



НАУКА
И ИННОВАЦИИ
РОСАТОМ

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ



**ПРЕИМУЩЕСТВА АЭС
СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ
С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ**

**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ АЭС
СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ**

**СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОЕКТЫ
АЭС СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ**

**ОБЗОР ПОТЕНЦИАЛЬНОГО
РЫНКА АЭС СРЕДНЕЙ
МОЩНОСТИ**

Государственная корпорация
по атомной энергии «Росатом»
Частное учреждение «Наука и инновации»
Центр аналитических исследований
и разработок

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»
Частное учреждение «Наука и инновации»
Центр аналитических исследований и разработок

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

Москва
2022

УДК 621.311

ББК 31.47

Ж 91

Ж 91 Атомные электростанции средней мощности. Аналитический отчёт / Журавлёв И.Б., Птицын П.Б. – М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2022. – 78 с.

ISBN 978-5-498-00904-9

© ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2022

Подписано в печать 02.09.2022. Формат 60x84 1/8. Бумага мелованная.

Гарнитура Rosatom. Печать офсетная. Усл. печ. л. 17,44.

Тираж 100 экз. Заказ № 6181.

Отпечатано в ООО «Элефант»:

610040, г. Киров, ул. Мостовая, д. 32/7,

www.hibox.pro

НАЗВАНИЕ РАБОТЫ:

Атомные электростанции средней мощности.

АВТОРЫ:

Журавлёв И.Б., руководитель группы ПННТР отраслевого Центра аналитических исследований и разработок частного учреждения «Наука и инновации».

Птицын П.Б., заместитель директора – директор отраслевого Центра аналитических исследований и разработок частного учреждения «Наука и инновации».

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Васильев Н.А., руководитель проекта Госкорпорации «Росатом».

Мохов В.А., советник АО «Атомэнергпром».

Соловьёв С.Л., научный руководитель АО «ВНИИАЭС».

Щепетина Т.Д., начальник лаборатории НИЦ «Курчатовский институт».

РЕФЕРАТ:

В настоящем аналитическом отчёте описываются результаты аналитического исследования разрабатываемых в России и за рубежом проектов атомных станций средней мощности (АССМ) с целью определения преимуществ и недостатков проектов АССМ в сравнении с проектами АЭС большой мощности с точки зрения безопасности и экономики. В ходе исследования были проанализированы требования потенциального рынка АССМ; проведено сравнение преимуществ и недостатков отечественных и зарубежных проектов АССМ. По итогам аналитического исследования представлены выводы и рекомендации для практического применения в работе Госкорпорации «Росатом». Аналитический отчёт подготовлен в рамках Плана деятельности отраслевого Центра аналитических исследований и разработок частного учреждения «Наука и инновации» на 2021 год (п. 3.4.4).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Атомная энергетика, ядерные реакторы, безопасность АЭС, АЭС средней мощности, экономический анализ.

ЦИТИРОВАНИЕ:

АЭС средней мощности. / Журавлёв И.Б., Птицын П.Б. – М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2022. – 78 с. – Рус. – Деп. 28.04.2022, № 21-В2022.

TITLE:

Medium-power nuclear power plants.

AUTHORS:

Zhuravlev I.B., Ptitsyn P.B., Centre of Analytical R&D (CARD), Private Enterprise “Science and Innovations”, State Atomic Energy Corporation Rosatom.

REVIEWERS:

Vasilyev N.A., State Atomic Energy Corporation Rosatom.

Mokhov V.A., Atomenergoprom JSC.

Solovyev S.L., VNIIAES JSC.

Shchepetina T.D., National Research Center “Kurchatov Institute”.

ABSTRACT:

The report provides an overview of the results of an analytical study of projects of medium-power nuclear power plants being developed in Russia and abroad in order to determine the advantages and disadvantages of medium power NPP projects in comparison with high-power NPP projects from the point of view of safety and economics. The scope of the study encompasses the requirements of the potential ACSM market; the comparison of the advantages and disadvantages of domestic and foreign ASMM projects. Based on the results of the analytical study, conclusions and recommendations are presented for practical application in the work of Rosatom State Corporation.

KEYWORDS:

nuclear energy, nuclear reactors, safety of nuclear power plants, medium-power nuclear power plants, economic analysis.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЭС СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ	11
2. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЭС СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ	19
3. ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, РЕАЛИЗОВАННЫХ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОЕКТАХ АЭС СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ	27
3.1. ВВЭР-440	27
3.2. AP600	36
3.3. ВВЭР-640/600	43
3.4. ВБЭР-600	51
3.5. Проекты реакторных установок средней мощности интегральной компоновки	56
3.6. Проекты АЭС малой мощности, «прорастающие» в диапазон средней мощности	59
4. ОБЗОР ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РЫНКА АЭС СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	69
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	72
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	74



ВВЕДЕНИЕ

Согласно классификации МАГАТЭ, к АЭС средней мощности относятся АЭС, имеющие установленную электрическую мощность от 300 до 700 МВт. АЭС с установленной мощностью, меньшей 300 МВт, относятся к атомным станциям малой мощности (АСММ), подробно рассмотренным в аналитическом отчёте ЦАИР 2019 г. [1], АЭС с установленной мощностью, большей 700 МВт, – к АЭС большой мощности.

Исторически тенденция развития АЭС, начиная с первой АЭС, введённой в эксплуатацию в 1954 г. в г. Обнинске, была направлена на увеличение установленной мощности энергоблоков, от малой мощности (установленная электрическая мощность первой АЭС составляла 5 МВт) к средней и далее к большой (Рисунок 1).

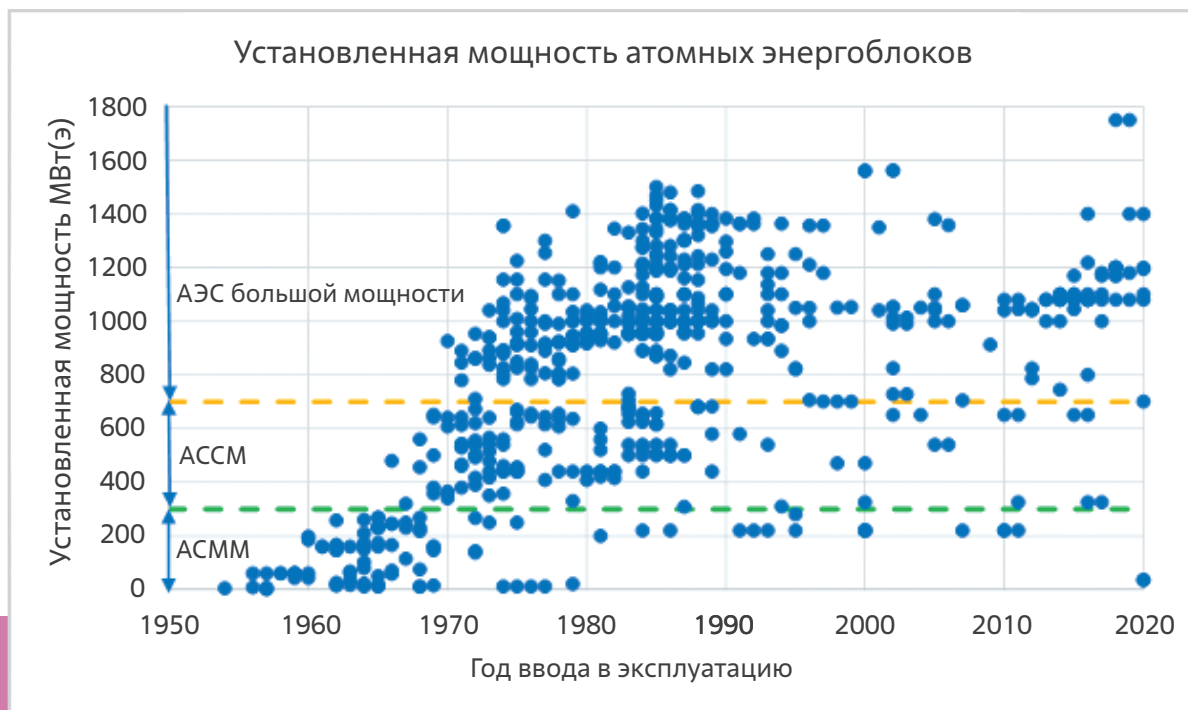


Рисунок 1.

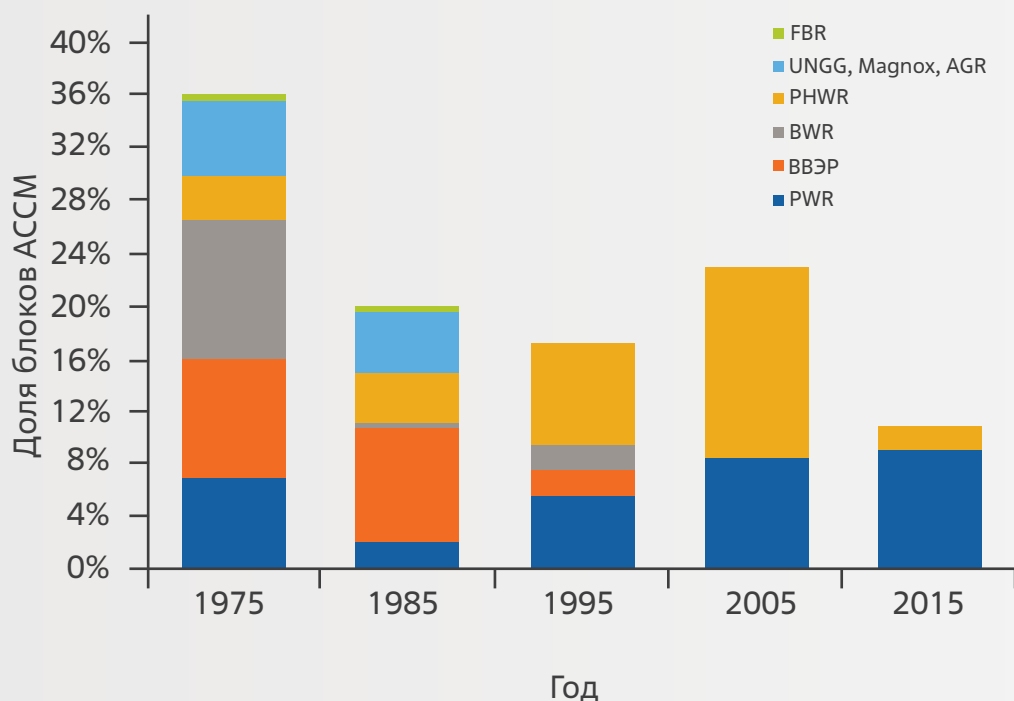
Установленная мощность атомных энергоблоков, вводимых в эксплуатацию с 1954 по 2020 г., согласно базе данных PRIS МАГАТЭ [2] (средней (300 МВт), а также средней и большой (700 МВт) мощностей)

Из графика на Рисунке 1 можно видеть, что мощность вводимых энергоблоков АЭС преодолела рубеж, разделяющий АЭС малой и средней мощности, во второй половине 60-х годов, а в 1970 году был введён в эксплуатацию первый энергоблок АЭС большой мощности (блок 2 АЭС Dresden в США установленной мощностью 926 МВт(э) с реактором BWR). Таким образом, с исторической точки зрения АЭС средней мощности являлись промежуточным звеном в эволюции энергоблоков АЭС в сторону повышения мощности.

Суть этой эволюции состояла в борьбе за повышение конкурентоспособности ядерной энергетики путём улучшения её экономических показателей, которое возможно при росте установленной мощности энергоблока за счёт снижения удельных условно-постоянных затрат. Из графика на Рисунке 2 видно, что доля блоков АССМ от общего количества вводимых в эксплуатацию энергоблоков АЭС снижалась с 1970-х по 1990-е годы. В 2000-е годы наблюдался некоторый рост доли АССМ среди

Рисунок 2.

Доля энергоблоков АССМ (по количеству) от введённых в эксплуатацию блоков АЭС в мире в 1970–2010-х годах



вводимых блоков АЭС, связанный с вводом в эксплуатацию энергоблоков PWR и PHWR в Китае, Индии, Аргентине и Румынии. В 2010-е годы доля АССМ среди вводимых энергоблоков АЭС снизилась примерно до 9%, что можно объяснить тем, что в условиях обострения конкуренции со стороны других источников электроэнергии, сопровождавшегося ужесточением требований к экономическим характеристикам АЭС, на передний план выступили экономические соображения, обеспечивающие преимущество блокам АЭС большой мощности.

В 70-е годы максимум от вводимых в эксплуатацию блоков АССМ составляли реакторы с кипящей водой (BWR), в 80-е годы – ВВЭР-440, в 1990-е и 2000-е – тяжёловодные реакторы (PHWR). В 2010-е годы вводились преимущественно блоки АССМ на основе PWR (помимо блока 2 АЭС Atucha в Аргентине полезной мощностью 692 МВт(э) с тяжёловодным реактором). В мире в настоящее время в эксплуатации находятся 83 энергоблока средней мощности. Распределение по мощности и по используемой реакторной технологии энергоблоков АЭС средней мощности, эксплуатируемых в мире на время написания отчёта, показано на Рисунках 3 и 4 соответственно.

Рисунок 3.
Распределение эксплуатируемых энергоблоков АССТМ по мощности (нетто)

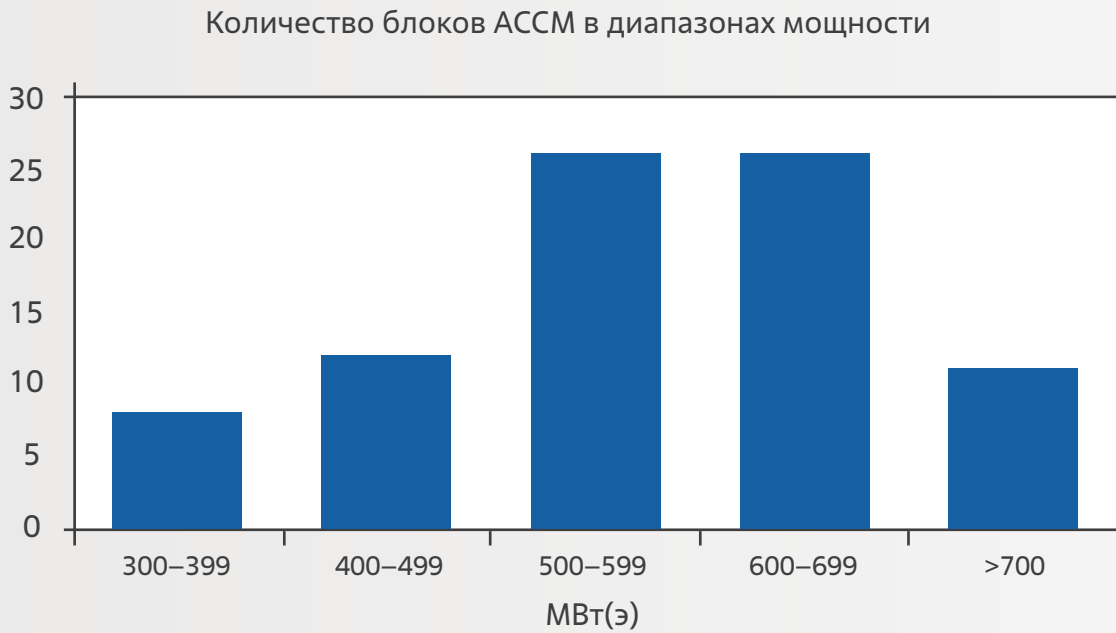
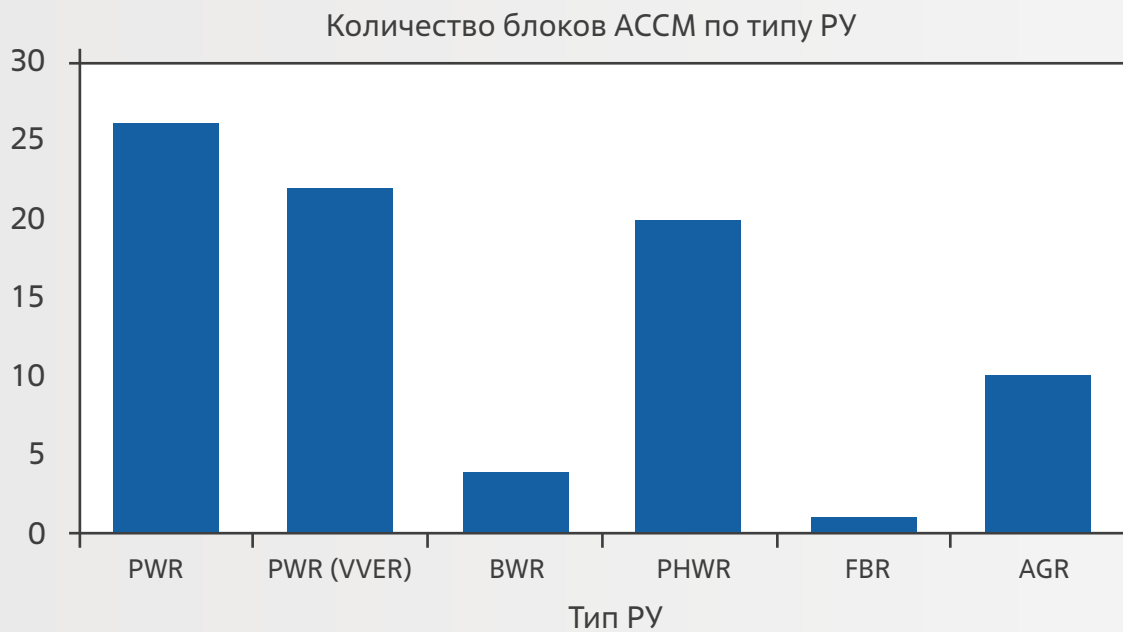


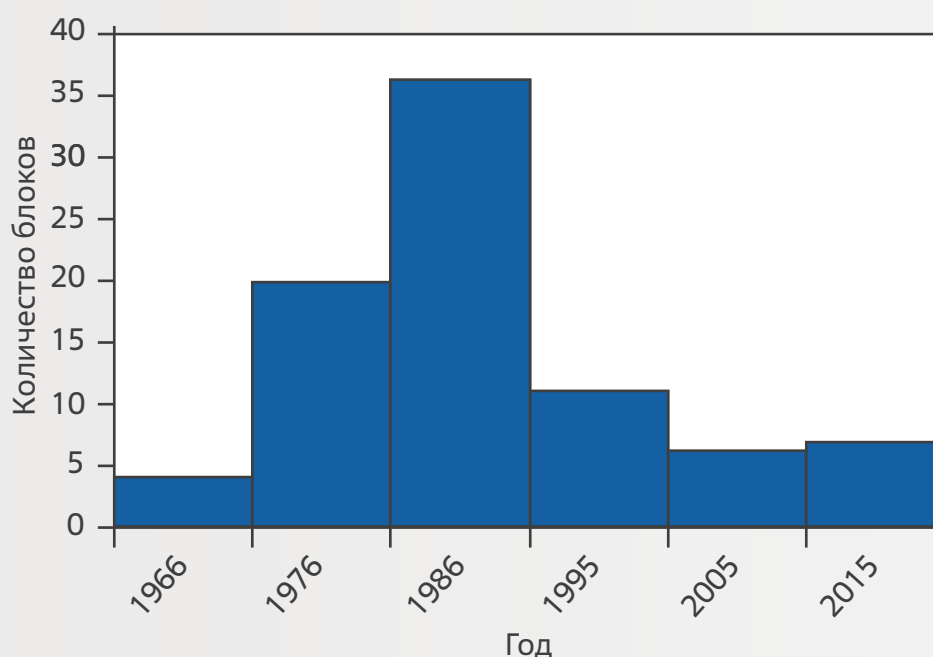
Рисунок 4.
Распределение эксплуатируемых энергоблоков АССТМ по реакторной технологии



Распределение эксплуатируемых на время написания отчёта энергоблоков АЭС средней мощности по декадам ввода в эксплуатацию показано на Рисунке 5.

Рисунок 5.

Распределение действующих энергоблоков АЭС средней мощности по декадам ввода в эксплуатацию



Из графика на Рисунке 5 видно, что большинство действующих в мире энергоблоков АССТМ были введены в эксплуатацию в период освоения атомной энергии – в 1970–1980-х годах. Таким образом, основной вопрос в отношении АЭС средней мощности состоит в том, действительно ли АССТМ являются исторически обусловленным промежуточным этапом в развитии энергоблоков АЭС, или же АССТМ имеют перспективы в современных условиях, и если да, то чем обусловлены эти перспективы.

Напрашивается вывод о необходимости анализа перспектив АССТМ с точки зрения техники, экономики, безопасности и востребованности рынком.

С полными версиями аналитических отчетов отраслевого Центра аналитических исследований и разработок можно ознакомиться на следующих ресурсах:

1. Портал отраслевого Центра аналитических исследований и разработок (доступ осуществляется через внутреннюю сеть КСПД Росатома)



2. Раздел отраслевого Центра аналитических исследований и разработок на портале «Страна Росатом» (доступ осуществляется через внутреннюю сеть КСПД Росатома)

