

УДК 621.039.6

О ПРОЕКТЕ СОЗДАНИЯ КАЗАХСТАНСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКОГО ТОКАМАКА КТМ

¹⁾ Зарва Д.Б., ¹⁾ Батырбеков Э.Г., ¹⁾ Скаков М.К., ¹⁾ Тажибаева И.Л., ²⁾ Павлов В.М.¹⁾ РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», Курчатов, Казахстан²⁾ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

В работе представлен краткий обзор состояния современной энергетики и ее влияние на глобальную экологию. Освещены основные преимущества термоядерной энергетики как потенциального выхода из складывающейся ситуации энергетического кризиса в будущем. Приведен обзор установки КТМ, призванной решить проблему полномасштабного исследования материалов, из которых планируется изготовление внутрикамерных элементов, обращенных к плазме, в термоядерных реакторах будущего. На примере системы импульсного электроснабжения освещена проблема разработки, внедрения и ввода в эксплуатацию основных технологических систем установок типа токамак.

В настоящее время в основном все энергогенерирующие мощности в мире базируются на сжигании углеводородного топлива. Учитывая темпы роста энергопотребления населением Земли – разведанных запасов углеводородного топлива остается всего на нескольких сотен лет. Вместе с этим, в атмосфере угрожающе растет уровень концентрации углекислого газа и продуктов горения углеводородного топлива. Становится очевидным, что в ближайшее время человечество должно перейти на качественно новый уровень энергогенерации [1, 2].

На рисунке 1 представлены диаграммы эмиссии парниковых газов, распределения долей используемого в мире топлива и их вклад в глобальную энергогенерацию.

С учетом всех, пока еще не решенных проблем ядерной энергетики, а также относительной ограни-

ченности запасов природного урана, решение может быть найдено при помощи реакторов, работающих на основе управляемого термоядерного синтеза.

Термоядерная энергетика — это практически неисчерпаемые ресурсы, наряду с этим, это – высокий уровень экологической безопасности и принципиальная невозможность распространения компонент ядерного вооружения. Даже в случае самой тяжелой аварии экологическая обстановка за пределами площадки термоядерного реактора не изменится. В процессе его работы практически не образуется долгоживущих радиоактивных материалов. Ну и, пожалуй, самый большой плюс – это один из наиболее высоких удельных энергетических выходов среди всех известных и практически осуществимых в настоящее время реакций.

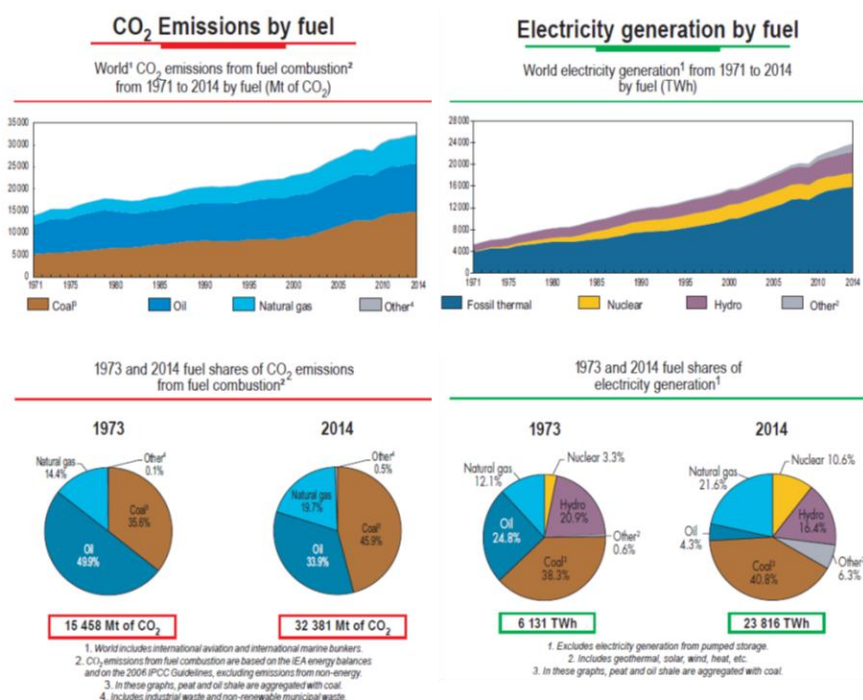


Рисунок 1. Диаграммы эмиссии парниковых газов, распределения долей используемого в мире топлива и их вклад в глобальную энергогенерацию [1, 2]

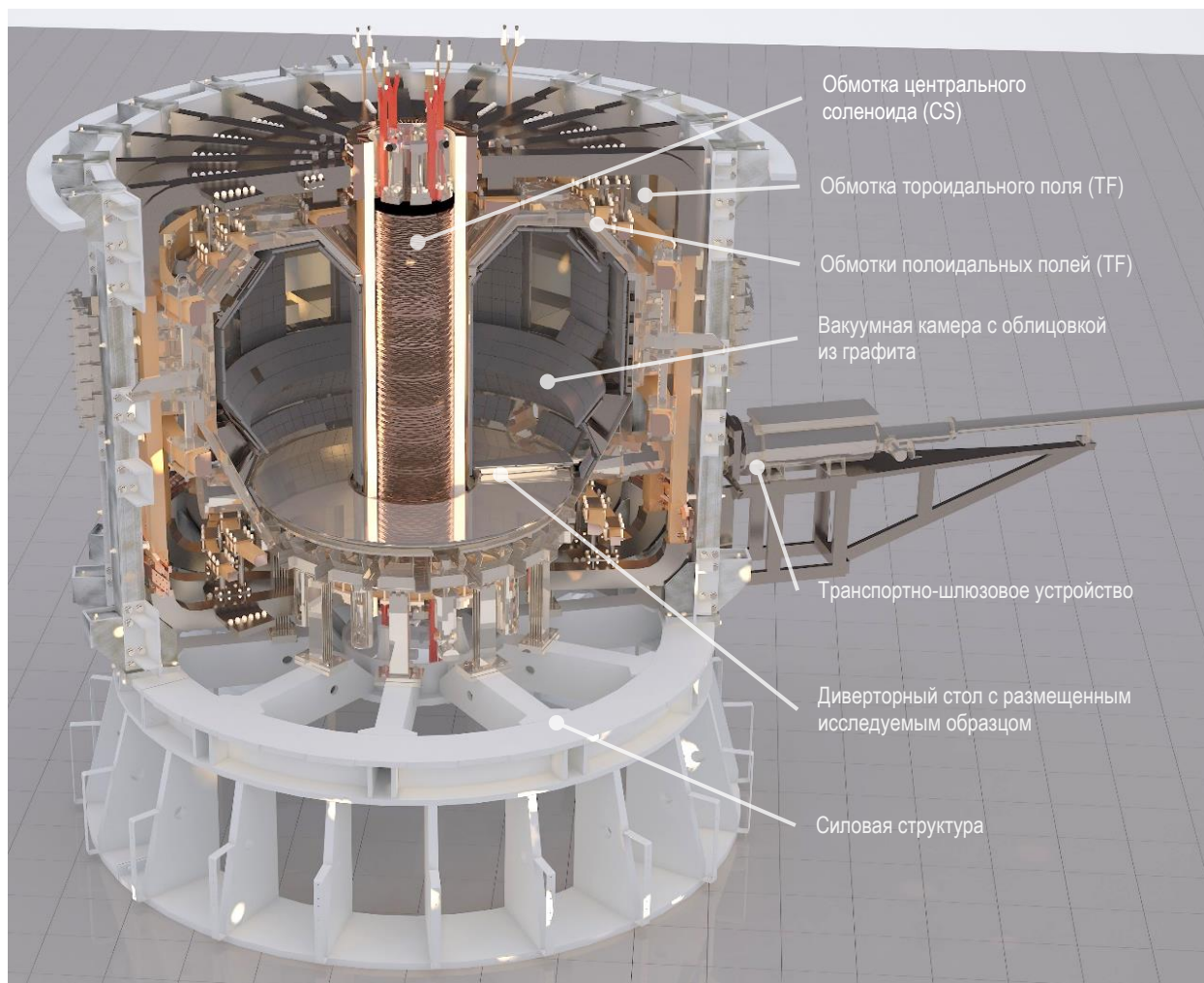


Рисунок 2. 3D модель сечения токамака КТМ.

Планируется, что первым термоядерным реактором, который продемонстрирует принципиальную возможность коммерческого получения энергии, будет ITER (международный экспериментальный термоядерный реактор), реализуемый в г. Кадараш во Франции усилиями многих стран мира. Данный реактор строится на базе установки типа Токамак, признанной наиболее перспективной для осуществления реакций управляемого термоядерного синтеза. Одной из основных проблем при создании установки ITER является проблема поиска и испытания материалов, из которых будут изготавливаться его наиболее энергонагруженные внутрикамерные узлы. Им придется работать при экстремальных тепловых нагрузках в потоках высокоэнергетических заряженных частиц [3].

Токамак КТМ, реализуемый в г. Курчатов Восточно-Казахстанской области, призван решить проблему полномасштабного испытания материалов для установки ITER и внести существенный вклад в развитие технологий управляемого термоядерного синтеза. Это первый в мире специализированный токамак, предназначенный для испытания функциональных и

конструкционных материалов будущей термоядерной энергетики. На рисунке 2 представлена 3D модель сечения токамака КТМ с обозначением его основных функциональных узлов и комплектующих.

Помимо исследования материалов, благодаря конструктивным особенностям КТМ, а именно аспектному отношению, равному двум, токамак КТМ поможет решать задачи в фундаментальной области – изучения физики плазмы в установках подобной конфигурации. Для КТМ, основным отличием от аналогичных установок является наличие специализированного диверторного стола для размещения исследуемых образцов и транспортного-шлюзового устройства, необходимого для оперативной замены исследуемых образцов без нарушения вакуумных условий. Это существенно экономит время подготовки и проведения экспериментов. Стоит обратить внимание, что тепловая нагрузка на дивертор КТМ составляет до 20 МВт на квадратный метр, что соответствует тепловым нагрузкам установки ITER [4]. В таблице 1 представлены основные параметры установки КТМ.

Таблица 1. Основные параметры установки КТМ.

Большой радиус плазмы, м	0,9
Малый радиус плазмы, м	0,45
Аспектное отношение А	2
Удлинение плазмы K_{95}	1,7
Тороидальное магнитное поле на оси $B_{то}$, Тл	1
Ток плазмы, кА	750
Длительность тока, с	4–5
Мощность ВЧ-нагрева, МВт	5–7
Мощность тепловой нагрузки на приемные диверторные пластины, МВт/м ²	2–20

9 июня 2017 года, в преддверии открытия международной выставки ЭКСПО-2017 «Энергия будущего», проходившей в столице Республики Казахстан – Астане, был успешно реализован 1-й этап физического пуска токамака КТМ, целью которого являлись отладка и проверка работоспособности практически всех штатных систем КТМ. В ходе проведения 1-го этапа физического пуска был реализован плазменный разряд с током плазмы в 10 кА и длительностью 20 мс.

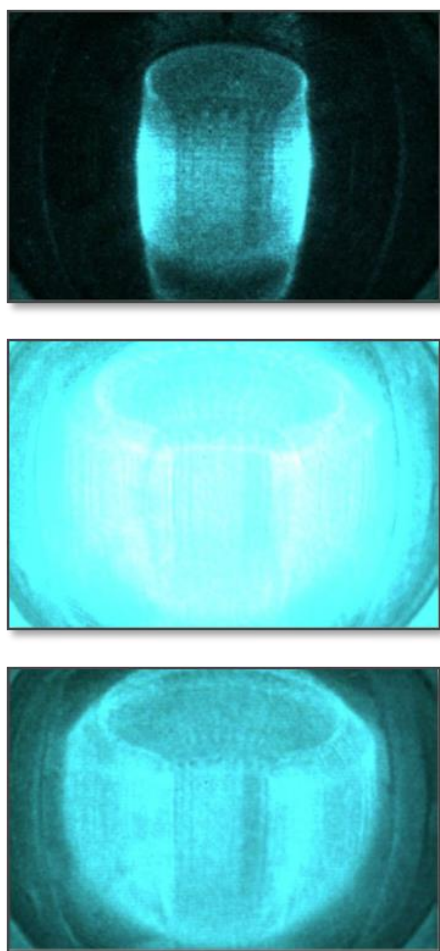


Рисунок 3. Видеокадры плазменного разряда в установке КТМ.

На рисунке 3 представлены видеокадры плазменного разряда в установке КТМ во время проведения 1-го этапа физического пуска.

В настоящее время активно ведутся подготовительные работы по реализации 2-го и завершающего этапа физического пуска установки КТМ, на котором будут задействованы все необходимые штатные технологические системы комплекса. 2-й этап физического пуска предполагает получение плазмы в омическом режиме на пониженных параметрах с максимальным током в импульсе до 100 кА и временем плазменного разряда до 100 мс. С получением данных параметров плазменного разряда комплекс КТМ планируется ввести в эксплуатацию. В период до 2020 года в процессе реализации соответствующих научно-исследовательских работ установку КТМ планируется вывести на проектные параметры разряда, при которых ток плазмы увеличится до 750 кА, а время удержания плазмы до 5 сек.

Необходимо отметить, что установка КТМ и ее основные технологические системы являются уникальными и не имеют аналогов в мире, в связи с чем каждый этап выхода на проектные параметры представляет собой серьезную научно-техническую задачу.

К примеру – для осуществления плазменного разряда в установке типа токамак необходимо реализовать сложные сценарии изменения токов в обмотках его электромагнитной системы. Плазма создается и удерживается внутри вакуумной камеры благодаря сложной суперпозиции электромагнитных полей. Для инженерного (базового) сценария плазменного разряда за время порядка 5 с. токи изменяются по довольно сложным законам с большой амплитудой и высоким значением производной. В целях реализации токовых сценариев в обмотках токамака КТМ создается система их импульсного электропитания, представляющая собой сложный и распределенный электротехнический комплекс с собственной системой цифрового управления и противоаварийной автоматикой.

Основная сложность создания подобных электротехнических комплексов заключается в отсутствии подходящего типового промышленного оборудования и комплектующих. Требуется создавать нетиповые опытно-экспериментальные образцы оборудования для решения конкретных поставленных задач. Учитывая сложность и большую установленную мощность (120 МВт для установки КТМ) системы импульсного электропитания актуальным становится вопрос минимизации возможности и последствий аварийных ситуаций, оптимизации характеристик оборудования, создания средств оперативной диагностики и противоаварийной автоматики [5].

На рисунке 4 представлена структурная схема системы импульсного электропитания токамака КТМ.

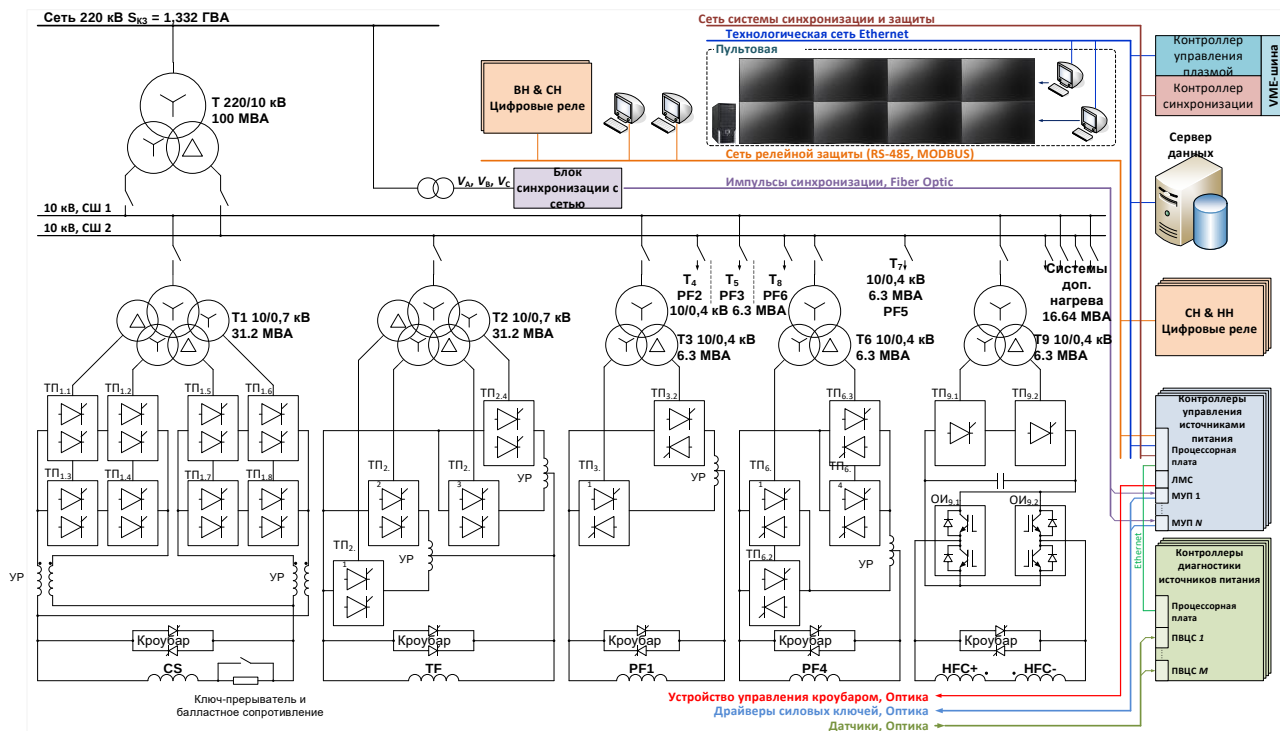


Рисунок 4. Структурная схема системы импульсного электропитания токамака КТМ [5].

Токи в обмотках электромагнитной системы установки КТМ формируются при помощи 9-ти (по числу обмоток) источников импульсного электропитания, представляющих собой группу из 2-х понижающих трансформаторов 31,2 МВА 10/0,7 кВ, 7-ми понижающих трансформаторов 6,3 МВА 10/0,4 кВ, полупроводникового преобразовательного комплекса, состоящего из 30-ти унифицированных тиристорных преобразователей мощностью в 15 МВт каждый, полупроводникового ключа-прерывателя на ток до 30 кА в источнике питания обмотки центрального соленоида, инвертора напряжения частотой 1 кГц, мощностью 3 МВт в источнике питания обмотки быстрого управления плазмой, 10-ти уравнивающих реакторов на токи до 30 кА, а так же иного электротехнического оборудования [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. International Energy Agency. Key world energy statistics 2016 (<http://www.iea.org/statistics/>). Paris, France 2016. – 80 pp.
2. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Climate Change 2014: Synthesis Report. IPCC, Geneva, Switzerland. – 151 pp.
3. <https://www.iter.org/>
4. Назарбаев Н.А., Школьник В.С., Батырбеков Э.Г., Березин С.А., Лукашенко С.Н., Скаков М.К. Проведение комплекса научно-технических и инженерных работ по приведению бывшего Семипалатинского испытательного полигона в безопасное состояние. Курчатов, 2016 – стр. 35–60.
5. Д.Б. Зарва, А.А. Дериглазов, Э.Г. Батырбеков, И.Л. Тажибаева, В.М. Павлов, А.М. Ли, А.А. Мезенцев, С.В. Меркулов, Ю.Н. Голобоков. Электротехнический комплекс системы импульсного электропитания токамака КТМ. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез, 2018, том 41, выпуск 2, с. 59–70.

ҚАЗАҚСТАНДЫҚ КТМ МАТЕРИАЛТАНУ ТОКАМАГЫН ҚҰРУ ЖОБАСЫ ТУРАЛЫ

¹⁾ Д.Б. Зарва, ¹⁾ Э.Г. Батырбеков, ¹⁾ М.К. Сқақов, ¹⁾ И.Л. Тәжібаева, ²⁾ В.М. Павлов

¹⁾ *«Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы» РМК, Құрчатов, Қазақстан*

²⁾ *Томск политехникалық ұлттық зерттеу университеті, Томск, Ресей*

Жұмыста қазіргі заманғы энергетиканың жай-күйіне және оның жаһандық экологияға әсеріне қысқаша шолу ұсынылған. Болашақта қалыптасқан энергетикалық дағдарыс жағдайынан ықтимал шығу амалы ретінде термоядролық энергетиканың негізгі басымдықтары баяндалған. Болашақтың термоядролық реакторларында плазмамен ұстасқан ішкі камералық элементтер дайындау жоспарланған материалдарды толық ауқымды зерттеу мәселесін шешуге арналған КТМ қондырғысына шолу жасалды. Импульстік электрмен қамту жүйесінің мысалында токамак типтес қондырғылардың негізгі технологиялық жүйелерін әзірлеу, енгізу және іске қосу проблемасы айтылған.

PROJECT ON CONSTRUCTION OF KAZAKHSTAN MATERIAL TESTING TOKAMAK KTM

¹⁾ D.B. Zarva, ¹⁾ E.G. Batyrbekov, ¹⁾ M.K. Skakov, ¹⁾ I.L. Tazhibayeva, ²⁾ V.M. Pavlov

¹⁾ *RSE “National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan”, Kurchatov, Kazakhstan*

²⁾ *National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia*

Article presents a short overview of the modern power engineering condition and its impact on global ecology. The main advantages of thermonuclear power engineering are highlighted as a potential solution of power crisis in the future. KTM facility overview is presented, meant for solution the issue on large-scale study of materials, planned to be used for intrachamber plasma facing elements production for future thermonuclear reactors. The problem of the basic technological systems development, introduction and commissioning is exposed on the example of power supply pulse system.