

## О переходных процессах, приводящих к стабилизации плазменного шнура в стеллараторе Л-2М

Д. Г. Васильков, М. А. Терещенко

*Исследуются процессы накопления и диссипации энергии в горячей плазме, создаваемой и удерживаемой в тороидальной магнитной ловушке стелларатор Л-2М. Изучаются особенности выхода плазмы на стационарную стадию удержания энергии. Начальная стадия разряда, инициированная СВЧ-импульсом в режиме электронного циклотронного резонансного нагрева плазмы (ЭЦР-нагрева), характеризуется сначала быстрым нарастанием энергии плазмы в течение 1 мс от начала СВЧ-нагрева, а затем быстрым (~100 мкс) увеличением энергетических потерь плазмы, регистрируемых по диамагнитному сигналу. Эти процессы приводят к окончанию роста запасенной энергии в удерживаемой плазме. Показано, что свойства данного процесса при неизменной мощности СВЧ-нагрева 400 кВт существенно отличаются для различных значений электронной плотности. Обнаружено, что данный процесс связан в первую очередь с процессами, происходящими в краевой области плазмы, в которой расположен на границе плазменного шнура слой стохастических магнитных поверхностей. Обсуждается возможное влияние на данный процесс неустойчивостей, возникающих в стохастическом слое, а также взаимодействия приграничной плазмы со стенками вакуумной камеры.*

*Ключевые слова:* магнитное удержание плазмы, стелларатор, СВЧ-нагрев, электронный циклотронный резонанс, энергия плазмы, переходные процессы.

**DOI:** 10.51368/2307-4469-2022-10-2-132-143

**Васильков Дмитрий Григорьевич**<sup>1,2</sup>, с.н.с., к.ф.-м.н., доцент.

E-mail: lhdlhd81@mail.ru

**Терещенко Максим Алексеевич**<sup>1</sup>, в.н.с., к.ф.-м.н.

<sup>1</sup> Институт общей физики им. А. М. Прохорова Российской академии наук.

Россия, 119991, ГСП-1, Москва, ул. Вавилова, 38.

<sup>2</sup> Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана.

Россия, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5.

Статья поступила в редакцию 15 февраля 2022 г.

© Васильков Д. Г., Терещенко М. А., 2022

*Работы выполнены в рамках Госзадания по теме № 0024-2019-0006 «Физика высокотемпературной плазмы. Фундаментальные проблемы динамики, удержания и нагрева плазмы в трехмерных магнитных конфигурациях».*

### ЛИТЕРАТУРА

1. ITER Physics Expert Group on Disruptions, Plasma Control and MHD, ITER Physics Basis Editors // Nucl. Fusion. 1999. Vol. 39. P. 2251.
2. Stroth U., Murakami M., Dory A. // Nucl. Fusion. 1996. Vol. 36. P. 1063.
3. Lackner K., Gottardi N. A. O. // Nucl. Fusion. 1990. Vol. 30. P. 767.
4. Федянин О. И., Акулина Д. К., Батанов Г. М., Бережецкий М. С., Васильков Д. Г., Вафин И. Ю., Воронов Г. С., Воронова Е. В., Гладков Г. А., Гребеничиков С. Е., Коврижных Л. М., Ларионова Н. Ф., Летунов А. А., Логвиненко В. П., Малых Н. И., Мещеряков А. И., Нечев Ю. И., Сарксян К. А., Скворцова Н. Н., Щенетов С. В., Харчев Н. К., Хольнов Ю. В. // Физика плазмы. 2007. Т. 33. С. 880.
5. Shchepetov S. V., Tereshchenko M. A., Vasilkov D. G., Kholnov Yu. V. // Plasma Phys. Control. Fusion. 2018. Vol. 60. P. 125003.
6. Shchepetov S. V., Kholnov Yu. V., Fedyanin O. I., Kuznetsov A. B., Vasilkov D. G., Akulina D. K., Batanov G. M., Gladkov G. A., Grebenshchikov S. E., Meshcheryakov A. I. //

- Plasma Phys. Control. Fusion. 2008. Vol. 50. P. 045001.
7. Мельников В. К. // ДАН СССР. 1963. Т. 144. С. 747.
8. Коврижных Л. М., Щенетов С. В. // УФН. 1986. Т. 148. Вып. 4. С. 637.
9. Kuznetsov A. B., Shchepetov S. V., Sychugov D. Yu. // Nucl. Fusion. 1995. Vol. 35. P. 183.
10. Сахаров А. С., Терещенко М. А. // Физика плазмы. 2002. Т. 28. С. 584.
11. Гребеничиков С. Е., Васильков Д. Г., Иванов В. А., Сарксян К. А., Терещенко М. А., Харчев Н. К. // Успехи прикладной физики. 2021. Т. 9. № 4. С. 310.
12. Коврижных Л. М., Щенетов С. В. // Физика плазмы. 1980. Т. 6. С. 976.
13. Михайлов М. И., Щенетов С. В., Нюрнберг К., Нюрнберг Ю. // Физика плазмы. 2015. Т. 41. С. 1096.
14. Щенетов С. В., Хольнов Ю. В., Васильков Д. Г. // Физика плазмы. 2013. Т. 39. С. 151.
15. Васильков Д. Г., Хольнов Ю. В., Щенетов С. В. // Физика плазмы. 2013. Т. 39. С. 694.
16. Shchepetov S. V., Kholnov Yu. V., Vasilkov D. G. // JETP Letters. 2010. Vol. 91. P. 182.
17. Schrittwieser R., Ionita C., Balan P., Silva C., Figueiredo H., Varandas C. A. F., Rasmussen J., Naulin V. // Plasma Phys. Control. Fusion. 2008. Vol. 50. P. 055004.
18. Gennrich F. P., Kendl A. // Plasma Phys. Control. Fusion. 2012. Vol. 54. P. 015012.
19. Weller A., Watanabe K. Y., Sakakibara S., Dinklage A., Funaba H., Geiger J., Harris J. H., Ohdachi S., Preuss R., Suzuki Y., Werner A., Yamada H., Zarnstorff M. C., the W7-X Team1 and the LHD Experimental Group // Nucl. Fusion. 2009. Vol. 49. P. 065016.
20. Shchepetov S. V. // Plasma Physics and Controlled Fusion. 2016. Vol. 58. P. 114002.
21. Щенетов С. В., Васильков Д. Г. // Физика плазмы. 2017. Т. 43. С. 602.
22. Васильков Д. Г., Батанов Г. М., Борзосеков В. Д., Вафин И. Ю., Гребеничиков С. Е., Гришина И. А., Иванов В. А., Летунов А. А., Логвиненко В. П., Мецьяков А. И., Петрова М. Н., Степахин В. Д., Харчев Н. К., Хольнов Ю. В. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез. 2020. Т. 43. Вып. 3. С. 79.
23. Щенетов С. В., Васильков Д. Г., Хольнов Ю. В. // Физика плазмы. 2018. Т. 44. С. 469.
24. Мецьяков А. И., Вафин И. Ю., Гришина И. А. // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2019. Т. 46. № 12. С. 11.

PACS: 52.55.Hc, 52.25. Xz, 52.70.Ds

## On transition processes leading to stabilization of plasma cord in the L-2M stellarator

*D. G. Vasilkov<sup>1,2</sup> and M. A. Tereshchenko<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences  
38 Vavilov st., Moscow, 119991, Russia  
E-mail: lhldhd81@mail.ru

<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University  
5 2-nd Baumanskaya st., Moscow, 105005, Russia

Received February 15, 2022

*The processes of energy accumulation and dissipation in a high-temperature plasma created and confined in a toroidal magnetic trap stellarator L-2M are investigated. The features of plasma transition to the stationary stage of energy confinement are studied. The initial stage of the discharge initiated by a microwave pulse in the mode of electronic cyclotron resonance plasma heating (ECR heating) is characterized first by a rapid increase in plasma energy within 1 ms from the start of microwave heating, and then by a rapid (~100 microseconds) increase in plasma energy losses recorded by a diamagnetic signal. These processes lead to the end of the growth of stored energy in the confined plasma. It is shown that the properties of this process at a constant microwave heating power of 400 kW differ significantly for different values of electron density. It is found that this process is primarily associated with processes occurring in the edge region of the plasma, in which a layer of stochastic magnetic surfaces is located at the boundary of the plasma cord. The possible influence of instabilities arising in the stochastic layer on this process, as well as the interaction of the boundary*

***plasma with the walls of the vacuum chamber, is discussed.***

**Keywords:** plasma magnetic confinement, stellarator, microwave heating, electron cyclotron resonance, plasma energy, transition processes.

**DOI:** 10.51368/2307-4469-2022-10-2-132-143

REFERENCES

1. ITER Physics Expert Group on Disruptions, Plasma Control and MHD, ITER Physics Basis. Editors: Nucl. Fusion **39**, 2251 (1999).
2. U. Stroth, M. Murakami, and A. Dory, Nucl. Fusion. **36**, 1063 (1996).
3. K. Lackner and N. A. O. Gottardi, Nucl. Fusion. **30**, 767 (1990).
4. O. I. Fedyanin, D. K. Akulina, G. M. Batanov, M. S. Berezhetskiĭ, D. G. Vasil'kov, I. Yu. Vafin, G. S. Voronov, E. V. Voronova, G. A. Gladkov, S. E. Grebenshchikov, L. M. Kovrizhnykh, N. F. Larionova, A. A. Letunov, V. P. Logvinenko, N. I. Malykh, A. I. Meshcheryakov, Yu. I. Nechaev, K. A. Sarksyān, N. N. Skvortsova, S. V. Shchepetov, N. K. Kharchev, and Yu. V. Khol'nov, Plasma Phys. Rep. **33**, 805 (2007).
5. S. V. Shchepetov, M. A. Tereshchenko, D. G. Vasil'kov, and Yu. V. Kholnov, Plasma Phys. Control. Fusion. **60**, 125003 (2018).
6. S. V. Shchepetov, Yu. V. Kholnov, O. I. Fedyanin, A. B. Kuznetsov, D. G. Vasil'kov, D. K. Akulina, G. M. Batanov, G. A. Gladkov, S. E. Grebenshchikov, and A. I. Meshcheryakov, Plasma Phys. Control. Fusion. **50**, 045001 (2008).
7. V. K. Mel'nikov, Dokl. Akad. Nauk SSSR **144**, 747 (1963).
8. L. M. Kovrizhnykh and S. V. Shchepetov, Sov. Phys. Usp. **29**, 343 (1986).
9. A. B. Kuznetsov, S. V. Shchepetov, and D. Yu. Sychugov, Nucl. Fusion. **35**, 183 (1995).
10. A. S. Sakharov and M. A. Tereshchenko, Plasma Phys. Rep. **28**, 539 (2002).
11. S. E. Grebenshchikov, D. G. Vasil'kov, V. A. Ivanov, K. A. Sarksyān, M. A. Tereshchenko, and N. K. Kharchev, Plasma Phys. Rep. **48**, 183 (2022).
12. L. M. Kovrizhnykh and S. V. Shchepetov, Phys. Plazmy. **6**, 976 (1980).
13. M. I. Mikhailov, S. V. Shchepetov, C. Nührenberg, and J. Nührenberg, Plasma Phys. Rep. **41**, 1016 (2015).
14. S. V. Shchepetov, Y. V. Kholnov, and D. G. Vasil'kov, Plasma Phys. Rep. **39**, 130 (2013).
15. D. G. Vasil'kov, Y. V. Kholnov, and S. V. Shchepetov, Plasma Phys. Rep. **39**, 615 (2013).
16. S. V. Shchepetov, Yu. V. Kholnov, and D. G. Vasil'kov, JETP Letters **91**, 182 (2010).
17. R. Schrittwieser, C. Ionita, P. Balan, C. Silva, H. Figueiredo, C. A. F. Varandas, J. Rasmussen, and V. Naulin, Plasma Phys. Control. Fusion. **50**, 055004 (2008).
18. F. P. Genrich and A. Kendl, Plasma Phys. Control. Fusion. **54**, 015012 (2012).
19. A. Weller, K. Y. Watanabe, S. Sakakibara, A. Dinklage, H. Funaba, J. Geiger, J. H. Harris, S. Ohdachi, R. Preuss, Y. Suzuki, A. Werner, H. Yamada, and M. C. Zarnstorff, the W7-X Team and the LHD Experimental Group, Nucl. Fusion. **49**, 065016 (2009).
20. S. V. Shchepetov, Plasma Physics and Controlled Fusion. **58**, 114002 (2016).
21. S. V. Shchepetov and D. G. Vasil'kov, Plasma Phys. Rep. **43**, 720 (2017).
22. D. G. Vasil'kov, G. M. Batanov, V. D. Borzosekov, I. Yu. Vafin, S. E. Grebenshchikov, I. A. Grishina, V. A. Ivanov, A. A. Letunov, V. P. Logvinenko, A. I. Meshcheryakov, M. N. Petrova, V. D. Stepakhin, N. K. Kharchev, and Yu. V. Kholnov, Problems of Atomic Science and Technology, ser. Thermonuclear Fusion. **43** (3), 79 (2020).
23. S. V. Shchepetov, D. G. Vasil'kov, and Y. V. Kholnov, Plasma Phys. Rep. **44**, 539 (2018).
24. A. I. Meshcheryakov, I. Yu. Vafin, and I. A. Grishina, Bull. Lebedev Phys. Inst. **46**, 376 (2019).