

РЕКОНСТРУКЦИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЕННОГО РАЗРЯДА ТОКАМАКА КТМ

Саньков А.А., Малахов А.В., Хохряков В.С.

sankov@sibmail.com

Научный руководитель: доцент, к.т.н., Павлов В.М., кафедра Электроники и автоматике физических установок

1. Введение

Введение в эксплуатацию казахстанского токамака материаловедческих исследований (КТМ) в рамках проекта ITER в первую очередь связано с необходимостью проведения исследований материалов в условиях, приближенных к условиям дивертора ITER [1]. Разработка линейной модели, ориентированной на управление ходом разряда, как части ПО АСНИ термоядерной установки, является необходимой и актуальной задачей. Более того, разработанная линейная модель позволит выбрать и настроить линейный матричный регулятор, применительно к сложному многомерному объекту с несколькими входными и выходными координатами [2, 3].

2. Регрессионная модель

Объект управления представлен на рисунке 1, где вход (X) и выход (Y) представляют собой многокомпонентные векторы.

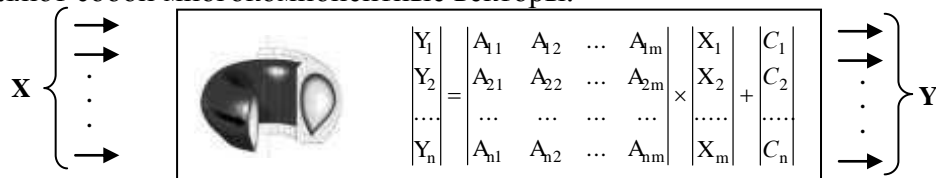


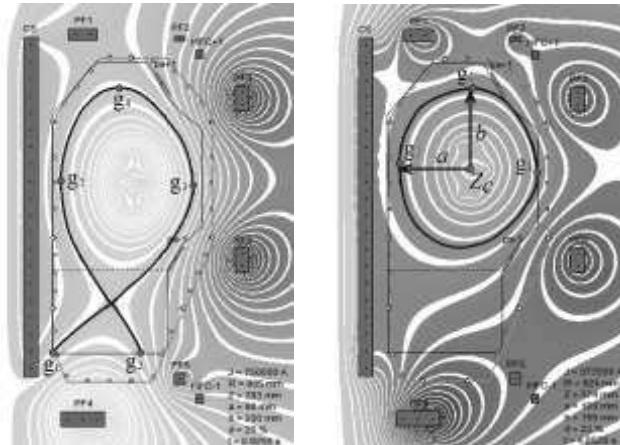
Рисунок 1 – Статическая модель токамака, как многомерного объекта

Здесь и далее мы будем обсуждать только статическую модель, когда $A_{11} \dots A_{nm}$ являются числами, а не передаточными функциями. Таким образом, целью данной работы является получение таких величин $A_{11} \dots A_{nm}$, при которых реакция объекта минимально отличается от реакции его модели на одни и те же управляющие воздействия.

В качестве входных параметров могут быть выбраны значения токов в катушках управления, поскольку они однозначно определяют конфигурацию магнитного поля и плотность распределения тока плазменного шнура:

$$X = \{I_{CS}, I_{PF1}, I_{PF2}, I_{PF3}, I_{PF4}, I_{PF5}, I_{PF6}\}. \quad (1)$$

В ходе разряда, возможно образование двух различных конфигураций магнитного поля, характеризующиеся разными наборами параметров формы плазменного шнура. Первая конфигурация содержит X-точку, локализованную на сепаратрисе (рисунок 2.а). Границы плазменного шнура в этом случае характеризуются точками $g_1 \dots g_5$: точками пересечения сепаратрисы с лимитером вакуумной камеры, внешним радиусом, верхней границей и внутренним радиусом плазменного шнура.



а) б)

Рисунок 2 – Диверторная (а) и лимитерная (б) магнитные конфигурации базового сценария КТМ в моменты времени 0,925с и 4,852с соответственно

В другой магнитной конфигурации (рисунок 2.б) ток плазмы распределен в пределах замкнутой магнитной поверхности, касающейся лимитера в одной точке (контролируемый параметр g_1). Параметры g_2 и g_3 аналогичны предыдущему случаю. Также контролируются два дополнительных параметра, описывающих форму: вытянутость k , равная отношению полуразмеров шнура b/a , и вертикальное положение Z_c . Таким образом, имеем:

$$Y_{\text{divertor}} = \{g_1, g_2, g_3, g_4, g_5\} \quad Y_{\text{limiter}} = \{g_1, g_2, g_3, k, Z_c\}. \quad (2)$$

3. Факторный эксперимент

Для определения элементов A_{ij} был поставлен полный факторный эксперимент ПФЭ 2^7 (таблица 1), а также разработано специальное ПО в среде MS Visual Studio 2005, автоматизирующее процесс вычисления элементов искомой матрицы.

Элементы A_{ij} могут быть вычислены по следующей формуле:

$$A_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N y_{uj} \cdot x_{ui}, i \in [1, m], j \in [1, n], \quad (3)$$

где x_{ui} – кодированные значения факторов: $x_{ui} = (X_{ui} - X_{0i}) / \Delta X_i$.

Вариация ΔX в ходе эксперимента составляла 0,5 кА для каждого фактора. Начальные уровни X_{0i} различались в зависимости от конфигурации.

4. Проверка модели на адекватность

Адекватность модели оценена величиной дисперсии адекватности:

$$D_{\text{ad}}^{\text{par}} = \sigma_{\text{par}}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_i (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2, \quad (4)$$

где \bar{y}_i – фактически наблюдаемое значение регулируемой координаты;

\hat{y}_i – предсказанное моделью значение регулируемой координаты.

Результаты расчетов погрешности сведены в таблицу 2.

Таблица 1 – Матрица планирования ПФЭ 2^7

Таблица 2 – σ_{par}

№	x_0	Факторы				Ф-ции отклика				Пар.	Диверт.	Лимит.
		x_1	x_2	...	x_m	y_1	y_2	...	y_n			
1	+1	+1	+1	...	+1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1n}	σ_{g1}	0,52 см	1,9 см
2	+1	-1	+1	...	+1	y_{21}	y_{22}	...	y_{2n}	σ_{g2}	0,27 см	20,65 см
										σ_{g3}	2,7 см	9,8 см

3	+1	+1	-1	...	+1	y_{31}	y_{32}	...	y_{3n}	σ_{g4}	5,7 см	–
4	+1	-1	-1	...	+1	y_{41}	y_{42}	...	y_{4n}	σ_{g5}	1,3 см	–
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	σ_k	–	0,05 о.е.
2_m	+1	-1	-1	...	-1	y_{N1}	y_{N2}	...	y_{Nn}	Z_c	–	4,1 см

5. Заключение

Адекватность линейной модели подтверждена результатами численного эксперимента, при этом точность модели выше для диверторной конфигурации, чем для лимитерной. Основная выявленная особенность модели заключается в том, что ее параметры A_j могут существенно изменяться в зависимости от выбранных начальных уровней факторов.

Основным направлением дальнейшей работы будет применение разработанной модели для синтеза матричного регулятора в контуре управления плазменным шнуром.

6. Список источников

- 1) Е.А. Azizov, KTM project (Kazakhstan Tokamak for Material Testing), Moscow, 2000;
- 2) O.N. Gasparyan, Linear and Nonlinear Multivariable Feedback Control – A Classical Approach, 2008;
- 3) F.W. Fairman, Linear control theory, 1998;
- 4) A.J. Garrido, Linear models for plasma current control in tokamak reactors, Control Automation Robotics & Vision (ICARCV) 11th International Conference, Dec. 2010;
- 5) A. Megretski, Multivariable Control Systems, MIT OpenCourseWare, 2004;

СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ON-LINE ОФОРМЛЕНИЯ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

У.С.Савинкина, Ю.О. Гончарук

goncharukjo@tpu.ru

Научный руководитель: аспирант, Мозгалева П.И., ИК, ОСУ

Введение

В настоящее время актуальным вопросом для правительства Российской Федерации является электронный документооборот в органах власти.[1] Задача сводится к повышению информационной открытости органов государственной власти и органов местного самоуправления, эффективности их взаимодействия с гражданами и организациями, качества оказываемых ими услуг. Однако для реализации поставленных задач решения пока так и не нашлось. С другой стороны, существует проблема экономии времени как граждан, так и государственных служащих.[2] Решением всех этих вопросов может стать создание интерактивного web-приложения, объединяющего правительственные службы и реализующего интерфейс между ними и пользователями, которое бы содержало базу всех нормативных документов. Также данное приложение должно осуществлять заполнение и отправку пользователями этих документов on-line. Таким образом, больше не придется тратить время на подходы по различным инстанциям,