


ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ  
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ  
OPERATION OF FACILITIES  
NUCLEAR INDUSTRY

УДК 004.021:621.874:621.311.25  
<https://doi.org/10.26583/gns-2024-01-11>  
EDN WJOWIU  
Оригинальная статья / Original paper



Разработка оптимального алгоритма работы механизма поворота  
телевизионной штанги машины перегрузочной

Рябов А.О., Цуверкалова О.Ф.  

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского  
ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Ростовская обл., Российская Федерация  
 oftsuverkalova@mephi.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы оптимизации работы механизма поворота телевизионной штанги машины перегрузочной при проведении перегрузочной кампании в периоды планового предупредительных ремонтов на АЭС. Рассматриваемая задача состоит в том, чтобы минимизировать затраты времени на повороты телевизионной штанги при проведении перегрузочной кампании для экономии времени и денежных средств на проведение технологических операций, и, тем самым, сократить время простоя энергоблока АЭС. Приводится описание конструкции и назначения рабочей зоны, машины перегрузочной и других объектов, участвующих в технологических операциях. Во всех участках рабочей зоны есть определенное количество «проблемных» ячеек, в которых могут возникнуть помеха и/или блокировка поворота телевизионной штанги. Выявлены точное расположение всех «проблемных» ячеек и допустимые для них углы перемещения и наблюдения. Список операций представлен в качестве таблицы, содержащей: номера операции, маркировки соответствующего кластера, а также первоначального и целевого положения в координатах. Таблица дополнена картограммой с координатами и маркировками ячеек. Рассчитано, сколько времени занимает поворот из одного допустимого угла наблюдения в другой. Проведен пример расчета времени для операции с машиной перегрузочной.


**Ключевые слова:** телевизионная штанга, машина перегрузочная, оптимизация, АЭС, алгоритм, ТВС, реактор, углы наблюдения, стеллажи, ячейки.

**Для цитирования:** Рябов А.О., Цуверкалова О.Ф. Разработка оптимального алгоритма работы механизма поворота телевизионной штанги машины перегрузочной. *Глобальная ядерная безопасность*. 2024;14(1):85–92. <https://doi.org/10.26583/gns-2024-01-11>

**For citation:** Ryabov A.O., Tsuverkalova O.F. Development of optimal operation algorithm for rotation mechanism of refuelling machine television rod. *Global nuclear safety*. 2024;14(1):85-92 (In Russ.) <https://doi.org/10.26583/gns-2024-01-11>

Development of optimal operation algorithm for rotation mechanism of refuelling machine  
television rod

Anton O. Ryabov, Olga F. Tsuverkalova  

Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,  
Volgodonsk, Rostov region, Russian Federation  
 oftsuverkalova@mephi.ru

**Annotation.** The paper examines the issues of optimizing the operation of the rotation mechanism of the television rod of the refuelling machine during the refueling campaign during the scheduled preventive maintenance at the NPP. The task under consideration is to minimize the time spent on turning the television rod during a reloading campaign in order to save time and money on technological operations, and thereby reduce the downtime of the nuclear power plant unit. A description of the design and purpose of the work area, the refuelling machine and other objects involved in technological operations is provided. In all parts of the working area there is a certain number of «problem» cells in which interference and/or blocking of rotation of the television rod may occur. The exact location of all «problem» cells and the permissible angles of movement and observation for them are revealed. The list of operations is compiled as a table containing: operation numbers, markings of the corresponding cluster, as well as the initial and target positions in coordinates. This table comes complete with a cartogram with coordinates and cell labels. It is calculated how long it takes to turn from one permissible viewing angle to another. An example of time calculation for an operation with a reloading machine is given.

**Keywords:** television rod, refuelling machine, optimization, NPP, algorithm, fuel assembly, reactor, observation angles, racks, cells.

В атомной энергетике достаточно часто приходится сталкиваться с решением задач маршрутизации, то есть с определением оптимальной последовательности выполнения определенных операций. Примерами таких задач могут служить оптимизация траектории перемещения работников в радиационно опасных зонах, оптимизация демонтажа радиоактивного оборудования при выводе из эксплуатации энергоблоков АЭС и другие.

Задачи такого рода включают большое число разнообразных ограничений и относятся к задачам дискретной оптимизации, традиционно считающимся труднорешаемыми. Для решения задач маршрутизации различными авторами предлагалось использование таких методов, как метод итераций, задача коммивояжера, экстремальные задачи маршрутизации с ограничениями, динамическое программирование и другие [1–7].

Данная работа посвящена проведению исследования в области поиска оптимального алгоритма работы механизма поворота телевизионной штанги (ТШ) машины перегрузочной при проведении перегрузочной кампании во время плановых предупредительных ремонтов на АЭС. Целью работы является минимизация временных затрат на повороты ТШ при проведении перегрузочной кампании для экономии времени и денежных средств на проведение технологических операций, что позволит сократить время простоя энергоблока АЭС.

Несмотря на то, что данная задача относится к задачам маршрутизации, методы и алгоритмы, приводимые в упоминавшихся выше работах, не учитывают специфику работы машины перегрузочной (МП), что не позволяет использовать их в полной мере при решении поставленной задачи. В частности, алгоритм, использующийся сейчас в АО «Атоммашэкспорт»<sup>1</sup>, не учитывает весь набор операций выгрузки и перегрузки с МП (что может составлять до сотен операций), а потому для каждой операции расчет начинается сначала без учета последующих перемещений. В связи с этим было принято решение о разработке эвристического алгоритма, который позволил бы учитывать указанные особенности.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- изучить конструкцию и назначение рабочей зоны, машины перегрузочной и других объектов, участвующих в технологических операциях;
- выявить ограничения задачи и характеристики объектов; изучить последовательности выполнения технологических операций;
- уточнить и дополнить изученные характеристики и определить размеры всех необходимых элементов рабочей зоны;

- выявить точное расположение всех участвующих ячеек и допустимые для них углы перемещения и наблюдения;

- провести расчет времени для операции с машиной перегрузочной.

Приведем краткое описание предметной области.

ТШ входит в состав машины перегрузочной (МП), которая представляет собой сложный робототехнический комплекс и состоит из следующих частей:

- 1) моста, включая металлоконструкцию, привод передвижения, ходовую часть и площадки обслуживания;
- 2) тележки, включая металлоконструкцию, привод передвижения, ходовую часть, привод поворота штанги рабочей, привод поворота штанги телевизионной, привод подрыва и площадки обслуживания;
- 3) штанги рабочей (РШ) с захватом тепловыделяющей сборки (ТВС) и захватом поглощающего стержня системы управления и защиты (ПС СУЗ);
- 4) блока приводов штанги рабочей;
- 5) штанги телевизионной, включая штангу телекопическую и привод;
- 6) пути рельсового;
- 7) привода подрыва.

В перечень задач ТШ входят:

- 1) осмотр посадочных мест ТВС в реакторе;
- 2) осмотр поглощающего стержня системы управления и защиты (ПС СУЗ);
- 3) осмотр наружных поверхностей ТВС и ПС СУЗ, а также их маркировки;
- 4) контроль за работой захвата ТВС рабочей штанги;
- 5) осмотр рабочей зоны.

Выделим основные объекты, существенные для решения оставленной задачи. Для этого составим упрощенную схему рабочей зоны на АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 (рис. 1), в которой оперирует машина перегрузочная<sup>2,3</sup>.

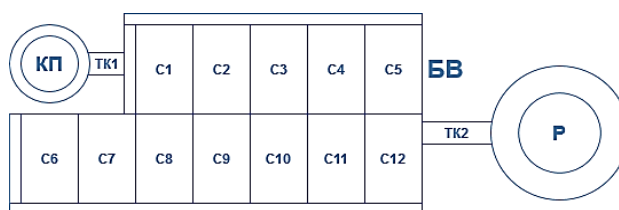


Рисунок 1. Схема рабочей зоны<sup>2,3</sup>  
Figure 1. Diagram of the working area<sup>2,3</sup>

Рабочая зона состоит из нескольких участков: бассейн выдержки (БВ), реактор (Р), колодец перегрузки (КП) и два транспортных коридора (ТК1, ТК2). В бассейне выдержки находятся двенадцать стеллажей (С1, С2, ... С12) с ячейками для ТВС. Пример стеллажа с

<sup>1</sup> Оптимизированный алгоритм технологической операции «Перемещение на координаты перегружаемого изделия» СКА 6501.05.00.000 D15: Волгоград: АО «Атоммашэкспорт», 2012. – 17 с.

<sup>2</sup> Машина перегрузочная. Пояснительная записка. АМЕ 1625.00.00.000 ПЗ: Волгоград: АО «Атоммашэкспорт», 2021. – 67 с.

<sup>3</sup> Машина перегрузочная. Руководство по эксплуатации. АМЕ 1625.00.00.000 РЭ: Волгоград: АО «Атоммашэкспорт», 2021. – 48 с.

опущенными над ним РШ и ТШ представлен на рисунке 2<sup>2,3</sup>.



Рисунок 2. Пример стеллажа<sup>2,3</sup>  
Figure 2. Rack example<sup>2,3</sup>

Стеллажи имеют несколько отличающуюся друг от друга структуру:

- С1 и С8 включают в себя 5 столбцов по 10 ячеек и 4 столбца по 9 (всего 86 на стеллаж);
- С2...С5 и С9...С12 включают в себя 4 столбца по 10 ячеек и 3 столбца по 9 (всего 67 на стеллаж);
- С6 и С7 включают в себя пеналы, а не ячейки – 6 столбцов по 4 (всего 24 на стеллаж).

Реактор же содержит в себе столбцы дважды по 6, 9, 10, 11, 12, 13 и 14 ячеек и один раз 13 ячеек в центре (всего 163 ячейки).

Обратим внимание, что в КП при заезде с градусом 0 или 180 разрешено вращаться, будучи только в центре, и после этого переходить к ячейке. Запрещено вращаться в движении. Ячейки в КП настраиваемы и различаются, что не позволяет определить его постоянную структуру.

ТШ при установке и извлечении ТВС должна находиться на угле 45, 135, 225, 315 градусов. При прохождении же через транспортный коридор угол должен быть 0 или 180 градусов, чтобы избежать столкновения со стенками коридора.

Во всех участках есть определенное количество «проблемных» ячеек. «Проблемными» будем называть те ячейки, у которых могут возникнуть помеха

и/или блокировка поворота ТШ. Как правило, это вызвано расположением ячейки возле стенки рабочей зоны, что не позволяет выполнить разворот на один из указанных углов.

В случае стеллажей с ячейками, чтобы не возникало проблем при повороте, ячейка, над которой осуществляется поворот ТШ, должна находиться в трех ячейках от стены, т.е. являться четвертой. То же самое касается и ячеек реактора. Безопасное расстояние для стеллажей с пеналами – 2 пенала от стены, т.е. позволяет вращение без проблем на 3 пенале.

Для «проблемных» ячеек укажем возможные углы в градусах перемещения ТШ в транспортном положении, а также введем цветовую индикацию для упрощения дальнейшей работы с ними. Составим новую схему с учетом всех ячеек и пеналов, как показано на рисунке 3:

- 0° или 180° (темно-серый цвет) – у транспортных коридоров;
- 90-180° (зеленый цвет) – у северо-западных углов;
- 0-180° (оранжевый цвет) – у северных сторон;
- 0-90° (желтый цвет) – у северо-восточных углов;
- 0-90° и 270-315° (красный цвет) – у восточной стороны;
- 0° и 180-315° (синий цвет) – у южных сторон;
- 90-270° (фиолетовый цвет) – у западных сторон;
- 0-315° (белый цвет) – у «непроблемных» ячеек и пеналов (без ограничений допустимых углов);
- 0° и 270-315° (лазурный цвет) – у юго-восточных углов;
- 180-270° (розовый цвет) – у юго-западных углов.

Далее составим схему с допустимыми для ТШ углами наблюдения (45°, 135°, 225° и 315°) (рис. 4):

- 45° (лазурный цвет) – юго-западный угол;
- 135° (синий цвет) – юго-восточный угол;
- 225° (зеленый цвет) – северо-восточный угол;
- 315° (красный цвет) – северо-западный угол.

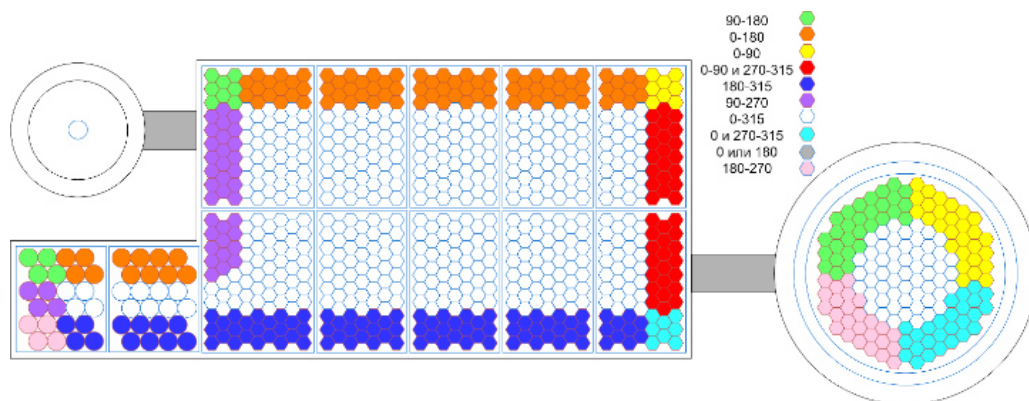


Рисунок 3. Схема рабочей зоны с углами перемещения  
[составлено авторами]

Figure 3. Diagram of the working area with travel angles  
[compiled by the authors]

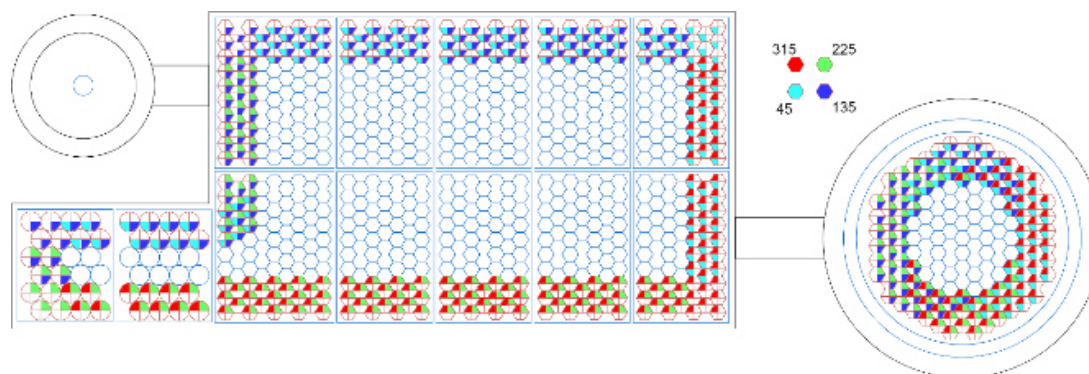


Рисунок 4. Схема рабочей зоны с углами наблюдения

[составлено авторами]

Figure 4. Diagram of the working area with observation angles

[compiled by the authors]

Список операций определяется заранее и известен алгоритму до начала выполнения, и выполняться эти операции должны в строгом порядке одна за другой. Это значит, что оператор не может изменять порядок этих операций для сокращения времени их выполнения. Как правило, на АЭС этот список операций, называемый рабочим графиком перегрузки, представляется в виде таблицы, содержащей номера операции,

маркировки соответствующего кластера, а также первоначального и целевого положения в координатах. С этой таблицей идет в комплекте картограмма с координатами и маркировками ячеек <sup>4</sup>.

По образцу этих картограмм составим собственный набор картограмм для всех стеллажей и реактора. Представим пример такой картограммы на рисунке 5.

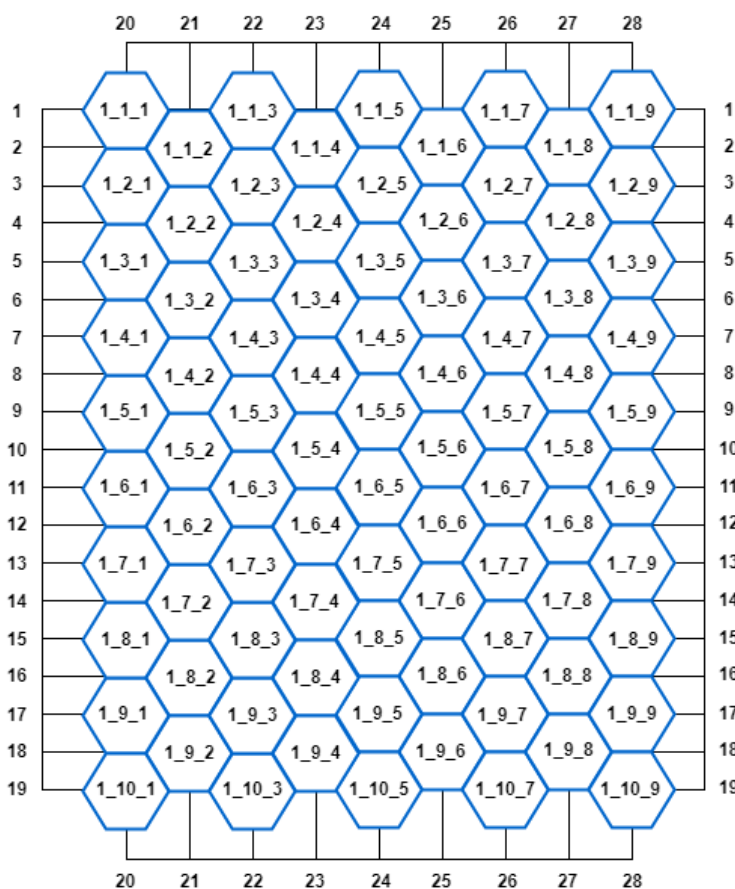


Рисунок 5. Картограмма стеллажа C1 [составлено авторами]

Figure 5. Cartogram of rack C1 [compiled by the authors]

<sup>4</sup> Картограмма перегрузки топлива: Волгодонск: АО «Атоммашэкспорт», 2012. – 9 с.



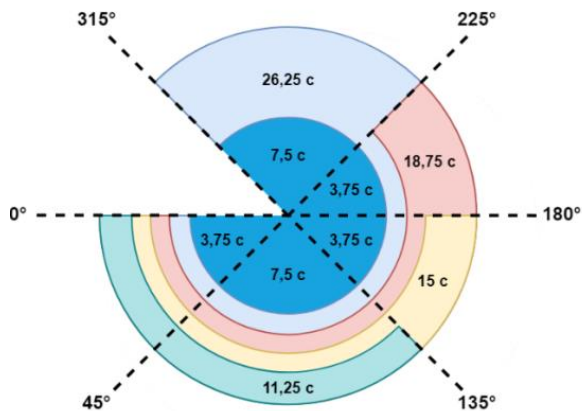
Ключевым элементом рассматриваемого алгоритма является механизм поворота ТШ. Поскольку скорость ее поворота известна, можно рассчитать сколько времени занимает поворот из одного допустимого угла наблюдения в другой, а также для углов  $0^\circ$  и  $180^\circ$ , так как они часто применяются при проходе через ТК1 и ТК2. Перенесем эти результаты в таблицу 1.

**Таблица 1.** Время поворота ТШ из одного угла в другой в секундах [составлено авторами]

**Table 1.** Time to rotate the television boom from one corner to another in seconds [compiled by the authors]

Углы, между которыми осуществляется поворот	$0^\circ$	$45^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$	$225^\circ$	$315^\circ$
$0^\circ$	0	3,75	11,25	15	18,75	26,25
$45^\circ$	3,75	0	7,5	11,25	15	22,5
$135^\circ$	11,25	7,5	0	3,75	7,5	15
$180^\circ$	15	11,25	3,75	0	3,75	11,25
$225^\circ$	18,75	15	7,5	3,75	0	7,5
$315^\circ$	26,25	22,5	15	11,25	7,5	0

Используя эти скорости, для удобства составим схему скоростей поворота ТШ, представленную на рисунке 6.



**Рисунок 6.** Схема скоростей поворота ТШ [составлено авторами]

**Figure 6.** Rotation speed diagram of the television boom [compiled by the authors]

Конкретный ходовой алгоритм МП таков:

1. Движение МП в любой из зон (Р, БВ, КП):

а) Если не нужно вращать ТШ, то прямо перемещать МП (мост и тележку) до заданной координаты;

б) Если нужно и допускается вращение ТШ, то параллельно вращается ТШ и перемещается МП (мост и тележка) до заданной координаты;

в) Если нужно вращать, но не допускается вращать ТШ, то сначала перемещать МП (мост и тележку) до ближайшей точки, позволяющей вращать ТШ на нужный фиксированный угол, потом параллельно вращать ТШ и перемещать МП до заданной координаты.

2. Движение МП через транспортный коридор:

а) Если не нужно вращать ТШ, то есть ТШ находится на  $0^\circ$  или  $180^\circ$ , то прямо перемещать МП (мост и тележку) на ось транспортного коридора (ТК);

б) Если нужно, но не разрешается вращать ТШ, то прежде переместить МП (мост и тележку) в самую ближайшую точку, позволяющую вращать ТШ на нужный фиксированный угол  $0^\circ$  или  $180^\circ$ , потом параллельно ТШ и перемещать МП (мост и тележку) на ось ТК.

3. Перемещение МП на конечные координаты (после вывода МП в заданную зону):

а) Если конечные координаты ТШ равны  $0^\circ$  или  $180^\circ$ , то непосредственно двигать МП (мост и тележку) на координаты цели;

б) Если конечные координаты ТШ не равны  $0^\circ$  или  $180^\circ$  и разрешается вращать ТШ, то параллельно вращать ТШ и двигать МП (мост и тележку) на заданные координаты;

в) Если конечные координаты ТШ не равны  $0^\circ$  или  $180^\circ$  и не разрешается вращать ТШ, то переместить МП (мост и тележку) в самую ближайшую точку, позволяющую вращать ТШ на нужный фиксированный угол, потом параллельно вращать ТШ и перемещать МП (мост и тележку) на координаты цели.

Перемещение МП внутри зоны и между зонами осуществляется при нахождении РШ и ТШ в транспортных положениях, обеспечивающих безопасные перемещения внутри данной зоны.

При перемещении МП между зонами поворот ТШ, в общем случае, осуществляется в следующей последовательности:

а) поворот ТШ от угла наблюдения до угла перемещения во время горизонтальных перемещений моста и (или) тележки или при вертикальных перемещениях ТШ и (или) РШ;

б) перемещение МП между зонами (по транспортным коридорам) при неизменном угле перемещения;

в) поворот ТШ от угла перемещения до заданного угла наблюдения во время горизонтальных перемещений моста и (или) тележки или при вертикальных перемещениях ТШ и (или) РШ.

Угол перемещения ТШ при перемещениях МП между зонами составляет  $0$  или  $180$  градусов.

Основным углом перемещения ТШ принят угол  $180$  градусов. Выбор угла перемещения осуществляется системой управления в зависимости от координат ячейки извлечения/установки ТВС.

При перемещении МП внутри зоны поворот ТШ, в общем случае, осуществляется в следующей последовательности:

а) поворот ТШ во время перемещения МП (мост и тележка) от исходной координаты к конечной координате. Поворот ТШ осуществляется от угла наблюдения на исходной координате в направлении ближайшего угла наблюдения, разрешенного для конечной координаты;

б) промежуточный останов МП, если время перемещения МП от исходной координаты до конечной координаты, меньше времени необходимого для по-



дущего – также осуществляется перемещение от ячейки P\_1\_11 до P\_4\_14, а затем проход через коридор. Здесь поворот нужен только для прохождения коридора, так как у ячейки допустимые углы 315 и 45°, тот есть тот, на который ТШ уже повернута с конца предыдущей операции.

Однако после прохождения коридора к центру C12 МП должна переместиться к ячейке 5\_7\_7, допустимые углы которой также 45 и 315°. С точки зрения алгоритма, учитывающего только текущую операцию, очевидным и наиболее выгодным вариантом будет развернуться перед коридором до 0°, после чего до 45°. Время пути от коридора до ячейки составляет 6,75 с, и время разворота 3,75, что вписывается в лимит. Проблема заключается в том, что в следующей операции МП должна переместиться на ячейку 12\_10\_7 с единственным допустимым углом 315°. ТШ придется совершить долгий поворот за 22,5 с, что не вписывается в путь до ячейки 16,88 с (ячейка расположена строго на юг от предыдущей, поэтому для пути напрямую учитывается только скорость тележки). К тому же МП расположена в месте, где не допускается подобный разворот, т.е. перед долгим поворотом также потребуется переместиться на безопасное расстояние от стены (минимум 2,09 с). Поэтому после отъезда в допустимый для разворота участок перед МП встает выбор из трех вариантов: ждать поворота ТШ перед дальнейшим перемещением; замедлить движение, чтобы успеть произвести поворот перед прибытием к ячейке; делать разворот во время «лишнего» движения вроде перемещения по дуге или зигзагом, чтобы не потерять скорость.

В случае применения улучшенного алгоритма, учитывающего последующие операции, процесс будет выглядеть следующим образом: МП покидает коридор с ТШ на угле 180°, и для поворота до 315° ей потребуется 11,25 с, что также потребует выбора из трех вариантов, однако с середины C12 поворот можно начинать сразу же, так как есть свободное место, и к моменту прибытия к «проблемным» ячейкам ТШ продолжит разворот уже на допустимом диапазоне 270–315°. Однако, переходя к следующей операции, новый алгоритм получает дополнительное преимущество, поскольку ТШ уже находится на необходимом угле наблюдения и требуется лишь движение МП, чтобы проводить операцию с ячейкой 12\_10\_7 (рис. 10).

Если предположить, что оба алгоритма в этой ситуации сочли оптимальным замедлить движение МП, чтобы дать ТШ время для необходимого поворота, то это уже дает возможность сэкономить 3,21 с (10,24% от 31,34 сек. существующего алгоритма) исключительно за счет оптимизации поворота, без учета изменения траектории движения и дальнейшего процесса оптимизации алгоритма. Учитывая, что набор операций выгрузки и перегрузки с МП может составлять до сотен операций, оптимизированный алгоритм может помочь ощутимо сократить время выполнения транспортно-технологических циклов.



Рисунок 10. Пример работы улучшенного алгоритма [составлено авторами]

Figure 10. Example of operation of the improved algorithm [compiled by the authors]

### Закключение

В ходе работы были изучены конструкция и назначение рабочей зоны, машины перегрузочной и ее элементов, а также последовательность выполнения технологических операций. Это позволило уточнить и дополнить характеристики всех необходимых элементов рабочей зоны, что дало возможность сформулировать ограничения задачи. Были выявлены точное расположение всех участвующих ячеек и допустимые для них углы перемещения и наблюдения; проведен расчет времени для операции с машиной перегрузочной с использованием улучшенного алгоритма.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Борознов В.О. Исследование решения задачи коммивояжера. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика*. 2009;2:147–151. Режим доступа: <https://www.mathnet.ru/links/a125451d7d891420f1647095bf4f1fd0/vagtu262.pdf> (дата обращения: 08.01.2024).
- Boroznov V.O. Research of the task solution of the traveling salesman. *Vestnik of Astrakhan state technical university. Series: Management, computer sciences and informatics*. 2009;2:147–151. (In Russ.) Available at: [https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jmid=vagtu&paperid=262&option\\_lang=eng](https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jmid=vagtu&paperid=262&option_lang=eng) (accessed: 08.01.2024).
2. Коробкин В.В., Сесекин А.Н., Ташлыков О.Л., Ченцов А.Г. Методы маршрутизации и их приложения в задачах повышения безопасности и эффективности эксплуатации атомных станций. Монография; под общ. ред. И.А. Каляева. Москва: Новые технологии, 2012. 233 с. ISBN 978-5-94694-027-6. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23322009> (дата обращения: 21.11.2023).



Korobkin V.V., Sesekin A.N., Tashlykov O.L., Chentsov A.G. Methods of routing and their appendix in problems of increase of efficiency and safety of operation of nuclear power plants. Monograph; ed. by I.A. Kalyaev. Moscow: New technologies, 2012. 233 p. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23322009> (accessed: 21.11.2023).

3. Сесекин А.Н., Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Куклин М.Ю., Ченцов А.Г., Кадников А.А. Использование метода динамического программирования для оптимизации траектории перемещения работников в радиационно опасных зонах с целью минимизации облучения. *Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика*. 2006;2:41–48. Режим доступа: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2006/02.pdf> (дата обращения: 08.01.2024).

Sesekin A.N., Tashlykov O.L., Shcheklein S.E., Kuklin M.Yu., Chentsov A.G., Kadnikov A.A. Ispol'zovanie metoda dinamicheskogo programmirovaniya dlya optimizatsii traektorii peremeshcheniya rabotnikov v radiatsionno opasnykh zonakh s tsel'yu minimizatsii oblucheniya. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2006;2:41–48. (In Russ.) Available at: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2006/02.pdf> (accessed: 08.01.2024).

4. Балушкин Ф.А., Сесекин А.Н., Ташлыков О.Л., Чеблоков И.Б., Щеклеин С.Е., Ченцов А.Г. Использование метода динамического программирования для оптимизации демонтажа оборудования энергоблоков АЭС, выводимых из эксплуатации, с целью минимизации облучения. *Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика*. 2009;4:169–176. Режим доступа: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2009/04.pdf> (дата обращения: 23.11.2023)

Balushkin F.A., Sesekin A.N., Tashlykov O.L., Cheblokov I.B., Shcheklein S.E., Chentsov A.G. Ispol'zovaniye metoda dinamicheskogo programmirovaniya dlya optimizatsii demontazha oborudovaniya energoblokov AES vyvodymykh iz ekspluatatsii s tseliyu minimizatsii oblucheniya [Using a dynamic programming method to optimize disassembly of the decommissioned NPP equipment for exposure minimization]. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. (In Russ.) Available at: <https://static.nuclear-power-engineering.ru/journals/2009/04.pdf> (accessed: 23.11.2023).

5. А.Г. Ченцов, А.А. Ченцов. Об одной задаче маршрутизации, ориентированной на проблему демонтажа радиационно опасных объектов. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование*. 2022;15(3):83–95. <https://doi.org/10.14529/mmp220306>

6. Ченцов А.Г., Ченцов А.А., Григорьев А.М. Об одной задаче маршрутизации, моделирующей перемещения в радиационных полях. *Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки*. 2017;27(4):540–557. <https://doi.org/10.20537/vm170405>

7. Ченцов А.Г., Ченцов А.А., Сесекин А.Н. Одна задача маршрутизации работ в условиях повышенной радиации. *Известия Института математики и информатики Удмуртского государственного университета*. 2021;58:94–126. <https://doi.org/10.35634/2226-3594-2021-58-06>

#### ВКЛАД АВТОРОВ:

**Рябов А.О.** – анализ предметной области, разработка модифицированного алгоритма, проведение расчетов;

**Цуверкалова О.Ф.** – постановка задачи, руководство научно-исследовательской работой и проверка результатов, редактирование текста статьи.

#### ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ:

Внешнее финансирование отсутствует.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

Конфликт интересов отсутствует.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Антон Олегович Рябов**, магистрант по направлению 27.04.03 Системный анализ и управление, Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Ростовская область, Российская Федерация. e-mail: ryantony60@gmail.com

**Ольга Феликсовна Цуверкалова**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры информационных и управляющих систем, Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Волгодонск, Ростовская область, Российская Федерация. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6304-4498> e-mail: oftsuverkalova@mephi.ru

#### AUTHORS' CONTRIBUTION:

**Ryabov A.O.** – subject area analysis, modified algorithm development, carrying out calculations;

**Tsuverkalova O.F.** – problem formulation, management of research work and verification of results, article editing and preparation for publication.

#### FUNDING:

No external funding.

#### CONFLICT OF INTEREST:

No conflict of interest.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

**Anton O. Ryabov**, Master's student, 27.04.03 System Analysis and Management speciality, Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Volgodonsk, Rostov region, Russian Federation. e-mail: ryantony60@gmail.com

**Olga F. Tsuverkalova**, Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Department of Information and Control Systems, Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Volgodonsk, Rostov region, Russian Federation.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6304-4498>

e-mail: oftsuverkalova@mephi.ru

Поступила в редакцию 08.01.2024

После доработки 25.02.2024

Принята к публикации 29.02.2024

Received 08.01.2024

Revision 25.02.2024

Accepted 29.02.2024