

# 1 GCR

Первые 8 (9) реакторов Франции были газоохлаждаемого типа проекта **UNG**G — Uranium Naturel Graphite Gaz. Несмотря на то, что все реакторы формально принадлежат одному проекту, каждый из них имеет множество конструктивных особенностей.

**Замедлитель** — графит,

**Теплоноситель** — углекислый газ,

**Топливо** — природный металлический уран.

Вопреки расхожему мнению, проект **UNG**G развивался **независимо** от британского проекта **Магнокс**, несмотря на аналогичные требования.

Первый реактор **Marcoule G-1** обычно не включается в список энергоблоков, несмотря на то, что подключался в сеть и имел мощность в 2 МВт. Прямое назначение данного реактора — **наработка плутония**, а будучи включенным в сеть, реактор потреблял больше электроэнергии, чем был способен выдать.

# 2 HWGCR

**АЭС Бреннилис** имеет один энергоблок с тяжеловодным газоохлаждаемым реактором (**HWGCR**) мощностью 75 МВт.

**Введена** в эксплуатацию в **1967** году, **выведена** из эксплуатации в **1985**. Причиной закрытия стала смена направления французской атомной энергетики **в пользу реакторов PWR**.

15 августа 1975 года на станцию была произведена **террористическая атака**. Два взрыва слегка повредили турбину и уничтожили линию телеграфа. Ответственность взяла на себя радикальная группировка «**Фронт освобождения Бретани**». В **1979** году данная группировка **уничтожила линию электропередачи**, соединяющую АЭС с сетью, в связи с чем **реактор был остановлен**. По сей день это единственный в истории случай, когда террористической группировке удалось остановить работу АЭС.

Стоимость **вывода** АЭС Бреннилис из эксплуатации обошлась в **482 млн. евро**, что на много превысило ожидания.

## 3 PWR

**Нефтяной кризис 1974** г. привел французские власти к пониманию того факта, что **только атомная** энергетика способна обезопасить страну от подобных кризисов. Для реализации больших объемов выработки электроэнергии требовался **надежный и простой в эксплуатации** реактор. На этот момент у страны уже был опыт эксплуатации первого во Франции PWR на АЭС ШО, что и определило выбор технологии **PWR** как основной для дальнейшего развития.

По всей стране строятся реакторы типов **CP0, CP1 и CP2** мощностью в **900 МВт** (исключением является лишь **первый PWR на АЭС ШО мощностью 320 МВт**).

Реакторы типа **PWR** — **единственные** реакторы, которые продолжают работать на **данный момент**. **Всего** в эксплуатации находятся **56** реакторов и **1** — в процессе **строительства**, **3** реактора типа PWR (серии CP0) были **выведены** из эксплуатации.

## 4 FBR

На первых этапах развития реакторов на быстрых нейтронах перед проектировщиками стояло много вопросов, которые прежде никто не рассматривал.

Для этих целей был спроектирован **экспериментальный реактор «Рапсодия»**. Была выбрана петлевая схема отвода тепла — это был оптимальный выбор для экспериментальной установки.

Строительство началось в 1962 году, и в этом же году реактор достиг критичности при номинальной мощности в 20 МВт-тепловых (далее — МВт(т)). В конце 1967 года его мощность была увеличена до 24 МВт(т), и в 1970 году, после доработки активной зоны, до 40 МВт(т).

Уже тогда стала очевидной главная проблема эксплуатации подобных ЯЭУ — течи высоко химически-активного натрия.

Опыт эксплуатации реактора «Рапсодия» окончательно установил, что компоновка энергетической установки **обязана быть интегральной**.

Мощность первого энергетического реактора **«Феникс»** выбиралась из двух вариантов: 600 и 1200 МВт (тепловая). Для начала решили ограничиться малым. Электрическая же мощность Феникса по проекту и вовсе **не превышала 250**

**МВт, фактически** за все время эксплуатации — **не поднималась выше 230**. Более того, с 1997 года после ряда происшествий было принято решение **ограничить** мощность до **130 МВт**.

Частые неполадки и решение об ограничении мощности снизило **КИУМ** до рекордно низких **41 %**.

Проблеме скачков реактивности стоит уделить отдельное внимание. Данная проблема получила название **A.U.R.N.** (фр. Arrêt d'urgence par réactivité négative) — автоматический аварийный останов по отрицательной реактивности. Всего было зафиксировано **4 события**: 6 августа, 24 августа и 14 сентября 1989 года и 9 сентября 1990 года, произошедших по одному и тому же сценарию:

1. Почти линейное резкое увеличение отрицательной реактивности и, соответственно, уменьшение мощности. Всего за 50 мс мощность падала до 28–45 % от начальной (в этот момент срабатывала аварийная защита).
2. Симметричный резкий подъем мощности почти до начального значения.
3. Снова падение, хотя и менее резкое и глубокое, через 150 мс после начала события.
4. Вторичный пик, который слегка превосходит изначальную мощность реактора.
5. Падение мощности в результате введения автоматикой в активную зону поглощающих стержней.

Проблема так и не получила окончательного объяснения, наиболее правдоподобным считается объяснение с помощью явления, получившего название «Core-flowering» (англ. «расцветание» (подобно бутону) активной зоны).

В связи с тем, что проект «**Суперфеникс**», представлявший из себя масштабирование Феникса, развивался на фоне проблем не столь удачного предка, еще на этапе строительства новый проект стал объектом **политических и идеологических скандалов**.

В середине апреля 1976 года президент Валери Жискар д'Эстен и его энергетические советники приняли политическое решение о строительстве Superphenix.

Летом 1976 года на площадку проникло почти 20 тысяч демонстрантов, протестовавших против планов по строительству быстрого реактора. В период

1974—1976 годов в оппозиции проекту находилось около 50 местных муниципалитетов. Противостояние накалялось и нашло свой трагический выход в событиях 31 июля 1977 года. В этот день около 50 тысяч демонстрантов вступили в схватку с полицией. Один из протестующих был убит, двое потеряли руки и ноги.

18 января 1982 года стройплощадка была обстреляна с другого берега Роны из противотанкового РПГ-7. Пять ракет не нанесли существенного урона станции, но информационного масла в огонь подлили. Позже выяснилась причастность к атаке бельгийской леворадикальной организации **«Cellules Communistes Combattantes»**.

После включения станции в сеть первый серьёзный инцидент на Superphenix случился в мае 1987 года. Персонал обнаружил большую утечку натрия из бака системы обращения с топливом. Отремонтировать бак не удалось. Понадобилось 10 месяцев для разработки новой процедуры загрузки и выгрузки топливных кассет из активной зоны. После того, как была предложена новая процедура обращения с топливом, ушло ещё 13 месяцев на её квалификацию и получение разрешительных бумаг. Таким образом, Superphenix вернулся в строй только в апреле 1989 года.

После повторного пуска реактор работал на малых уровнях мощности. В июле 1990 года произошла новая беда — отказ компрессора привел к впрыску значительного объема воздуха в контур и окислению натрия. На очистку натрия ушло восемь месяцев.

А в декабре 1990 года после сильного снегопада обрушилась крыша машинного зала. Вопрос о запуске Superphenix стал предметом длительных парламентских слушаний и дебатов на национальном и региональном уровнях. В июне 1992 года правительство назначило новые общественные слушания на период 30 марта — 14 июня 1993 года. В январе 1994 года правительство получило отзыв от органов атомнадзора. В июле 1994 года, наконец, новая лицензия на эксплуатацию была выдана. Блок вернулся в строй — и проработал всего семь месяцев. Причиной очередного останова стала утечка аргона в теплообменник.

28 февраля 1997 года госсовет аннулировал эксплуатационную лицензию. 19 июня 1997 года премьер-министр Лионель Жоспен заявил: «Superphenix будет закрыт». 30 декабря 1998 года был подписан указ, оформивший решение о закрытии Superphenix.

В итоге **за 11 лет** после подключения к электросетям станция была **в работе**

**63** месяца, в основном на малой мощности; 25 месяцев она была отключена по техническим причинам, а 66 месяцев — по политическим и административным.

## 5 Будущее ядерной энергетики во Франции

По стратегии президента **Эммануэль Макрона** в 2020 г. была закрыта **АЭС Фессенхайм** в Эльзасе, что сократило число АЭС во Франции до 18.

Министр комплексных экологических преобразований **Николя Юло** 10 июля **2017** г. объявил о планах закрытия до **17** ядерных **реакторов** во исполнение закона о реформировании энергетики, предусматривающего **снижение до 50 %** доли атомной энергии в общем объеме производства электроэнергии во Франции.

Относительно недавно Франция сделала ставку на **возрождение ядерной энергетики** после десяти лет раздумий, за которые многие страны Европы вслед за Германией закрыли почти все АЭС. Решиться на многомиллиардные траты президенту **Эммануэлю Макрону** помог энергетический кризис, вызванный дефицитом **российского газа**.

## 6 Альтернативные источники энергии

Во Франции планировалось к 2025 году сократить **долю АЭС до 50 %** за счёт прироста доли **ВИЭ до 40 %**, тогда как на **долю теплоэлектростанций** останутся те же **10 %**.

Динамика ввода новых объектов по выработке электроэнергии из возобновляемых источников вселяет оптимизм в инвесторов. Планируется, что **солнечные станции** будут покрывать 5,4 тыс. МВт пиковой мощности. При этом уже в 2013 году установленная мощность солнечных панелей превышала 4 ГВт. В том же году министерство энергетики Франции анонсировало увеличение ежегодного прироста солнечных мощностей с 500 до 1 тыс. МВт.

В любом случае на ближайшую перспективу страна **не собирается отказываться** от использования ни от одного существующего ныне источника энергии. Речь, скорее всего, идёт об их рациональном **перераспределении** в общем энергобалансе страны.