

УДК 621.039.6

КОВАЛЕНКО А.И., студент 3 курса факультета ветеринарной медицины
Научный руководитель – **Братушкина Е.Л.**, канд. вет. наук, доцент
УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной
медицины», г. Витебск, Республика Беларусь

РЕАКТОР ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

Введение. Человечество с момента своего появления пытается изучать окружающие объекты и использовать их себе на пользу. В какой-то момент технологии достигли такого уровня развития, что человечество смогло начать изучение космических тел, в том числе звезд и процессов, протекающих в них.

Материалы и методы исследований. Целью исследования являлась изучение создания реактора термоядерного синтеза. Методологию исследования составили эмпирические и теоретические общенаучные методы: контент-анализ, изучение, обобщение, синтез, сравнение.

Результаты исследований. В 1950-е годы академик Андрей Сахаров предложил для изучения процессов, происходящих в ядрах звезд, создание реактора, который впоследствии был назван Токамак. В 1954 году в СССР был построен первый в мире Токамак. Далее небольшие экспериментальные установки начали появляться в таких странах как США, Япония, Германия, Великобритания. Благодаря этому, человек смог доказать, что способен создать и поддерживать реакции, происходящие в ядрах звезд. Токамак – тороидальная вакуумная камера с магнитными катушками – устройство, предназначенное для создания необходимых условий проведения реакции термоядерного синтеза. К таким условиям относятся температура приблизительно 150 млн. °С, удержание в подвешенном состоянии плазмы, высокая плотность плазмы.

Под термоядерным синтезом понимают реакцию, в которой 2 ядра атомов взаимодействуют друг с другом, в результате чего получается новое вещество, и выделяется огромное количество энергии. Самой используемой реакцией является взаимодействие дейтерия и трития с образованием гелия-4, нейтронного излучения и тепловой энергии.

На данный момент все существующие токамаки являются экспериментальными установками, они не предназначены для получения энергии и тратят ее больше, чем производят. Но уже в 1980-е начались разработки плана по созданию такой установки, которая производила бы больше энергии, чем потребляла для поддержания реакции. Так в 1985 в Женеве встретились лидеры двух мировых держав СССР и США – Михаил Горбачев и Рональд Рейган. На саммите генсек ЦК КПСС Михаил Горбачев предложил реализовать совместный международный проект по развитию термоядерной энергетики в мирных целях. Спустя год между американскими, советскими, европейскими и японскими учеными было достигнуто соглашение по проекту, началась проработка концептуального дизайна крупного термоядерного комплекса ITER. Проработка инженерных деталей затянулась, США то выходили, то возвращались в проект,

к нему со временем присоединились Китай, Южная Корея и Индия. Участники разделяли обязанности по финансированию и непосредственным работам, а в 2010 году, наконец, стартовала подготовка котлована под фундамент будущего комплекса. Его решили строить на юге Франции возле города Экс-ан-Прованс.

Так что же такое ITER? Это огромный научный эксперимент и амбициозный энергетический проект по строительству самого большого токамака в мире. Сооружение должно доказать возможность коммерческого использования термоядерного реактора, а также решить возникающие физические и технологические проблемы на этом пути.

Самой важной частью комплекса является непосредственно токамак. Он состоит из нескольких составных частей. Вакуумная камера объемом 850 м^3 используется как среда для проведения реакции. Инжекторы нейтрального луча и радиочастотного нагрева обеспечивают плазму веществами для реакции и нагревают плазму до 150 млн. °С. На внутренних стенках камеры расположены специальные модули, которые называют бланкетами. Внутри них циркулирует вода. Вырывающиеся из плазмы свободные нейтроны попадают в эти бланкеты и тормозятся водой. Из-за чего она нагревается. Сами бланкеты защищают всю остальную махину от теплового, рентгеновского и нейтронного излучения плазмы. Дивертор будет обеспечивать удаление излишков тепла и продуктов реакции из камеры. В реакторе предусмотрены специальные диагностические модули для контроля условий реакции. Для поддержания плазмы в подвешенном состоянии используется 48 сверхпроводящих магнитов. Снаружи вся конструкция окружена криостатом высотой 30 м, таким же диаметром и объемом 16 тыс. м^3 . Криостат защищает элементы реактора от перегрева, а так же обеспечивает условия для нормальной работы магнитной системы.

Производство всего этого оборудования разделено между странами-участницами. Например, над частью бланкетов работают в России, над корпусом криостата — в Индии, над сегментами вакуумной камеры — в Европе и Корее.

Но это отнюдь не быстрый процесс. К тому же права на ошибку у конструкторов нет. Команда ITER сперва моделирует нагрузки и требования к элементам конструкции, их испытывают на стендах (например, под воздействием плазменных пушек, как дивертор), улучшают и дорабатывают, собирают прототипы и опять тестируют перед тем, как выдать финальный элемент. Но одно дело собрать. И совсем другое — все это обслуживать. Из-за высокого уровня радиации доступа к реактору нет. Для его обслуживания разработано целое семейство роботизированных систем. Часть будет менять бланкеты и кассеты дивертора (весом под 10 тонн), часть — управляться удаленно для устранения аварий, часть — базироваться в карманах вакуумной камеры с HD-камерами и лазерными сканерами для быстрой инспекции. И все это необходимо делать в вакууме, в узком пространстве, с высокой точностью и в четком взаимодействии со всеми системами. Для обслуживания всей системы будут построены криокомбинат для выработки жидкого азота и гелия, здание выпрямителей магнитной системы с трансформаторами, трубопроводы системы охлаждения

(диаметром по 2 метра), систему сброса тепла с 10 вентиляторными градирнями и многое другое.

Токамак ITER станет первым термоядерным реактором, который будет вырабатывать больше энергии, чем необходимо для нагрева самой плазмы. К тому же он сможет поддерживать ее в стабильном состоянии намного дольше ныне существующих установок. Ученые утверждают, что именно для этого и нужен столь масштабный проект.

С помощью такого реактора специалисты собираются преодолеть разрыв между нынешними небольшими экспериментальными установками и термоядерными электростанциями будущего. Например, рекорд по термоядерной мощности был установлен в 1997 году на токамаке в Британии — 16 МВт при затраченных 24 МВт, тогда как ITER конструировали с прицелом на 500 МВт термоядерной мощности от 50 МВт вводимой тепловой энергии.

На токамаке будут испытаны технологии нагрева, контроля, диагностики, криогеники и дистанционного обслуживания, то есть все методики, необходимые для промышленного образца термоядерного реактора. Однако не стоит забывать, что это эксперимент. Токамак не будет оборудован турбинами или другими системами конвертации тепла в электричество. То есть коммерческого выхода в виде непосредственной генерации энергии не будет.

В случае успешных результатов эксперимента, у человечества появится новый альтернативный источник энергии. Типичные ядерные реакторы работают на десятках тонн радиоактивного топлива (которые со временем превращаются в десятки тонн радиоактивных отходов), тогда как термоядерному реактору необходимы лишь сотни грамм трития и дейтерия. Первый можно вырабатывать на самом реакторе: высвобождающиеся во время синтеза нейтроны будут воздействовать на стенки реактора с примесями лития, из которого и появляется тритий. Запасов лития хватит на тысячи лет. В дейтерии тоже недостатка не будет — его в мире производят десятками тысяч тонн в год.

Термоядерный реактор не производит выбросов парниковых газов, что характерно для ископаемого топлива. А побочный продукт в виде гелия-4 — это безвредный инертный газ.

Но есть и минусы. Прежде всего, это банальная сложность запуска самоподдерживающейся реакции. Ей нужен глубокий вакуум. Сложные системы магнитного удержания требуют огромных сверхпроводящих магнитных катушек. Все это выливается в колоссальные денежные затраты. В то же время не стоит забывать о том, что термоядерные реакторы являются источниками ионизирующего излучения, и потому требуется тщательная изоляция реактора от окружающей среды. Однако термоядерные реакторы достаточно безопасны. При любой катастрофе термоядерная реакция попросту прекратится без каких-либо серьезных последствий для окружающей среды или персонала, так как нечему будет поддерживать реакцию синтеза, и она просто остановится.

Заключение. Эра термоядерной электроэнергетики — светлое будущее, которое позволит человечеству решить проблему конечности ископаемых энергоносителей.

Литература.

1. Арцимович, Л. А. Управляемые термоядерные реакции. — Москва: Физматлит, 1961. — 467 с. 2. Лукьянов С. Ю. «Горячая плазма и управляемый ядерный синтез» «Наука», Москва: МИФИ, 1999. — 424 с. 3. Басов, Н. Г. Физика лазерного термоядерного синтеза / Н. Г. Басов, И. Г. Лебо, В. Б. Розанов. - Москва : Знание, 1988. - 174 с. 4. Современная концепция естествознания: начала и образ науки в массовом образовании / Е. А. Толкачев. - Минск : РИВШ, 2012. - 212 с. : рис. - (Концепция современного естествознания). - Библиогр.: с. 204. 5. R. Betti and O. A. Hurricane. Inertial-confinement fusion with lasers // Nature Physics. — 2016. — Vol. 12. — P. 435–448. 6. <https://www.iter.org/>

УДК 577.34:633.2/.4

КОВАЛЬКОВА П.Ф., БОРОДИН А.Ю., КУХТА К.С., студенты (3 курс, факультет ветеринарной медицины)

Научный руководитель – **Петроченко И.О.**, ассистент

УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», г. Витебск, Республика Беларусь

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА КОРМОВ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ БЫХОВСКОГО РАЙОНА

Введение. Широкомасштабное радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных земель, определившее поступление радионуклидов в организм человека с продуктами питания и последующее его облучение, в настоящее время является одним из наиболее значимых радиоэкологических последствий чернобыльской катастрофы. В Республике Беларусь первоначально было загрязнено 1866,0 тыс. гектаров сельскохозяйственных земель. К 2021 году площади сельскохозяйственных земель в Республике Беларусь, загрязненные цезием-137 с плотностью более 37 кБк/м² сократились до 957 тыс. гектаров, в том числе 589 тыс. гектаров пахотных земель.

Материалы и методы исследований. В процессе исследования производился теоретический анализ научных источников, их сравнение и обобщение, а также изучение социально-радиационного паспорта Быховского района Могилевской области.

Результаты исследований. Одной из задач реабилитации радиоактивно загрязненных территорий является вовлечение в хозяйственную деятельность земель с высокими уровнями радиоактивного загрязнения почв для получения нормативно-чистых кормов и продукции животноводства. Лучший эффект достигается при стойлово-выгульном содержании крупного рогатого скота в летний период, когда зеленые корма скармливаются в скошенном виде. За счет введения такой системы удается значительно снизить радиоактивность мяса и молока. Отмечено уменьшение поступления радионуклидов в молоко в 3–5 раз,