

俄罗斯民用船舶核动力装置发展现状与前景研究

刘宇

(黑龙江林业职业技术学院, 黑龙江牡丹江 157011)

摘要: 俄罗斯船舶核动力研究始于1952年, 经过半个多世纪的发展, 已先后有四代核动力装置服役。除将核动力用于舰艇制造外, 还以此为基础发展出小功率核电等新能源行业。本文主要介绍俄罗斯民用船舶等小型堆的发展情况和国家政策导向, 重点研究其整体发展趋势, 阐述未来堆型发展及应用方向, 并总结其对我国小型堆发展的借鉴意义。

关键词: 俄罗斯; 民用船舶; 小型堆; 小功率核电

中图分类号: TL41 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2017.07.011

俄罗斯船舶核动力研究始于1952年, 是其国家核能产业的重要组成部分。经过半个多世纪的发展, 已先后有四代核动力装置服役, 除装备海军水面和水上舰艇外, 还被引入以原子破冰船等为代表的民用船舶制造, 俄罗斯利用这些装置建成世界最大规模的民用核动力船队。进入21世纪以来, 由于北极战略需求及世界能源市场格局变化影响, 基于船舶核动力装置的小型堆发展在俄罗斯进入活跃期, 一批堆型各异的国内和国际合作项目相继出台。

1 俄罗斯民用船舶核动力装置发展现状

1.1 先发技术优势明显

核能是俄罗斯大国地位的重要象征, 其行业特点是产业链完整, 人才储备丰富。在船舶核动力乃至现代陆用小型堆设计领域, 俄罗斯国家核电集团(Rosatom)作为政企合一的行业管理者, 掌握热功率范围100kW至380MW的船舶核动力全套核心技术, 以OKBM Afrikantov设计局、JSC“NIKIET研究所”和Kurchatov研究中心等为代表的俄罗斯力量始终处于世界第一梯队领跑位置。

自1959年以来, 俄罗斯相继建成原子破冰船和轻载集装箱船等民用核动力船舶共11艘, 是世

界上唯一运行核动力民用船队的国家。民用船舶动力堆技术源于军用舰艇, 但与其军用舰艇领域多堆型动力格局不同, 民用船舶动力堆迄今全部采用OKBM Afrikantov设计局开发的压水堆。自装备首艘原子破冰船“列宁”号以来, 已有三代民用船舶核动力装置完成设计建造, 布置形式按技术断代也从分散布置循序转变为紧凑布置(蒸汽发生器模块式反应堆)和一体化布置。已装机和在建机组包括一代机OK-150; 二代机OK-900(OK-900A)、KLT-40(KLT-40M)和三代机RITM-200。其中, OK-150和OK-900作为早期型号, 共在原子破冰船上装机5台, 到1989年已全部退役。在后续二代机型号中, OK-900A装机12台, 至今仍作为6艘原子破冰船动力在使用。KLT-40装机1台, KLT-40M装机2台, 分别用于1艘轻型集装箱运输船和2艘原子破冰船。RITM-200是三代机代表型号, 自取得建造许可后, 首批2台机组已于2016年交付, 用于新型双吃水线破冰船建造; 按计划, 另有4台将分别于2018和2020年交货^[1,2]。

除船舶动力用途外, KLT-40后发展出另一款深度改进型KLT-40S, 现用于“莱蒙诺索夫”号海上浮动电站建设, 将首创利用船舶核动力技术为偏

作者简介: 刘宇(1970—), 男, 译审, 主要研究方向为产业创新政策。

收稿日期: 2017-06-30

远地区供电的先河。

本着以军带民的发展策略，以 21 世纪破冰船及中小型核电建设需求为导向，俄罗斯现积极布局以民用船舶动力为代表的小型堆技术研发。现有第三代和第四代小型堆技术方案，既能满足军民船舶建造需求，又具较大升级潜力。在可预见的未来，俄罗斯三、四代民用船舶核动力技术仍将处于世界领先地位，有能力在船舶、浮动电站及区域性小功率电站建设领域扮演角色。

1.2 在研堆型种类多样

为满足北极社会经济发展需要，除新型原子破冰船项目外，俄罗斯小型堆研发规划主要集中在核电领域。2015 年，俄罗斯国家核电集团征集小型核电站设计方案时，俄国内主要设计机构和国家科学中心都独立或联合参与其中，依托舰船动力堆设计、建造和运行经验，提出众多新型能源（动力）堆方案。

各单位推出的民用小型堆布置方式多样，总体设计延续了军用舰船核动力装置堆型多样的传统特色，电功率范围分布在 100kW~1MW，1MW~20MW 及 20MW~100MW 三个区间内，电站形式分别为固定式、海上浮动式、水下深潜式和车载式。入选的小型堆设计包括 JSC “NIKIET” 研究所的压水堆 Vitiaz、Shelf、Uniterm、Nika，沸水堆 VRK-M/VRK-100；物理能源研究所的铅铋快堆 TSV GT、SVBR-MGT，沸水堆 Akkort，水池式反应堆 Ruta-70；水压机设计局的铅铋快堆 Angstrom、SVBR-10/SVBR-50、SVBR-100；而 OKBM Afrikantov 设计局在本单位已于海上浮动电站装机的 KLT-40S 基础上，又推出高温气冷堆 VTGR、压水堆 ABV-6E 和正在新型破冰船上装机的压水堆 RITM-200 等项目^[3]。

尽管上述小型堆设计均基于前军用或民用船舶反应堆，但仅有 RITM-200 与 SVBR-100 等少数型号属电站与船舶动力双功能设计，兼顾了船舶动力与发电功能。其他则都是纯粹小型能源堆设计，主要针对陆地、水上和水下区域性小功率核电站建设需求。

在此次征集的项目之外，俄罗斯另有一个地位较特殊的小型堆项目 BREST-OD-300 铅冷快中子堆。BREST-OD-300 铅冷快中子堆研究始于 20 世纪

80 年代的 BREST 项目，其突出亮点是首次使用纯铅作为冷却剂，现作为俄罗斯国家核电集团核燃料闭合循环项目“PRORYV”的组成部分，是其未来大型商用重金属快堆试验原型机。该反应堆的设计工作已全部完成，目前处于制造前期准备阶段。

另外，还有部分如“SAKHA”等由设计单位或地方政府支持的小型核电项目，尽管从技术角度具有较好实现前景，但因受限于经费等具体困难，现基本都处于论证或研究状态。

2 俄罗斯民用船舶核动力装置政策导向

俄罗斯近年对小型核堆关注度升高，起因是国家北极战略出台，主要出发点是在满足民用原子能船舶建造需求的前提下，推动高效能国产小型堆技术研发，探索以满足区域性能源供给需求为目标的小功率核电建设道路。俄罗斯政府和俄罗斯国家核电集团已出台系列国家政策和行业发展计划，在明确指出小型堆和小功率核电发展必要性的同时，对民用原子能船舶与小功率核电建设做出了阶段性规划。

2.1 《俄罗斯 2035 年前能源战略》草案

根据能源部 2015 年 9 月公布的《俄罗斯 2035 年前能源战略》草案^[4]，对于小功率核电问题，一是提出在小功率核电等未来能源技术国际项目方面，俄罗斯将积极谋求参与合作，扩大实际影响力；二是以确保高安全水准，提高核电行业整体竞争力，优化燃料使用效率，降低单位投资额度并保证放射材料不扩散为前提，在未来重点发展的技术和材料中，将包括热电联产及用于集中供热的中小功率模块式热中子堆和快中子堆。

作为区域性能源基础设施建设方案，小功率核电已成为俄罗斯未来能源供给技术的重要选项。

2.2 《国家原子能产业发展计划》

2014 年 6 月，俄罗斯政府批准《国家原子能产业发展计划》^[5]，提出发展创新经济、安全应用核能和保障核能工业稳定发展，在不扩散的前提下维护俄罗斯地缘政治地位的目标。为完成原子破冰船队的更新，保障北方航道无障碍通航，在《核产业可持续发展生产、技术及社会经济过程保障》子计划中，一边安排维护现有原子破冰船安全运行、有序退出，一边规划投资建造三艘新一代原子破冰

船，并保证其中两艘在2020年前投入使用。在《核电站发电产能扩张》子计划中，还规划2018年前建成小功率海上浮动电站一座。

2.3 《2030年前技术升级与创新计划》

受政府委托，俄罗斯国家核电集团于2016年公布《2030年前技术升级与创新计划》^[6]。中小功率堆技术研发及产品序列营建作为潜在创新战略发展方向，被列入“重点创新方向、项目与措施”环节。

在小功率电站建设部分，该计划的工作框架是在满足北极适用要求的前提下，建造运行经济可行、有竞争力且安全（包括生态安全）的能源、储能和电气设备综合体，构建必要的设计、制造、维护或保障上述综合体运行的基础设施，在北极开发能源支撑带及远东沿海地区、北极领土海洋带等区域，实现向当地军民设施提供电能。

该技术研发方向设定有两个实施控制点（标志）：基于参照设计实施小功率核电站建造示范项目（2020年）；建造多用途快中子实验堆。

3 俄罗斯民用船舶核动力装置发展趋势

3.1 北极开发战略形成推力

2014年，俄罗斯政府先后出台《2020年前俄罗斯联邦北极地区发展及国家安全战略》和《2020年前俄罗斯联邦北极地区社会经济国家计划》^[7,8]，提出强化国家地区存在，以北方航道建设和油气资源开发促进北方地区社会发展，维护本国在北极地区的战略与经济利益。在内陆小功率核电建设前景不明确的情势下，北极开发战略给小型堆研发和商业化带来两点利多：一是北极荒原和海上油气开发亟需电力保障，局域电网和海洋工程建设势在必行；二是为实现北方航道全年通航能力，沿岸能源基础设施建设与原子破冰船队更新已纳入规划。这两点都将提升小型堆市场需求，成为小型堆商业化的新契机。

尽管受世界能源市场价格波动等因素影响，北方航道和北极油气开发等计划推进速度与预期有较大落差，但在相关项目延缓或缩减规模的同时，俄罗斯国家核电集团的小型堆前瞻性研发工作仍在有序推进，第三、第四代动力堆和能源堆设计逐步完善，计划内研发和装机项目在按部就班地进行。

3.2 压水堆技术持续主导

在以船舶核动力为代表的小型堆领域，俄罗斯国家核电集团基于近中期军民需求综合考虑，将压水堆、液态金属堆、高温气冷堆和能量直接转换堆等作为主要发展方向^[9]。

3.2.1 压水堆

压水堆技术验证性强，可在短期内实现较宽功率序列及维护设施建造，广泛用于俄罗斯第一至第四代核动力船舶（包括军用）及其他设施建设。迄今为止，俄罗斯压水堆已累积运行超过9.5万堆年，是其设计建造能力最强、装机数量最大、运行经验最丰富、技术最成熟的堆型。在可预见的未来，压水堆仍将继续在俄罗斯民用船舶制造中扮演主角，同时在小功率电站中发挥重要作用。

俄罗斯第三代民用动力压水堆技术储备丰富，升级潜力强，能充分满足当前船舶制造及其他需求，近中期内将继续构成其船舶核动力发展基础。现代压水堆的主要设计方案，从独立设备到动力装置整体，其可靠性、抗损性和安全性等各方面性能均经地面试验台验证。已取得的系列研发成果证明，俄罗斯国家核电集团已具备在以下几方面推动压水堆动力装置改进的能力：降震降噪；提高可靠性（包括堆芯在内的主要设备与反应堆寿命同步）；提高安全性（在所有技术性事故条件下，无需船舶系统、控制系统和人为干预，即可将反应堆转入安全状态）；提高自我保护、调节和自动控制水平；实现船舶反应堆全功率系列技术方案的通用性；缩减出航间歇期和维护工作量；实现通用设计，采用全周期设备和降低保养工作量以减少研发和运行成本。

自运行船舶动力压水堆及压水堆地面试验台运行以来，俄罗斯在包括小型堆在内的反应堆工作模拟方面积累了丰富的经验，有能力在核动力装置重复设计时，以计算分析方式对技术方案进行论证。根据《超级计算机和网络技术发展》总计划，针对第四代反应堆项目，俄罗斯以《超级计算机技术用于船舶反应堆新设计及“虚拟船舶核动力装置”研发》任务为指导，使数学模拟技术在业内得到落实。在100%自然循环式一体化反应堆设计中，计算分析论证经验被用于其中。

3.2.2 液态金属堆

俄罗斯液态金属堆的研究历史基本与压水堆

同步，自苏联时期以来共投入运行 12 座铅铋冷却反应堆，其中，2 座用于地面试验台，另外 10 座全用于国防中。上述反应堆建成后共装载 15 个堆芯，累积运行近 80 堆年。但因基础保障困难及传热介质质量维持技术不成熟，装备该型动力的船舶已全部提前退役。

在船舶制造领域，液态金属堆被视为对小型压水堆的有力补充。俄罗斯国家核电集团的规划是在铅铋反应堆满足小排水量、大装机功率设施建设需求的基础上，同步向小功率陆地或海上浮动电站建设市场发展，目标是在区域性供电基础设施建设中取得相应份额。科研设计单位近年所取得的系列研发成果，为基于创新技术设计（单体结构、快中子堆芯和磁流泵），开发新一代具有高核安性能与放射安全性、可靠性，重量规格及运行指标都优化的自动液态金属堆奠定了物质基础。该型反应堆之前装机于国防舰艇时所暴露出来的技术缺陷，在新完成的设计方案中都将被根除。

经俄罗斯政府批准，俄罗斯国家核电集团原计划在 2020 年前建造世界首个 SVBR-100 铅铋快堆试点发电机组。这一项目除得到《2010—2015 及至 2020 年期间新一代核能》联邦专项资金支持外，还首创利用商业资金建立合资企业的公私合作模式，立项在乌里扬诺夫斯克州建造小型示范电站。但出于经费原因，项目建设于 2017 年初被俄政府叫停，启动时间延迟至 2020 年之后^[10]。

3.2.3 高温气冷堆和直接转换堆

俄罗斯高温气冷堆研究始于 20 世纪 80 年代，主要研究单位是 OKBM Afrikantov 设计局。针对改型反应堆的特点，俄罗斯国家核电集团将其定位为用于船舶副电源、小排水量水下电站主电源和非能源用途（化工、石化等工业领域）。该堆型具备较高的有效功系数和可被接受的重量尺寸参数，以燃气轮机闭合循环生产电能。

核能直接转换电能的核电装置研究，在俄罗斯国家核电集团内部有两个发展方向：采用热离子发射转换器和温差发电机。

因无需涡轮发电机，核电装置隐蔽性和自给能力显著提高，在非传统核电领域具有较好的应用前景。

基于已有高温气冷堆和直接转换堆核电装置

的设计经验，俄罗斯国家核电集团对两者的定位是功率区间为 100kW 至 5MW 的小型设施电源。

3.3 小型堆功能与用途多元发展

为维持技术领先地位，以市场为导向延续发展动力，保证现有产品与技术竞争力，俄罗斯国家核电集团提出小型堆功能与用途多元化发展思路。在满足破冰船等民用船舶建设需求的同时，探索空间核装置技术，重点发展小型核电项目，向非能源市场扩展。

在民用船舶制造领域，原子破冰船近中期内仍将是小型堆的最主要用户。尽管将核能视为清洁能源，扩大装机船舶种类，建造核动力大型集装箱运输船、散货船等尝试仍在继续，但受经济技术和安全等因素限制，在目前阶段发展空间有限。

俄罗斯太空核技术研究始于 20 世纪 60 年代，如今在兆瓦级核动力开发方面已形成绝对领先优势。为延续并推动这一前瞻技术领域发展，总统空间技术升级委员会于 2009 年决定，由俄罗斯国家核电集团与俄罗斯太空署联合研制兆瓦级动力能量装置，用于执行未来的星际飞行任务。俄罗斯国家核电集团承担主设计任务的单位是 JSC “NIKIET” 研究所，至 2015 年夏已有部分重要成果对外公布，包括实现长使用寿命（10 年）、一次开机长时间运行与长维修间隔^[11]。

现阶段小型核电发展，主要是配合《2020 年前俄罗斯联邦北极地区社会经济国家计划》落实，以船舶动力堆为基础，从经济性、运输便利性和使用安全性角度出发，按可靠性（紧凑性、参照性）、自给性和生态与安全水平等技术要求，针对北极及其他中央电网之外的偏远地区规划建设固定式、海上浮动式、水下深潜式和车载式四类小型电站，用于满足偏远地区居民用电、工业生产和矿产开发等需求。但因受经济技术等客观因素影响，各小功率核电项目进展情况各不相同，具体见表 1。

在现有技术升级及非核能市场领域，水处理是俄罗斯国家核电集团小型堆应用规划的重要选项。针对这一市场区间，俄罗斯国家核电集团计划建造并商业化运行基于核能的海水淡化设施、淡化水处理厂，向干旱地区供给淡化水、从事淡化水贸易。这一领域作为对“中小功率堆技术研发及产品序列营建”业务的补充，计划以提供综合技术解决方案

表 1 俄罗斯小功率核电项目进展情况统计

状态	项目名称	备注
有参照技术及在运行原型机，可在 6 年内实现。有条件后续验证研发及维护原理，为未来世代反应堆验证技术	Shelf “莱蒙诺索夫”号	水下和陆地电站 海上浮动电站
设计与生产部分已启动，可在 6~10 年内实现。包括燃料在内，部分需要，部分无需额外研发	ABV-6E	浮动、车载电站
	Angstrom	车载电站
	Iceberg	
	PNAEM-8	水下电站
	UNITHERM	陆地电站
	RITM-200	海上浮动电站
	VRK-M	陆地电站
	Ruta	陆地电站
具有潜在优势，需后续深入研究与研发	NIKA	陆地电站
	VRK-100	陆地电站
	TSV-GT	陆地与车载电站
	SVIR-10	陆地、水下电站
	SVIR-50	陆地、水下电站
理念性项目	SVBR-10	海上浮动、陆地电站
	TATEGP	车载电站
	SVBR-MGT Akkort	陆地电站

的模式在国际市场推广。

3.4 国际合作市场前景广阔

在国际高技术产品和服务市场上，俄罗斯现代核技术（包括水-水高能堆、铀浓缩及核燃料等）具有较强竞争力，如今其有 37 个核电机组在全世界 9 个国家运行，被其视作经济转型支撑力量。

在船舶需求以外的能源领域，俄罗斯将小型堆定义为区域性能源解决方案，以北极战略为主要服务对象。但受北方领土开发进程影响，民用核动力船舶和小功率电站在《国家原子能产业发展计划》中规划数量有限。在核电中长期规划中，尽管拟于 2030 年前将核电比例从 17% 提高至 23%^[12]，但产能提升将以增建大功率核电机组为主，基本没有小功率核电的发挥空间。

比较供给与需求规模可见，俄罗斯小功率核电项目数量出超明显。在国内没有重大利好出现之前，国际合作已经成为俄罗斯国家核电集团的重要选择。在延续之前与美国、哈萨克斯坦等国模块化小型堆合作研发项目的同时，海上浮动电站建设当

前已成为国际合作新方向。尽管俄罗斯国家核电集团曾经就此与中国核工业集团公司（CNNC）和阿根廷美洲公司（Corporation America）签署过合作备忘录^[13]，但在具体合作方式上，俄方意愿是小功率浮动核电站整体出口，至于船舶核动力装置或浮动电站反应堆技术转让，则态度谨慎。

4 对我国小型堆发展建议

我国小型堆研究始于“九五”期间，行业成型于 2010 年后。但在民用船舶制造领域，尚未有核动力装置装机先例。从俄罗斯小型堆历程及我国发展实际判断，近中期我国国内民用船舶核动力装置市场规模将极为有限，小型堆未来发展动力将主要源于小功率核电需求，市场与俄罗斯一样将主要集中在区域性电力基础设施建设及非能源领域。基于俄罗斯小型堆发展经验，建议如下。

4.1 小型堆发展统一规划

小型堆研究在我国广受关注，国内主要核电集团都有自主化小型堆机型推出，得到国际核电界

认可的小型堆设计也有多个。我国是俄罗斯之外全球研发小堆机型最多的国家。

国内各核电企业思路各异, 现有三种主流技术, 即压水堆、高温气冷堆和低温核供热堆。其中以压水堆技术最为成熟, 占市场主导地位。而俄罗斯小型堆发展在俄罗斯国家核电集团领导下, 作为国家能源、原子能技术和产业创新战略的组成部分, 由政府基于经济和安全前提, 从重点堆型技术到建设项目等做出统一规划, 与之相比, 我国小型堆发展秩序还有待完善。尤其是在暂时没有民用船舶装机需求的情况下, 针对小型堆技术研发及小功率核电建设布局, 应明确主管部门统一规划管理。在国家整体能源战略和地区发展规划背景下, 应对各核电集团与地方政府的现有合作项目进行整合, 引领小型堆研究和小功率核电建设发展。

4.2 发展路线从海洋走向陆地

在世界范围内, 小型堆商业化前景因能源多元化需求而被看好, 但在实际操作层面, 有一系列现实问题难以回避。以我国当前的主力电网和电源建设方式, 陆地小型堆应用难度较大, 从经济角度无法与现有电力体系匹配。小功率核电远程输送存在经济效益差、相比大型基荷电源竞争力缺乏等问题。国家核电安全条例的5公里限制发展区规定, 使小型堆供热功能也难以发挥。与此同时, 小功率核电建设贴近社区, 导致公众接受程度等问题将对其构成重大考验。

考虑到我国海岸线漫长、偏远岛屿建设及深海能源开发亟须电力供给的现实, 俄罗斯的小型堆发展模式不失为一种有益借鉴: 将其作为偏远区域供电、供热和海洋工程解决方案, 首先用于海上浮动电站或水下电站等海洋工程, 积累小功率核电建造运行经验, 待条件成熟时再根据市场需求, 向陆地小功率核电建设发展, 满足供电、供热、热电联供和海水淡化等需求。

4.3 挖掘对俄合作潜力

俄罗斯小型堆技术成熟, 发展路线独具特色。受经济危机等因素影响, 在船舶动力及小功率核电领域, 现除 KLT-40S 和 RITM-200 两个小型堆进入建造装机阶段外, 其他诸如 ABV-6 和 SVBR-100 等多个型号的建造工作多处于暂停状态。

我国海上浮动电站建设已列入能源创新

“十三五”规划, 中国核工业集团公司负责相关研发、设计和制造工作。在这一俄罗斯暂时走在前列的技术领域, 未来合作前景方向有两个: 一是借鉴俄方浮动电站整体设计和关键技术及其小型堆运行经验, 加快我国海上浮动电站建设; 二是发挥我国船舶制造和海洋工程平台建造优势, 与俄方核动力装置技术相结合, 合作开拓浮动电站与水下电站市场。■

参考文献:

- [1] ОКБМ Африкантов. Судовые реакторные установки [EB/OL]. [2016-06-17]. <http://www.okbm.nnov.ru/reactors#sud>.
- [2] ОКБМ Африкантов. РИТМ [R/OL]. [2017-04-17]. http://www.okbm.nnov.ru/images/pdf/ritm-200_extended_ru_web.pdf.
- [3] Адамов Е.О. Состояние разработок АСММ в мире и России, приоритеты и перспективы создания[R/OL]. [2016-06-17]. <http://www.innov-rosatom.ru/files/articles/5e334977fec5bf72d7dedcb904a914c0.pdf>.
- [4] Правительство РФ. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года[R/OL]. [2017-04-17]. http://www.energystrategy.ru/ab_ins/source/ES-2035_09_2015.pdf.
- [5] Правительство РФ. Госудратственная программа Российской Федерации «Развитие энергопромышленного комплекса»[R/OL]. (2014-06-02).[2017-04-17]. <http://static.government.ru/media/files/41d4e579a4d19542262a.pdf>.
- [6] Росатом. Паспорт программы инновационного развития и технологической модернизации Госкорпорации «Росатом» на период до 2030 года (в гражданской части)[R/OL].[2017-04-17]. <http://www.rosatom.ru/upload/iblock/6ea/6eaebbfbd03dfdfef88935edb7418c74.pdf>.
- [7] Правительство РФ. Стратегия развития арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года [R/OL]. (2013-01-20) [2017-04-17]. <http://static.government.ru/media/files/2RpSA3sctElhAGn4RN9dHrtzk0A3wZm8.pdf>.

- [8] Правительство РФ. Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года[R/OL]. (2014-04-21)[2017-06-17]. <http://economy.gov.ru/minec/about/structure/depOsobEcZone/201412263>.
- [9] Иван Михайлович Каменских. Анализ современного состояния и перспектив развития промышленных корабельных и судовых ядерных энергетических установок.[R/OL]. [2017-04-17]. <http://federalbook.ru/files/OPK/Soderjanie/OPK-10/III/Kamenskih.pdf>.
- [10] РИА Новости. Власти отложили постройку инновационного ядерного энергоблока СВБР-100 [EB/OL].(2017-04-05)[2017-04-17]. <https://ria.ru/atomtec/20170405/1491593190.html>.
- [11] Владимир Тесленко. Космические ядерные энергодвигательные установки сейчас возможны только в России[EB/OL]. (2015-08-31) [2017-04-17]. <https://www.kommersant.ru/doc/2810188>.
- [12] Караваев И А. Стратегия развития ГК «Росатом» до 2030 года [R/OL]. [2017-04-17]. <http://2012.atomexpo.ru/mediafiles/u/files/Present2012/Karavaev.pdf>.
- [13] РЕНТЭНЕРГ. Состояние развития проектов атомных реакторов малой мощности (АСММ). Часть 3[EB/OL]. (2016-06-18) [2017-04-17]. <https://rentenergo.ru/alternative-energetics/development-of-small-nuclear-reactors-part3.html>.

Development Status and Prospects of Civilian Nuclear Power Plants in Russia

LIU Yu

(Heilongjiang Forestry Vocation-Technical Collage, Mudanjiang, Heilongjiang 157011)

Abstract: The development of civil nuclear marine power plants in Russia started in 1952, and after half a century, the fourth generation nuclear power units have already been put into use. At present, in addition to the construction of a new-generation nuclear icebreaker, small nuclear-powered devices, as one of the energy components of Russia, are being developed on the basis of nuclear marine power plants. This paper examines the condition, state policy and development trends of small reactors in Russia, and concludes Russian experience to provide references for China.

Key words: Russia; civilian ships; small reactors; low-power nuclear power