

В. И. Хвесюк, А. Ю. Чирков

**КИНЕТИКА И БАЛАНС МОЩНОСТЕЙ D–³He
ТЕРМОЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА**

На основе классической кинетической модели выполнен анализ энергетического баланса малорадиоактивного термоядерного топливного цикла D–³He в центральной секции амбиполярного реактора. Источниками энергии являются происходящие в плазме термоядерные реакции, а также внешний нагрев, необходимый для поддержания требуемой температуры топлива. Основные потери: осевые (продольные), обусловленные уходом частиц из области удержания в пространстве скоростей; радиальные, из-за диффузии поперек магнитного поля, связанной с развитием микронеустойчивостей в неоднородной плазме; тормозное и циклотронное излучения. Рассмотрено влияние принудительного удаления термоядерной золы на эффективность цикла D–³He. Показана возможность горения с коэффициентом усиления мощности в плазме центральной секции $Q_{pl} > 10$.

Kinetics and energy balance of D–³He thermonuclear fuel cycle / V.I. Khvesiuk, A.Yu. Chirkov // Vestnik MGTU. Natural Sciences. 1999. No. 2. P. 91–102.

Analysis of the energy balance is performed on the basis of classical kinetic model of low-radiation thermonuclear fuel D–³He cycle within the central section of the ambipolar reactor. Thermonuclear reactions proceeding in the plasma, and the external heating required for maintenance of the necessary fuel temperature, are the energy sources. Main losses are: the axial (longitudinal) loss with particles drift from the confinement region in the velocity space; the radial loss due to the diffusion transverse to magnetic field which is connected with the development of micro-instabilities in the inhomogeneous plasma; braking and cyclotron radiations. The influence of the thermonuclear ash forced removal on the D–³He cycle efficiency, is considered. It is shown that the combustion process can proceed with power amplification coefficient in the central section plasma $Q_{pl} > 10$. Figs.4. Refs.38.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головин И. Н., Костенко В. В., Хвесюк В. И., Шабров Н. В. // Письма в ЖТФ. – 1988. – Т. 14. – № 20.
2. Головин И. Н. Малорадиоактивный термоядерный синтез. – М.; ЦНИИ-атоминформ, 1989. Препринт ИАЭ № 4885/8.

3. Golovin I. N., Khvesyuk V. I. et al. // Proc. of the course arid workshop held at Villa Monastero–Varenna, Italy, September 6–15. 1989.
4. Golovin I. N., Khvesyuk V. I., Semionov D. V. // Transactions of Fusion Technology. V. 27. 1995.
5. Khvesyuk V. I., Semenov D. V., Lyakhov A. N. // Proc. of 23rd EPS Conf. on Controlled Fusion and Plasma Physics, Kiev, 1996. P. 660–663.
6. Хвесьюк В. И., Шабров Н. В., Семенов Д. В., Ляхов А. Н. // ЖТФ. – 1998. – Т. 68. – № 7. – С. 37–43.
7. Димов Г. И. Препринт № 97–65. – Новосибирск: ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН. 1997.
8. Arsenin V. V. // Transactions of Fusion Technology. – 1999. Vol. 35. – № 1Т. P. 3–9.
9. Cho T. et al. // Nuclear Fusion. – 1988. Vol. 18. P. 2187; Cho T. et al. // Phys. Rev. Lett. – 1990. Vol. 12. P. 1373.
10. Tamano T. et al. // Int. Conf. on Open Plasma Confinement Systems for Fusion (Novosibirsk, 1993) / Ed. A.A. Kabantsev. World Scientific. Singapore. 1994. P. 97.
11. Пастухов В. П. // Вопросы теории плазмы. Вып. 13. / Под ред. Б.Б. Кадомцева. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – С. 160–204.
12. Mase A. et al. // Nuclear Fusion. Vol. 31. № 9. 1991. P. 2187; Mase A. et al. // Phys. Rev. Lett. Vol. 64. No. 19. 1990. P. 2281.
13. Mase A. et al. // Int. Conf. on Open Plasma Confinement Systems for Fusion (Novosibirsk, 1993) / Ed. A.A. Kabantsev. World Scientific. Singapore. 1994. P. 211.
14. Hirano K. Preprint IPPI-810. Institute of Plasma Physics, Nagoya University. Nagoya. 1987.
15. Shabrov N. V., Khvesyuk V. I., Lyakhov A. N. // Int. Conf. on Open Plasma Confinement Systems for Fusion (Novosibirsk, 1993) / Ed. A.A. Kabantsev. World Scientific. Singapore. 1994. P. 245.
16. Хвесьюк В. И., Шабров Н. В. // Письма в ЖТФ. – 1994. – Т. 19. – № 1.
17. Perkins S. T., Kullen D. E. // Nucl. Sci. Eng. Vol. 77. 1981. P. 20.
18. Путвинский С. В. // Вопросы теории плазмы. Вып. 18. / Под ред. Б.Б. Кадомцева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 209–315.
19. Rosenbluth M. N., MacDonald W. and Judd D. // Phys. Rev. Vol. 107. 1957. P. 1.
20. Трубников Б. А. // Вопросы теории плазмы. Вып. 1. // Под ред. М.А. Леонтовича. – М.: Атомиздат, 1963. – С. 98.
21. Сивухин Д. В. // Вопросы теории плазмы. Вып. 4 // Под ред. М.А. Леонтовича. – М.: Атомиздат, 1964. – С. 81.
22. Feldbahr R. Nuclear Reaction Cross Sections and Reactivity Parameter. IAEA. 1987.
23. Devaney J. J. and Stein M. L. // Nucl. Sci. Eng. Vol. 46. 1971. P. 323–333.
24. Nakaо Y., Ohta M., Nakashima H. // Nucl. Fusion. Vol. 21. № 8. 1981. P. 973–979.
25. Choi C. K., Hsiao M. Y. // Nucl. Fusion. Vol. 23. № 2. 1983. P. 195–200.
26. Kantrowitz F. D., Conn R. V. // Nucl. Fusion. Vol. 24. No. 10. 1984. P. 1335–1346.
27. Самарский А. А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1977.
28. Самарский А. А., Николаев Е. С. Методы решения сеточных уравнений. – М.: Наука, 1978.
29. Ho S. K., Smith G. R., Nevins W. M. and Miley G. H. // Fusion Technology. Vol. 10. 1986. P. 1171–1176.
30. Трубников Б. А. // Вопросы теории плазмы. Вып. 7 // Под ред. Б.Б. Кадомцева. – М.: Энергоатомиздат, 1973. – С. 274–300.
31. Mahon M. S. and Corman E. G. // Phys. Rev. Vol. 163. № 1. 1967. P. 156.

32. H a n g E. // Z. Naturforsch., Vol. 30a. 1975. P. 1099.
33. А х и е з е р А. И., Б е р е с т е ц к и й В. Б. Квантовая электродинамика. – М.: Наука, 1981.
34. Л а н д а у Л. Д., Л и в ш и ц Е. М. Теоретическая физика. Т. 5. Статистическая физика. – М.: Наука, 1989.
35. S t i c k f o r t h J. // Z. Physik., Vol. 164. 1964. P. 1.
36. H a u g E. // Z. Naturforsch. Vol. 30a. 1975. P. 1546.
37. S v e n s s o n R. // Astrophys. J. 1982. Vol. 258. P. 335.
38. Ч и р к о в А. Ю., К х в е с ю к В. И., Р ы з х о в С. В. // Transactions of Fusion Technology. Vol. 35. No. IT. 1999. P. 393–397.

Статья поступила в редакцию 6.05.1999

Владимир Иванович Хвесюк родился в 1940 г., окончил в 1963 г. МАИ им. С.Орджоникидзе и в 1968 г. МГУ им. М.В.Ломоносова. Д-р техн. наук, профессор зав. кафедрой “Теплофизика” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 150 научных работ, в том числе 3 монографий, в области физики и техники плазмы.

V.I. Khvesiuk (b, 1940) graduated from Moscow Aviation Institute in 1963 and Lomonosov Moscow State University in 1968. D. Sc. (Eng.), professor, Head of “Thermal Physics” Department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 150 publications, among them 3 monographs, in the field of plasma physics and technology.

Алексей Юрьевич Чирков родился в 1976 г., окончил в 1999 г. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 8 научных работ в области физики и техники плазмы.

A.Yu. Chirkov (b. 1976) graduated from Bauman Moscow State Technical University in 1999. Author of 8 publications in the field of plasma, physics and technology.