

ЛИНЕЙКА РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Н.А. Лакутин

nikita-lakutin@mail.ru

SPIN-код: 5165-9360

В.С. Оганесян

vilen-oganesyan@mail.ru

SPIN-код: 8794-1460

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Проведен анализ основной необходимости применения мобильных робототехнических средства для демонтажа атомных электростанций (АЭС), рассмотрены наиболее подверженные радиации части АЭС на примере существующей электростанции, указаны основные негативные типы воздействия в процессы работе АЭС на ее конструкцию, а также на оборудование для ее демонтажа. Рассмотрены основные роботы для демонтажа и различные виды навесного оборудования, устанавливаемого на них. Проведены расчеты предельных значений масс поднимаемых грузов без потери устойчивости робота. Рассмотрена группа вспомогательных робототехнических средств, которые могут участвовать в процессе демонтажа. Выделены принципиальные весовые категории робототехнических средств, необходимые для вывода из эксплуатации наиболее подверженных радиации частей АЭС.

Ключевые слова

Атомные электростанции, вывод из эксплуатации, мобильные робототехнические средства для демонтажа конструкций АЭС, мобильные роботы-разведчики, вспомогательные мобильные роботы, навесное оборудование, демонтаж АЭС, расчет устойчивости

Поступила в редакцию 21.01.2019

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

Особенности вывода из строя атомных электростанций. В 17 странах мира выведены или находятся на этапе вывода из эксплуатации (ВЭ) около 100 атомных электростанций (АЭС). К концу проектного срока службы АЭС должна быть переведена в ядерно-безопасное состояние, под которым понимается, прежде всего, удаление ядерного топлива с объекта, и выведена из эксплуатации [1].

При ВЭ блоков АЭС возникает специфическая проблема: радиоактивное загрязнение части оборудования, строительных защитных конструкций, боксов и помещений — так называемая остаточная радиоактивность. Хотя таких радиоактивных систем и помещений на АЭС не более 20 % общего количества, именно эти 20 % определяют принципиальное отличие ВЭ любого промышленного предприятия от АЭС [1]. Как следствие, если персонал и может выполнять работу по ВЭ АЭС, то только в пределах небольшого отрезка времени.

Для решения этой проблемы желательно частично заменить людей мобильными роботами. Роботы могут как принимать непосредственное участие в разведке, демонтаже конструкций АЭС и прочих необходимых задачах, так и со-

здавать условия для работы людей, предварительно очищая часть ее помещений от радиоактивного загрязнения.

Для обоснования характеристик мобильных роботов и оборудования, необходимого для проведения работ по ликвидации АЭС, рассмотрим типовую ситуацию на примере Нововоронежской АЭС.

На сегодняшний день на Нововоронежской АЭС имеется три действующих энергоблока № 4, 5, 6. На них используются соответственно реакторы типа ВВЭР 440, ВВЭР 1000, ВВЭР 1200. Реактор энергоблока № 4 мощностью 417 МВт был запущен 28 декабря 1972 г., энергоблока № 5 мощностью 1000 МВт — 31 мая 1980 г., а энергоблока № 6 мощностью 1195 МВт — 5 августа 2016 г. [2]. АЭС представляет собой комплекс зданий, в которых размещено технологическое оборудование (рис. 1) [3].

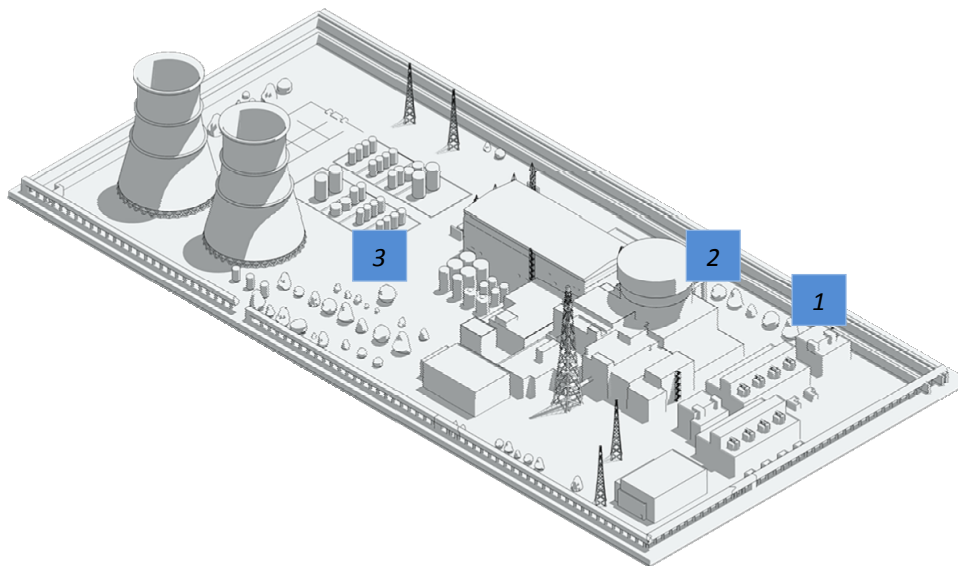


Рис. 1. Сооружения АЭС:

- 1 — главный корпус с реакторным помещением; 2 — турбинный зал;
3 — элементы оборотной системы охлаждения

Главный корпус с реакторным помещением является наиболее подверженным радиации объектом на территории АЭС. Он состоит из реактора, размещенного в бетонной шахте, системы управления и защиты, а также системы аварийной защиты — для быстрого прекращения реакции при возникновении аварийной ситуации [3] (рис. 2). При проведении будущих планово-предупредительных ремонтов и замены ядерного топлива попасть внутрь реакторного помещения можно будет через транспортный шлюз. Он представляет собой 14-метровую цилиндрическую камеру диаметром свыше 9 м, герметично запираемую с двух сторон полотнами ворот, которые открываются поочередно. Общая масса шлюза составляет порядка 230 т. Для обеспечения циркуляции теплоносителя и различных рабочих тел в контурах в реакторном и турбинном помещениях устанавливают наносы [4].

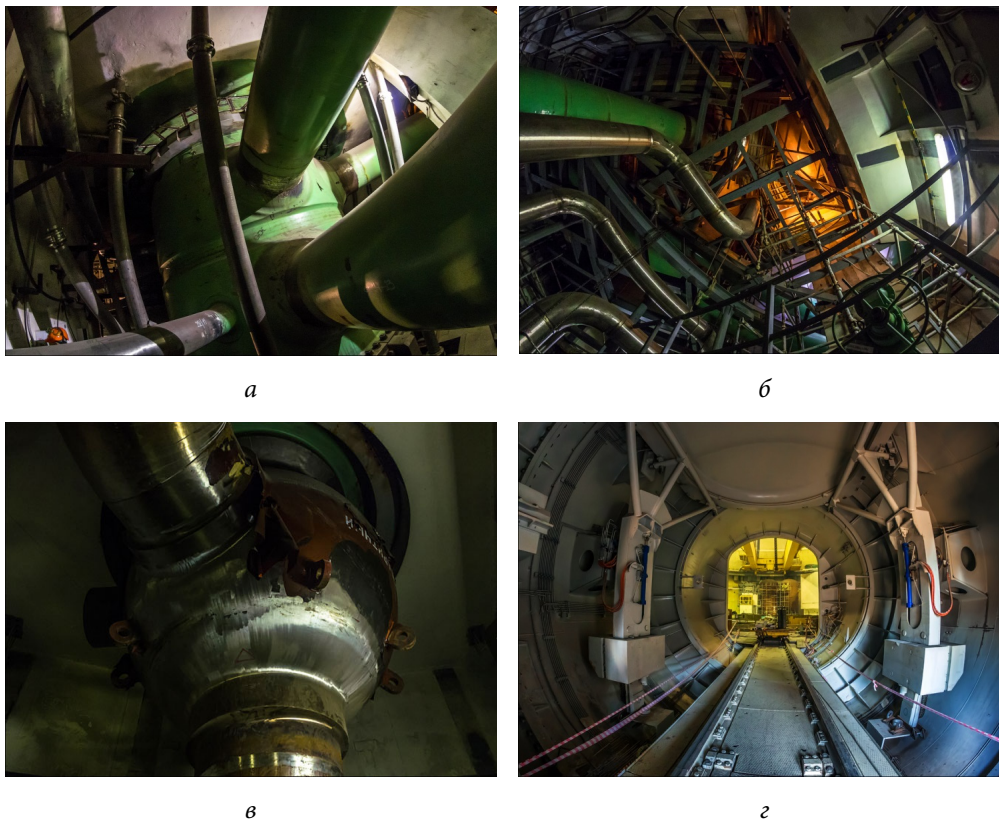


Рис. 2. Элементы конструкций главного корпуса АЭС:

а — ВВЭР-1200; *б* — технологические трубопроводы, подводимые к реактору;
в — главный циркуляционный насос; *г* — транспортный шлюз

В реакторном помещении устанавливают электрический полярный мостовой кран (рис. 3), который предназначен [4]:

– для проведения строительно-монтажных работ в период строительства АЭС;

– выполнения транспортно-технологических операций со свежим и отработавшим топливом, радиоактивными отходами, элементами реакторной установки и т. д.;

– для выполнения подъемно-транспортных операций по демонтажу оборудования герметичной зоны реакторного здания при выходе из эксплуатации.

В процессе работы АЭС радиоактивное излучение, тепловое излучение и химически агрессивная среда оказывают негативное влияние на ее конструкции (рис. 4, *а*, *б*) [5, 6].



Рис. 3. Электрический полярный мостовой кран

*а**б*

Рис. 4. Примеры влияния, оказываемого негативными факторами:

а — на железобетон; *б* — на стальные конструкции

При демонтаже и фрагментации конструкций АЭС образуется ионизированная пыль. Она попадает в атмосферу и может не только нанести вред здоровью рабочего персонала, но и, ввиду ее малой массы, переноситься на довольно большие расстояния. Необходимо учесть, что, с одной стороны, чем меньше размер фрагмента, тем меньше должен быть размер манипулятора, навесного оборудования (*а*, как следствие, и габариты самого робота). А с другой стороны, с уменьшением размера фрагментов увеличивается объем ионизированной пыли, а также время, затрачиваемое на дефрагментацию конструкций АЭС. Также следует учесть, что чем дольше робот работает в радиоактивных условиях, тем больше вероятность его поломки.

Существует большое разнообразие форм конструктивных элементов АЭС и их массы. Например, наружный диаметр трубопроводов АЭС находится в диапазоне 57...920 мм [7]. В качестве материала для изготовления трубопроводов используют хромомолибденованадиевые, аустенитные, углеродистые и кремнемарганцовистые стали.

Так, размеры трубопроводов главного циркуляционного контура для первой очереди Ново- Воронежской атомной станции — 550/25 [8]. Обозначив $D = 550$ —

наружный диаметр в мм, а $b = 25$ — толщину трубы в мм, можно рассчитать массу G одного метра трубы из стали 15X1M1Ф плотностью $\rho = 7800$ кг/м³:

$$G = \rho V = \rho h \pi \left(\frac{D^2 - (D - 2b)^2}{4} \right);$$
$$G = 7800 \cdot 1 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,55^2 - (0,55 - 2 \cdot 0,025)^2}{4} \right) \approx 320 \text{ кг.}$$

Плотность железобетона, используемого в АЭС, варьируется в диапазоне 3000...6200 кг/м³.

Роботы для проведения работ по ликвидации АЭС. Вследствие радиоактивного загрязнения помещений и оборудования АЭС персонал если и может выполнять работу, то только в пределах небольшого отрезка времени. Мощность дозы от радиоактивного оборудования может значительно превосходить допустимые значения. Ожидаемая коллективная эффективная доза персонала, выполняющего демонтажные работы блока АС мощностью 1000 МВт, может составить 10 чел.-Зв. В то же время принцип минимизации облучения требует, чтобы коллективные годовые эффективные дозы не превышали 1 чел.-Зв [1].

Таким образом, применение различных роботов, которые могли бы работать в условиях радиации как обособлено, так и в группах, может в значительной степени обезопасить процесс ВЭ АЭС.

Роботы для демонтажа. На настоящий момент роботы компании Brokk наиболее приспособлены для выполнения демонтажных работ. В зависимости от размеров, места проведения и типа работ Brokk может предложить больше 10 демонтажных роботов массой от 500 кг до 11 т [9]. Робота, показанного на рис. 5, при необходимости можно оснастить различным навесным оборудованием (рис. 6) [10]. Смена навесного оборудования, подключение гидравлики осуществляются без присутствия человека.



Рис. 5. Робот для демонтажа фирмы Brokk

По виду выполняемых работ навесное оборудование условно можно подразделить на несколько групп:

- 1) извлечение, погрузка-разгрузка, сортировка радиоактивных и опасных материалов;
- 2) демонтаж и реконструкция объектов химической и атомной промышленности, разбор железобетонных и металлических конструкций атомных реакторов, хранилищ и прочих объектов (рис. 7);
- 3) очистка снятием слоя загрязненных поверхностей, с сохранением основной конструкции.

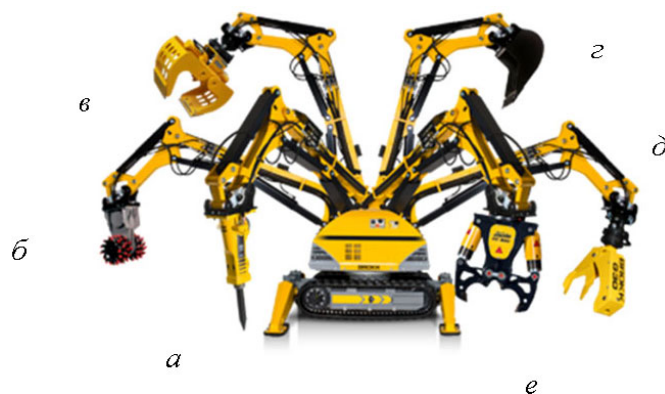


Рис. 6. Виды навесного оборудования:

а — гидромолот; *б* — фреза для снятия слоя загрязненных поверхностей;
в — поворотный захват; *г* — ковш; *д* — универсальный захват; *е* — бетонолом



Рис. 7. Виды выполняемых работ:

а — мягкое разрушение железобетонных, кирпичных, кирпично-монокрильных, панельных, ветхих и аварийных зданий; *б* — бурение в ограниченных пространствах с гидравлической буровой установкой

а



б

Расчет на устойчивость. Расчет на устойчивость проведен в первом приближении при условии, что робот не движется, а подвеска заблокирована.

Рассчитаем минимальную массу m_1 робота, необходимую для его устойчивости относительно точки A при подъеме трубы массой $m_2 = 320$ кг с помощью манипулятора, имеющего длину $L_2 = 2$ м. Расчетные схемы представлены на рис. 8, 9.

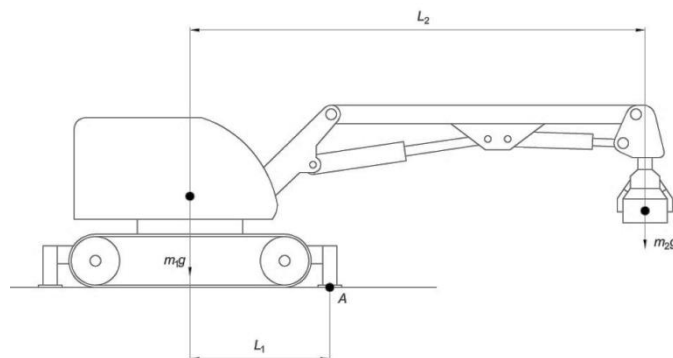


Рис. 8. Схема расчета робота на устойчивость

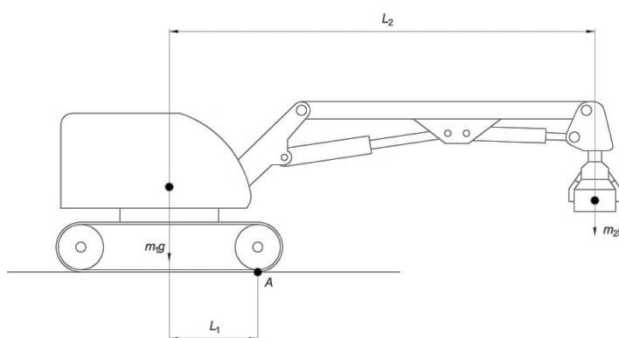


Рис. 9. Схема расчета робота на устойчивость без аутригеров

Расстояние от точки A до центра масса робота $L_1 = 0,7$ м с аутригерами (выносная опора) и $L_1 = 0,5$ м без аутригеров. Тогда минимальная необходимая масса робота составляет:

с аутригерами

$$m_1 = \frac{m_2 L_2}{L_1} = \frac{320 \cdot 2}{0,7} \approx 910 \text{ кг};$$

без аутригеров

$$m_1 = \frac{m_2 L_2}{L_1} = \frac{320 \cdot 2}{0,5} \approx 1280 \text{ кг}.$$

Во время работ по ликвидации последствий аварии на Фукусимской АЭС использовался робот Brokk 330. Рассчитаем для робота Brokk 330 максимальную массу груза m_2 , который можно поднять без потери устойчивости. Данные для расчета: $m_1 = 4500$ кг, $L_2 \approx 5$ м, $L_1 \approx 1,4$ м с аутригерами и $L_1 \approx 1$ м без аутригеров. Тогда максимальная масса груза m_2 составит:

с аутригерами

$$m_2 = \frac{m_1 L_1}{L_2} = \frac{4500 \cdot 1,4}{5} = 1260 \text{ кг};$$

без аутригеров

$$m_2 = \frac{m_1 L_1}{L_2} = \frac{4500 \cdot 1}{5} = 900 \text{ кг}.$$

Рассчитаем минимальную массу m_1 робота, необходимую для его устойчивости при подъеме железобетона массой $m_2 = 6200$ кг с помощью манипулятора, имеющего длину $L_2 = 8$ м. Расстояние от точки А до центра масса робота $L_1 = 1,8$ м с аутригерами и $L_1 = 1,3$ м без аутригеров. Тогда минимальная масса робота m_1 составляет:

с аутригерами

$$m_1 = \frac{m_2 L_2}{L_1} = \frac{6200 \cdot 8}{1,8} \approx 27,5 \text{ т};$$

без аутригеров

$$m_1 = \frac{m_2 L_2}{L_1} = \frac{6200 \cdot 8}{1,3} \approx 38 \text{ т}.$$

В большинстве случаев роботы в продольном сечении длиннее, чем в поперечном, следовательно, устойчивость в поперечном сечении меньше, чем в продольном. У роботов не всегда есть возможность взять груз таким образом, чтобы центр масс робота в продольном сечении совпадал с центром масс груза.

Рассчитаем минимальную массу m_1 робота, необходимую для его устойчивости в поперечном сечении, при подъеме трубы массой $m_2 = 320$ кг с помощью манипулятора. Расстояние от точки А до центра масса робота $L_1 = 0,6$ м с аутригерами и $L_1 = 0,3$ м без аутригеров. Расчет проводится при самом неблагоприятном случае, когда робот захватывает трубу с конца. Расчетная схема представлена на рис. 10, а, б.

Минимальная масса робота m_1 составит:

с аутригерами

$$m_1 = \frac{m_2 L_2}{L_1} = \frac{320 \cdot 0,5}{0,6} \approx 1070 \text{ кг};$$

без аутригеров

$$m_1 = \frac{m_2 L_2}{L_1} = \frac{320 \cdot 0,5}{0,3} \approx 2130 \text{ кг},$$

где $L_2 = 0,5$ м — расстояние между центрами масс трубы и робота.

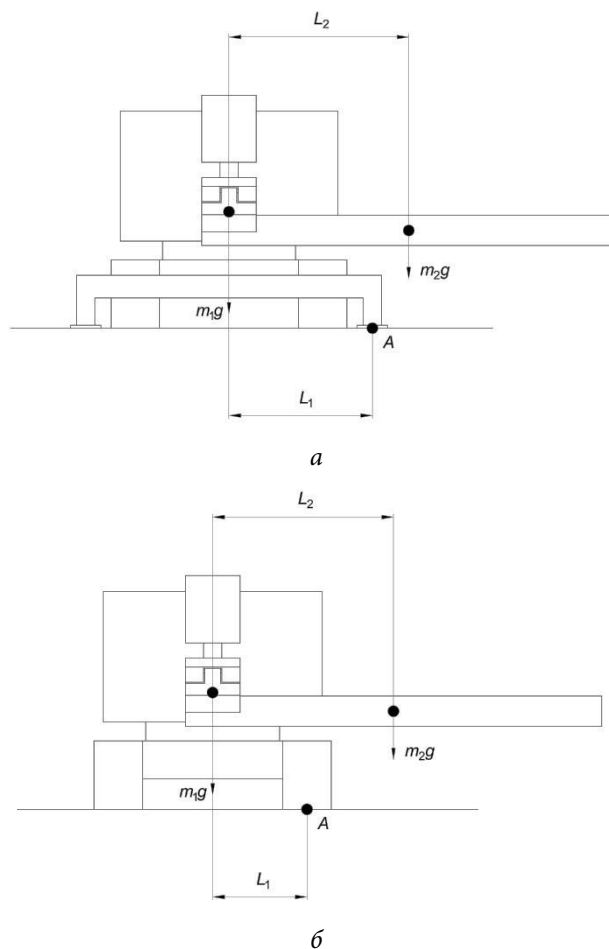


Рис. 10. Схема расчета робота на устойчивость:

а — с аутригерами; *б* — без аутригеров

Рассчитаем для робота Brokk 330 максимальную массу груза m_2 , который можно поднять без потери устойчивости в поперечном сечении. Расстояние от точки *A* до центра масса робота равно $L_1 \approx 1,2$ м с аутригерами и $L_1 \approx 0,75$ м без аутригеров. Тогда максимальная масса груза m_2 составит:

с аутригерами

$$m_2 = \frac{m_1 L_1}{L_2} = \frac{4500 \cdot 1,2}{0,5} = 10,8 \text{ т};$$

без аутригеров

$$m_2 = \frac{m_1 L_1}{L_2} = \frac{4500 \cdot 0,75}{0,5} = 6750 \text{ кг}.$$

Рассчитаем минимальную массу m_1 робота без аутригеров, необходимую для его устойчивости при подъеме железобетонной балки массой $m_2 = 6200$ кг с помощью манипулятора. Расстояние от точки *A* до центра масса робота $L_1 = 1,6$ м

с аутригерами и $L_1 = 1,1$ м без аутригеров. Тогда минимальная масса робота m_1 составит:

с аутригерами

$$m_1 = \frac{m_2 L_2}{L_1} = \frac{6200 \cdot 1}{1,6} \approx 3875 \text{ кг};$$

без аутригеров

$$m_1 = \frac{m_2 L_2}{L_1} = \frac{6200 \cdot 1}{1,1} \approx 5640 \text{ кг},$$

где $L_2 = 1$ — м расстояние между центрами масс железобетонной балки робота.

Роботы для разведки. В случае ликвидации АЭС в аварийном режиме перед демонтажными работами необходимо провести разведку территории. Для проведения разведывательных работ в труднодоступной местности был создан российский мобильный робототехнический комплекс (МРК), показанный на рис. 11 [12, 13]. Для открытия дверей, перемещения относительно легких объектов, а также получения проб для дальнейшего их анализа МРК оснащены манипуляторами. Форма гусеничного шасси позволяет без труда перемещаться по пересеченной местности, а также перемещаться по лестницам.

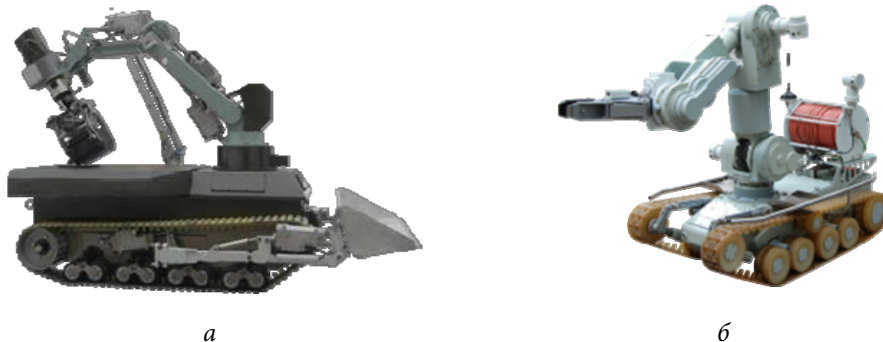


Рис. 11. Мобильные роботы разведки:

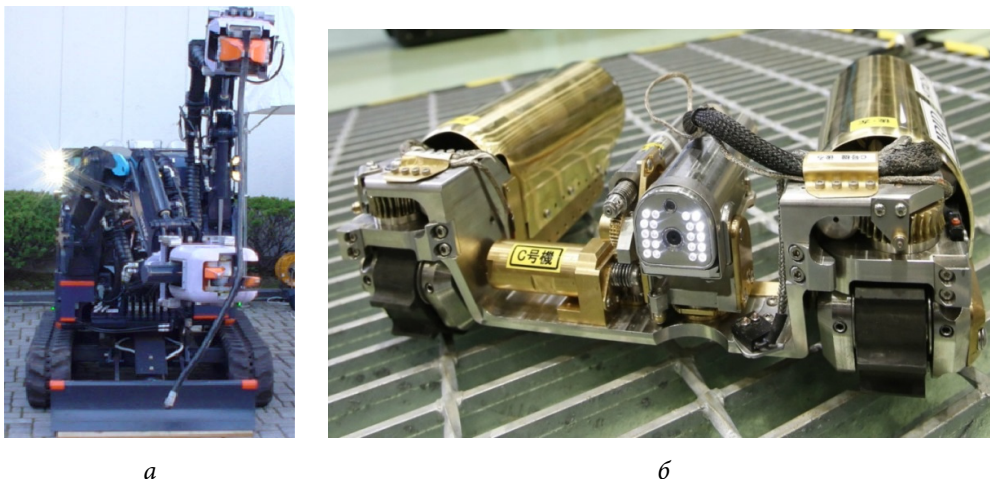
a — МРК-60; b — МРК-28

Японский аналог российских МРК — комплекс ASTACO-SoRa (рис. 12, a) [14], который хорошо зарекомендовал себя во время работ на аварийной площадке Фукусимской АЭС. Такой робот может быть использован как для разведки местности, так и для демонтажных работ. Главной отличительной особенностью данного робота является наличие двух манипуляторов со специальными захватами, предназначенными для вытягивания и удаления кабелей. Это конструктивное решение позволяет роботу вытягивать кабели, не сдвигаясь с места.

Для разведки местности, в которую не могут попасть обычные роботы-разведчики, можно применять легкие малогабаритные роботы. Во время работ по ликвидации последствий аварии на Фукусимской АЭС компания Hitachi создала робот Shape-changer [15] (рис. 12, b), который способен свободно передви-

Линейка робототехнических средств для вывода из эксплуатации атомных электростанций

гаться в трубе диаметром 10 см. Масса робота всего 7,5 кг. Его можно доставлять до места работы с помощью других роботов.



a

б

Рис. 12. Роботы-разведчики:

a — ASTACO-SoRa; *б* — Shape-changer

Вспомогательные роботы. В процессе демонтажа конструкций АЭС образуются радиоактивные отходы и ионизированная пыль. Компания ТЕКНА создала робота ТТ500 (рис. 13, *a*), предназначенного для самостоятельного сбора, погрузки, транспортировки и выгрузки радиоактивных отходов [16].

В аварийной ситуации при возникновении пожара вместо людей можно применять пожарных роботов. Компании EmiControls и Magirus создали пожарного робота AirCore TAF 20 (рис. 13, *б*), на котором установлена специальная система пожаротушения, способная распылять пену или водяной туман на расстояние до 60 м [17].



a

б

Рис. 13. Вспомогательные роботы:

a — ТТ500; *б* — AirCore TAF 20

Ионизированная пыль попадает в атмосферу и оседает на большой площади. Для очищения территории на Фукусимской АЭС использовали специальное оборудование, которым управлял американский робот-разведчик Warrior (рис. 14). В процесс очистки пыль последовательно проходит через циклонный фильтр грубой очистки (крупные частицы оседают в стальном контейнере), далее через циклонный фильтр тонкой очистки (мелкодисперсные частицы оседают в стальном контейнере), после чего попадает в пылесос.

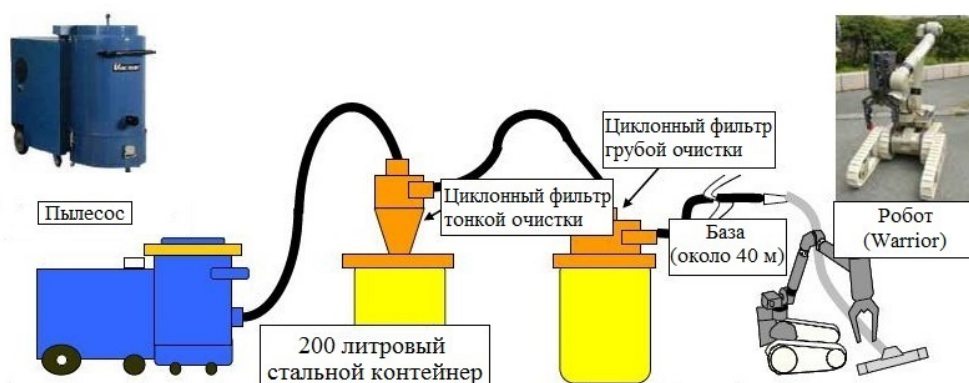


Рис. 14. Оборудование для очистки

Выводы. На основании проведенного обзора всех роботов, необходимых для ВЭ АЭС, исходя из специфики работы и расчетов на устойчивость, можно подразделить на три группы по массогабаритным характеристикам и выполняемым задачам. В каждой группе можно создать одну универсальную платформу на гусеничном шасси, на которую устанавливается требуемое оборудование:

1) универсальная платформа для робота-разведчика массой до 1 т, с возможностью установить манипулятор грузоподъемностью 100...300 кг. Роботы с такой платформой предназначены для проведения работ в стесненных условиях. Относительно небольшая грузоподъемность манипулятора необходима для открытия дверей, люков, проворачивания вентилях, и т. д.;

2) универсальная платформа массой не более 5 т, с возможностью установить манипулятор грузоподъемностью 1...2 т. Роботы с такой платформой предназначены для проведения демонтажных и вспомогательных работ внутри здания АЭС. Выбранная грузоподъемность обусловлена подъемом груза объемом до 1 м³;

3) универсальная платформа массой не менее 10 т, с возможностью установить манипулятор грузоподъемностью до 6...7 т. Роботы с такой платформой предназначены для проведения демонтажных и вспомогательных работ снаружи здания АЭС. Выбранная грузоподъемность обусловлена подъемом груза объемом до 1 м³ при условии, что робот оснащен достаточно большими аутригерами.

Литература

- [1] Дубровский В.Б., Лавданский П.А., Енговатов И.А. Строительство атомных электростанций. М., Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010.
- [2] Новоронежская АЭС: веб-сайт компании.
URL: http://rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-novovoronezhskoy-aes/ (дата обращения: 17.12.2018).
- [3] Как работает АЭС? *rosatom.ru*: веб-сайт. URL: <https://www.rosatom.ru/about-nuclear-industry/powerplant> (дата обращения: 17.12.2018).
- [4] Как устроена атомная электростанция. *kak-eto-sdelano.ru*: веб-сайт. URL: <https://kak-eto-sdelano.ru/kak-ustroena-atomnaya-elektrostantsiya> (дата обращения: 17.12.2018).
- [5] Виды коррозии бетона, способы предотвращения его разрушения. *dvabrevna.ru*: веб-сайт. URL: <https://dvabrevna.ru/stroitelstvo/kakimi-byivayut-vidyi-korrozii-betona.html> (дата обращения: 17.12.2018).
- [6] Ядерная котельная. *lana-sator.livejournal.com*: веб-сайт. URL: <https://lana-sator.livejournal.com/211713.html> (дата обращения: 17.12.2018).
- [7] ОСТ 24.125.150-01 Опоры трубопроводов ТЭС и АЭС. Типы. *gosthelp.ru*: веб-сайт. URL: <http://www.gosthelp.ru/text/OST2412515001Oporytrubopr.html> (дата обращения: 17.12.2019).
- [8] Трубопроводы АЭС. *reactors.narod.ru*: веб-сайт.
URL: http://reactors.narod.ru/rbmk/04_pipe.htm?oprd=1 (дата обращения: 17.12.2018).
- [9] Сравнение моделей. *brokk.ru*: веб-сайт. URL: <http://www.brokk.ru/compare.html> (дата обращения: 17.12.2018).
- [10] Навесное оборудование. *brokk.ru*: веб-сайт. URL: <http://www.brokk.ru/attachments.html> (дата обращения: 17.12.2018).
- [11] BROKK в строительстве. *brokk.ru*: веб-сайт. URL: <http://www.brokk.ru/primeneniye.html> (дата обращения: 17.12.2018).
- [12] Мобильный робототехнический комплекс МПК-60. *sktbpr.ru*: веб-сайт.
URL: <http://sktbpr.ru/robot/mrk-60> (дата обращения: 17.12.2018).
- [13] Мобильный робототехнический комплекс МПК-28. *sktbpr.ru*: веб-сайт.
URL: <http://sktbpr.ru/robot/mrk-28> (дата обращения: 17.12.2018).
- [14] Double-arm heavy machinery-type robot «ASTACO-SoRa». *jsm.or.jp*: веб-сайт.
URL: <http://www.jsm.or.jp/ejam/Vol.6No.1/NT/NT63/63.html> (дата обращения: 17.12.2018).
- [15] Железная рота Фукусимы. *habr.com*: веб-сайт. URL: <https://habr.com/post/401239/> (дата обращения: 17.12.2018).
- [16] Наземные роботизированные комплексы на выставке «Комплексная безопасность 2013» (2 часть). *trof-av.livejournal.com*: веб-сайт. URL: <https://trof-av.livejournal.com/15773.html> (дата обращения: 17.12.2018).
- [17] AirCore TAF 20. *robotrends.ru*: веб-сайт. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/aircore-taf-20> (дата обращения: 17.12.2018).

Лакутин Никита Андреевич — студент кафедры «Многоцелевые гусеничные машины и мобильные роботы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Оганесян Вилен Саркисович — студент кафедры «Многоцелевые гусеничные машины и мобильные роботы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Машков Константин Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Многоцелевые гусеничные машины и мобильные роботы», МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Российская Федерация.

THE LINE OF ROBOTIC MEANS FOR DECOMMISSIONING NUCLEAR POWER PLANTS

N.A. Lakutin

nikita-lakutin@mail.ru

SPIN-code: 5165-9360

V.S. Oganessian

vilen-oganesyan@mail.ru

SPIN-code: 8794-1460

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The main need for mobile robotic tools for dismantling nuclear power plants (NPPs) was analyzed, parts of NPPs that are most exposed to radiation were examined using the example of an existing power plant, the main negative types of impact on NPP processes on its design, as well as equipment for its dismantling were indicated. The main robots for dismantling and various types of attached implements installed on them are considered. The calculations of the limiting values of the mass of the lifted goods without loss of stability of the robot were carried out. A group of auxiliary robotic tools that can participate in the dismantling process was considered. The principal weight categories of robotic tools necessary for the decommissioning of the parts of the plant that are most exposed to radiation have been identified.

Keywords

Nuclear power plants, decommissioning, mobile robotic means for dismantling nuclear power plant structures, mobile reconnaissance robots, auxiliary mobile robots, attached implements, dismantling nuclear power plants, calculating stability

Received 21.01.2019

© Bauman Moscow State Technical University, 2019

References

- [1] Dubrovskiy V.B., Lavdanskii P.A., Engovatov I.A. Stroitel'stvo atomnykh elektrostantsiy [Atomic station construction]. Moscow, Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov Publ., 2010 (in Russ.).
- [2] Novoronezhskaya AES: company website (in Russ.). URL: http://rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-novovoronezhskoy-aes/ (accessed: 17.12.2018).
- [3] Kak rabotaet AES? [How does atomic power station work?]. *rosatom.ru*: website (in Russ.). URL: <https://www.rosatom.ru/about-nuclear-industry/powerplant> (accessed: 17.12.2018).
- [4] Kak ustroena atomnaya elektrostantsiya [Organization of atomic power station]. *kak-eto-sdelano.ru*: website (in Russ.). URL: <https://kak-eto-sdelano.ru/kak-ustroena-atomnaya-elektrostantsiya> (accessed: 17.12.2018).
- [5] Vidy korrozii betona, sposoby predotvrashcheniya ego razrusheniya [Types of concrete corrosion, methods for preventing it from destruction]. *dvabrevna.ru*: website (in Russ.). URL: <https://dvabrevna.ru/stroitelstvo/kakimi-byivayut-vidyi-korrozii-betona.html> (accessed: 17.12.2018).
- [6] Yadernaya kotelnaya [Nuclear boiler station]. *lana-sator.livejournal.com*: website (in Russ.). URL: <https://lana-sator.livejournal.com/211713.html> (accessed: 17.12.2018).

-
- [7] OST 24.125.150-01 Opory truboprovodov TES i AES. Tipy [Standard 24.125.150-01. Piping supports for thermal generating stations and nuclear generating stations - types]. *gosthelp.ru*: website (in Russ.). URL: <http://www.gosthelp.ru/text/OST2412515001Oporytrubopr.html> (accessed: 17.12.2019).
 - [8] Truboprovody AES [Pipelines of atomic power station]. *reactors.narod.ru*: website (in Russ.). URL: http://reactors.narod.ru/rbmk/04_pipe.htm?opr=1 (accessed: 17.12.2018).
 - [9] Sravnenie modeley [Models comparison]. *brokk.ru*: website (in Russ.). URL: <http://www.brokk.ru/compare.html> (accessed: 17.12.2018).
 - [10] Navesnoe oborudovanie [Detachable equipment]. *brokk.ru*: website (in Russ.). URL: <http://www.brokk.ru/attachments.html> (accessed: 17.12.2018).
 - [11] BROKK v stroitel'stve [BROKK in construction]. *brokk.ru*: website (in Russ.). URL: <http://www.brokk.ru/primenenie.html> (accessed: 17.12.2018).
 - [12] Mobil'nyy robototekhnicheskiy kompleks MRK-60 [MRK-60 mobile robotic complex]. *sktbpr.ru*: website (in Russ.). URL: <http://sktbpr.ru/robot/mrk-60> (accessed: 17.12.2018).
 - [13] Mobil'nyy robototekhnicheskiy kompleks MRK-28 [MRK-28 mobile robotic complex]. *sktbpr.ru*: website (in Russ.). URL: <http://sktbpr.ru/robot/mrk-28> (accessed: 17.12.2018).
 - [14] Double-arm heavy machinery-type robot "ASTACO-SoRa". *jsm.or.jp*: website. URL: <http://www.jsm.or.jp/ejam/Vol.6No.1/NT/NT63/63.html> (accessed: 17.12.2018).
 - [15] Zheleznaya rota Fukusimy [Fukushima iron troop]. *habr.com*: website (in Russ.). URL: <https://habr.com/post/401239> (accessed: 17.12.2018).
 - [16] Nazemnye robotizirovannye komplekсы na vystavke "Kompleksnaya bezopasnost' 2013" (2 chast') [Unmanned ground vehicles at the "Complex security exhibition 2013 (part 2)"]. *trof-av.livejournal.com*: website (in Russ.). URL: <https://trof-av.livejournal.com/15773.html> (accessed: 17.12.2018).
 - [17] AirCore TAF 20. *robotrends.ru*: website (in Russ.). URL: <http://robotrends.ru/robopeedia/aircore-taf-20> (accessed: 17.12.2018).

Lakutin N.A. — Student, Department of Multi-purpose Caterpillar Machines and Mobile Robots, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Oganessian V.S. — Student, Department of Multi-purpose Caterpillar Machines and Mobile Robots, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific adviser — K.Yu. Mashkov, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Multi-purpose Caterpillar Machines and Mobile Robots, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.