

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория и расчет линейных ускорителей. Сборник. М., Госатомиздат, 1962, стр. 94, 114.
2. A. D. Vlasov. Nucl. Sci. Abstr., 16, 9483, NP-tr-829 (1962).
3. А. Д. Власов. Теория линейных ускорителей. М., Атомиздат, 1965.
4. I. M. Karchinsky, A. S. Kronrod. Int. Conf. on Accelerators. Dubna, 1963, p. 906.
5. И. М. Капчинский. Динамика частиц в линейных резонансных ускорителях. М., Атомиздат, 1966.
6. R. Morton. Rev. Scient. Instrum., 36, 1826 (1965).
7. Б. И. Бондарев, А. Д. Власов. «Атомная энергия», 19, 423 (1965); J. Nucl. Energy, Part C, 8, 599 (1966).
8. Б. И. Бондарев, В. В. Пашковский. «Приборы и техника эксперимента», № 4, 24 (1967).
9. P. Lapostolle. Effets de la charge d'espace dans un accélérateur linéaire a protons. CERN, AR/Int.SG/65—15, 1965.
10. R. Gluckstern. Linear Accelerator Conf. Los-Alamos, 1966, p. 237.
11. P. Lapostolle. Lois de phase pour un «Linac». CERN, ISR-300 LIN/66-33, 1966.
12. P. Lapostolle. U.S. Accelerator Conf. Washington, 1967, p. 572.
13. S. Ohnuma, J. Vitale. U.S. Accelerator Conf. Washington, 1967, p. 594.
14. T. Nishikawa, S. Okumura. Int. Conf. on Accelerators. U.S., Cambridge, 1967, p. 162.
15. A. Benton et al. U.S. Accelerator Conf. Washington, 1967, p. 577.
16. И. М. Капчинский. «Атомная энергия», 25, 104 (1968).
17. В. В. Осипов, Б. К. Шембель. В сб. «Тр. Всес. совещания по ускорителям заряженных частиц». М., Изд. ВИНТИ, 1968.

Создание и исследование магнитных поверхностей с большим широм на стеллараторе «Ураган»

В. Ф. АЛЕКСИН, О. В. БИРЮКОВ, А. В. ГЕОРГИЕВСКИЙ, Ю. И. ГРОТ,
В. Е. ЗИСЕР, Л. Х. КИТАЕВСКИЙ, Д. П. ПОГОЖЕВ, Ю. Ф. СЕРГЕЕВ,
В. А. СУПРУНЕНКО, В. Т. ТОЛОК

УДК 533.9.07:621.039.623

Исследования проводились на стеллараторе-рейстреке «Ураган» с трехзаходным винтовым полем (рис. 1). Продольное магнитное поле H_0 напряженностью до 10 кэ создавалось при протекании тока через 30 катушек, расположенных равномерно с шагом 345 мм вдоль оси установки. Радиус тора $R = 1100$ мм, радиус сечения вакуумной камеры $r = 100$ мм, длина прямолинейного участка 1725 мм, а общая длина $L_0 = 10135$ мм.

Для создания магнитных поверхностей с большим широм S_0 [1] была использована трехзаходная (с возможностью перекоммутации в двухзаходную) винтовая обмотка с отдельно регулируемые цилиндрическими [2]. На радиусе винтовой обмотки a , равном 112 мм, угол наклона проводников к продольной оси тора γ равен 30° , а угол наклона обмотки цилиндрической $\gamma_{\text{ц}}$ таков, что $\text{tg } \gamma_{\text{ц}} = 2 \text{ tg } \gamma$. Поэтому расчетный ток цилиндрической $J_{\text{ц}}$ равен току винтовой обмотки J [2]. Применение кремнийорганической электроизоляции позволило уложить винтовую обмотку непосредственно на вакуумную камеру, которая могла нагреваться до 400°C .

Использовался метод исследования магнитных полей с помощью однооборотных [3, 4] и многооборотных [5] прохождений электронных пучков малой энергии вдоль установки (см. рис. 1).

Установлено, что для получения однородного продольного магнитного поля с замкнутыми силовыми линиями, параллельными продольной оси рейстрека с точностью ± 1 мм, необходима тщательная настройка, заключающаяся в юстировке катушек в горизонтальной

и вертикальной плоскостях и наложении поперечного магнитного поля. Максимальный диаметр магнитного потока при однократном прохождении равен ~ 180 мм при диаметре диафрагмы 190 мм.

Обнаружено влияние расположения цилиндрических относительно винтовой обмотки и изменения отношения $J_{\text{ц}}/J$ на конфигурацию магнитных поверхностей. Хорошее цилиндрирование получается при $J_{\text{ц}}/J = 0,85$, что совпадает с выводами работы [4] и объясняется отличием реального цилиндрического от расчетной схемы [2]. Цилиндрирование поверхностей заканчивается сразу же на выходе силовых линий из цилиндрического, и на прямолинейном участке конфигурация сохраняется. Цилиндрирование не полное — остается вырождение треугольника [6]; так, при $\varepsilon = 0,61$ * радиус одной из магнитных поверхностей $r_0 = 50 \text{ мм} \pm 5\%$.

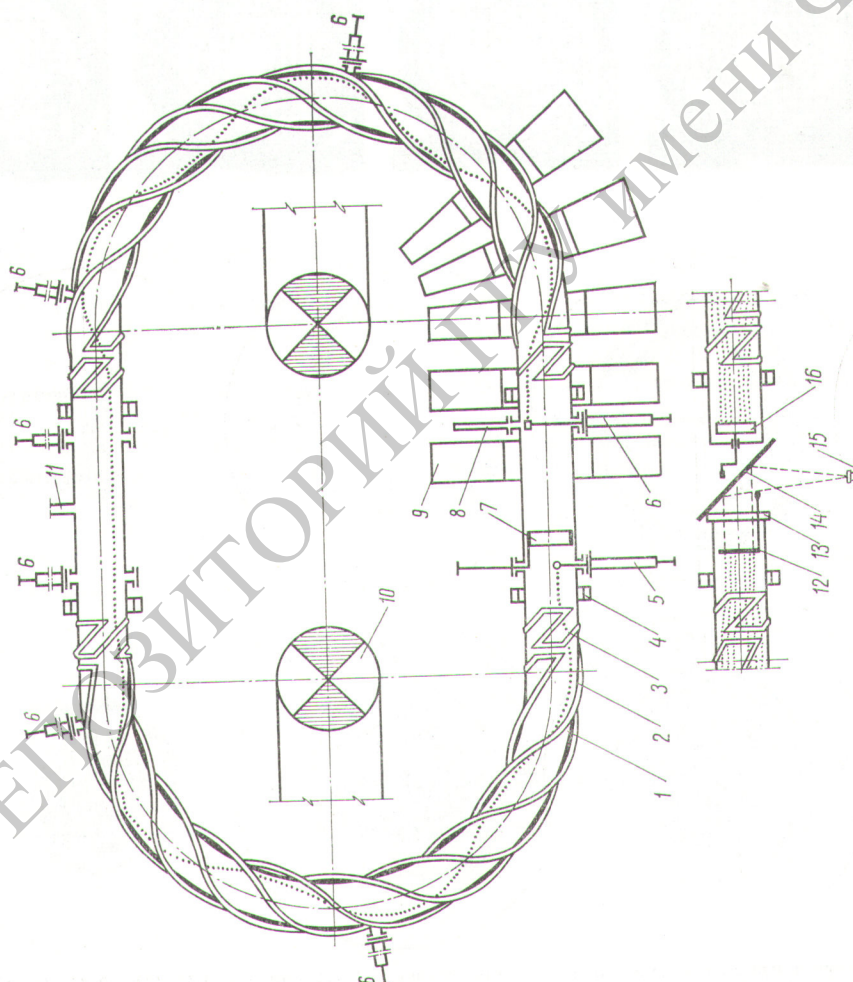
Средний радиус последней замкнутой поверхности r_0 при данном ε по результатам однооборотных измерений меньше расчетного значения r_0 , что объясняется неполным цилиндрированием магнитных поверхностей (рис. 2).

Оптимальные геометрические и токовые соотношения между всеми элементами магнитной системы, выбранные по однооборотным измерениям, были подтверждены в процессе многооборотных измерений, что говорит о высокой точности изготовления и компенсации в результате настройки паразитных составляющих магнитного поля до уровня $\sim 10^{-3} H_0$. Измеренные углы поворота силовых линий соответствуют расчетным, что дало возможность определить шир по точным формулам работы [7].

Параметры магнитных поверхностей, полученные в результате многооборотных измерений (рис. 3, б),

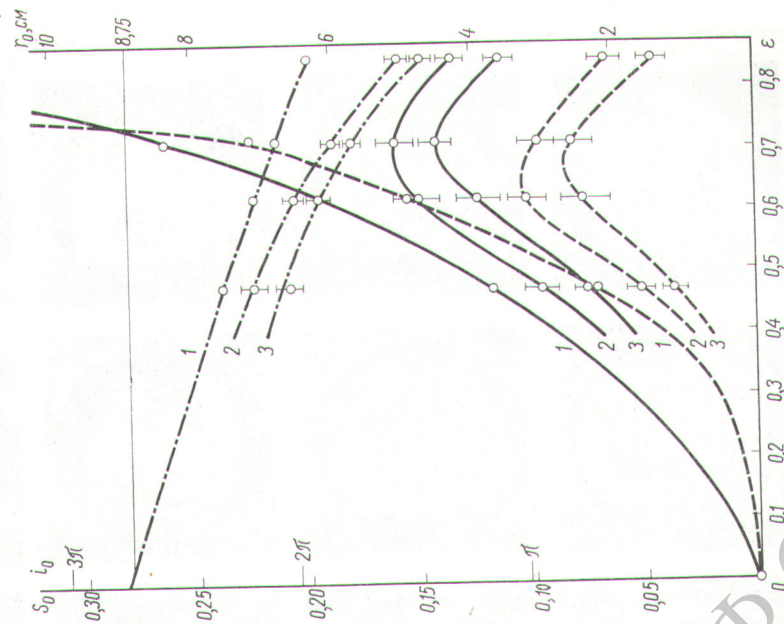
* $\varepsilon = h_3/H_0$, где h_3 — основная, третья гармоника винтового магнитного поля.

* $S_0 = \frac{di_0}{dr} r_0^2 L_0^{-1}$, где i_0 — угол преобразования вращения силовых линий на длине установки; r_0 — средний радиус магнитной поверхности.

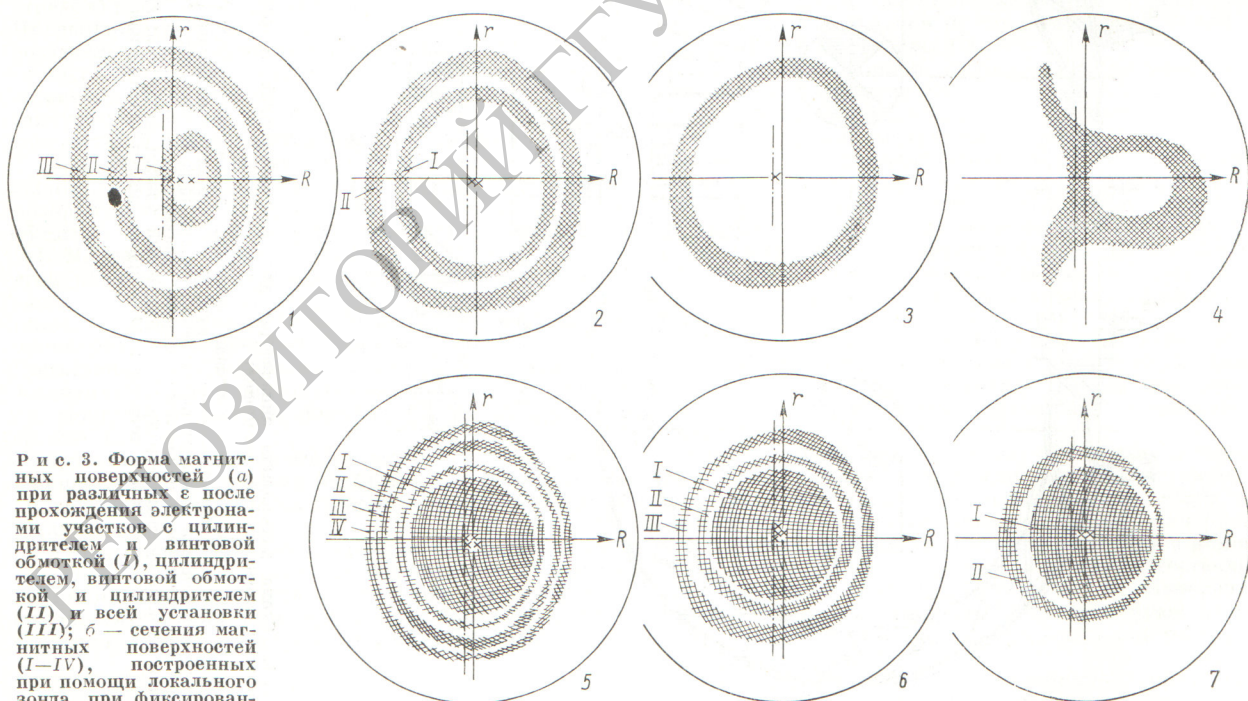
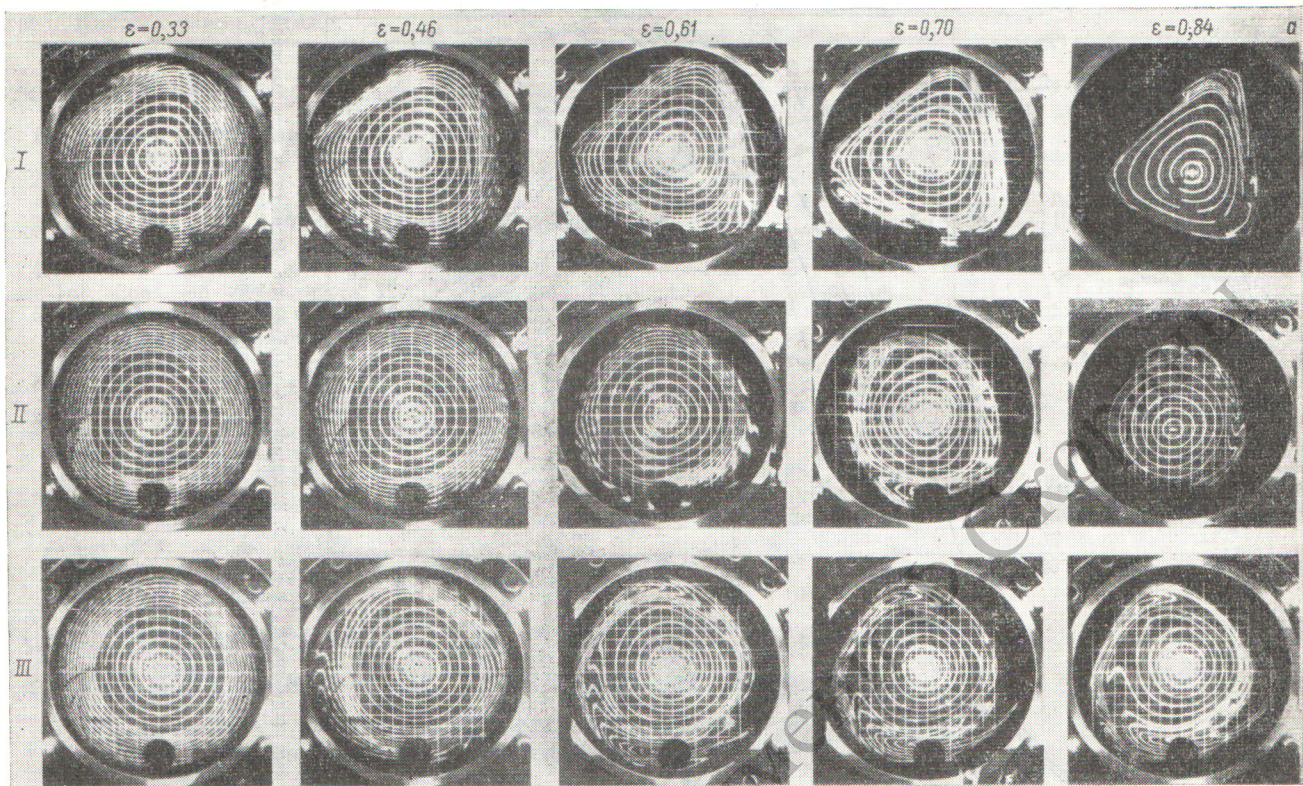


Р и с. 1. Схема размещения аппаратуры для многооборотных и однооборотных (вставка) магнитных измерений на установке:

1 — вакуумная камера; 2 — винтовая обмотка; 3 — цилиндрический зонд; 4 — компенсационная катушка; 5 — точечная электронная пушка; 6 — локальные зонды; 7 — кольцевой зонд; 8 — система напуска в камеру неона; 9 — катушка продольного магнитного поля; 10 — сердечник трансформатора магнетического нагрева плазмы; 11 — откатной патрубков; 12 — передняя люминесцентный экран; 13 — прозрачный фланец со шкалой; 14 — зеркало; 15 — фотоаппарат или теодолит; 16 — вращающаяся электронная пушка.



Р и с. 2. Зависимость параметров магнитных поверхностей S_0 (—) и i_0 (---) от ϵ по результатам расчета (1), однооборотных (2) и многооборотных (3) измерений.



Р и с. 3. Форма магнитных поверхностей (а) при различных ε после прохождения электронами участков с цилиндрическим и винтовой обмоткой (I), цилиндрической, винтовой обмоткой и цилиндрическим (II) и всей установки (III); б — сечения магнитных поверхностей (I—IV), построенных при помощи локального зонда при фиксированном положении пушки

(I—4) и по показаниям кольцевого зонда при изменении положения пушки (5—7) при $\varepsilon = 0,46$ (I), 0,61 (2,5), 0,7 (3, 6, 7) и 1,02 (4); 7 отличается от 6 наличием дополнительной $H_{\perp}/H_0 \approx 1 \cdot 10^{-3}$; $\times$ — центр магнитной поверхности.

несколько отличаются от полученных при однооборотных измерениях (см. рис. 3, а). Так, при данном ε радиус последней замкнутой поверхности r_0 несколько меньше по многооборотным измерениям. Полученные при многооборотных измерениях поверхности, образованные силовой линией с малым i_0 , в сечении более овальные по сравнению с поверхностями с большим i_0 . Это относится к внутренним поверхностям при данном ε и к поверхностям с одинаковым r_0 при уменьшении ε . Поверхности с большим r_0 и i_0 сдвинуты внутрь примерно на 5 мм, что объясняется тороидальностью магнитной системы, а поверхности с меньшим i_0 больше сдвинуты наружу от центра тора.

Приведенное различие объясняется наличием нескомпенсированной поперечной составляющей $H_{\perp}/H_0 \approx 1 \cdot 10^{-3}$ [6, 8], небольшим ($\sim 3'$) возможным перекосом плоскостей обмоток, винтовой и продольного поля [9], или относительным смещением на 2—3 мм указанных обмоток в горизонтальной плоскости.

В результате максимальная измеренная величина $i_0 \approx 230^\circ$ на радиусе $r_0 \approx 60$ мм при $\varepsilon \approx 0,65$, что соответствует величине ширины $S_0 \approx 0,09$ (см. рис. 2).

Поступило в Редакцию 28/III 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Кадомцев, О. П. Погуде. В сб. «Физика плазмы и управляемый термоядерный синтез». Т. 1. Вена, МАГАТЭ, 1966, стр. 365.
2. E. Frieman et al. The Proposed Model C Stellarator Facility Project Matterhorn, Ch. IV, NYO-7899, p. 78.
3. Б. П. Ильенко, В. Г. Зыков. ЖТФ, 31, 1289 (1961).
4. Б. И. Гаврилов, Ф. В. Карманов, Г. П. Максимов. «Атомная энергия», 18, 273 (1964).
5. М. С. Бережецкий и др. ЖТФ, XXXV, 2167 (1965).
6. J. Sheffield. MATT-Q-24. Annual Report, 1966. USA, Princeton Plasma Physics Laboratory.
7. А. М. Морозов, Л. С. Соловьев. Вопросы теории плазмы. Вып. 2. М., Госатомиздат, 1963, стр. 3.
8. A. Gibson. Phys. Fluids, 10, 1553 (1967).
9. C. Gourdon et al. Доклад CN-24/F-2 на Третьей конференции по исследованиям в области физики плазмы и управляемых термоядерных реакций (Новосибирск, 1968).

Порядок депонирования статей

Депонирование статей осуществляется или по просьбе авторов, или по решению редакционной коллегии журнала.

В журнале печатаются подробные аннотации статей, а полные тексты хранятся в редакции в течение 5 лет и высылаются читателям по их требованию наложенным платежом. Объем аннотации не должен превышать 2 стр. машинописного текста, а объем депонируемого текста — 12 стр. В отдельных случаях в аннотацию можно включать рисунок, таблицу, основные формулы и т. п.

Сроки опубликования аннотаций значительно короче сроков публикации статей и писем.

Депонированные статьи являются научными публикациями и учитываются при защите диссертаций.

Статьи, представленные для депонирования, должны быть окончательно отработаны авторами и годны для фотографического воспроизведения: текст следует печатать на машинке с жирной черной лентой, формулы вписывать тушью или черными чернилами, рисунки выполнять на ватманской бумаге или кальке и снабжать подписями.

Цена одного экземпляра депонируемого текста 40 коп. При оформлении заказа на тексты депонированных статей необходимо указывать регистрационный номер статьи, который помещен в конце аннотации.

Заказы направлять в редакцию журнала по адресу: Москва, Центр, ул. Кирова, 18.