Феноменологическое моделирование надтепловых электронов при развитии неустойчивости срыва в токамаке

Саврухин П.В.1,2, Шестаков Е.А.1, Ермолаева А.И.1

1НИЦ «Курчатовский институт», 123182, Москва, РФ
1«Проектный центр ИТЭР», 123182, Москва, РФ

Квазипериодические вспышки надтеплового рентгеновского излучения, наблюдаемые во время спада тока плазмы в срывах при предельно высокой плотности в токамаках, указывают на периодическую генерацию локальных пучков ускоренных электронов (*E<150кэВ*). Вспышки надтеплового рентгеновского излучения наблюдаются одновремено с отрицательными выбросами напряжения на обходе плазменного шнура, связываемыми с перезамыканием винтового магнитного потока. В этих условиях вспышки рентгеновского излучения могут быть связаны с надтепловыми электронами, генерируемыми в сильных электрических полях вблизи токовых слоев при магнитном перезамыкании. Процесс ускорения электронов анализируется с помощью феноменологической модели, основанной на рассмотрении эффекта Драйсера и лавинного механизма ускорения в сильных продольных электрических полях. Электрические поля появляются в момент резкого нарастания МГД возмущений *E\*~-recdBr/dt*, рассчитываемых на основе моделирования тиринг мод *m=2,n=1* (здесь, *rec2= 2[(A/R)r12 +(c/p)2], p2=ne2/0m* и *R, A* характерные времена магнитной диффузии и электронной инерции). Эволюция тиринг моды *m=2,n=1* моделируется на основе модифицированого уравнения Резерфорда. Устойчивость тиринг моды рассчитывается на основе анализа профиля электронной температуры вблизи резонансной магнитной поверхности *q=2*, определямого из решения уравнения электронного энергобаланса с учетом омического и СВЧ нагрева плазмы. Уплощение профиля электронной температуры в момент малого срыва моделируется с помощью увеличения коэффициентов электронной теплопроводности внутри магнитного острова *m=2,n=1*.

*Рис.1 Результаты численного моделирования МГД возмущений и надтепловых электронов в плазме токамака Т-10*

Результаты численного моделирования представлены на Рис.1. Периодическое нарастание МГД возмущений во время малых срывов сопровождается появлением индуцированных электрических полей, приводящих к образованию локальных пучков ускоренных электронов. СВЧ нагрев плазмы сопровождается подавлением МГД возмущений и увеличением электронной температуры, что приводит к уменьшению продольных электрических полей и исчезновению надтепловых электронов.

Рассматривается возможность использования СВЧ нагрева плазмы для минимизации последствий срыва плазмы в токамаке-реакторе ИТЭР.

Работа выполнена при содействии Росатом №Н.4х.44.90.13.1101 и РФФИ (15-02-99552А).