

УДК 621.039.543.6

ТОПЛИВНЫЙ БАЛАНС ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ С БЫСТРЫМИ РЕАКТОРАМИ БЕЗ УРАНОВОГО БЛАНКЕТА

Наумов В.В., Орлов В.В., Смирнов В.С. (НИКИЭТ)

При оценке минимальной мощности быстрого реактора, охлаждаемого свинцом с нитридным уран-плутониевым топливом, обладающего коэффициентом воспроизводства активной зоны ~ 1 , было установлено, что электрическая мощность ~ 300 МВт может быть получена при замене уранового бланкета на более эффективный свинцовый отражатель. Рассмотрение этого варианта указало и на другие его достоинства: глубоко отрицательный интегральный пустотный эффект реактивности, использование нейтронов утечки для трансмутации долгоживущих продуктов деления, упрощение конструкции реактора с выносом органов регулирования за пределы активной зоны, уменьшение объема переработки топлива и, наконец, исключение производства плутония оружейного качества. По этим причинам и реакторы электрической мощностью 600 и 1000 МВт рассматриваются без уранового бланкета.

Избыточное производство и короткое время удвоения плутония в качестве главных критериев разработки быстрых реакторов, являвшиеся ранее одним из главных мотивов выбора натриевого теплоносителя, ушли в прошлое, уступив место критериям безопасности и экономики.

С точки зрения безопасности важным является достижение коэффициента воспроизводства активной зоны ~ 1 со снижением запаса реактивности $\Delta\rho < \beta_{\text{эф}}$, но уже это позволяет исключить расходы ядерного топлива на подпитку реактора. Избыточное воспроизводство уранового бланкета позволяет накопить плутоний для пуска новых реакторов. Но в начальный период можно воспользоваться для этого плутонием, извлеченным из отработавшего топлива тепловых реакторов, а также освобождающимся оружейным. В отдаленном будущем, когда ядерная энергетика стабилизируется, избыточное воспроизводство также не потребуется. Оно может оказаться нужным лишь в ограниченный период времени, когда запасы плутония исчерпаны, а темпы роста ядерной энергетики еще велики. Но и в этот период можно обойтись без избыточного воспроизводства и бланкета, замещая дефицит плутония ^{235}U . Ниже дается оценка увеличения при этом расходов природного урана. Если оно не выходит за пределы его доступных ресурсов, то выгоды от исключения бланкета скорее всего перекроют проигрыш в расходах урана.

Долговременный сценарий развития ядерной энергетики России. Предполагается, что мощности тепловых реакторов (корпусных и канальных) до 2010 г. возрастут с 20 до 30 ГВт. В последующие годы строительство тепловых реакторов различных типов продолжится умеренными темпами главным образом для обеспечения локальных нужд в тепле и электричестве, в особенности удаленных районов страны.

Магистраль же ядерной энергетики связана с централизованным производством электричества на крупных АЭС, использующих быстрые реакторы естественной безопасности (рис. 1). Принятый здесь рост ядерных мощностей к 2050 г. примерно в 10 раз с увеличением их доли в производстве первичной энергии с 3% до $\sim 1/3$

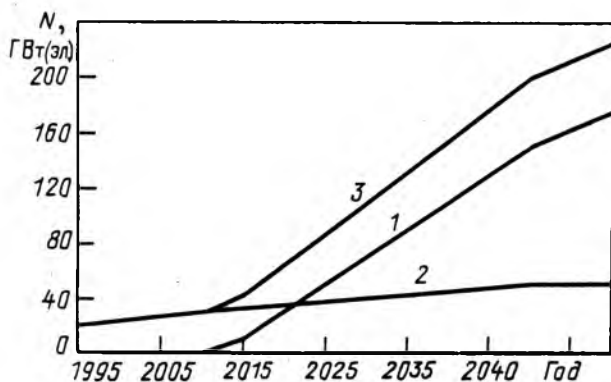
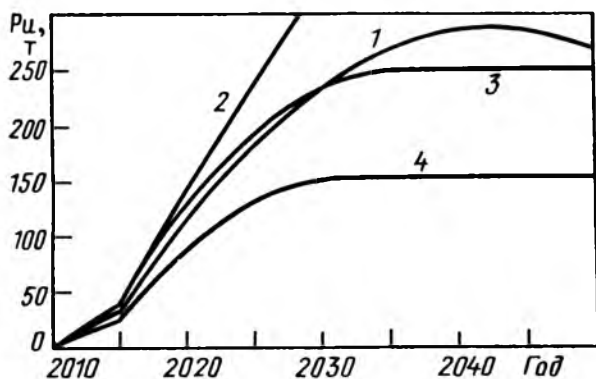
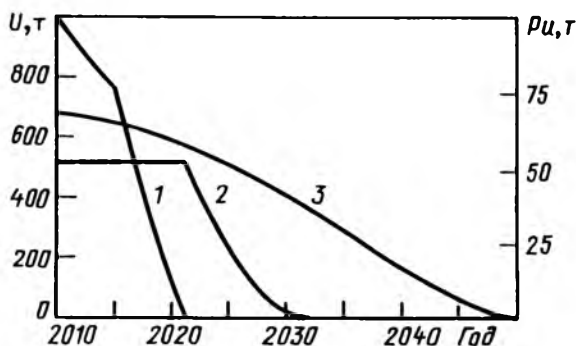


Рис. 1. Развитие ядерной энергетики России на быстрых (1) и тепловых реакторах (2), суммарное (3)



Р и с. 2. Потребность развивающейся системы быстрых реакторов в оружейном и накопленном до 2010 г. энергетическом плутонии: 1, 2 — топливный цикл без вовлечения ^{235}U в реакторах с зонами воспроизводства (1) и без них (2); 3, 4 — топливный цикл в реакторах без зон воспроизводства с 10 (3) и 20%-ным замещением плутония (4)



Р и с. 3. Использование запасов оружейного (1) и энергетического плутония (2) и оружейного урана (3) при развитии системы быстрых реакторов

соответствии со сценарием. После 2030 г. расход обогащенного урана на быстрые реакторы начинает падать, а к 2050 г. прекращается. За пределами 2050 г. быстрые реакторы снижают и потребление плутония из тепловых реакторов, что позволит сокращать и расход урана на тепловые реакторы.

Суммарные расходы оружейного урана на быстрые реакторы оказываются равны ~700 т, расходы природного урана на тепловые реакторы ~300 тыс. т, что намного ниже его разведанных ресурсов. Сокращение со временем количества плутония и оружейного урана на складах показано на рис. 3.

Быстрые реакторы с топливом плутоний— ^{235}U . Замещение 20% плутония на ^{235}U слабо влияет на эффекты реактивности, но заметно увеличивает $\beta_{\text{эф}}$ (на 20—25%). Подбором композиции и размеров активной зоны изменение реактивности между перегрузками топлива может быть сделано достаточно малым, так что полный запас реактивности остается $\Delta\rho < \beta_{\text{эф}}$.

Заключение. Исключение уранового blankets упрощает быстрый реактор и улучшает некоторые его характеристики, одновременно исключая производство плутония оружейного качества. При утилизации накопленного плутония и оружейного урана в таких реакторах на их основе может быть в следующем веке развита ядерная энергетика крупных масштабов.

(при этом доля электричества возрастает с ~1/4 до 1/2 в общем топливном балансе) позволит обеспечить растущие потребности, включая увеличение экспорта электроэнергии, без увеличения добычи обычного топлива для энергетических нужд.

Баланс ядерного топлива. В расчетах принималось, что весь плутоний направляется на ввод быстрых реакторов с коэффициентом воспроизводства, равным ~1,05, при загрузке в топливный цикл $g = 7 \text{ т Pu/ГВт(эл.)}$, а недовыгоревший в тепловых реакторах уран после переработки возвращается в них же.

Запасы плутония, накопленные к 2010 г. (они приняты в количестве 100 т оружейного плутония и 50 т плутония, извлеченного из отработавшего топлива тепловых реакторов), были бы израсходованы на ввод быстрых реакторов вскоре после 2020 г. (рис. 2). Но если использовать в быстрых реакторах вместо топлива плутоний+обедненный уран смесь плутоний+обогащенный (до ~4%) уран или же смешанную загрузку твэлов из плутония с обедненным ураном и твэлов из обогащенного (~13%) урана, получаемого из оружейного урана, то ввод быстрых реакторов может быть осуществлен в