профили плотности электронов плазмы стелларатора Л-2М при высоких удельных энерговкладах

Летунов А.А., Воронова Е.В., Гребенщиков С.Е., Логвиненко В.П.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия, let@fpl.gpi.ru

На стелларатора Л-2М, после создания нового гиротронного комплекса МИГ-3 удалось увеличить удельный энерговклад при ЭЦ-нагреве с 0,4 - 0,8 МВт/м3 до 2 - 3 МВт/м3. Это в частности привело к изменению характера профилей электронной плотности.

Для измерения профилей плотности в стеллараторе использовался HCN интерферометр Майкельсона с семью зеркалами в вакуумной камере. Это позволяет осуществлять измерение интеграла плотности по выбираемой поворотом внешнего зеркала измерительной хорде. Центральная хорда проходит вблизи оси камеры, а периферийная углубляется в плазму до эффективного радиуса r/a  0.8. Одновременно в каждом импульсе проводилось измерение интеграла плотности по вертикальной хорде интерферометром Маха-Цандера с лампой обратной волны на длине волны 2мм. Последние данные использовались для контроля и коррекции небольших различий между отдельными импульсами в одном режиме.

Восстановление профилей плотности для различных моментов времени, производилось путём подбора параметров аппроксимирующих функций из некоторого семейства методом наименьших квадратов. Это производилось с учетом картины изоповерхностей плотности, которыми являются магнитные поверхности. Для стелларатора Л - 2М, магнитные поверхности детально рассчитаны.

В режимах с удельным энерговкладом 0,4-0,6 МВт/м3 средняя по каждой хорде плотность монотонно спадает к периферии. При этом профиль плотности электронов хорошо приближается «параболой» - . С увеличением мощности профиль уплощается, чему соответствует рост величины p.

При удельных энерговкладах > 1МВт/м3 впервые были замечены признаки немонотонной зависимости плотности от эффективного радиуса. Изменилось характерное поведение средней плотности по разным хордам. Если при 0,4-0,8 МВт/м3 средняя плотность по седьмой периферийной хорде была заметно меньше чем по другим особенно центральным, то теперь она приблизилась, а иногда и превосходила их. При этом необходимо обращать особое внимание на степень достоверности восстановления, поскольку данная обратная задача является некорректной. Были сделаны оценки возможных погрешностей. Исследована достоверность процедуры восстановления профилей из хордовых измерений с определенным уровнем погрешности. Проведены тесты на модельных наборах данных, определялся характер зависимости среднеквадратического (по хордам) отклонения измеренных и рассчитанных при заданной глубине ямы фазовых набегов. Достаточным и явным признаком ямы в центре является рост средней плотности при переходе от центральных хорд к периферийным. Уже при энерговкладах 1,2-1,5 МВт/м3обнаружены режимы с таким поведением. С дальнейшим ростом энерговклада это становится все более заметным. Для режимов с высоким удельным энерговкладом восстановленные профили плотности плазмы имеют относительную глубину ямы в несколько десятков процентов.

Такое поведение плазмы пока не нашло удовлетворительного объяснения. В частности, сравнение полученных экспериментальных данных с результатами численного моделирования не дало удовлетворительного соответствия. Яма хотя и моделируется, но глубина ее очень скромная. В то же время немонотонные профили были зарегистрированы и на других установках. Но в данном случае профили демонстрируют заметно большую относительную величину центрального спада плотности, что, скорее всего, связано именно с высоким удельным энерговкладом.