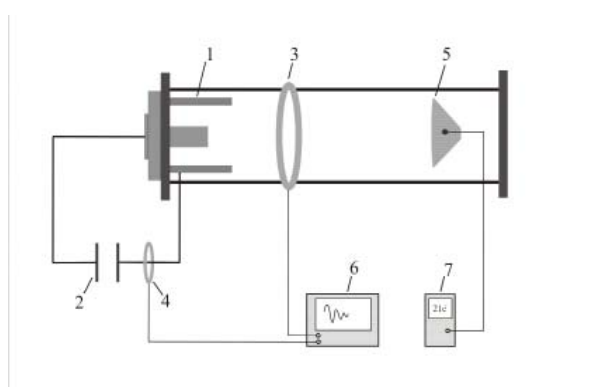
1-сурет – ИП-5 үдеткішінің принциптік схемасы

Тәжірибе әдістері

Қысқа уақытта пайда болып тез өзгеретін тоқты жанама өлшеудің әдісі, Роговский белдігін қолдану [4]. Роговский белдігі – оралған өткізгіш сымнан тұратын тороидты катушка. Оның жұмыс істеу принципі магнит өрісінде пайда болатын индукциялық тоқты өлшеуге негізделген.

ИП-5 плазмалық үдеткіштің ВАС-ын анықтау.

Импульсті плазмалық үдеткіштің разряд тогын анықтау үшін Роговский белдігі электродқа жалғанған өткізгіш сым сыртына орналастырылған. Жасалған тәжірибенің принциптік схемасы 2 - суретте көрсетілген.



2-сурет – ИП-5 үдеткіште Роговский белдігі мен calorиметрдің орналасуы

1 - электродтар жүйесі, 2 - конденсатор, 3-4 Роговский белдігі, 5 - калориметр, 6 - осциллограф, 7 - мультиметр.

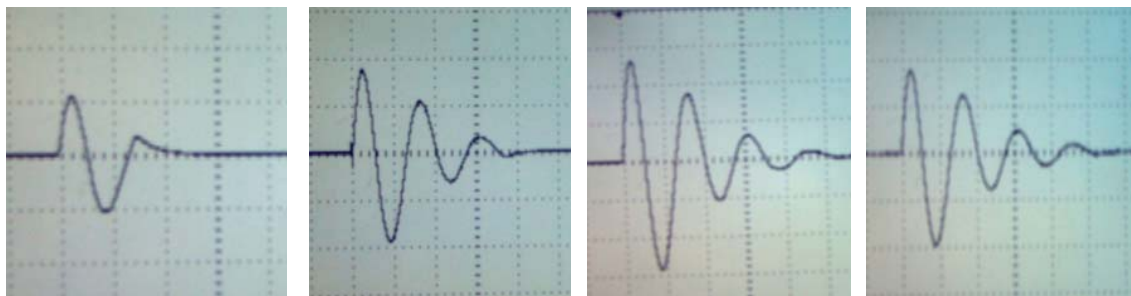
Белдік арқылы өтетін ток келесі формула көмегімен анықталды:

$$I = \frac{NV_{\text{осц}}}{R}$$

мұндағы N - белдіктің орам саны, R - интеграл-

даушы тізбектің кедергісі, $V_{\text{осц}}$ - осциллограф арқылы тіркелген кернеу мәні.

3-суретте аргон плазмасы үшін әр-түрлі кернеу мәніне сәйкес ток осциллограммалары көрсетілген.



U=1 кВ. 5 В/бөл,
100 мкс/бөл

U=2 кВ. 10 В/бөл,
100 мкс/бөл

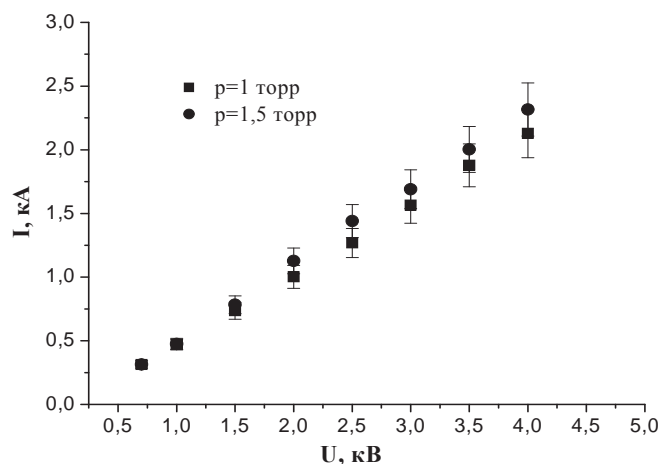
U=3 кВ. 10 В/бөл,
100 мкс/бөл

U=4 кВ. 20 В/бөл,
100 мкс/бөл

3-сурет – Әр-түрлі кернеу мәндеріндегі аргон плазмасы үшін ток осциллограммалары, $p=1,5$ торр

Алынған ток осциллограммалары нәтижесінде газ қысымының әр-түрлі мәндерінде үдет-

кіштің вольтамперлік сипаттамасы тұрғызылды (4 - сурет).



4-сурет – ИП-5 үдеткішінің вольтамперлік сипаттамасы

Импульсті плазмалық үдеткіштің вольтамперлік қисығынан көріп отырғанымыздай разряд тогы электродтарға түсірілген кернеуге тура пропорционал, яғни катодтан ұшып шыққан электрондардың концентрациясы мен энергиясы электродтарға түсірілген кернеуге тәуелді, ал катод бетінен ұшып шыққан электрондар электродтар арасындағы газ атомдарымен соқ-

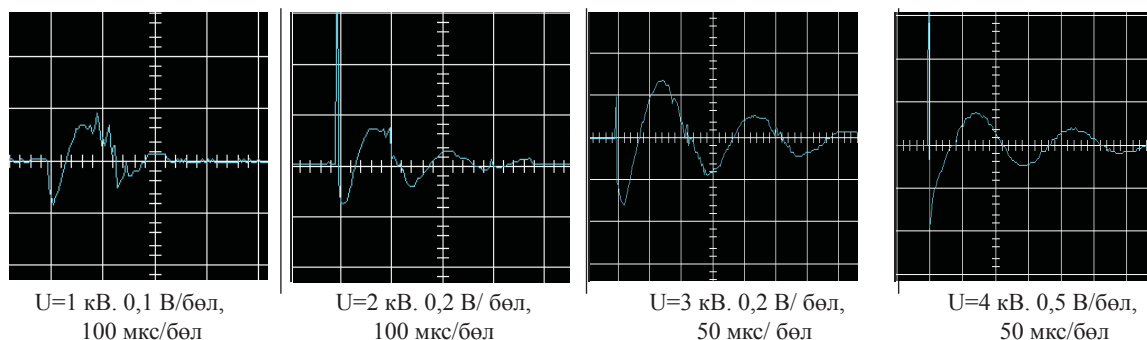
тығысып оларды иондайды, осылайша пайда болған екінші ретті зарядталған бөлшектер ток тасымалдайды. Демек, разряд тогы қолданылып отырған газ түріне (газ атомдарының иондалғыштығына) және өріс кернеулігінің шамасына тәуелді болады.

Роговский белдігі көмегімен плазма тогын анықтау. Бұл әдістің басты артықшылығы, бел-

дік плазманың сыртында орналасады, демек, бұл аспап зерттелетін нысанға ешқандай әсерін тигізбейді. Белдік плазма үдетілетін камераның сыртына электродтардан әр түрлі, яғни 3, 6 және 12 см қашықтықта орналастырылды (2-су-

рет). Роговский белдігінде пайда болған импульсті сигнал осциллограф көмегімен тіркелді.

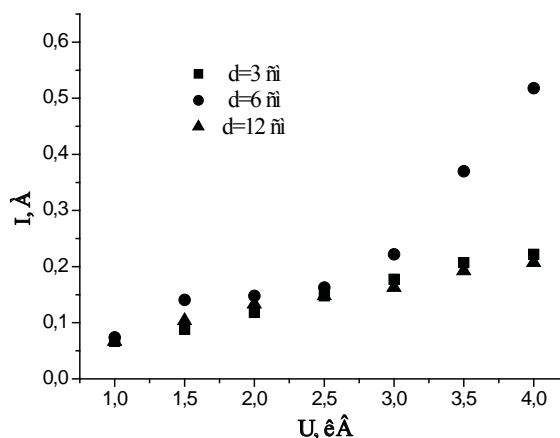
Роговский белдігі көмегімен плазма тоғын анықтаудың осциллограммасы 4- суретте көрсетілген.



5-сурет – ИП-5 үдеткішіндегі аргон плазмасы тоғының осциллограммалары. Роговский белдігі электродтардан $d=6$ см қашықтықта орналасқан

Алынған осциллограммалар негізінде плазма тоғы-

ның разряд кернеуіне тәуелділігі анықталды (6- сурет).



6-сурет – Плазма тоғының разряд кернеуіне тәуелділігі

Разряд кернеуін арттырғанда плазма тоғы да артатыны байқалады. Бірақ белдік электродтардан $d=6$ см қашықтықта орналасқан кезде разряд кернеуінің $U=3$ кВ мәнінде плазма тоғының күрт өсетінін тіркеді, оны 6-суреттен көруге болады. Ол, сол аймақта газдың қарқынды түрде иондалуымен байланысты болуы мүмкін, яғни, алғашқы зарядтардың энергия жинау кезіндегі жүрген жолымен анықталады.

Плазма ағынын калориметрлік әдіспен зерт-

теу. Импульсті плазма ағынының энергия тығыздығының үдеткіш камерасының бойымен таралуын анықтау үшін калориметрлік әдіс қолданылады [5-6]. Бұл жұмыста зерттеліп отырған плазма ағыны калориметрге соқтығысып энергиясын толықтай калориметрге жылу түрінде береді, калориметр температурасының өзгерісі «термопара» арқылы сандық мультиметрге тіркелді. Қолданылған калориметр плазма ағынының энергиясын толық жұту үшін пішіні арнайы

конус тәрізді етіп мыстан жасалынған, көлденең қимасының диаметрі 60 мм массасы 10 г.

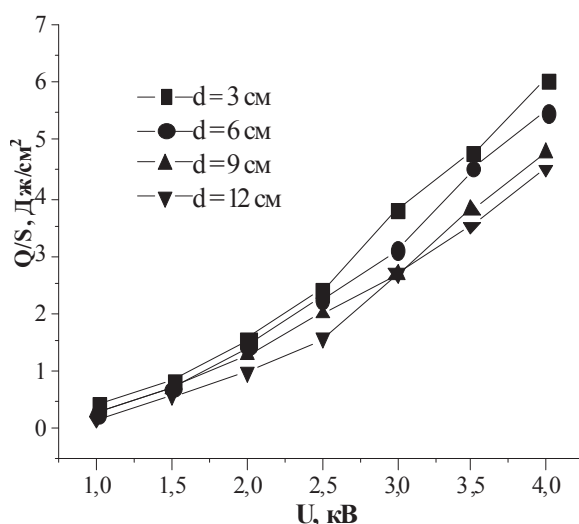
Плазма ағынының энергия тығыздығын есептеу төмендегі формула көмегімен анықталды:

$$Q = \frac{cm(t_1 - t_2)}{S} \text{ Дж/см}^2,$$

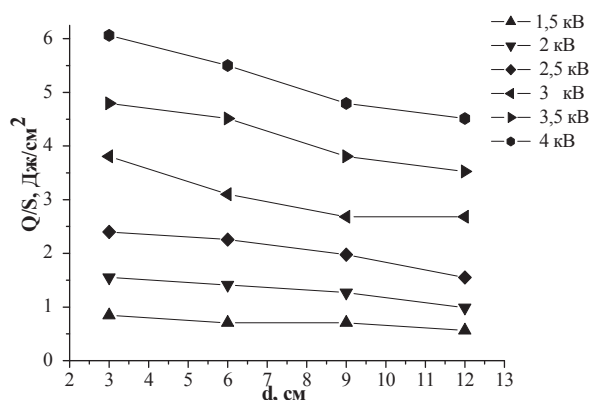
мұндағы t_1 – калориметрдің бастапқы темпера-

турасы, t_2 – калориметрдің плазма ағынымен әсерлесуінен кейінгі температурасы, c – мыстың меншікті жылу сыйымдылығы, S – калориметрдің көлденең қимасының ауданы, m – калориметр массасы.

Осылайша калориметрді электродтардан әр-түрлі арақашықтарда өзгерте отырып плазма ағыны энергия тығыздығының разряд кернеуіне тәуелділігі анықталды.



7-сурет – Плазма ағыны энергия тығыздығының разряд кернеуіне тәуелділігі



8-сурет – Плазма ағыны энергия тығыздығының электродтардан қашықтығына тәуелділігі

Жоғарыдағы суреттерден көріп отырғандай ИП-5 үдеткіште разряд кернеуінің 1-4 кВ өзгерісінде және электродтардан 3-12 см қашықтықтарында плазма ағынының энергия

тығыздығы 0,5-5,8 Дж/см² аралығында өзгерді. Газ атомдарының иондалуы электродтарға түсірілген кернеуге тура пропорционал болғандықтан разряд кернеуі артса плазма ағынының

энергиясы да артады. Ал плазма ағыны электродтардан алыстаған сайын оның энергиясы азаяды.

Себебі үдей қозғалған плазма ағынындағы зарядталған бөлшектер өзара және камера қабырғасымен соқтығысу нәтижесінде кинетикалық энергиясын жоғалтады.

Қорытынды

Бұл жұмыста ИП-5 импульсті плазмалық үдеткішінің жұмыс істеу параметрлері анықталды. Разряд кернеуінің әр түрлі мәндеріне сәйкес разряд тогы 0,3 - 2,3 кА, плазма тогы 0,07 – 0,53 А, және плазма ағыны энергия тығыздығының таралуы 0,5-5,8 Дж/см² аралығында өзгерді.

References

- 1 Баимбетов Ф.Б., Жукешев А.М., Ибраев Б.М. Импульсные усилители плазмы и их технологическое применение. – Алматы: Қазақ Университеті, 2008.
- 2 Минько Л.Я. Получение и исследование импульсных плазменных потоков. – Минск: Наука, 1973.
- 3 Морозов А.И. Физика и применение плазменных ускорителей. – Минск: Наука и техника, 1974.
- 4 Хаддлстоун Р., Леонард С. Диагностика плазмы. – М.: Мир, 1967.
- 5 Попов М.М., Термохимия и калориметрия. – 2-е изд. – М., 1954.
- 6 Воронин А.В., Гусев В.К., Герасименко Я.А. // ЖТФ, 2013. – Т.83. Вып. 8. – С. 36–42.