

*efficiency, environmental impact, availability, safety, etc. Considered data can be useful to specialists in the field of thermal power engineering when choosing the optimal solution for a specific installation.*

**Key words:** *organic rankine cycle, working fluid, geothermal sources, low potential energy, isentropic liquids, refrigerants, cycle efficiency, SWOT analysis.*

#### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Ж.Ө. Бақыт\*** – магистрант, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: bakytzhanel@gmail.com

**Ш.Қ. Исағалиева** – магистрант, Томск политехникалық ұлттық зерттеу университеті, Ресей Федерациясы; e-mail: kairatova299@mail.ru

**А.Б. Касымов** – PhD, «Техникалық физика және жылу энергетикасы» кафедрасының қауымдастырылған профессор м.а., Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: festland2@yandex.kz ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1983-6508>

#### **Сведения об авторах**

**Ж.Ө. Бақыт\*** – магистрант, Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: bakytzhanel@gmail.com

**Ш.Қ. Исағалиева** – магистрант, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Российская Федерация, e-mail: kairatova299@mail.ru

**А.Б. Касымов** – PhD, и.о. ассоциированного профессора кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика», Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: festland2@yandex.kz ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1983-6508>

#### **Information about the authors**

**Zh.A. Bakyt\*** –master's student, Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: bakytzhanel@gmail.com

**Sh.K. Issagaliyeva** –master's student, National Research Tomsk Polytechnic University, Russian Federation; e-mail: kairatova299@mail.ru

**A.B. Kassymov** – PhD, Acting associate professor of the Department «Technical physics and heat power engineering», Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: festland2@yandex.kz ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1983-6508>.

*Материал 16.06.2023 ж. баспаға түсті.*

DOI: 10.53360/2788-7995-2023-3(11)-4

МРНТИ: 29.27.49

**Ә.Ж. Қайырбекова<sup>1,2\*</sup>, А.Ж. Миниязов<sup>1,2</sup>, Т.Р. Туленбергенов<sup>1,2</sup>,  
Ғ.Қ. Жанболатова<sup>1</sup>, О.А. Степанова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК,  
071100, Республика Казахстан, г. Курчатов, улица Бейбіт атом 10

<sup>2</sup>Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки 20 А

\*e-mail: kaiyrbekova@nnc.kz

#### **ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ НА ПЛАЗМЕННО-ПУЧКОВОЙ УСТАНОВКЕ**

**Аннотация:** *В настоящее время продолжают исследования взаимодействия плазмы с конструкционными материалами первой стенки и дивертора международного экспериментального термоядерного реактора ИТЭР на действующих токамаках и имитационных плазменных установках. При исследовании взаимодействия плазмы с поверхностью кандидатных материалов ТЯР важную роль играют параметры плазмы. Для определения локальных значений основных параметров плазмы существует*

*отдельная область исследований – зондовая диагностика плазмы. Диагностика плазмы на основе электрических зондов – это определение локальных и мгновенных значений основных ее параметров: концентрации и температуры заряженных частиц плазмы, а также функций распределения различных компонентов плазмы по энергиям.*

*В данной работе представлены результаты исследования пространственного распределения локальных параметров (температура электронов плазмы ( $T_e$ ) и концентрация плазмы ( $n_e$ )) низкотемпературной плазмы на плазменно-пучковой установке (ППУ) с помощью подвижного зонда Ленгмюра. Обработка вольт-амперных характеристик (ВАХ) проводилась стандартными методами. Для оценки пространственного распределения вышеперечисленных параметров низкотемпературной плазмы проводились эксперименты с расположением зонда на расстоянии 5 мм, 9 мм и 11 мм от центра плазменного пучка при различной энергии первичного электронного пучка в диапазоне от 0,5 кэВ до 5 кэВ. Результаты экспериментов показали плавный спад концентрации плазмы в радиальном направлении.*

**Ключевые слова:** низкотемпературная плазма, зонд Ленгмюра, температура электронов, концентрация плазмы, плазменно-пучковая установка.

## **Введение**

Физика низкотемпературной плазмы активно изучается и интенсивно развивается в настоящее время в современном мире [1-3]. С низкотемпературной плазмой связано большое число явлений и процессов в природе, науке и технике, а ее применение охватывает многие области человеческой деятельности, такие как: производство элементов микроэлектроники, напыление покрытий на оптических приборах и элементах, производство наноматериалов, порошковая металлургия и т.д. [4-6]. В значительной степени интерес к изучению плазмы стимулируется совершенствованием, развитием, созданием и внедрением новых плазменных технологий.

В настоящее время в связи с развитием плазменных технологий и конструированием нового поколения источников плазмы встает вопрос изучения условий возникновения заряженных частиц, элементарных процессов в плазме, условий генерации и диагностики потоков низкотемпературной плазмы.

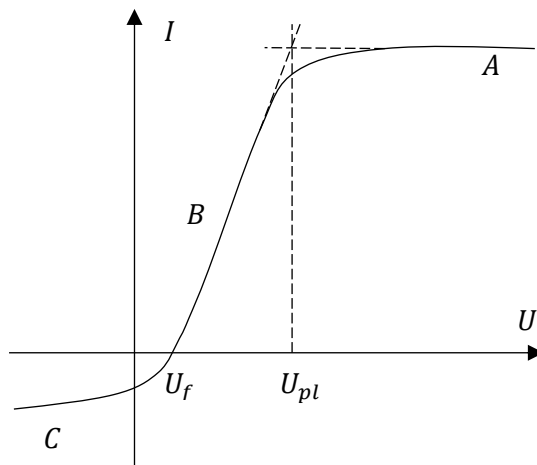
На данный момент одним из основных наиболее теоретически и практически изученных приборов диагностики плазмы является зонд Ленгмюра, который позволяет предоставить информацию о температуре электронов, концентрации частиц в плазме, а также функцию распределения электронов по энергиям [7, 8].

В работе [9] одиночный зонд применялся для измерения плазменных струйных систем низкого и атмосферного давления, которые в настоящее время используются для осаждения материалов со специальными свойствами. Также одиночный зонд использовался в работе [10] для диагностики индукционной плазмы аргона низкого давления в магнитном поле, широко применяющейся в различных технологиях, включая травление полупроводников, осаждение тонких пленок и модификацию поверхности материалов. В обоих случаях определение параметров является важным и на этом не ограничиваются возможности зонда. Простота эксперимента и его технических средств являются достоинствами зондового метода диагностики плазмы. Недостаток его заключается в сложности теории, с помощью которой из данных измерений извлекаются характеристики плазмы. Следовательно, остается актуальным вопрос исследования физики низкотемпературной плазмы, в частности измерение ее параметров в радиальном направлении, таких как электронная температура и концентрация плазмы. В связи с этим, в данной работе проводились эксперименты по измерению локальных параметров плазмы на разных расстояниях от оси плазменного пучка к его периферии.

## **Методы**

Применение зонда Ленгмюра позволяет получить экспериментальное распределение параметров плазмы в объеме разряда. При зондовом исследовании в необходимую область плазмы вводится электрод, на который подается напряжение порядка нескольких сотен вольт из отрицательной области в положительную за миллисекунды. Затем фиксируется вольтамперная зависимость относительно опорного электрода – анода и катода. Размеры зонда выбираются минимальные, и ток, отбираемый зондом из плазмы, должен быть во много раз меньше основного дрейфового тока. Это обеспечивает наименьшее возмущение плазмы

в области измерения. При измерении какой-либо физической величины всегда следует стремиться к тому, чтобы в основе метода лежала простая, не вызывающая сомнений теория. В этом отношении зондовый метод работает с достаточной надежностью в случае разреженного газа, когда длина свободного пробега частиц больше характерных размеров зонда и возмущенной области вокруг него. Работа зонда заключается в определении токов, протекающих через него, и приложенных к нему напряжений – зондовой вольт-амперной характеристики (ВАХ). Оценка параметров плазмы по ВАХ зонда зависит от информации, полученной из распределения скоростей носителей заряда в объемной плазме. Идеализированный вид ВАХ в случае одиночного зонда приведен на рисунке 1 [11].



$U_{pl}$  – потенциал плазмы,  $U_f$  – плавающий потенциал [11]

Рисунок 1 – Вольт-амперная характеристика одиночного зонда

Для вычисления температуры электронов плазмы ( $T_e$ ) используется участок В (рис. 1), где можно пренебречь ионной составляющей тока, так как вклад ионов невелик. При представлении электронного тока в полулогарифмическом масштабе в зависимости от напряжения температура электронов определяется по формуле:

$$T_e = \frac{1}{\frac{d \ln(I)}{dU}} = \frac{1}{\operatorname{tg} \psi}. \quad (1)$$

После нахождения  $T_e$  можно рассчитать концентрацию плазмы  $n_e$ .

Для вычисления концентрации плазмы ( $n_e$ ) зондовым методом широко применяют формулу Бома для ионного тока насыщения ( $I_i$ ) [11-13]:

$$I_i = 0,4en_eS \sqrt{\frac{2kT_e}{M_i}}. \quad (2)$$

где  $e$  – заряд электрона,  $n_e$  – концентрация плазмы,  $S$  – площадь зонда;  $k$  – постоянная Больцмана ( $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К);  $M_i$  – масса иона,  $T_e$  – температура электронов.

Особенность примененного зондового метода диагностики на ППУ [14] заключается в получении данных о параметрах плазмы из любой области плазменно-пучкового разряда в радиальном направлении благодаря точной системе перемещения измерительного электрода.

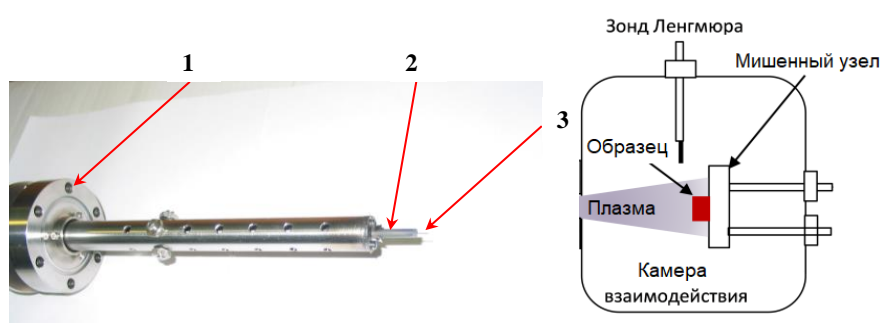
#### Экспериментальная часть

Эксперименты были проведены на ППУ, которая предназначена для реализации плазменного и теплового воздействия на кандидатные материалы термоядерных реакторов, а также для отработки существующих и разработке новых способов диагностик плазмы. Подробное описание ППУ представлено в работах [14-17], а общий вид показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Общий вид ППУ

На установке используется подвижный цилиндрический зонд Ленгмюра, для измерения локальных параметров плазмы. Внешний вид зонда Ленгмюра и схема его расположения на ППУ представлены на рисунке 3.



1 – монтажный фланец; 2 – керамический изолятор; 3 – измерительный электрод;  
а) внешний вид зонда Ленгмюра б) схема расположения зонда на ППУ  
Рисунок 3 – Зонд Ленгмюра ППУ

#### Описание эксперимента

Для проведения экспериментальных работ полости камер ППУ откачивались при полной мощности турбомолекулярных насосов камер установки до давления  $13 \cdot 10^{-4}$  Па. В камеру подавался плазмообразующий газ – водород, до значения давления в камере взаимодействия  $13 \cdot 10^{-2}$  Па. Диапазон напряжения, подаваемого на зонд, задавался от -300 В до +100 В. Площадь собирающей поверхности зонда составляет  $6,4 \text{ мм}^2$ , а материал электрода – вольфрам. Развертка зонда осуществлялась с помощью пикоамперметра Keithley 6487.

Для оценки локальных параметров плазмы на ППУ были проведены эксперименты согласно условиям, приведенным в таблице 2.

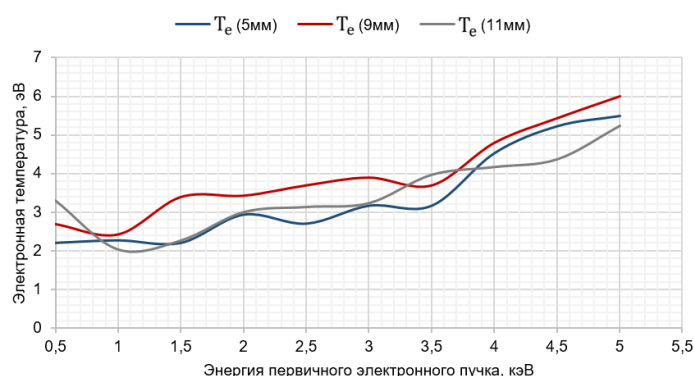
Таблица 2 – Условия проведения экспериментов на ППУ

Параметры эксперимента	Значение
Диапазон энергии первичного электронного пучка, кэВ	0,5-5
Диаметр электронного пучка, мм	~3
Давление рабочего газа, Па	$\sim 13 \cdot 10^{-2}$
Рабочий газ	H <sub>2</sub>

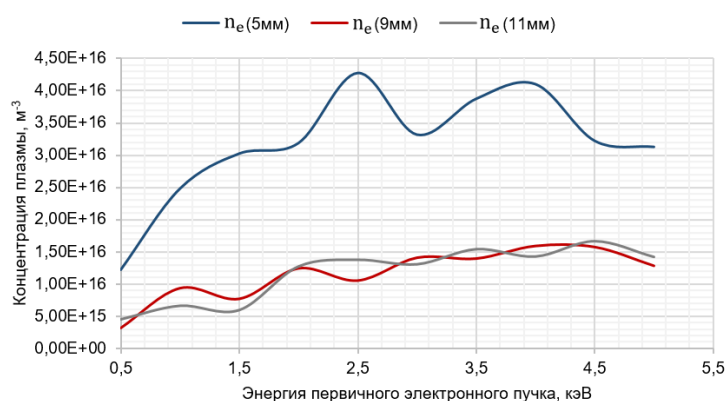
#### Результаты и обсуждение

Для оценки локальных параметров плазмы была выполнена регистрация и обработка ВАХ одиночного зонда при различной энергии первичного электронного пучка в диапазоне от 0,5 кэВ до 5 кэВ. Расчеты были проведены с применением программного обеспечения для анализа и визуализации научных данных QtiPlot. Результаты расчета ВАХ позволили получить данные о параметрах плазмы, таких как электронная температура и концентрация плазмы.

На рисунке 4 представлены графики зависимости параметров плазмы от энергии первичного электронного пучка в радиальном направлении.



а) Зависимость температуры электронов от энергии первичного электронного пучка



б) Зависимость концентрации плазмы от энергии первичного электронного пучка

Рисунок 4 – Зависимость температуры электронов, (а) и концентрации плазмы (б) на расстояниях 5 мм, 9 мм и 11 мм, от энергии первичного электронного пучка

Из рисунка видно, что в результате увеличения ускоряющего напряжения электронного пучка температура электронов увеличилась примерно с 2 эВ до 6 эВ для всех трех точек измерения. Максимальная концентрация плазмы составила  $\sim 4,28 \cdot 10^{16} m^{-3}$ , на расстоянии 5 мм от центра оси ППР. Концентрация плазмы на расстоянии 9 мм значительно ниже, чем при 5 мм  $\sim 1,1 \cdot 10^{16} m^{-3}$ . При увеличении расстояния до 11 мм зависимость концентрации от энергии электронного пучка схожа с точкой 9 мм.

На рисунке 5 приведена зависимость распределения температуры электронов и концентрации при энергии первичного электронного пучка 1 кэВ и давлении водорода  $\sim 13 \cdot 10^{-2}$  Па.

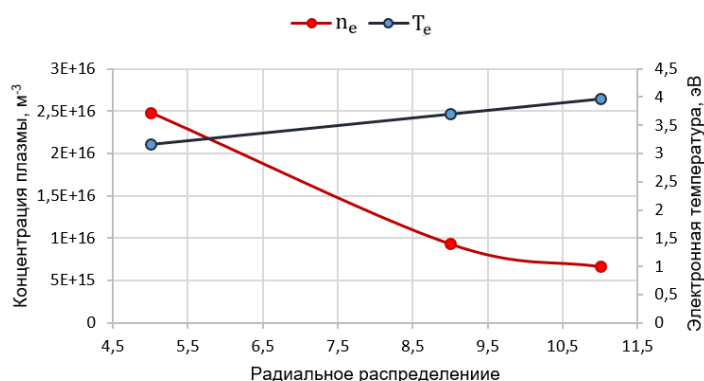


Рисунок 5 – Зависимость локальных параметров ( $T_e$ ,  $n_e$ ) плазмы в радиальном направлении

На графике из рисунка 5 видим, что температура электронов плавно поднимается в радиальном направлении, а концентрация плазмы на расстоянии от 5 мм до 11 мм снижается. Это объясняется тем, что влияние столкновений зависит от собираемого тока и наиболее заметно проявляется вблизи потенциала пространства. При этом на зонд попадает большое количество электронов, что приводит к обеднению прилегающей к зонду плазмы, так как диффузионный поток из невозмущенной области не успевает восполнить сток электронов на зонд. На расстоянии 11 мм длина свободного пробега становится выше, а скорость частиц уменьшается, в следствии чего температура повышается, а концентрация плазмы уменьшается. Этот эффект связан с тем, что скопление частиц ближе к центральной области становится больше и следовательно длина свободного пробега меньше, так как частицы сталкиваются с молекулами, атомами и теряют энергию, поэтому температура электронов плазмы уменьшается.

Измерение одиночным зондом пространственного распределения на расстоянии 5 мм от центра плазмы было ограничено областью первичного электронного пучка, где происходил перегрев зонда. Так как, термоэмиссия с поверхности зонда оказывала влияние на разряд в целом.

### **Заключение**

В данной работе были проведены экспериментальные работы по определению локальных параметров ( $T_e, n_e$ ) низкотемпературной плазмы в радиальном направлении на ППУ с помощью подвижного цилиндрического зонда Ленгмюра с площадью собирающей поверхности 6,4 мм<sup>2</sup>. Были получены данные о плазме на расстояниях 5 мм, 9 мм и 11 мм от центра оси ППР.

Результаты зондовой диагностики показывают, что максимальное значение температуры электронов составляет 6 эВ, а концентрация электронов порядка  $4,28 \cdot 10^{16}$  м-3 и с ростом напряжения температура и концентрация электронов в потоке плазмы повышаются.

В результате полученных зависимостей установлено, что концентрация электронов ( $n_e$ ) уменьшается, а электронная температура плазмы ( $T_e$ ) возрастает в радиальном направлении при удалении зонда от центра оси ППР при одинаковой энергии первичного электронного пучка и давлении газа.

### **Список литературы**

1. Смирнов Б.М. Процессы с участием малых частиц // Москва: Логос. – 2012.
2. Русанов В.Д., Фридман А.А. Физика химически активной плазмы // Наука. – 1984. – 416 с.
3. Фортон В.Е., Храпак А.Г., Якубов И.Т. Физика неидеальной плазмы // ФИЗМАТЛИТ. – 2010. – 528 с.
4. Ивановский Г.Ф., Петров В.И. Ионно-плазменная обработка материалов. – М.: Радио и связь. – 1986.
5. Толливер, Р. Новицки, Д. Хесс, Н. Айнспрука, Д. Брауна. Плазменная технология в производстве СБИС. – М.: Мир. – 1987. – 469 с.
6. Данилин Б.С., Киреев В.Ю. Применение низкотемпературной плазмы для травления и очистки материалов. – М.: Энергоатомиздат. – 1987. – 263 с.
7. Александров А.Ф., Вавилин К.В., Кралькина Е.А., Неклюдова П.А., Павлов В.Б. – Исследование параметров плазмы индуктивного ВЧ-источника плазмы диаметром 46 см. Часть I. Параметры плазмы в области скин-слоя // Прикладная физика. – 2013. – Вып. 5
8. Березкин А.В., Брагин Е.Ю., Жильцов В.А., Кулыгин В.М., Янченков С.В. – Экспериментальные исследования плазменных потоков в открытой ловушке с тороидальным дивертором при эцр-разряде // НИЦ «Курчатовский институт». – 2014. – Вып.1.
9. Тич М., Губица З. и др. Диагностика зондом Ленгмюра системы плазменной струи // Наука об источниках плазмы. Технология. – 2009. – Том 18. – 11 с.
10. Мещерякова Е., Зибров М., Казиев А., Ходаченко Г., Писарев А. Ленгмюровская зондовая диагностика индуктивно-связанной аргоновой плазмы низкого давления в магнитном поле // Тр. – 2015. – Том 71. – 121-126 с.
11. Козлов О.В. Электрический зонд в плазме. – М.: Атомиздат, 1969.
12. Чан П., Тэлбот Л., Турян К. Электрические зонды в неподвижной и движущейся плазме. – М.: Мир. 1978.

13. Чен Ф.Ф. Диагностика зондом Ленгмюра // Электротехнический кафедры Калифорнийского университета, Лос-Анджелес, Чеджудо, Корея. – 5 июня 2003 г. – 42 с.
14. Патент РК № 2080. Имитационный стенд с плазменно-пучковой установкой / Колодешников А.А., Зуев В.А., Гановичев Д.А., Туленберген Т.Р. [и др.]; заявитель и патентообладатель РГП НЯЦ РК. – № 2016/0108.2; заявл. 29.02.2016; опубл. 15.03.2017, Бюл. № 5. – 3 с.
15. Соколов И.А., Скаков М.К., Миниязов А.Ж., Туленберген Т.Р. Изучение процессов образования карбидов на поверхности дивертора термоядерного реактора // Вестник КазНАЕН. – 2019. – Вып. 1. – С. 44-49.
16. Жанболатова Ф.К., Бакланов В.В., Туленберген Т.Р., Миниязов А.Ж., Соколов И.А. Карбидизация поверхности вольфрама в пучково-плазменном разряде // Вестник НЯЦ РК. – 2020. – Вып. 4. – С. 77–81.
17. Курнаев В., Визгалов И., Гуторов К., Туленберген Т., Соколов И., Колодешников А., Игнашев В., Зуев В., Богомолова И., Климов Н. Исследование взаимодействия плазмы с поверхностью на плазменно-пучковой установке // Журнал ядерных материалов. – 2015. – Вып.463. – 228-232с.

### References

1. Smirnov B.M. Processes involving small particles // Moscow: Logos, 2012. (In Russian).
2. Rusanov V.D., Fridman A.A. Physics of chemically active plasma // Nauka. – 1984. – 416 p. (In Russian).
3. Fortov V.E., Khrapak A.G., Yakubov I.T. Physics of non-ideal plasma // FIZMATLIT. – 2010, 528 p. (In Russian).
4. Ivanovsky G.F., Petrov V.I. Ion-plasma processing of materials. – M.: Radio and communication. – 1986. (In Russian).
5. Tolliver, R. Nowitzki, D. Hess, N. Ainspruck, D. Brown. Plasma technology in the production of VLSI. – M.: Mir, 1987. – 469 p. (In Russian).
6. Danilin B.S., Kireev V.Yu. Application of low-temperature plasma for etching and cleaning of materials. – M.: Energoatomizdat, 1987. – 263 p. (In Russian).
7. Aleksandrov A.F., Vavilin K.V., Kralkina E.A., Neklyudova P.A., Pavlov V.B. – Investigation of the plasma parameters of an inductive RF plasma source with a diameter of 46 cm. Part I. Plasma parameters in the skin layer region // Applied Physics. – 2013. – Issue 5. (In Russian).
8. Berezkin A.V., Bragin E.Yu., Zhiltsov V.A., Kulgin V.M., Yanchenkov S.V. – Experimental studies plasma of flows in an open trap with a toroidal divertor at ezr discharge // SIC "Kurchatov Institute". – 2014. – Issue 1. (In Russian).
9. Tich M., Hubicka Z. et al. Langmuir probe diagnostics of a plasma jet system // Plasma Sources Sci. Technol. – 2009. – Vol.18. – 11p. (In Russian).
10. Meshcheryakova E., Zibrov M., Kaziev A., Khodachenko G., Pisarev A. Langmuir probe diagnostics of low-pressure inductively coupled argon plasmas in a magnetic field // Physics Procedia. –2015. –Vol.71. – 121–126 p. (In Russian).
11. Kozlov O.V. Electric probe in plasma. – M.: Atomizdat, 1969. (In Russian).
12. Chan P., Talbot L., Turyan K. Electric probes in stationary and moving plasma. – M.: Mir. – 1978. (In Russian).
13. Chen F.F. Langmuir Probe Diagnostics // IEEE-ICOPS Electrical Engineering Department University of California, Los Angeles, Jeju, Korea. – June 5, 2003. – 42 p. (In Russian).
14. Patent of the Republic of Kazakhstan No. 2080. Simulation stand with plasma beam installation / Kolodeshnikov A.A., Zuev V.A., Ganovichev D.A., Tulenbergenov T.R. [et al.]; applicant and patent holder of the RSE NNC RK. – No. 2016/0108.2; application 29.02.2016; publ. 15.03.2017, Bul. No. 5-3 p. (In Russian).
15. Sokolov I.A., Skakov M.K., Miniyazov A.Zh., Tulenbergenov T.R. Study of the processes of formation of carbides on the surface of the divertor of a thermonuclear reactor // Bulletin of KazNAEN. – 2019. – Issue. 1.– 44-49 p. (In Russian).
16. Zhanbolatova G.K., Baklanov V.V., Tulenbergenov T.R., Miniyazov A.Zh., Sokolov I.A. Carbideization of the tungsten surface in a beam-plasma discharge // Vestnik NNC RK. – 2020. – Issue. 4.– P. 77-81. (In Russian).
17. Kurnaev V., Vizgalov I., Gutorov K., Tulenbergenov T., Sokolov I., Kolodeshnikov A., Ignashev V., Zuev V., Bogomolova I., Klimov N. Investigation of plasma-surface interaction at plasma beam facilities // Journal of Nuclear Materials. – 2015. – Vol.463. – 228-232 p. (In Russian).

Ә.Ж. Қайырбекова<sup>1,2\*</sup>, А.Ж. Миниязов<sup>1,2</sup>, Т.Р. Туленбергенов<sup>1,2</sup>,  
Ғ.Қ. Жанболатова<sup>1</sup>, О.А. Степанова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ҚР ҰЯО РМК «Атом энергиясы институты»

071100, Қазақстан Республикасы, Курчатов қаласы, Бейбіт атом көшесі 10

<sup>2</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,

071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі 20 А

\*e-mail: kaiyrbekova@nnc.kz

## ПЛАЗМАЛЫҚ-ШОҚТЫҚ ҚОНДЫРҒЫДА ТӨМЕНГІ ТЕМПЕРАТУРАЛЫ ПЛАЗМАНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН КЕҢІСТІКТЕ ТАРАЛУЫН БАҒАЛАУ

Қазіргі уақытта, плазманың жұмыс істеп тұрған токамактары мен имитациялық плазмалық қондырғыларында ITER халықаралық эксперименттік термоядролық реакторының бірінші қабырғасының және диверторының құрылымдық материалдарымен өзара әрекеттесуін зерттеу жалғасуда. Плазманың ТЯР кандидаттық материалдарының бетімен өзара әрекеттесуін зерттеу кезінде плазма параметрлері маңызды рөл атқарады. Плазманың негізгі параметрлерінің жергілікті мәндерін анықтау үшін зерттеудің жеке саласы бар-плазманы диагностикалау. Плазма диагностикасы оның негізгі параметрлерінің жергілікті және лездік мәндерін: зарядталған плазма бөлшектерінің концентрациясы мен температурасын, сондай-ақ энергиялар бойынша әртүрлі плазма компоненттерінің таралу функцияларын анықтау болып табылады.

Бұл жұмыста жылжымалы Ленгмюр зондының көмегімен плазмалық шоқтық қондырғыдағы (ПШҚ) төменгі температуралы плазманың жергілікті параметрлерін (электрон температурасы ( $T_e$ ) және плазма концентрациясы ( $n_e$ )) кеңістікте таралуын зерттеу нәтижелері келтірілген. электродтың келесі геометриялық параметрлері: ұзындығы - 4 мм; диаметрі 0,5 мм. Зондты жаймалау Keithley 6487 пикоамперметр көмегімен жүзеге асырылған вольт-амперлік сипаттамаларын (BAC) өңдеу стандартты әдістермен өткізілді.

Төменгі температуралы плазманың жоғарыда аталған параметрлерінің кеңістіктік таралуын бағалау үшін зондтың 0,5 кэВ-тан 5 кэВ-қа дейінгі диапазондағы бастапқы электронды сәулелік әртүрлі энергия кезінде плазмалық сәулелік ортасынан 5 мм, 9 мм және 11 мм қашықтықта орналасуымен эксперименттер өткізіліпді. Эксперименттер нәтижелері радиалды бағытта плазма концентрациясының тегіс құлдырауын көрсетті.

**Түйін сөздер:** төменгі температуралы плазма, Ленгмюр зонды, электрон температурасы, плазманың концентрациясы, плазмалық-шоқтық қондырғы.

A. Kaiyrbekova<sup>1,2\*</sup>, A. Miniyazov<sup>1,2</sup>, T. Tulenbergenov<sup>1,2</sup>, G. Zhanbolatova<sup>1</sup>, O. Stepanova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>«Institute of Atomic Energy» Branch of NNC,

071100, Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Beibit atom street 10

<sup>2</sup>Semey University named after Shakarim,

071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str. 20 A

\*e-mail: kaiyrbekova@nnc.kz

## ASSESSMENT OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF LOW-TEMPERATURE PLASMA PARAMETERS ON PLASMA-BEAM INSTALLATION

At present continue, studies of the interaction of plasma with structural materials of the first wall and divertor of the ITER international experimental fusion reactor on operating tokamaks and simulated plasma facilities. In the research of the interaction of plasma with the surface of candidate materials TNR an important role plasma parameters play. For determination of local values of the main plasma parameters there is a separate field of research – plasma diagnostics. Plasma diagnostics is the determination of local and instantaneous values of main its parameters: concentration and temperature of charged plasma particles, as well as the distribution functions of various plasma components by energies.

This works presents the results of a research to the spatial distribution of local parameters (temperature electrons ( $T_e$ ) and plasma concentration ( $n_e$ )) of a low-temperature plasma on a plasma-beam installation (PBI) with the help a movable Langmuir probe with the following



geometrical parameters of the electrode: length – 4 mm; diameter 0.5 mm. The probe sweep was with the help a Keithley 6487 picoammeter. The processing of volt-ampere characteristics (VAC) was carried out by standard methods.

To assess the spatial distribution of the above-mentioned parameters of low-temperature plasma, experiments were carried out with the location of the probe at a distance of 5 mm, 9 mm and 11 mm from the center of the plasma beam at different energies of the primary electron beam in the range from 0.5 keV to 5 keV.

The experiments results showed a smooth decrease in plasma concentration in the radial direction.

**Key words:** low-temperature plasma, Langmuir probe, electron temperature, plasma concentration, plasma-beam installation.

#### Сведения об авторах

**А.Ж. Кайырбекова\*** – магистрант кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: kайырбекова@nnc.kz . ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3080-6809>.

**А.Ж. Миниязов** – начальник лаборатории испытаний материалов в условиях термоядерного реактора; Институт атомной энергии НЯЦ РК; e-mail: Miniyazov@nnc.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2188-8075>.

**Т.Р. Туленберенов** – научный сотрудник лаборатории испытаний материалов в условиях термоядерного реактора; Институт атомной энергии НЯЦ РК; e-mail: tulenbergenov@nnc.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1541-6231>.

**Г.К. Жанболатова** – младший научный сотрудник лаборатории испытаний материалов в условиях термоядерного реактора; Институт атомной энергии НЯЦ РК; e-mail: kайырды@nnc.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4423-4349>.

**О.А. Степанова** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: aug11@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5221-1772>.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Ә.Ж. Қайырбекова\*** – «Техникалық физика және жылуэнергетика» кафедрасының магистранты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республика; e-mail: kайырбекова@nnc.kz . ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3080-6809>.

**А.Ж. Миниязов** – термоядролық реактор жағдайдағы материалдарды сынау зертханасының бастығы; ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты; e-mail: Miniyazov@nnc.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2188-8075>.

**Т.Р. Туленберенов** – термоядролық реактор жағдайдағы материалдарды сынау зертханасының ғылыми қызметкері; ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты; e-mail: tulenbergenov@nnc.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1541-6231>.

**Г.Қ. Жанболатова** – термоядролық реактор жағдайдағы материалдарды сынау зертханасының кіші ғылыми қызметкері; ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты; e-mail: kайырды@nnc.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4423-4349>.

**О.А. Степанова** – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Техникалық физика және жылуэнергетика» кафедрасының меңгерушісі; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: aug11@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5221-1772>.

#### Information about the authors

**A.Z. Kaiyrbekova\*** – Master's student of the Department of «Technical Physics and Thermal Power Engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: kайырбекова@nnc.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3080-6809>.

**A.Z. Miniyazov** – Superior of laboratories of the tests materials under the conditions of a thermonuclear reactor; Institute of Atomic Energy of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan; e-mail: Miniyazov@nnc.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2188-8075>.

**T.R. Tulenbergenov** – Researcher at the laboratories of the tests materials under the conditions of a thermonuclear reactor; Institute of Atomic Energy of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan; e-mail: tulenbergenov@nnc.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1541-6231>.

**G.K. Zhanbolatova** – Junior researcher at the laboratories of the tests materials under the conditions of a thermonuclear reactor; Institute of Atomic Energy of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan; e-mail: kaiyrdy@nnc.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4423-4349>.

**O.A. Stepanova** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of «Technical Physics and Thermal Power Engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: aug11@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5221-1772>.

*Материал поступил в редакцию 22.08.2023 г.*

DOI: 10.53360/2788-7995-2023-3(11)-5

МРНТИ: 65.59.03

**А.О. Майжанова<sup>1\*,2</sup>, К.Ж. Амирханов<sup>1</sup>, Ш.К. Жакупбекова<sup>1</sup>, А.К. Суйчинов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Университет имени Шакарима города Семей,

071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинка, 20 А

<sup>2</sup> ТОО Семейский филиал «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности»,

071410, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Байтурсынова, 29

e-mail: fquekm2710@mail.ru

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ, ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И АМИНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МЯСА ПТИЦЫ**

**Аннотация:** В статье приведены результаты исследований физико-химических и органолептических показателей различных видов мяса птицы. Одним из важных показателей при определении качества сырья и при его выборе как сырья для дальнейшей переработки, является его физико-химические свойства и органолептические показатели. В лабораторных условиях были получены результаты исследования по определению физико-химических показателей (влажность, белок, жир, зола, pH, влагосвязывающая способность фарша), органолептических показателей (внешний вид, цвет, запах, консистенция, прозрачность и аромат бульона, сочность) качества мяса птицы различных видов. В качестве образцов исследований были приобретены наиболее часто употребляемые виды мяса птиц: мясо птицы бройлеров, мясо индейки и мясо утки. По результатам исследования физико-химических исследований было выяснено, что филе грудки индейки содержит больше белка и меньше жира, чем филе грудки бройлеров и утки. Самое высокое влагосвязывающая способность было отмечено у мяса индейки 78,3%. Результаты pH исследуемых образцов показали значение свежего мяса пригодного для дальнейшей переработки их на выработку мясных изделий. Также в статье приведены результаты сравнительной оценки биологической ценности мяса птицы. Результаты исследования дают возможность оценить качество регионального сырья.

**Ключевые слова:** мясо индейки, мясо утки, мясо курицы, физико-химические показатели мяса, органолептическая оценка.

### **Введение**

Мясо птицы, является одним из важнейших составляющих рационального питания человека и является источником высококачественного белка, витаминов, полиненасыщенных жирных кислот и других веществ, необходимых для оптимального развития организма. Удовлетворение потребностей населения в высококачественных продуктах питания является важнейшей социальной задачей современного общества [1, 2].

Во время выработки мясных продуктов из мяса птицы применяются все виды сырья от разделки тушек птицы, включая кусковое мясо, мясо механической обвалки и субпродукты. Рациональная и комплексная переработка всего сырья позволяет расширить ассортимент колбас и мясорастительных паштетов, а также деликатесов из мясного сырья [3, 4].