

Машины и Установки проектирование, разработка и эксплуатация

Сетевое издание
МОО "Стратегия объединения"
<http://maplants-journal.ru>

Ссылка на статью:

//Машины и установки: проектирование,
разработка и эксплуатация.
Электрон. журн. 2024. № 1. С. 1 – 13.

DOI:

Представлена в редакцию: 14.05.2024

Принята к публикации: 27.05.2024

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621-874

Разработка имитационной модели работы козлового контейнерного крана на терминале для поддержания его безопасной эксплуатации

Потапов В. А.¹,
Роцин В. А.^{1*},
Лизунов А. С.²

* roshchinva@mail.ru

¹ООО «Инженерно-технический центр
«КРОС» (Московская область, Россия)

²МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва, Россия)

В статье приводится построение имитационной модели работы контейнерного козлового крана на грузовом терминале для определения параметров интенсивности использования крана в целом и отдельных его механизмов. Имитационная модель строится с целью обеспечения возможности более обоснованного выбора крана для вновь проектируемых терминалов и помощи в эксплуатации уже эксплуатируемых грузоподъемных машин для уменьшения аварийности и повышения безопасности работы на терминалах. Для построения модели проведен анализ устройства контейнерных терминалов, выделены существенные варьируемые и постоянные параметры трёх основных элементов терминала: площадки, грузопотока и собственно грузоподъемной машины. На основе полученных в результате анализа данных построена имитационная модель на языке программирования Python. Для проверки модели на соответствие реальности проведено сравнение результатов моделирования с показаниями системы дистанционного мониторинга реально эксплуатируемого козлового контейнерного крана. Сравнение подтвердило предположение, что построенная модель корректно отражает особенности работы грузоподъемной машины на контейнерном терминале и может использоваться для оценки режима работы крана и его механизмов.

Ключевые слова: козловой кран, контейнерный терминал, параметры интенсивности, режим работы, имитационная модель.

Введение

Настоящая работа входит в группу совместных работ ООО «ИТЦ «КРОС» и кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н. Э. Баумана, ведущихся под руководством доцента кафедры Иванова С. Д. и направленных на повышение безопасности работы грузоподъемной техники [1, 2, 3].

Так как кран – это машина циклического действия, предназначенная для подъема и перемещения груза в пространстве (в соответствии с определением ГОСТ 27555-87), большинство аварий и инцидентов связаны с усталостным разрушением (разрушение под действием переменной силы). Поэтому необходимо соблюдение правил эксплуатации крана в соответствии с его характеристиками: режимом работы крана и режимами работы механизмов. Режим работы – это паспортная характеристика крана, которая показывает, что оборудование может работать без ущерба его техническому состоянию и безотказности работы механизмов в течение указанного срока его эксплуатации. Превышение режима работы крана и механизмов приводит к их разрушению и соответственно к авариям и инцидентам, поэтому превышение паспортных характеристик крана недопустимо в соответствии с 116 ФЗ [4].

При проектировании грузовых терминалов подбор подходящего грузоподъемного оборудования имеет важное значение, так как допущенные ошибки приводят либо к затратам на более дорогостоящую технику, либо к работе оборудования в более высоком режиме работы в сравнении с паспортным, что недопустимо. Рациональный выбор козловых кранов особенно важен при проектировании новых контейнерных терминалов, для которых сложно спрогнозировать режим работы кранов в виду переменного грузопотока через терминал [5]. В статье представлена имитационная модель работы козлового крана на контейнерном терминале, позволяющая прогнозировать режим работы крана и механизмов.

Цель работы: разработка программного обеспечения для помощи организациям, осуществляющим проектирование контейнерных терминалов, и организациям, эксплуатирующим контейнерные козловые краны. Данная программа должна имитировать работу склада контейнеров и выявлять опасные режимы работы крана и его механизмов.

Задачи работы: провести анализ работы контейнерных терминалов, на основе которого построить имитационную модель работы козлового контейнерного крана и провести оценку соответствия модели реальным процессам функционирования контейнерных терминалов. Программа должна выводить характеристики крана в соответствии с ГОСТ 34017 – 2016: коэффициент распределения нагрузки, класс использования, коэффициенты распределения нагрузки для каждого механизма и класс использования для каждого механизма.

1. Описание проведенного исследования

Для разработки программы была проанализирована работа склада и козлового крана для определения существенных параметров модели. Известны разные варианты конфигурации площадок складирования контейнеров, обслуживаемые козловым краном. Эти варианты отличаются различным расположением мест складирования и проездов для ж/д и автотранспорта. Складирование контейнеров производится под мостом крана и редко под консолью, проезды ж/д и автотранспорта могут находиться как под консолями, так и под мостом. Контейнеры складываются в блок рядами с минимальными зазорами между рядами. В высоту контейнеры складываются в штабель. Длина блока контейнеров определяется размерами складской площадки, высота складирования обычно не превышает 4-х ярусов для сортировочных терминалов и зависит от высоты козлового крана. Пример плана расположения контейнеров в блоке, их зазоры и расположение проездов для техники по СП 262.1325800.2016 на рис. 1.

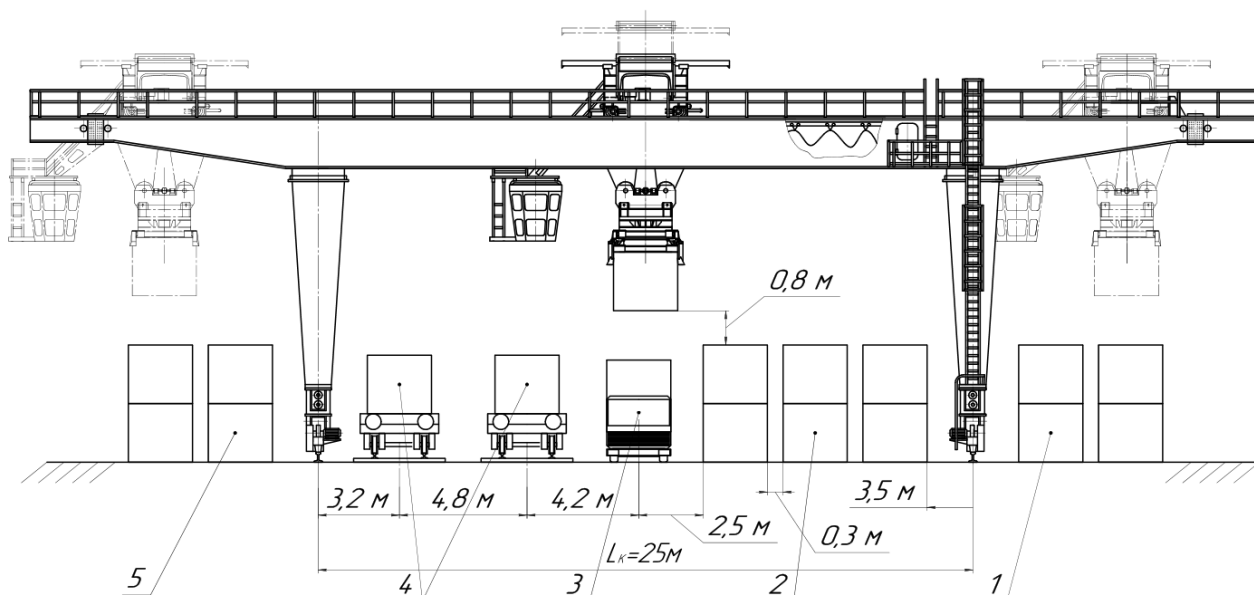


Рис. 1. Пример плана расположения блока контейнеров и проездов для техники:
 1 – площадка хранения под консолью со стороны гибкой опоры; 2 – площадка хранения под мостом крана; 3 – проезд для автотранспорта; 4 – проезды для ж/д транспорта; 5 – площадка хранения под консолью со стороны жесткой опоры.

Согласно методическим указаниям по организации складирования контейнеров на терминалах РЖД могут использоваться 2 стратегии размещения контейнеров с 3 вариантами внутреннего устройства [6]. В соответствии с применяемыми стратегиями контейнеры размещаются либо в едином блоке в соответствии с геометрическими характеристиками площадки, либо модулями блоков в соответствии с размерами хранимых контейнеров (рис. 2.).

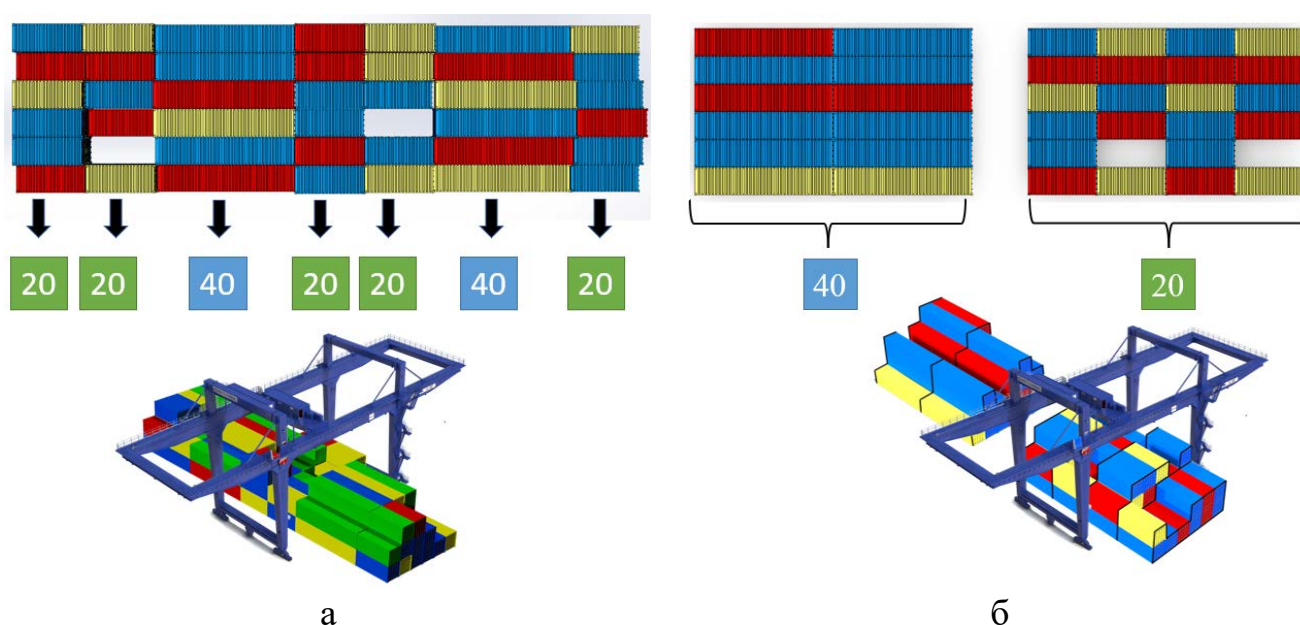


Рис. 2. Стратегии размещения блоков:
 а – размещение контейнеров в едином блоке, б – размещение контейнеров по типоразмеру контейнера.

Возможными вариантами размещения контейнеров в каждом блоке являются: по производителям, по направлениям и случайное распределение. В варианте размещения контейнеров по производителям, блок контейнеров делится на секции, в которых хранятся только контейнеры определенного производителя. Когда путей дальнейшего следования груза не больше 4, складировать по отправлениям или по пути дальнейшего следования. Последняя стратегия – без каких-либо разделений в подблоки [7]. Варианты данных размещений визуализированы на рис. 3. Цифры на иллюстрациях указывают на типоразмер контейнера. Стратегию выбирают исходя из характеристик грузопотока через площадку исходя из условий наименьших перемещений крана и соответственно уменьшения времени одной контейнерооперации [8].

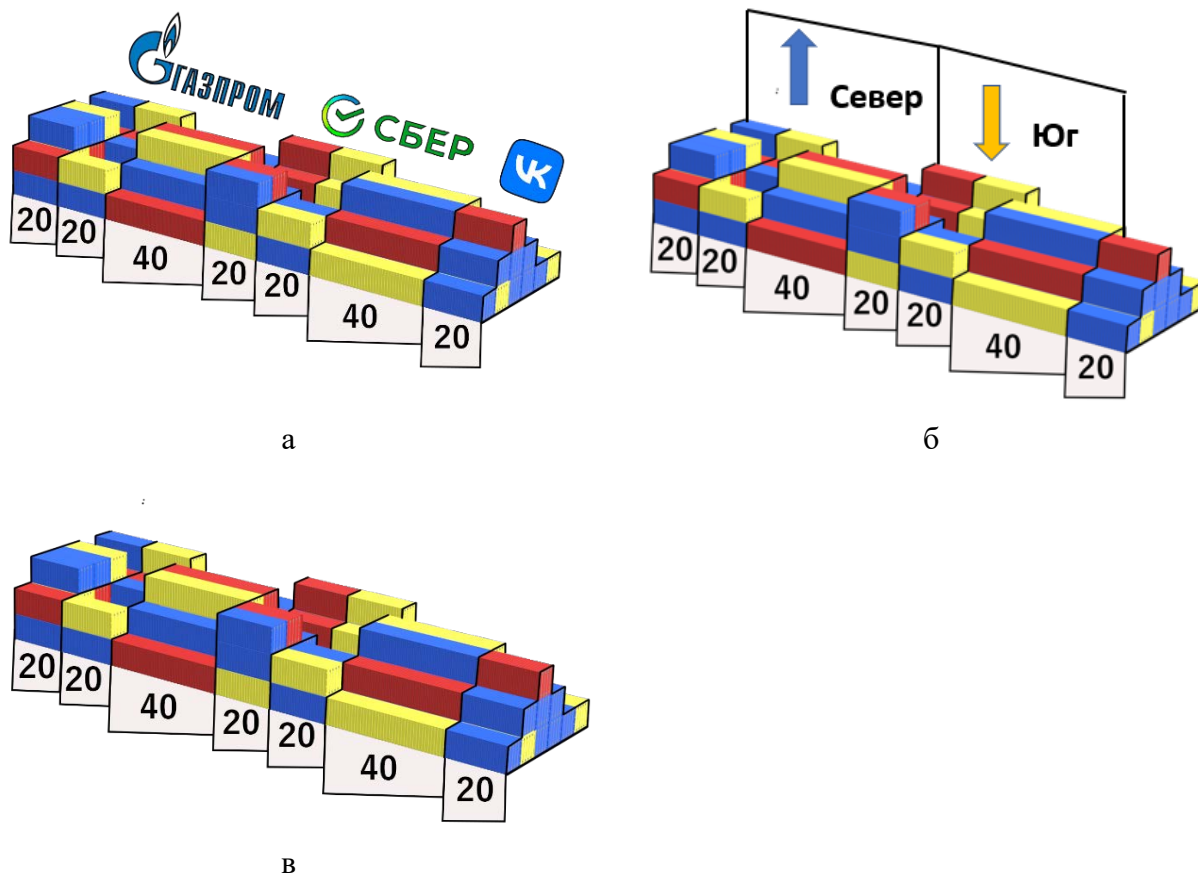


Рис. 3. Варианты размещения контейнеров в блоке

а – стратегия размещения по производителям; б – стратегия размещения по направлениям дальнейшего следования; в- случайное распределение контейнеров

Модель построена на языке программирования Python, представляет собой совокупность классов (блоков), которые хранят в себе характеристики крана, терминала и грузопотока, программу взаимодействия данных классов, которая имитирует действия по погрузочно-разгрузочным работам на терминале. Для организации выхода из модели необходимо ввести количество итераций (циклов работы крана по погрузке или разгрузке).

Из анализа работы контейнерного терминала, варьируемыми параметрами для построения блока «Терминал» выбраны: заполненность площадки (% от максимальной вместимости), места проезда железнодорожного и автотранспорта, расположение контейнеров и назначение рядом контейнеров характеристик (типоразмер контейнера, направление дальнейшего следования или компания владелец). Жестко заданными параметрами терминала в модели являются размеры контейнеров, максимальная вместимость и размер площадки. Введение параметров терминала в интерфейс программы

изображено на рис. 4. Данные о местах складирования и проездах для техники вводятся в координатном виде. Для этого предусмотрена в интерфейсе программы общая модель склада с указанием начала координат. Данные о рядах можно изменять, нажав на кнопку «редактировать данные о рядах».

Введение параметров площадки	
Размеры склада а 22 м в 150 м	Расположение проездов Ж/д проезд 1 X начало* 30 м ширина 3 м Автомобильный проезд 1 X начало* 0 м ширина 6 м
Проезды техники Проезд ж/д количество 1 Проезд авто количество 1	Расположение мест складирования Площадка под мостом X начало* 15 м количество рядов 20 Под консолями Вы не выбрали складирование под консолями
Места складирования Под мостом ☒ Под консолями ☒	
Назначение данных о рядах Ряд 1 Размер контейнера 20 ft Направление/компания 1	
* Нижняя точка по оси X, см схему	
Редактировать данные о рядах Ввод	

Рис. 4. Пример интерфейса программы для ввода данных о складе

Для моделирования крана в блоке «Кран» жестко заданными параметрами являются: номинальная грузоподъемность крана и его режим работы, размеры пролета и консолей металлоконструкции и номинальные скорости: передвижения крана, механизма передвижения тележки и механизма подъема.

Вводимыми характеристиками грузопотока являются:

- Величина грузопотока (TEU/год), где TEU - twenty-foot equivalent unit или ДФЭ - двадцатифутовый эквивалент. TEU - единица измерения, равная объему, занимаемому стандартным 20-футовым контейнером.
- Применяемые виды контейнеров и их процентное соотношение.
- Массовые характеристики (распределение масс в грузопотоке). Вводятся в виде гистограммы, для которой необходимо ввести диапазон разбиения от нулевой массы до номинальной, после чего ввести процентное соотношение данных масс в потоке.

Ввод параметров грузопотока показан на рис. 5.

Последовательность работы модели:

- 1) Загружаются начальные состояния параметров крана, терминала и грузопотока.
- 2) В соответствии с коэффициентом заполненности терминала в начальный момент времени контейнеры распределяются с одинаковой вероятностью.
- 3) Задаются запросы на разгрузку/загрузку ж/д состава / автотранспорта в зависимости от грузопотока на данной площадке, другими словами, обрабатываются данные грузопотока. Последовательность обработки: расчет суточного потока контейнеров, TEU/день, определение необходимого количества ж/д вагонов и автомобилей для обеспечения грузопотока, вероятностный расчет количества разных типов контейнеров на основании данных о соотношении видов контейнеров, назначение массовых характеристик в соответствии с параметрами распределения масс в грузопотоке.

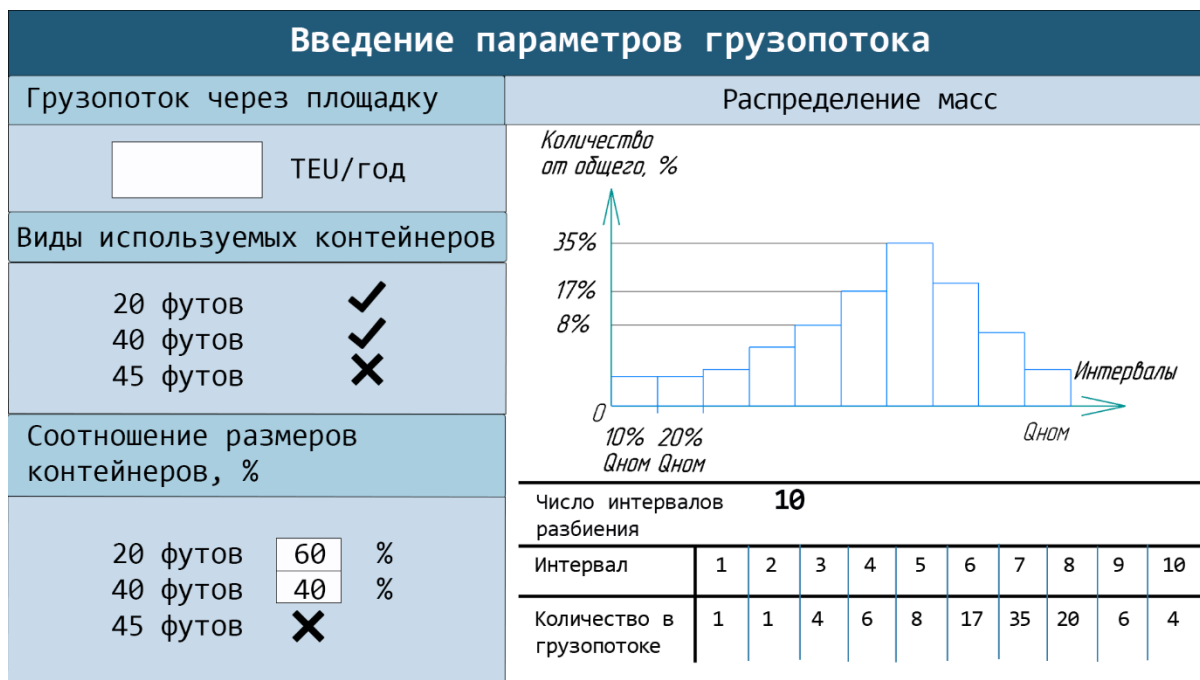


Рис. 5. Пример интерфейса программы для ввода данных о грузопотоке

4) Обрабатываются запросы (моделирование движения крана) и рассчитываются данные по каждому циклу: масса контейнера, расстояния, пройденные механизмами в цикле, длительность цикла. Результатом работы является информация, аналогичная данным системы дистанционного мониторинга (СДМ).

Данные из системы дистанционного мониторинга:

1. Вес контейнера, т
2. Типоразмер контейнера (20 футов, 40 футов, 45 футов)
3. Координата крана на начало цикла, м
4. Координата телеги на начало цикла, м
5. Координата подъема на начало цикла, м
6. Расстояние хода крана за цикл, м
7. Расстояние хода телеги за цикл, м
8. Расстояние подъема за цикл, м
9. Средняя скорость крана, м/мин
10. Средняя скорость телеги, м/мин
11. Средняя скорость подъема, м/мин
12. Потребленная электроэнергия, кВт*ч
13. Длительность цикла, с

5) Расчет эксплуатационных показателей работы крана. После получения данных в виде таблицы, программа анализирует их и рассчитывает режим работы крана и механизмов. Для определения режима работы крана необходимо определение коэффициента распределения нагрузок по формуле (1) и класс нагружения. Для определения режима работы механизма необходим расчет коэффициента распределения нагрузки по формуле (2) и класс использования. Формулы по ГОСТ 34017-2016.

$$K_p = \sum_i \left[\frac{C_i}{C_T} \cdot \left(\frac{P_i}{P_n} \right)^3 \right], \quad (1)$$

$$K_m = \sum_i \left[\frac{t_i}{T_T} \cdot \left(\frac{P_i}{P_n} \right)^3 \right], \quad (2)$$

Результаты расчета эксплуатационных показателей программы в виде графиков:

- График изменения нагрузки крана от времени (рис. 6а), где Q – текущая нагрузка на спредере, $Q_{тр}$ – нагрузка от траверсы, T – время работы крана.
- Отсортированный график циклов с аппроксимирующей кривой (рис. 6б). График изменения нагрузки сортируется по убыванию и приводится в процентном отношении от номинальной грузоподъемности, а далее подбирается аппроксимирующая кривая (уравнение на рис. 5б) для определения коэффициента распределения нагрузок. На графике Q – текущая нагрузка на спредере, $Q_{тр}$ – нагрузка от траверсы.
- График количества включений крана от общего времени работы крана (рис. 6в) для определения класса нагружения. График показывает суммарное количество циклов за срок службы или интенсивность использования крана. На ломаной кривой горизонтальные участки показывают время простоя крана, вертикальные – начало цикла работы крана. На оси ординат показаны классы использования механизма.
- График времени работы механизма передвижения крана от общего времени для определения класса использования механизма передвижения крана (рис. 6г), показывает суммарную продолжительность работы механизма в течении его срока службы. Ось ординат показывает продолжительность работы механизма, на оси абсцисс указано общее время работы крана. Ломаная кривая также показывает участки работы и простоя механизма, а на оси ординат указан класс нагружения механизма. График показывает суммарную продолжительность работы механизма в течении его срока службы.

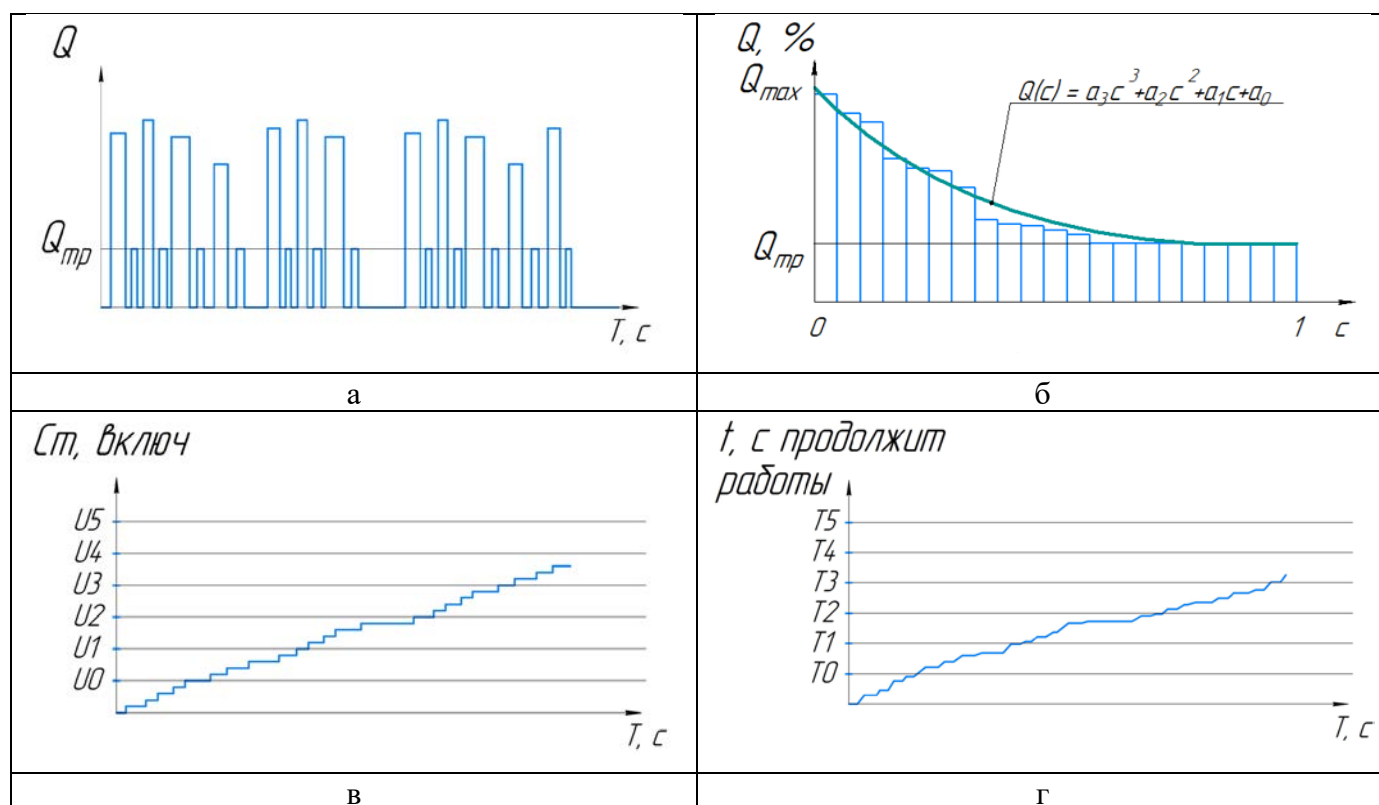


Рис. 6. Результаты работы модели:

а – график изменения нагрузки крана от времени; б – отсортированный график циклов с аппроксимирующей кривой; в – график количества включений крана от общего времени; г – график времени работы механизма передвижения крана от общего времени.

Масштабы времени на графиках одинаковые, так как они получены в одном и том же процессе моделирования.

Расчет режима работы крана и механизмов на основе коэффициентов распределения нагрузок крана и механизмов по формулам (1) и (2), класса нагружения крана и класса использования механизма по ГОСТ 34017-2016. Эти параметры сравниваются с паспортными характеристиками крана для анализа его работы.

В результате выводом программы является таблица с данными по каждому циклу, схожая с результатами системы дистанционного мониторинга, графики изменения нагрузки от времени и отсортированный график с аппроксимирующей кривой, графики интенсивности использования крана и механизмов и режимы работы крана и механизмов. На основе рассчитанных режимов работы крана и механизмов, программа выводит результат сравнения режима работы крана и механизмов паспортным характеристикам. По данным расчетам можно корректно выбрать кран для вновь проектируемых терминалов или оценить работу крана на существующем терминале, что поможет не допустить превышение режима работы крана для его безопасной эксплуатации и избежать перегруза крана, следовательно уменьшить количество аварий и инцидентов при эксплуатации, а также осуществлять планирование технического обслуживания и ремонтов, основанное на параметрах режима работы крана и механизмов [9].

2. Эксперимент

Для заключения о том, что модель соответствует реальности, проведено сравнение результатов моделирования и показателей работы терминала компании ПАО «Трансконтейнер» (г. Пенза). Данный склад был выбран исходя из того, что на кране, обслуживающем данный терминал, установлена система дистанционного мониторинга (СДМ), благодаря которой возможно сравнить данные из СДМ с результатами моделирования. Характеристики крана представлены в таблице 1, схема склада для моделирования изображена на рис. 7.

Таблица 1. Характеристики козлового крана

Пролет крана, м	Высота подъема, м	Вылет консолей, м	Скорость механизмов, м/мин		
			Подъем	Кран	Тележка
25	12,5	5 и 7	12	60	40

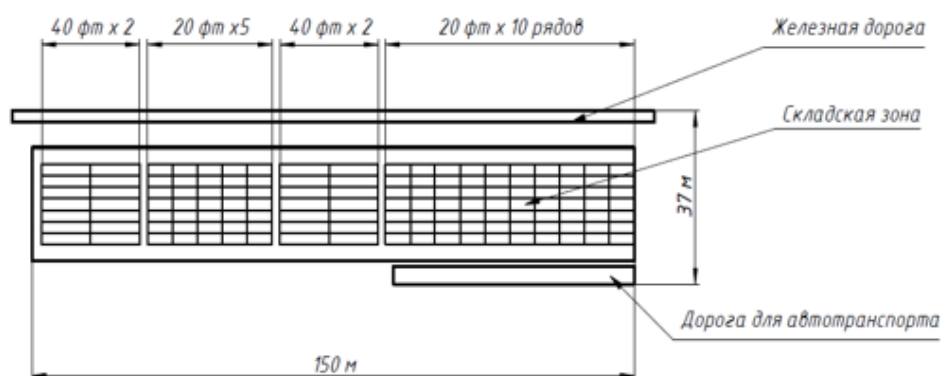


Рис. 7. Схема терминала для моделирования, соответствующая реальному терминалу

Данные, полученные с помощью системы дистанционного мониторинга, были отфильтрованы от заведомо некорректных циклов (16%): длительность более 500 секунд, перемещение крана более 150 м; перемещение тележки более 37 м. Далее выявляли характерные циклы работы реального крана, соответствующие особенностям обслуживаемого технологического процесса, и фиксировали их наличие в данных модели.

Было проведено статистическое сравнение. Выборки данных, переданных системой дистанционного мониторинга и полученных имитационным моделированием, были приведены к вариационным рядам, и далее визуализированы в виде гистограмм распределений. Данные выборки сравниваются по критерию согласия Пирсона [10] по формуле (3).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \sim \chi^2(k - 3), \quad (3)$$

где, χ^2 - критерий Пирсона, n_i - вероятность попадания в интервал в СДМ, np_i -вероятность попадания в интервал по модели, k – степени свободы системы (число интервалов).

3. Результаты

Результат сравнения выборок по критерию Пирсона представлен в таблице 3.

Таблица 3. Результаты сравнения выборок по критерию Пирсона

Параметр	Критерий согласия	Критическая точка	χ^2
Расстояние движения крана	0,95	18,31	12,59
Расстояние движения тележки	0,9	15,99	10,28
Расстояние движения механизма подъема	0,9	15,99	14,32

Посчитаем эксплуатационные показатели работы крана и сравним с данными в СДМ. Результаты расчета в таблице 4.

Таблица 4. Результаты расчета модели

Критерий	Результат модели	Расчет по данным СДМ	Разница, %
Коэффициент распределения нагрузки, K_p	0,225	0,219	2,7
Класс нагружения механизма передвижения крана, K_m	0,182	0,191	4,7
Класс нагружения механизма передвижения тележки, K_m	0,214	0,198	8,1

4. Обсуждение

Результатом сравнения выборок стало, что они распределены по одному закону распределения с вероятностью не менее 90%. Следовательно, можно принять гипотезу о том, что модель отражает особенности работы козлового контейнерного крана на контейнерных терминалах.

По данным расчета эксплуатационных показателей видно, что разница при расчете критериев не превышает 10%, данная точность вполне достаточна, чтобы оценить режим работы крана и механизмов.

Заключение

Таким образом, в работе был приведен анализ работы контейнерных терминалов, на основе данного анализа были определены характерные параметры площадок, определены основные параметры грузопотока и кранов для моделирования. На основании выделенных параметров была разработана имитационная модель.

Приведен пример работы интерфейса и программы. Проверена способность модели, учитывать параметры и конфигурацию склада, параметры грузоподъемной техники и целевые показатели грузопотока и рассчитывать эксплуатационные характеристики грузоподъемной техники: коэффициент распределения нагрузки, классы нагружения механизмов, классы использования крана и механизмов и определение режима работы крана и механизмов. Проверка была проведена путем сравнения с реальными данными склада, на кране которого установлена система дистанционного мониторинга. Результаты проверки указывают на то, что модель можно применять для анализа работы козлового крана на контейнерном терминале для определения режимов работы крана и механизмов, чтобы не допустить перегруза крана и эксплуатировать его в соответствии с паспортными характеристиками во избежание возможных аварий и инцидентов, связанных с неправильной эксплуатацией.

Список литературы

1. Назаров А. Н. Алгоритмическая обработка объективной информации о характере работы кранов мостового типа / А. Н. Назаров, С. Д. Иванов // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в машиностроительной, дорожной и строительной отраслях - 2023 : Материалы международной научно-практической конференции, Белгород, 21–23 сентября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 178-184. – EDN WGOGHA.
2. Назаров А. Н. Исследование влияния работы ограничителя грузоподъемности с промежуточными порогами на безопасность кранов мостового типа / А. Н. Назаров, С. Д. Иванов // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. – 2023. – № 1. – С. 41-52. – EDN SZRVVB.
3. Рошин В. А. Разработка системы защиты кранов мостового типа от столкновения на основе технического зрения / В. А. Рошин, В. А. Потапов, С. Д. Иванов // Подъемно-транспортное дело. – 2021. – № 4-6(104). – С. 12-15. – EDN BAAEUZ.
4. Дудоров В. Е. Проблема охраны труда и промышленной безопасности на опасных производственных объектах / В. Е. Дудоров, К. А. Швалева // Наука среди нас. – 2019. – № 3(19). – С. 31-38. – EDN IYFRYU.

5. Объективная информация о работе подъемно-транспортных машин как основа повышения качества информационных систем грузообработывающих предприятий / Н. Ю. Иванова, С. Д. Иванов, С. А. Надеженков, А. Н. Назаров // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. – 2023. – № 2. – С. 81-96. – EDN MRGIFW.

6. Пospelов А. М. Организация работы контейнерного терминала: учеб.-метод. рекомендации/ А. М. Пospelов. – Екатеринбург: УрГУПС, 2017. – 54с.

7. Лизунов А. С., Иванов С. Д. Разработка имитационной модели для размещения контейнеров на складе // Семьдесят шестая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. - г. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2023. - С. 435-438.

8. Кузнецов А. Л. Анализ оптимизационных стратегий складирования контейнеров / А. Л. Кузнецов, А. Д. Семенов, А. З. Борович // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2019. – Т. 11, № 5. – С. 803-812. – DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-5-803-812. – EDN ZYVKOL.

9. Применение имитационной логистической модели складирования в целях повышения качества принятия управленческих решений на грузоперерабатывающем предприятии / Н. Ю. Иванова, А. Н. Назаров, А. Р. Луткин, Л. В. Завальная // Устойчивое развитие и новая индустриализация: наука, экономика, образование : Материалы конференции, Москва, 18 июня 2021 года. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2021. – С. 243-248. – EDN JOFNYY.

10. Малугин, В. А. Теория вероятностей и математическая статистика : учебник и практикум для вузов / В. А. Малугин. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 470 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-05470-5.

АВТОРЫ

Потапов Валентин Алексеевич, кандидат технических наук, генеральный директор ООО «Инженерно-технический центр «КРОС», 141281, московская область, городской округ Пушкинский, г. Ивантеевка, проезд Санаторный, д. 1/1Б, офис 415, potapov@itc-kros.ru

Рощин Виталий Андреевич, инженер ООО «Инженерно-технический центр «КРОС», 141281, московская область, городской округ Пушкинский, г. Ивантеевка, проезд Санаторный, д. 1/1Б, офис 415, roshchinva@mail.ru

Лизунов Александр Сергеевич, студент 6-го курса, кафедра «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, lizunov1797@gmail.com

Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal
International Public Organization
“Integration strategy”
<http://maplants-journal.ru>*

*//Machines and Plants:Design and Exploiting.
2024. № 1. pp. 1 – 13.*

DOI:

Received: 14.05.2024

Accepted for publication: 27.05.2024

© International Public Organization “Integration strategy”

Development of a Simulation Model for the Operation of a Gantry Container Crane at a Terminal to Support Its Safe Operation

Potapov Valentin A.¹,
Roshchin Vitaliy A.^{1*},
Lizunov Alexandr S.²

* roshchinva@mail.ru

¹ LLC "Engineering and Technical Center
"CROS", Moscow region, Russian Federation

² Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russian Federation

The article presents the construction of a simulation model of the operation of a container gantry crane at a cargo terminal to determine the parameters of the intensity of use of the crane as a whole and its individual mechanisms. The simulation model is being built in order to provide a more reasonable choice of crane for newly designed terminals and to assist in the operation of already in operation lifting machines to reduce accidents and improve the safety of work at terminals. To build the model, an analysis of the structure of container terminals was carried out, significant variable and constant parameters of the three main elements of the terminal were identified: the site, cargo flow and the actual lifting machine. Based on the data obtained as a result of the analysis, a simulation model in the Python programming language is built. To check the model for compliance with reality, the simulation results were compared with the readings of the remote monitoring system of a really operated gantry container crane. The comparison confirmed the assumption that the constructed model correctly reflects the features of the lifting machine at the container terminal and can be used to assess the operating mode of the crane and its mechanisms.

Keywords: gantry crane, container terminal, intensity parameters, operating mode, simulation model.

References

1. Nazarov, A.N. Algorithmic processing of objective information about the nature of operation of bridge-type cranes / A.N. Nazarov, S.D. Ivanov // Energy-saving technologies and equipment in mechanical engineering, road and construction industries - 2023: Proceedings of the international scientific-practical conference, Belgorod, September 21–23, 2023. - Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2023. - Pp. 178-184. - EDN WGOGHA.
2. Nazarov, A.N. Study of the influence of the load limiter with intermediate thresholds on the safety of bridge-type cranes / A.N. Nazarov, S.D. Ivanov // Machines and installations: design, development, and operation. - 2023. - No. 1. - Pp. 41-52. - EDN SZRVVB.

3. Roshchin, V.A. Development of a collision protection system for bridge-type cranes based on technical vision / V.A. Roshchin, V.A. Potapov, S.D. Ivanov // *Lifting and Transport Business*. - 2021. - No. 4-6(104). - Pp. 12-15. - EDN BAAEUZ.
 4. Dudorov, V.E. The problem of labor protection and industrial safety at hazardous production facilities / V.E. Dudorov, K.A. Shvaleva // *Science Among Us*. - 2019. - No. 3(19). - Pp. 31-38. - EDN IYFRYU.
 5. Objective information about the operation of lifting-transport machines as the basis for improving the quality of information systems of cargo-handling enterprises / N.Y. Ivanova, S.D. Ivanov, S.A. Nadezhenkov, A.N. Nazarov // *Machines and installations: design, development, and operation*. - 2023. - No. 2. - Pp. 81-96. - EDN MRGIFW.
 6. Pospelov, A.M. Organization of work at a container terminal: educational-methodical recommendations / A.M. Pospelov. - Yekaterinburg: Ural State University of Railway Transport, 2017. - 54 p.
 7. Lizunov, A.S., Ivanov, S.D. Development of a simulation model for container storage at a warehouse // *Seventy-sixth All-Russian scientific-technical conference of students, postgraduates, and doctoral candidates with international participation*. - Yaroslavl: Publishing house of YSTU, 2023. - Pp. 435-438.
 8. Kuznetsov, A.L. Analysis of optimization strategies for container storage / A.L. Kuznetsov, A.D. Semenov, A.Z. Borevich // *Bulletin of the State University of Maritime and Inland Shipping named after Admiral S.O. Makarov*. - 2019. - Vol. 11, No. 5. - Pp. 803-812. - DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-5-803-812. - EDN ZYVKOL.
 9. Application of a simulation logistic model of storage to improve the quality of managerial decision-making at a cargo-processing enterprise / N.Y. Ivanova, A.N. Nazarov, A.R. Lutkin, L.V. Zavalnaya // *Sustainable development and new industrialization: science, economy, education: Conference materials, Moscow, June 18, 2021*. - Moscow: Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University), 2021. - Pp. 243-248. - EDN JOFNVY.
 10. Malugin, V.A. Probability Theory and Mathematical Statistics: textbook and workshop for universities / V.A. Malugin. — Moscow: Yurayt Publishing House, 2023. — 470 p. — (Higher Education). — ISBN 978-5-534-05470-5.
-

AUTHORS

Potapov Valentin A., Ph.D., General Director of the LLC "Engineering and Technical Center "CROS" 141281, Moscow region, Pushkinsky district, Ivanteevka, Sanatorny passage, 1/1B, office 415, potapov@itc-kros.ru

Roshchin Vitaliy A., Engineer of the LLC "Engineering and Technical Center "CROS" 141281, Moscow region, Pushkinsky district, Ivanteevka, Sanatorny passage, 1/1B, office 415, roshchinva@mail.ru

Lizunov Alexandr S., 6th-year student of the «Lifting and Transport Systems» Department of Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 2nd Bauman str., 5, p. 1, 105005, lizunov1797@gmail.com

Машины и Установки проектирование, разработка и эксплуатация

Сетевое издание
МОО «Стратегия объединения»
<http://maplants-journal.ru>

Ссылка на статью:

//Машины и установки: проектирование,
разработка и эксплуатация.
Электрон. журн. 2024. № 1. С. 14 – 25.

DOI:

Представлена в редакцию: 22.05.2024

Принята к публикации: 29.05.2024

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621-873

Расшифровка исходных данных регистратора параметров работы грузоподъемного крана для уменьшения аварийности и травматизма при работе грузоподъемных машин

Потапов В. А.¹,
Рощин В. А.^{1*},
Агейчева М. М.²

* roshchinva@mail.ru

¹ООО «Инженерно-технический центр
«КРОС» (Московская область, Россия)

²МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва, Россия)

Статья посвящена вопросам анализа, обработки и подготовки исходных данных регистратора параметров работы грузоподъемного крана с целью повышения точности расчетов параметров его работы. Изучены существующие источники получения информации о работе грузоподъемных машин. Предложена методика расшифровки данных регистратора параметров для повышения безопасности и уменьшения аварийности работы грузоподъемного крана.

Ключевые слова: регистратор параметров, грузоподъемный кран, безопасность, остаточный ресурс, характеристическое число крана, техническое обслуживание.

Введение

Для обеспечения безопасности эксплуатации подъемного сооружения (ПС) эксплуатирующая организация обязана обеспечить не только считывание данных регистратора параметров (РП) работы ПС, но и осуществить расшифровку этих данных с оформлением протокола [ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» раздел III, п. 24 б].

Однако на данный момент руководства по эксплуатации приборов, правила и иные нормативные документы не содержат методики расшифровки исходной информации. Из-за отсутствия единого подхода обработки исходных данных, их точность остается неоцененной, что приводит к ошибкам в расчетах показателей работы грузоподъемных кранов и, как следствие, к авариям, инцидентам и несчастным случаям на предприятии, эксплуатирующем ПС. Согласно данным Ростехнадзора, каждый год на опасных производственных объектах (ОПО), использующих ПС, происходит около 150 аварий с летальным исходом [1].

Средний срок службы грузоподъемных кранов в России составляет 28 лет, что почти в 2 раза превышает их нормативный срок службы [2]. Но многие грузоподъемные машины продолжают находиться в работоспособном состоянии несмотря на отсутствие проведения капитального ремонта. Это возможно за счет меньшей реальной интенсивности эксплуатации грузоподъемного крана по сравнению с паспортными характеристиками. Однако очевидно, что такая техника наиболее требовательна к соблюдению сроков и качеству технических обслуживаний и планово-предупредительных ремонтов (ТО и Р). Их своевременное проведение согласно графикам планово-предупредительных работ обеспечивает безопасную работу грузоподъемного крана в процессе его эксплуатации. Однако данный подход является усредненным и неточным [3].

В исследовании [4] была предложена методика оценки выработки характеристического числа между ТО, исходя из паспортных характеристик крана и графиков проведения работ. Но для того, чтобы данный подход был верен, необходимо качественно подготавливать исходные данные для расчета, которые можно получить при помощи справки о характере работы грузоподъемного крана, регистратора параметров работы грузоподъемного крана и систем дистанционного мониторинга (СДМ) [5].

У каждого из источников существуют недостатки. Так, справка о характере работы грузоподъемного крана не является объективной, так как заполняется специалистом субъективно. Качество исходных данных, полученных при помощи РП и СДМ, остается неоцененным [6]. Согласно ГОСТ 33713-2015 «Краны грузоподъемные. Регистраторы параметров работы. Общие требования» отклонение регистрируемых параметров в РП от фактических данных должно составлять не более 3%. Однако исследования [7] показали, что ошибка в работе РП может достигать 20%.

В связи с этим возникает потребность в разработке методики расшифровки исходных данных РП с целью повышения их качества и точности расчета показателей работы грузоподъемного крана, а также уменьшения аварийности и травматизма в процессе его эксплуатации. для каждого механизма.

1. Расчет остаточного ресурса крана согласно РД 24-112-5Р

Согласно методике РД 24-112-5Р оценка фактической группы классификации крана выполняется на основе ИСО 4301/1-86 «Краны и грузоподъемные устройства. Классификация. Часть 1. Общие положения» в зависимости от класса использования и режима нагружения крана.

Класс использования крана определяется количеством рабочих циклов C_T в течение его срока службы, зависящим от частоты использования крана.

Коэффициент распределения нагрузок K_p характеризует режим нагружения крана. В случае, когда имеется информация о массах и количестве поднятых грузов, коэффициент распределения нагрузок рассчитывается по формуле (1):

$$K_p = \sum \left[\frac{C_i}{C_T} \cdot \left(\frac{P_i}{P_{max}} \right)^3 \right], \quad (1)$$

где C_i – среднее число циклов работы с частным уровнем массы груза;

P_i – массы отдельных грузов при типичном применении данного крана;

P_{max} – масса номинального груза.

После того, как были установлены класс использования и режим нагружения крана, определяется фактическая группа режима работы крана.

Однако данная методика не учитывает качество исходной информации РП и ее достоверность. На рис. 1 представлены возможные ошибки в информационных картах РП. Например, максимальная перегрузка лебедки не может достигать таких значений, так как, согласно Правилам устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов, нагрузка на кран при подъеме груза не должна превышать 125% номинальной грузоподъемности для кранов мостового типа. Также характеристическое число лебедки не может оцениваться более 100000 согласно ГОСТу 33713-2015 «Краны грузоподъемные. Регистраторы параметров работы. Общие требования».

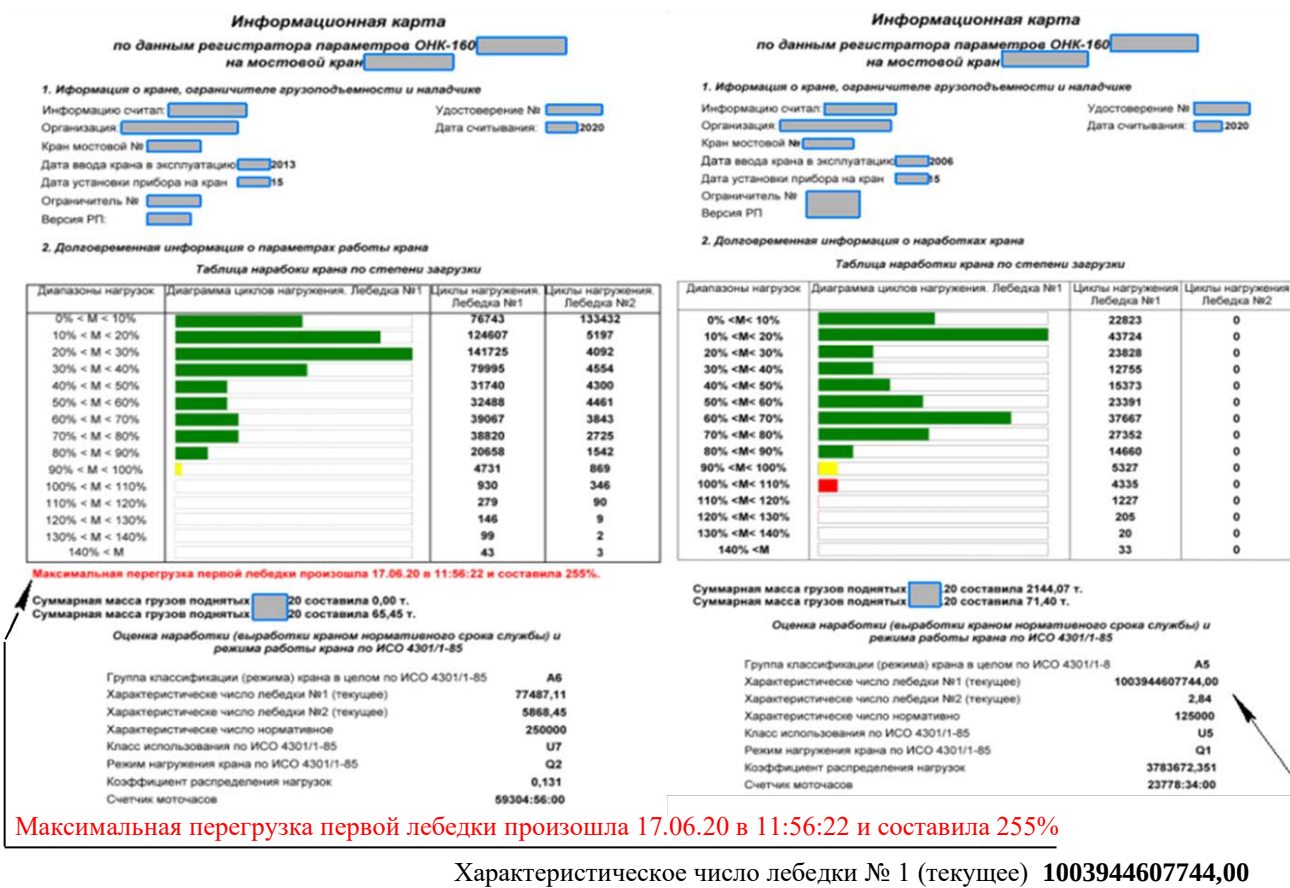


Рис. 1. Ошибки в информационных картах регистраторов параметров.

2. Методика расшифровки информации регистратора параметров

Для повышения точности расчетов эксплуатационных параметров грузоподъемного крана в данной работе была предложена методика расшифровки информации РП.

Согласно предложенному подходу, для повышения точности расчета необходимо:

- 1) проверить исходные данные на учет веса грузозахватного органа: минимальные нагрузки на кран должны быть больше (либо равны) суммарной массы грузозахватного органа и используемой тары (в случае её наличия); максимальные нагрузки на кран должны быть меньше (либо равны) суммарной массы Брутто тары и грузозахватного органа;
- 2) провести анализ исходных данных на соответствие действительности: процент рабочих циклов с пустым грузозахватным органом и с рабочей нагрузкой, согласно данным РП, должен совпадать с данными грузопотока;
- 3) определить фактическое соотношение уровней нагрузки в РП (P_i / P_{max});
- 4) разбить диапазон нагрузок на более узкие интервалы.

3. Применение методики расшифровки информации регистратора параметров при расчете остаточного ресурса козлового контейнерного крана

Данная методика была опробована на примере расчета остаточного ресурса реального козлового контейнерного крана, обслуживающего терминал крупной логистической компании. Рассматриваемый козловой контейнерный кран грузоподъемностью 24 тонны, паспортного режима А6 перегружает 20-футовые контейнеры, работая 32 года на открытом воздухе.

Информационная карта по данным РП исследуемого крана приведена на рис. 2.

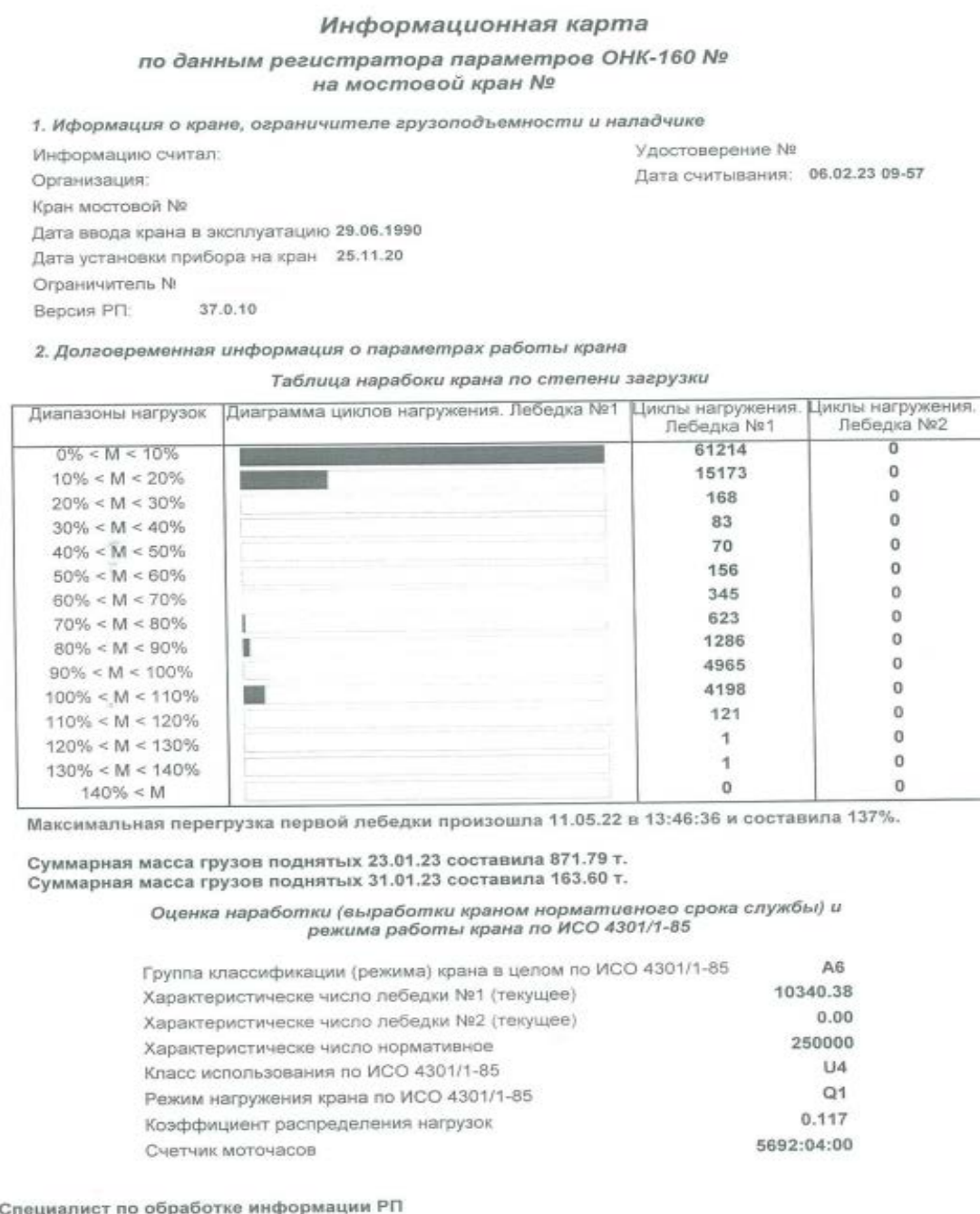


Рис. 2. Информационная карта по данным регистратора параметров.

Согласно данным РП, фактическая группа режима работы крана – А6, коэффициент распределения нагрузок $K_p = 0,117$.

Применив методику расчета остаточного ресурса крана согласно РД 24-112-5Р, которая использует в качестве исходных данных информацию РП, разбиение диапазона нагрузок по 25% и нижнюю границу интервалов нагрузок, были получены следующие результаты (табл. 1):

- фактический режим работы крана – А4;
- коэффициент распределения нагрузок $K_p = 0,048$;
- остаточный ресурс крана (при паспортном режиме работы А6) – 98,1 лет.

Таблица 1. Результаты расчетов по данным РП и методике РД

Нагрузка ($\frac{P_i}{P_{max}}$), %	Количество циклов (C_i)	P_i/P_{max}
0...25	76555	0,01
25...50	309	0,25
50...75	2254	0,5
75...100	9284	0,75
100...125	2	1
125...150	0	1,25
Всего (C_T)	88404	

Далее на исходных данных РП был проверен предложенный выше подход для повышения точности расчета остаточного ресурса крана.

1. Проверка исходных данных на учет веса спредера.

РП не учитывает вес спредера, так как суммарная масса пустого 20-футового контейнера (2,3 тонны) и спредера (3,5 тонны) составляет 5,8 тонн, что больше 20% номинальной грузоподъемности крана (4,8 тонны). Отсюда делаем вывод о том, что большую часть времени кран перегружает порожние контейнеры, следовательно, данные информационной карты РП корректны и можно продолжать расчет остаточного ресурса крана на их основе.

2. Анализ исходных данных на соответствие действительности.

По данным РП процент порожних контейнеров составляет 69%, груженых – 31%; по данным контейнерного терминала (рис. 3) порожних контейнеров – 88%, груженных – 12%, то есть информация РП не соответствует грузопотоку площадки. Следовательно, данные РП необходимо скорректировать.



Рис. 3. Спутниковая фотография контейнерного терминала: желтая зона – груженные контейнеры; красная зона – порожние контейнеры

Так как масса порожних контейнеров составляет 2,3 тонны, то есть находится в интервале $0...10\%P_{max}$, то для того, чтобы увеличить процент порожних контейнеров, необходимо перенести количество рабочих циклов (по данным информационной карты РП) в интервал диапазона нагрузок на 10% меньше текущего (рис. 4).

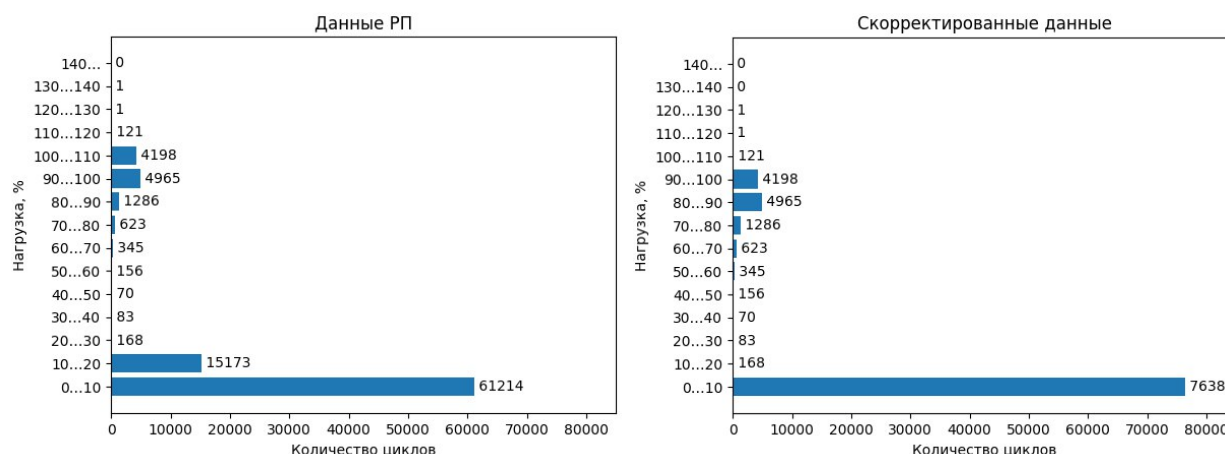


Рис. 4. Скорректированное количество циклов в каждом интервале диапазона нагрузок

Тогда на скорректированных данных (табл. 2) получим соотношение порожних и груженых контейнеров – 84% к 16%, что соответствует данным спутниковой фотографии терминала.

Таблица 2. Скорректированные данные

Нагрузка ($\frac{P_i}{P_{max}}$), %	Количество циклов (C_i)
0...10	76387
10...20	168
20...30	83
30...40	70
40...50	156
50...60	345
60...70	623
70...80	1286
80...90	4965
90...100	4198
100...110	121
110...120	1
120...130	1
130...140	0
140...	0
Всего (C_T)	88404

В табл. 3 показано полученное соотношение груженых и порожних контейнеров на скорректированных данных табл. 2

Таблица 3. Соотношение груженых и порожних контейнеров на терминале

	Порожние контейнеры, %	Груженые контейнеры, %
Данные РП	69	31
Данные спутниковой фотографии	88	12
Скорректированные данные	84	16

3. Фактическое соотношение уровней нагрузки в РП.

Данный показатель находится путем сравнения характеристического числа (10340) и коэффициента распределения нагрузок ($K_p = 0,117$), согласно информационной карте РП и данным расчета программы. Изменяя уровни соотношения нагрузок в каждом диапазоне (P_i / P_{max} – красный прямоугольник (рис. 5) на исходных данных РП, пересчитывается коэффициент распределения нагрузок и количество эквивалентных циклов – желтые прямоугольники (рис. 5).

Нагрузка, %	Кол-во циклов нагружения	P_i/P_{max}
0...10	61214	0,1
10...20	15173	0,2
20...30	168	0,3
30...40	83	0,4
40...50	70	0,5
50...60	156	0,6
60...70	345	0,7
70...80	623	0,8
80...90	1286	0,9
90...100	4965	1
100...110	4198	1,1
110...120	121	1,2
120...130	1	1,3
130...140	1	1,4
140...	0	1,5
Всего	88404	Кр 0,139996652
Общее число циклов за срок службы крана	1311197,559	
Эквивалентные циклы	12376,264	

а)

Нагрузка, %	Кол-во циклов нагружения	P_i/P_{max}
0...10	61214	0,01
10...20	15173	0,1
20...30	168	0,2
30...40	83	0,3
40...50	70	0,4
50...60	156	0,5
60...70	345	0,6
70...80	623	0,7
80...90	1286	0,8
90...100	4965	0,9
100...110	4198	1
110...120	121	1,1
120...130	1	1,2
130...140	1	1,3
140...	0	1,4
Всего	88404	Кр 0,101487503
Общее число циклов за срок службы крана	1311197,559	
Эквивалентные циклы	8971,901214	

б)

Нагрузка, %	Кол-во циклов нагружения	P_i/P_{max}
0...10	61214	0,0438
10...20	15173	0,1438
20...30	168	0,2438
30...40	83	0,3438
40...50	70	0,4438
50...60	156	0,5438
60...70	345	0,6438
70...80	623	0,7438
80...90	1286	0,8438
90...100	4965	0,9438
100...110	4198	1,0438
110...120	121	1,1438
120...130	1	1,2438
130...140	1	1,3438
140...	0	1,4438
Всего	88404	Кр 0,117
Общее число циклов за срок службы крана	1311197,559	
Эквивалентные циклы	10342	

в)

Рис. 5. Нахождение фактической настройки РП:

а) расчет по верхней границе интервала; б) расчет по нижней границе интервала; в) расчет по фактической настройке РП.

Фактическая настройка РП считается найденной тогда, когда коэффициент распределения нагрузок и количество эквивалентных циклов в программе расчета (рис. 5в желтые прямоугольники) совпадают с данными информационной карты РП (рис. 2).

В данном случае фактическое отношение P_i / P_{max} рассчитывается по формуле:

$$\frac{P_i}{P_{max}} = 0,0438 + n, \quad (2)$$

где n – нижняя граница диапазона разбиения. Например, диапазон 0...10% – $n = 0$; диапазон 10%...20% – $n = 0,1$ и т.д.

4. Использование мелких интервалов в диапазоне нагрузок.

Данные РП позволяют разбить нагрузки по 10% (вместо 25%, предложенных в РД).

По скорректированным данным, фактической настройке РП (формула (2)) и разбиению нагрузок по 10% был проведен перерасчет остаточного ресурса крана:

фактический режим работы крана – А5;

коэффициент распределения нагрузок $K_p = 0,084$;

остаточный ресурс крана (при паспортном режиме работы А6) – 41,4 года.

Если проводить расчет на скорректированных данных, фактической настройке РП (2), но использовать разбиение нагрузок по 25% (как предложено в РД), то будут получены следующие результаты:

фактический режим работы крана – А5;

коэффициент распределения нагрузок $K_p = 0,060$;

остаточный ресурс крана (при паспортном режиме работы А6) – 70,8 лет.

Сводные результаты расчета остаточного ресурса крана представлены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты расчетов остаточного ресурса крана

	Фактический режим работы крана	Коэффициент распределения нагрузок K_p	Остаточный ресурс крана, лет
Исходные данные РП, методика РД, нижняя граница диапазона нагрузок	А4	0,048	98,1
Скорректированные данные, разбиение по 25%, фактическая настройка РП	А5	0,060	70,8
Скорректированные данные, разбиение по 10%, фактическая настройка РП	А5	0,084	41,4

Заключение

Из табл. 4 видно, что подготовка исходных данных влияет на точность результатов расчета остаточного ресурса крана. При корректировке данных с учетом грузопотока на терминале, настройки РП, разбиения нагрузок на меньшие диапазоны остаточный ресурс крана составил 41, 4 года, что более чем в 2 раза меньше остаточного ресурса крана при расчете по методике РД на неподготовленных данных.

Таким образом, использование РП, а также расшифровка полученной информации на всем сроке службы грузоподъемного крана позволяет оценить скорость выработки характеристического числа. Качественная подготовка исходных данных РП работы грузоподъемных механизмов (ГПМ) дает возможность корректировать сроки проведения ТО и Р грузоподъемных механизмов, обосновано продлевать их сроки службы на основе повышения точности полученных результатов, а также уменьшать аварийность и травматизм при эксплуатации ГПМ.

Список литературы

1. Короткий А.А. Управление промышленной безопасностью подъемных сооружений (методологические основы) // Вестник Владикавказского научного центра. – 2008. – №3. – С.65-73.
2. Иванов С.Д. Формирование информационной базы для уточнения расчета остаточного ресурса и улучшения методики планирования ремонтов подъемно-транспортного оборудования с использованием приборов безопасности-регистраторов параметров (на примере кранов) / С.Д. Иванов, Н.Ю. Иванова // Всероссийская научно-практическая конференция «Цифровая экономика: технологии, управление, человеческий капитал» / МГТУ "СТАНКИН". – М., 2019. – С. 236-241.
3. Иванова Н.Ю. Объективная информация о работе подъемно-транспортных машин как основа повышения качества информационных систем грузообработывающих предприятий / Н.Ю. Иванова, С.Д. Иванов, С.А. Надеженков, А.Н. Назаров // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. – 2023. – № 2. – С. 81-96.
4. Иванов С.Д. Применение цифровых технологий для повышения эффективности промышленного предприятия / С.Д. Иванов, Л.В. Завальная // Сборник научных трудов VIII международной конференции по контроллингу: контроллинг в экономике, организация производства и управления: цифровизация в экономике. – 2019. – С.124 – 128.
5. Назаров А. Н. Алгоритмическая обработка объективной информации о характере работы кранов мостового типа / А. Н. Назаров, С. Д. Иванов // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в машиностроительной, дорожной и строительной отраслях - 2023 : Материалы международной научно-практической конференции, Белгород, 21–23 сентября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 178-184.
6. Назаров А. Н. Использование алгоритма весоизмерения на основе фильтра скользящего среднего в регистраторе параметров работы мостового крана / А. Н. Назаров, С. Д. Иванов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2023. – Т. 20, № 4(92). – С. 418-431. – DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-4-418-431.
7. Агейчева М. М. Повышение точности информационных данных в контроллинге производства на примере транспортно-логистических процессов / М.М. Агейчева, Н.Ю. Иванова // Сборник научных трудов X международной конференции по контроллингу «Контроллинг в экономике, организации производства и управлении». – 2023. – С.97 – 104.

АВТОРЫ

Потапов Валентин Алексеевич, кандидат технических наук, генеральный директор ООО «Инженерно-технический центр «КРОС», 141281, московская область, городской округ Пушкинский, г. Ивантеевка, проезд Санаторный, д. 1/1Б, офис 415, potapov@itc-kros.ru

Рощин Виталий Андреевич, инженер ООО «Инженерно-технический центр «КРОС», 141281, московская область, городской округ Пушкинский, г. Ивантеевка, проезд Санаторный, д. 1/1Б, офис 415, roshchinva@mail.ru

Агейчева Мария Михайловна, студентка 6-го курса, кафедра «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, masham234@mail.ru

Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal
International Public Organization
"Integration strategy"
<http://maplants-journal.ru>*

*//Machines and Plants:Design and Exploiting.
2024. № 1. pp. 14 – 25.*

DOI:

Received: 22.05.2024

Accepted for publication: 29.05.2024

© Interntional Public Organization "Integration strategy"

Decoding of the initial data of the registrar of the parameters of the lifting crane to reduce accidents and injuries during the operation of lifting machines

Potapov Valentin A.¹,
Roshchin Vitaliy A.^{1*},
Ageicheva Maria M.²

* roshchinva@mail.ru

¹ LLC "Engineering and Technical Center
"CROS", Moscow region, Russian Federation

² Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russian Federation

The article is devoted to the analysis, processing and preparation of the initial data of the registrar of the parameters of the lifting crane in order to improve the accuracy of calculations of its operation parameters. The existing sources of information on the operation of lifting machines have been studied. A method of decoding the data of the parameter recorder is proposed to increase safety and reduce the accident rate of the lifting crane.

Keywords: parameter logger, lifting crane, safety, residual life, characteristic number of the crane, maintenance.

References

1. Korotkiy A.A. Industrial safety management of lifting structures (methodological foundations) // Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center. – 2008. – No.3. – pp.65-73.
2. Ivanov S.D. Formation of an information base for clarifying the calculation of the residual resource and improving the methodology for planning repairs of lifting and transport equipment using safety devices-parameter recorders (on the example of cranes) / S.D. Ivanov, N.Yu. Ivanova // All-Russian scientific and practical conference "Digital Economy: technologies, management, human capital" /STANKIN Moscow State Technical University.– M., 2019.-pp. 236-241.
3. Ivanova N.Yu. Objective information about the work of lifting and transport machines as a basis for improving the quality of information systems of cargo handling enterprises / N.Y. Ivanova, S.D. Ivanov, S.A. Reliable, A.N. Nazarov // Machines and installations: design, development and operation. - 2023. – No. 2. – pp. 81-96.
4. Ivanov S.D. The use of digital technologies to improve the efficiency of an industrial enterprise / S.D. Ivanov, L.V. Zavalnaya // Collection of scientific papers of the VIII International conference on controlling: controlling in economics, organization of production and management: digitalization in the economy. – 2019. – pp.124 – 128.

5. Nazarov A. N. Algorithmic processing of objective information about the nature of the work of bridge-type cranes / A. N. Nazarov, S. D. Ivanov // Energy-resource-saving technologies and equipment in the machine-building, road and construction industries - 2023 : Materials of the international scientific and practical conference, Belgorod, September 21-23, 2023. – Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2023. – pp. 178-184.

6. Nazarov A. N. The use of a weight measurement algorithm based on a moving average filter in the recorder of the parameters of the bridge crane operation / A. N. Nazarov, S. D. Ivanov // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2023. – Vol. 20, No. 4(92). – pp. 418-431. – DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-4-418-431.

7. Ageicheva M. M. Improving the accuracy of information data in controlling production on the example of transport and logistics processes / M.M. Ageicheva, N.Y. Ivanova // Collection of scientific papers of the X international conference on controlling "Controlling in economics, production organization and management". – 2023. – pp.97 – 104.

AUTHORS

Potapov Valentin A., Ph.D., General Director of the LLC "Engineering and Technical Center "CROS" 141281, Moscow region, Pushkinsky district, Ivanteevka, Sanatorny passage, 1/1B, office 415, potapov@itc-kros.ru

Roshchin Vitaliy A., Engineer of the LLC "Engineering and Technical Center "CROS" 141281, Moscow region, Pushkinsky district, Ivanteevka, Sanatorny passage, 1/1B, office 415, roshchinva@mail.ru

Ageicheva Maria M., 6th-year student of the «Lifting and Transport Systems» Department of Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 2nd Bauman str., 5, p. 1, 105005, masham234@mail.ru

Машины и Установки проектирование, разработка и эксплуатация

Сетевое издание
МОО "Стратегия объединения"
<http://maplants-journal.ru>

Ссылка на статью:

//Машины и установки: проектирование,
разработка и эксплуатация.
Электрон. журн. 2024. № 1. С. 26 – 33.

DOI:

Представлена в редакцию: 24.05.2024

Принята к публикации: 29.05.2024

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 625.731.08

Исследование силовых и энергетических показателей фрезерования асфальтобетона

Шамахов Л.М.

leonid.shamakhov@yandex.ru

Ярославский Государственный Технический
Университет (Ярославль, Россия)

Данная работа посвящена исследованию силовых и энергетических показателей, возникающих в процессе фрезерования асфальтобетонных покрытий режущими элементами дорожных фрез. В частности, были изучены два конкретных типа фрезерных барабанов и их взаимодействие с асфальтобетоном в зависимости от различных факторов. Разработана математическая модель процесса фрезерования асфальтобетона, на основе которой была создана программа для определения суммарных сил сопротивления резанию, действующей на фрезерный барабан. Были сделаны выводы о влиянии сил сопротивления резанию на фрезерный барабан, о возможности существования оптимальной схемы расположения режущих элементов на фрезерном барабане, о предполагаемом более высоком уровне производительности и меньшей энергоёмкости комбинированного фрезерного оборудования, а также о необходимости дополнительных исследований в этой области.

Ключевые слова: дорожная фреза, режущий элемент, фрезерный барабан, асфальтобетонное покрытие, сила сопротивления резанию.

Введение

В настоящее время для удаления изношенного асфальтобетонного покрытия применяют дорожные фрезы. Метод холодного фрезерования обеспечивает достаточную точность и качество отфрезерованных поверхностей асфальтобетонных покрытий с автомобильных дорог, взлётно-посадочных полос и тротуаров. Однако открытыми остаются вопросы, связанные с отсутствием доступных методик расчета, совершенствования и оптимизации конструкций фрезерных барабанов дорожных фрез, а также вопросы разработки эффективных алгоритмов управления процессом фрезерования. Кроме того, существующие конструкции фрезерных барабанов дорожных фрез имеют ограничения по производительности, надежности и долговечности, что приводит к увеличению затрат на эксплуатацию и ремонт оборудования. Таким образом, разработка новых методик расчета, совершенствование конструкций фрезерных барабанов является актуальной задачей,

требующей решения для повышения эффективности и качества работ по удалению изношенного асфальтобетонного покрытия.

Сегодня одним из наиболее часто используемых типов фрезерных барабанов являются стандартные (рис. 1.а) или черновые (рис. 1.б) фрезерные барабаны, которые предназначены для полного удаления дорожного покрытия. Согласно заявлениям производителей фрезерных барабанов [1], несмотря на относительно небольшое количество режущих элементов, такие барабаны позволяют увеличить производительность процесса фрезерования, снизить силу сопротивления фрезерованию, однако в результате получается более грубая поверхность. Таким образом, стандартные фрезерные барабаны обеспечивают более высокую эффективность работы, но при этом могут иметь некоторые недостатки, которые необходимо учитывать при их использовании.

Барабаны для тонкого фрезерования (рис. 1.в) и микрофрезерные (рис. 1.г) барабаны имеют шаг расстановки режущих элементов всего в несколько миллиметров, что позволяет достичь более качественной поверхности дорожного покрытия. Использование таких фрезерных барабанов на ремонтируемых участках дороги дает следующие преимущества: нет необходимости полностью демонтировать покрытие, воздействие на транспортный поток минимально, так как автомобили могут сразу продолжать движение по этому участку. Также, такие барабаны используются для придания шероховатости поверхности асфальтобетонных покрытий, устранения неровностей асфальтовых конструкций и изменения поперечного уклона дорожного полотна и т.д.

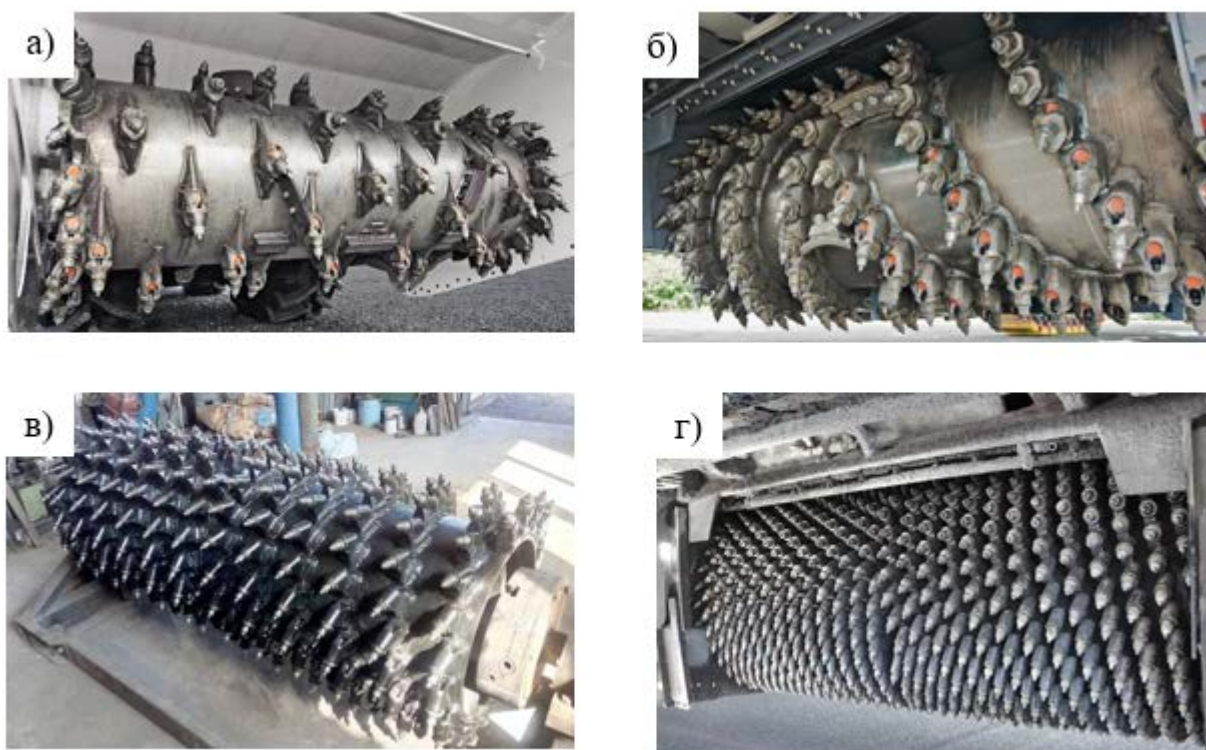


Рис.1 Виды фрезерных барабанов: а – черновой барабан, б – стандартный фрезерный барабан, в – чистовой барабан, г – микрофрезерный барабан

С точки зрения методологии, отдельный интерес представляют работы по резанию прочных строительного-дорожных материалов. Существует ряд исследований [2, 3], в которых экспериментально определены значения усилий, возникающие в процессе резания прочных строительного-дорожных материалов в зависимости от скорости резания. Результаты, полученные авторами, позволяют описать процесс высокоскоростного резания. Однако

необходимы дополнительные исследования, чтобы полностью понять процесс высокоскоростной резки различных типов строительных и дорожных материалов. Это важно, поскольку силы резания могут оказывать значительное влияние на эффективность и качество процесса резки, а также на износ режущих инструментов.

В работе К.В. Фомина [4] представлено моделирование моментов сопротивления на рабочем органе дорожно-фрезерной машины. Автором разработана модель, описывающая формирование момента нагрузки с учетом периодичности контакта резцов с дорожным покрытием, а также случайных условий и режимов работы фрезерного рабочего органа. Подход, предложенный ученым, позволяет исследовать динамическое нагружение элементов конструкции дорожно-фрезерной машины. Данная работа имеет высокую теоретическую значимость и, несомненно, требует проведения полномасштабного эксперимента. Вместе с тем, может быть использована для улучшения конструкции и эксплуатации дорожно-фрезерных машин, а также для углубления понимания моментов сопротивления и динамических нагрузок в других типах дорожно-строительной техники.

В работе [5] автором была предпринята попытка теоретически определять силы резания, возникающие в процессе работы дисковой фрезы и затраты мощности на резание грунта. Однако, необходимы дополнительные экспериментальные исследования для подтверждения теоретических результатов и более полного понимания процесса резания. Тем не менее, работа является важным вкладом в сферу исследований процесса резания строительно-дорожных материалов.

1. Материалы и методы

Изучение процесса фрезерования дорожных покрытий началось с экспериментального исследования взаимодействия одного режущего элемента дорожно-фрезерной машины с асфальтобетоном. Для проведения исследования наиболее подходит маятниковый стенд, который позволяет определять энергетические и силовые характеристики процесса резания и наилучшим образом соответствует задачам моделирования процессов фрезерования и динамического разрушения асфальтобетона. Работа и методика определения сил на маятниковом стенде описана в работе [6].

В результате экспериментальных исследований получены зависимости сил сопротивления резанию от толщины срезаемой стружки и температуры асфальтобетона [7], а также от марки асфальтобетона, изготовленного в соответствии как с новыми, так и устаревшими стандартами [8]. Были также получены зависимости сил сопротивления резанию в зависимости от вида износа [9] и геометрических параметров следа режущего элемента [10]. Это позволило разработать математическую модель процесса фрезерования асфальтобетона [11], которая позволяет определять нагрузки, действующие на рабочее оборудование дорожной фрезы. Математическая модель фрезерования асфальтобетона может быть использована для определения оптимальных параметров и режимов работы оборудования, что в свою очередь может привести к повышению эффективности и снижению износа оборудования при выполнении фрезеровочных работ.

После проведения анализа существующих типов фрезерных барабанов и изучения результатов смежных исследований, было проведено сравнение типов фрезерных барабанов по изменению нагрузок в зависимости от расположения режущих элементов.

2. Результаты

На основе математической модели была разработана программа для определения суммарных сил сопротивления резанию, действующих на фрезерный барабан. Исходя из полученных результатов (рис.2), можно говорить, что на стандартный фрезерный барабан действует большая суммарная нагрузка. На основании полученных данных можно сделать вывод, что чем меньше режущих элементов на фрезерном барабане, тем меньше значение силы сопротивления резанию. Такой же вывод был сделан компанией Wirtgen [1], но они не представили количественной оценки влияния силы сопротивления резанию на фрезерный барабан. Однако стоит обратить внимание на резкое увеличение и уменьшение силы сопротивления резанию в процессе работы. Черновой фрезерный барабан ECO Cutter работает при меньших суммарных нагрузках, но ударные нагрузки на рабочее оборудование значительно выше, чем у стандартного фрезерного барабана.

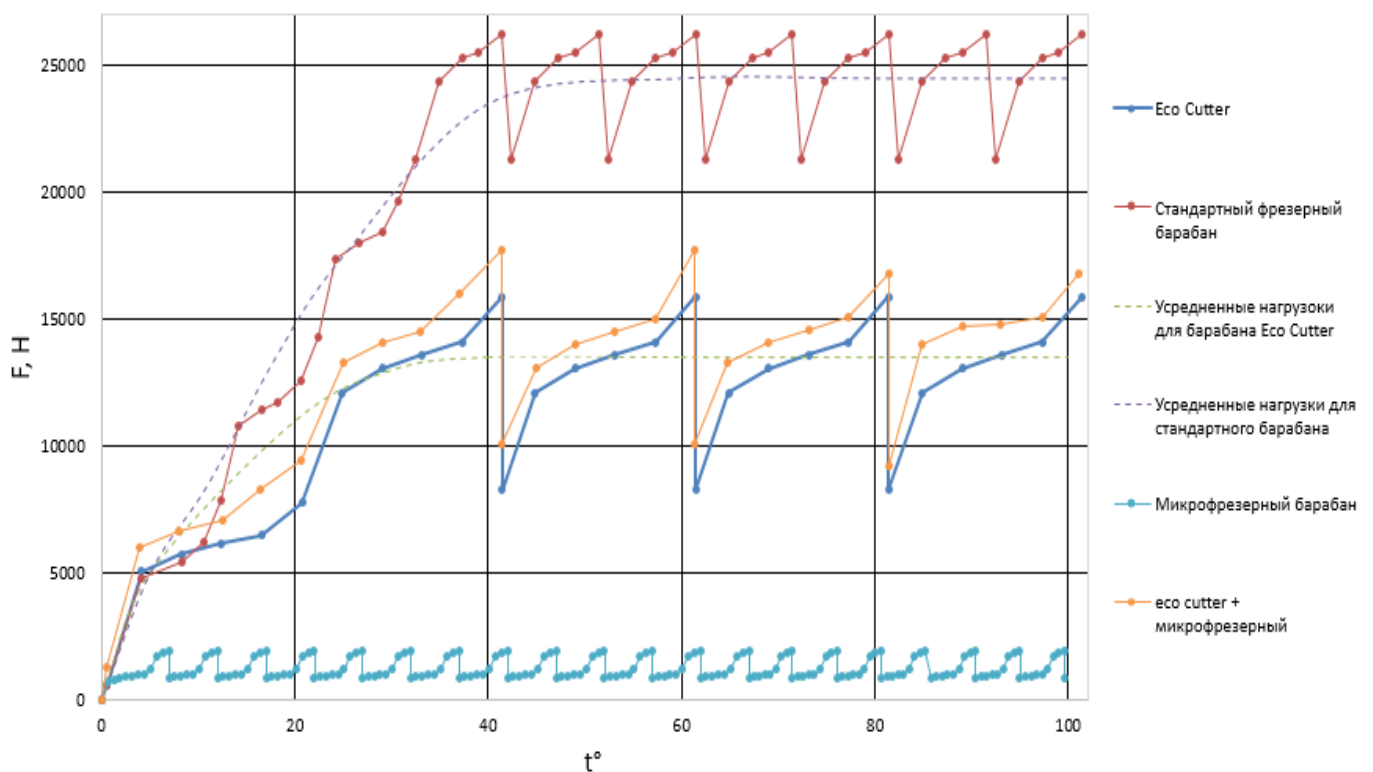


Рис.2. Суммарные силы, действующие на фрезерные барабаны

Вместе с тем, можно предположить существование некоей оптимальной конструкции фрезерного барабана, режущие элементы которой будут расположены таким образом, чтобы нагрузка, действующая на фрезерный барабан была наименьшей и распределялась равномерно. Возможно, это будет некая комбинированная схема, состоящая из двух фрезерных барабанов черновой и чистовой обработки. Например, если сравнить силы, действующие на стандартный фрезерный барабан и на комбинированный рабочий орган состоящий из чернового барабана «ECO Cutter» и микрофрезерного барабана, то можно заметить, что нагрузки, действующие на рабочий орган возрастают не значительно.

Зная значения нагрузок, возникающих в процессе фрезерования асфальтобетонных покрытий можно спрогнозировать мощность, требуемую для привода фрезерного рабочего органа. Следовательно, если нагрузки, действующие на фрезерный барабан дорожно-фрезерной машины будут меньше, то и для привода такого оборудования потребуется

двигатель меньшей мощности. Исходя из этого, чем меньше мощность, требующаяся для удаления асфальтобетонного покрытия, тем выше будут показатели энергетической эффективности таких машин. Это приведет к уменьшению энергопотребления и снижению затрат на эксплуатацию дорожных фрез.

Выводы

1. Силы сопротивления резанию влияют на фрезерный барабан с меньшей силой, если на нем расположено меньше режущих элементов.
2. Вероятно, существует оптимальная схема расположения режущих элементов на фрезерном барабане.
3. Можно предположить, что комбинированное фрезерное оборудование будет более производительным и менее энергозатратным.
4. Скачкообразное изменение сил сопротивления резанию указывает на необходимость дополнительного исследования в этой области.

Список литературы

1. Wirtgen-group: официальный сайт. – Москва. – URL: <https://www.wirtgen-group.com/ru-am/> (дата обращения: 15.05.2024). – Текст: электронный.
2. Ковалевич, П. В. Влияние скорости резания дискового режущего инструмента на силу и энергоёмкость при механическом разрушении льда / П. В. Ковалевич, В. А. Ганжа, И. В. Каптюк // Евразийский союз ученых. – 2014. – № 7-1(7). – С. 73-77.
3. Семкин, Д. С. О влиянии скорости рабочих органов землеройных машин на силу сопротивления грунта резанию / Д. С. Семкин // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2017. – № 1(53). – С. 37-43.
4. Фомин, К. В. Моделирование момента сопротивления на рабочем органе дорожной фрезы / К. В. Фомин // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации : Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ», Омск, 03–04 декабря 2020 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. – С. 52-56. – EDN ISUOMC.
5. Сазамбаева, Б. Т. Расчет усилий резания грунта дисковой фрезой / Б. Т. Сазамбаева, Б. Б. Тогизбаева, М. Маханов // Механика и технологии. – 2019. – № 2 (64). – С. 49–55.
6. Шамахов, Л. М. Особенности использования маятникового стенда для изучения процессов резания дорожно-строительных материалов / Л. М. Шамахов, Н. Э. Лысаков // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных : Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Омск, 10–11 февраля 2022 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2022. – С. 38-42. – EDN UQCRIP.
7. Фурманов, Д. В. Влияние показателей прочности асфальтобетона на энергоёмкость процесса фрезерования / Д. В. Фурманов, Н. Э. Лысаков, Л. М. Шамахов // Проблемы машиноведения : Материалы V Международной научно-технической конференции, Омск, 16–17 марта 2021 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2021. – С. 292-298. – DOI 10.25206/978-5-8149-3246-4-2021-292-298. – EDN MGBUUP.
8. Фурманов, Д. В. Сравнительный анализ энергоёмкости фрезерования новых марок асфальтобетонов / Д. В. Фурманов, Л. М. Шамахов, Н. Э. Лысаков // Строительные и дорожные машины. – 2023. – № 1. – С. 24-28. – EDN TILVYQ.

9. Фурманов, Д. В. Влияние износа режущего элемента дорожной фрезы на силу сопротивления резанию асфальтобетона / Д. В. Фурманов, Л. М. Шамахов, Н. Э. Лысаков // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2023. – Т. 20, № 2(90). – С. 204-216. – DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-2-204-216. – EDN KLHYLT.

10. Furmanov, D. V. Experimental Justification of Geometrical Model of Cut Chip Cross-Section during Asphalt Milling / D. V. Furmanov, N. E. Lysakov, L. M. Shamahov // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 151 LNCE. – P. 296-301. – DOI 10.1007/978-3-030-72910-3_43. – EDN IGGMQV.

11. Фурманов, Д. В. Экспериментально-аналитическое обоснование процесса резания асфальтобетона рабочим оборудованием дорожной фрезы / Фурманов Д. В., Лысаков Н. Э., Шамахов Л. М. // Вестник СибАДИ. – 2022. – № 19 (2). – С. 170–182.

АВТОРЫ

Шамахов Леонид Михайлович, ассистент каф. «Строительные и дорожные машины», Ярославский Государственный Технический Университет, г. Ярославль, пр-кт Московский, д. 88, 150023, Российская Федерация, leonid.shamakhov@yandex.ru

Machines & Plants Design & Exploiting

Electronic journal
International Public Organization
“Integration strategy”
<http://maplants-journal.ru>

//Machines and Plants:Design and Exploiting.
2024. № 1. pp. 26 – 33.

DOI:

Received: 24.05.2024

Accepted for publication: 29.05.2024

© Interntional Public Organization “Integration
strategy”

Investigation of power and energy parameters of asphalt concrete milling machines

Shamakhov Leonid M.

leonid.shamakhov@yandex.ru

Yaroslavl State Technical University,
Yaroslavl, Russian Federation

This work is devoted to the study of power and energy indicators arising in the process of milling asphalt concrete pavements with cutting elements of road cutters. In particular, two specific types of milling drums and their interaction with asphalt concrete, depending on various factors, were studied. A mathematical model of the asphalt concrete milling process has been developed, on the basis of which a program has been created to determine the total cutting resistance forces acting on the milling drum. Finally, conclusions were drawn about the effect of cutting resistance forces on the milling drum, about the possibility of an optimal arrangement of cutting elements on the milling drum, about the expected higher level of productivity and lower energy consumption of combined milling equipment, as well as about the need for additional research in this area.

Keywords: road milling cutter, cutting element, milling drum, asphalt concrete coating, cutting resistance force.

References

1. Wirtgen-group: official website. – Moscow. – URL: <https://www.wirtgen-group.com/ru-am> /(date of access: 05/15/2024). – Text: electronic.
2. Kovalevich, P. V. The influence of the cutting speed of a disc cutting tool on the strength and energy consumption during mechanical destruction of ice / P. V. Kovalevich, V. A. Ganzha, I. V. Kaptyuk // Eurasian Union of Scientists. – 2014. – № 7-1(7). – Pp. 73-77.
3. Semkin, D. S. On the influence of the speed of the working bodies of earthmoving machines on the strength of soil resistance to cutting / D. S. Semkin // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road Academy. – 2017. – № 1(53). – Pp. 37-43.
4. Fomin, K. V. Modeling of the moment of resistance on the working body of a road milling cutter / K. V. Fomin // Architectural, construction and road transport complexes: problems, prospects, innovations : Collection of materials of the V International Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th anniversary of SibADI, Omsk, December 03-04, 2020. Omsk: Siberian State Automobile and Road University (SibADI), 2021. - pp. 52-56. – EDN ISUOMC.

5. Sazambayeva, B. T. Calculation of ground cutting forces with a disc cutter / B. T. Sazambayeva, B. B. Togizbayeva, M. Makhanov // *Mechanics and technologies*. – 2019. – № 2 (64). – Pp. 49-55.
 6. Shamakhov, L. M. Features of using a pendulum stand to study the processes of cutting road construction materials / L. M. Shamakhov, N. E. Lysakov // *Fundamental and applied research of young scientists : A collection of materials of the VI International Scientific and practical Conference of students, postgraduates and young scientists, Omsk, February 10-11, 2022*. Omsk: Siberian State Automobile and Road University (SibADI), 2022. – pp. 38-42. – EDN UQCRIP.
 7. Furmanov, D. V. The influence of asphalt concrete strength indicators on the energy intensity of the milling process / D. V. Furmanov, N. E. Lysakov, L. M. Shamakhov // *Problems of machine science : Materials of the V International Scientific and Technical Conference, Omsk, March 16-17, 2021*. Omsk: Omsk State Technical University, 2021. – pp. 292-298. – DOI 10.25206/978-5-8149-3246-4-2021-292-298. – EDN MGBUUP.
 8. Furmanov, D. V. Comparative analysis of the energy intensity of milling new grades of asphalt concrete / D. V. Furmanov, L. M. Shamakhov, N. E. Lysakov // *Construction and road machines*. – 2023. – No. 1. – pp. 24-28. – EDN TILVYQ.
 9. Furmanov, D. V. The effect of wear of the cutting element of a road milling cutter on the strength of resistance to cutting asphalt concrete / D. V. Furmanov, L. M. Shamakhov, N. E. Lysakov // *Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University*. – 2023. – Vol. 20, No. 2(90). – pp. 204-216. – DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-2-204-216. – EDN KLHYLT.
 10. Furmanov, D. V. Experimental Justification of Geometrical Model of Cut Chip Cross-Section during Asphalt Milling / D. V. Furmanov, N. E. Lysakov, L. M. Shamakhov // *Lecture Notes in Civil Engineering*. – 2021. – Vol. 151 LNCE. – P. 296-301. – DOI 10.1007/978-3-030-72910-3_43. – EDN IGGMQV.
 11. Furmanov, D. V. Experimental and analytical substantiation of the process of cutting asphalt concrete with working equipment of a road milling cutter / Furmanov D. V., Lysakov N. E., Shamakhov L. M. // *Bulletin of SibADI*. – 2022. – № 19 (2). – C. 170-182.
-

AUTHORS

Shamakhov Leonid M., Assistant of the Department "Construction and Road machines", Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Moskovsky ave., 88, 150023, Russian Federation, leonid.shamakhov@yandex.ru

Машины и Установки проектирование, разработка и эксплуатация

Сетевое издание
МОО «Стратегия объединения»
<http://maplants-journal.ru>

Ссылка на статью:

//Машины и установки: проектирование,
разработка и эксплуатация.

МОО «Стратегия объединения»

Электрон. журн. 2024. № 1. С. 34 – 40.

DOI:

Представлена в редакцию: 28.05.2024

Принята к публикации: 30.10.2024

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 62-84

Двумерный расчет теплообменника с учетом потерь давления и изменения плотности воздуха и газа¹

Степанов Г.Ю.

Москва, Россия

В статье изложен инженерный метод расчета кольцевого перекрестноточного теплообменника в двумерной постановке с учетом сжимаемости нагреваемого воздуха и охлаждаемого газа. Расчетные формулы получены на основе уравнений состояния и неразрывности применительно к воздуху и газу, уравнений теплового баланса, а также выражений для гидравлических потерь. Расчет по формулам производится последовательными итерациями, в результате которых находятся конечные температуры воздуха и газа, потери давления и КПД теплообменника. Быстрая сходимость расчета позволяет за 2-3 итерации определить главную – линейную – часть распределения параметров воздуха и газа в поперечном сечении теплообменника. При необходимости, повышение точности достигается увеличением числа итераций.

Ключевые слова: теплообменник, температурный КПД, потери давления.

Сначала рассмотрим теплообменник в нульмерном приближении, полагая все его параметры независимыми от координат и равными их средним значениям в характерных сечениях. Конкретно возьмем одну перекрестноточную секцию кольцевого теплообменника газотурбинного двигателя (см. рис. 1).

Принятые обозначения ясны из рисунка.

Все размеры теплообменника и параметры воздуха и газа на входе считаем известными. Для определения температуры T_m теплопередающей стенки (матрицы) и параметров воздуха и газа на выходе напомним необходимые термодинамические и гидравлические соотношения.

¹ Согласие на публикацию рукописи статьи дано ее правообладателем и автором книги «Об ученом «танкисте-астронавте» из династии Степановых. Сборник очерков и Воспоминаний» / Авторы-составители: М.М. Буренков, В.В. Соломай, Н.И. Троицкий. – М.: МЕГАЛИОН, 2017. – 320 с.

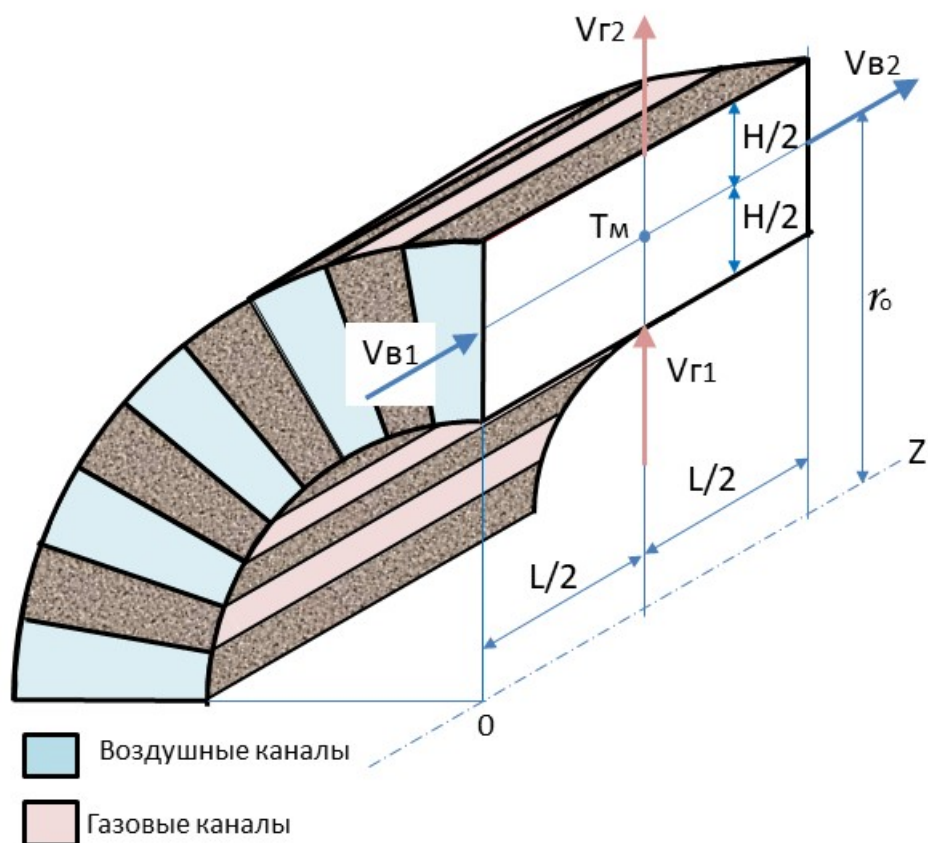


Рис. 1. Секция кольцевого перекрестноточного теплообменника.

1. Уравнения состояния $\rho = \frac{P}{RT}$. Ввиду малости потерь давления в каналах ($\Delta P \ll P$) примем, что в них (только для вычисления средних плотностей) $P \approx \text{const}$. Тогда плотности воздуха и газов будут равны:

$$\rho_{B1} = \frac{P_{B1}}{RT_{B1}}, \rho_{B2} = \frac{P_{B1} - \Delta P_B}{RT_{B2}} \approx \frac{P_{B1}}{RT_{B2}}, \rho_{G1} = \frac{P_{G1}}{RT_{G1}}, \rho_{G2} = \frac{P_{G1} - \Delta P_G}{RT_{G2}} \approx \frac{P_{G1}}{RT_{G2}}. \quad (1)$$

2. Уравнения неразрывности воздуха и газа:

$$\rho_{B1} V_{B1} = \rho_{B2} V_{B2}, \rho_{G1} V_{G1} (r_0 - H/2) = \rho_{G2} V_{G2} (r_0 + H/2). \quad (2)$$

Площади поперечных сечений для воздуха и газа соответственно равны:

$$S_{B1} = S_{B2} = S_B; \quad \frac{S_{G1}}{S_{G2}} = \frac{(r_0 - H/2)}{(r_0 + H/2)} = s.$$

Из формул (1) и (2) получаем:

$$V_{B2} = V_{B1} \frac{T_{B2}}{T_{B1}}, V_{G2} = s V_{G1} \frac{T_{G2}}{T_{G1}}. \quad (3)$$

3. Тепловые балансы. Тепловым сопротивлением матрицы можем пренебречь, так как ее стенки тонкие. Тогда для теплового потока от матрицы к воздуху справедливо соотношение

$$\alpha_B F_B \left(T_m - \frac{T_{B1} + T_{B2}}{2} \right) = c_{pB} G_B (T_{B2} - T_{B1}) \equiv Q_B. \quad (4)$$

Аналогично для теплового потока от газа к матрице

$$\alpha_{\Gamma} F_{\Gamma} \left(\frac{T_{\Gamma 1} + T_{\Gamma 2}}{2} - T_{\text{м}} \right) = c_{\text{пр}} G_{\Gamma} (T_{\Gamma 1} - T_{\Gamma 2}) \equiv Q_{\Gamma} . \quad (5)$$

Общий баланс:

$$Q_{\text{в}} = Q_{\Gamma} . \quad (6)$$

В уравнениях (4) – (6)

$$G = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \cdot \frac{V_1 + V_2}{2} \cdot S = \frac{1}{4} \rho_1 V_1 S \left(1 + \rho_2 / \rho_1 \right) \left(1 + V_2 / V_1 \right),$$

F и S – площади омываемых поверхностей и проходных сечений матрицы. Теплоемкости $c_{\text{рв}}$ и $c_{\text{пр}}$ зависят от температур. Коэффициенты теплоотдачи $\alpha_{\text{в}}$ и α_{Γ} зависят от температурного фактора $T/T_{\text{м}}$ и от числа Рейнольдса $Re = \left(\frac{(V_1 + V_2)d}{2\nu} \right)$, где $d = \frac{4S}{\Pi}$ – гидравлический диаметр канала, S – площадь его проходного сечения, Π – периметр проходного сечения, ν коэффициент кинематической вязкости, V_1 и V_2 – скорости воздуха или газа на входе в матрицу и выходе из нее (см. рис.1).

Уравнения (4) – (6) перепишем в виде:

$$\left. \begin{aligned} \beta_{\text{в}}(2T_{\text{м}} - T_{\text{в1}} - T_{\text{в2}}) &= T_{\text{в2}} - T_{\text{в1}} \\ \beta_{\Gamma}(T_{\Gamma 1} + T_{\Gamma 2} - 2T_{\text{м}}) &= T_{\Gamma 1} - T_{\Gamma 2} \\ \gamma_{\text{в}}(2T_{\text{м}} - T_{\text{в1}} - T_{\text{в2}}) &= \gamma_{\Gamma}(T_{\Gamma 1} + T_{\Gamma 2} - 2T_{\text{м}}) \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

где безразмерные коэффициенты равны

$$\beta_{\text{в}} = \frac{2\alpha_{\text{в}}F_{\text{в}}}{c_{\text{рв}}G_{\text{в}}} = \frac{8\alpha_{\text{в}}F_{\text{в}}}{c_{\text{рв}}\rho_{\text{в1}}V_{\text{в1}}S_{\text{в}}\left(1 + \rho_{\text{в2}}/\rho_{\text{в1}}\right)\left(1 + V_{\text{в2}}/V_{\text{в1}}\right)},$$

$$\beta_{\Gamma} = \frac{2\alpha_{\Gamma}F_{\Gamma}}{c_{\text{пр}}G_{\Gamma}} = \frac{8\alpha_{\Gamma}F_{\Gamma}}{c_{\text{пр}}\rho_{\Gamma 1}V_{\Gamma 1}S_{\Gamma}\left(1 + \rho_{\Gamma 2}/\rho_{\Gamma 1}\right)\left(1 + V_{\Gamma 2}/V_{\Gamma 1}\right)},$$

$$\gamma_{\text{в}} = 2\alpha_{\text{в}}F_{\text{в}}, \quad \gamma_{\Gamma} = 2\alpha_{\Gamma}F_{\Gamma}, \quad \gamma = \frac{\gamma_{\text{в}}}{\gamma_{\Gamma}} = \frac{\alpha_{\text{в}}F_{\text{в}}}{\alpha_{\Gamma}F_{\Gamma}}.$$

Из уравнений (7) получаем формулы для расчета температур:

$$\left. \begin{aligned} T_{\text{в2}} &= \frac{2\beta_{\text{в}}T_{\Gamma 1} + [(1 - \beta_{\text{в}}) + \gamma(1 + \beta_{\Gamma})]T_{\text{в1}}}{(1 + \beta_{\text{в}}) + \gamma(1 + \beta_{\Gamma})} \\ T_{\Gamma 2} &= \frac{2\gamma\beta_{\Gamma}T_{\text{в1}} + [(1 + \beta_{\text{в}}) + \gamma(1 - \beta_{\Gamma})]T_{\Gamma 1}}{(1 + \beta_{\text{в}}) + \gamma(1 + \beta_{\Gamma})} \\ T_{\text{м}} &= \frac{(1 + \beta_{\text{в}})T_{\Gamma 1} + \gamma(1 + \beta_{\Gamma})T_{\text{в1}}}{(1 + \beta_{\text{в}}) + \gamma(1 + \beta_{\Gamma})} \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

4. Выражения гидравлических потерь давления воздуха и газа (два аналогичных выражения для $\Delta P_{\text{в}}$ и ΔP_{Γ}):

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \zeta_1 \rho_1 V_1^2 + \frac{1}{2} \lambda \frac{L}{d} \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right)^2 + \frac{1}{2} \zeta_2 \rho_2 V_2^2 + (V_2 - V_1) \rho_1 V_1. \quad (9)$$

В (9) первый член – это потери давления на входе в каналы, второй – по их длине, третий – на выходе (потеря скоростного напора), последний член – это изменение давления из-за изменений скорости (реактивное давление). Коэффициент $\zeta \approx \text{const}$, а λ зависит от Re .

Пять уравнений (7) и (9) с учетом (3) содержат 5 неизвестных: $T_{B2}, T_{Г2}, T_M, P_{B2}, P_{Г2}$. Эти уравнения нелинейны, но их можно эффективно решать последовательными приближениями. В исходном приближении полагаем, что вдоль каналов $\rho \approx const$ и $V \approx const$ (несжимаемые воздух и газ в каналах постоянного сечения) и определяем по формулам (8) приближенные значения $T_{B2}, T_{Г2}, T_M$. Далее по этим значениям, учитывая (1) и (3), уточняем коэффициенты β и γ в (7) и повторяем вычисления $T_{B2}, T_{Г2}, T_M$ следующего приближения. После достижения необходимой точности результата (для практики достаточно одного приближения) можно вычислить основные показатели теплообменника:

- безразмерные потери давления через формулы (9)

$$\Delta \bar{P}_B = \frac{2\Delta P_B}{\rho_{B1} V_{B1}^2}; \quad \Delta \bar{P}_Г = \frac{2\Delta P_Г}{\rho_{Г1} V_{Г1}^2};$$

- КПД

$$\eta_{то} = \frac{T_{B2} - T_{B1}}{T_{Г1} - T_{B1}}. \quad (10)$$

Изложенный нульмерный расчет не учитывает схему теплообменника и дает одинаковые значения для $\Delta \bar{P}$ и $\eta_{то}$ при любой схеме движения воздуха и газа. Для уточнения этих значений следует учесть зависимости параметров течения и температуры T_M матрицы от координат r и z .

Для простейшего двумерного расчета разобьем рассматриваемый теплообменник на несколько колец с прямоугольными поперечными сечениями и произведем нульмерный расчет каждого кольца.

В качестве примера разделим теплообменник (рисунок 1) на четыре кольца с одинаковыми сечениями ($\frac{1}{4}HL$) и введем, для общности формул, индексные обозначения, как показано на рисунке 2.

Как известно, продольную теплопроводность матрицы можно не учитывать. Тогда для каждого кольца справедливы все написанные выше формулы, в которых индексы

$m, v1, v2, г1, г2$

надо заменить соответственно на

$mi, j; vi-1, j; vi+1, j; gi, j-1; gi, j+1$ (в примере $i, j = 1, 3$).

В формулах (3) из-за уменьшения размеров колец по r параметр $S = \frac{r_0 - H/4}{r_0 + H/4}$.

Исходные значения $T_{B03} = T_{B01} = T_{B0}$ и $T_{Г10} = T_{Г30} = T_{Г0}$ известны. За счет различных по величине гидравлических сопротивлений каналов возникает неравномерность скорости на входе, $V_{B01} \neq V_{B03}$ и $V_{Г10} \neq V_{Г30}$, при сохранении, однако, заданных расходов воздуха и газов:

$$\frac{V_{B01} + V_{B03}}{2} = V_{B0} \equiv \frac{G_B}{\rho_{B0} S_B}, \quad \frac{V_{Г10} + V_{Г30}}{2} = V_{Г0} \equiv \frac{G_Г}{\rho_{Г0} S_Г}.$$

Еще двумя новыми уравнениями являются постоянство по z и r давлений воздуха и газа на выходе:

$$P_{B41} = P_{B43} = P_{B4}, \quad P_{Г14} = P_{Г34} = P_{Г4}.$$

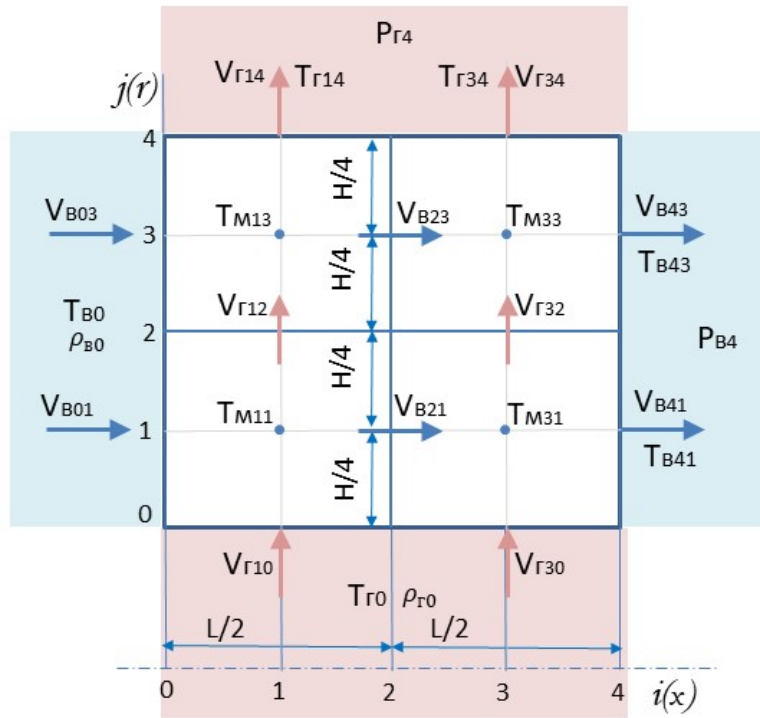


Рис. 2. Пример деления теплообменника (рисунок 1) на четыре кольца с одинаковыми сечениями.

Расчет, по-прежнему, надо производить последовательными приближениями. В исходном приближении (в предположении несжимаемости)

$$V_{B01} = V_{B21} = V_{B41} = V_{B03} = V_{B23} = V_{B43} = V_{B0},$$

$$V_{G10} = V_{G12} = V_{G14} = V_{G30} = V_{G32} = V_{G34} = V_{G0},$$

и все температуры находим, независимо от скоростей, последовательными приближениями по формулам (8), начиная от $i=j=1$, например:

$$T_{B21} = \frac{2\beta_B T_{G0} + [(1-\beta_B) + \gamma(1+\beta_G)] T_{B0}}{(1+\beta_B) + \gamma(1+\beta_G)},$$

$$T_{B41} = \frac{2\beta_B T_{G0} + [(1-\beta_B) + \gamma(1+\beta_G)] T_{B21}}{(1+\beta_B) + \gamma(1+\beta_G)},$$

$$T_{G12} = \frac{2\gamma\beta_G T_{B0} + [(1+\beta_B) + \gamma(1-\beta_G)] T_{G0}}{(1+\beta_B) + \gamma(1+\beta_G)},$$

$$T_{G14} = \frac{2\gamma\beta_G T_{B0} + [(1+\beta_B) + \gamma(1-\beta_G)] T_{G12}}{(1+\beta_B) + \gamma(1+\beta_G)},$$

$$T_{M11} = \frac{(1+\beta_B) T_{G0} + \gamma(1+\beta_G) T_{B0}}{(1+\beta_B) + \gamma(1+\beta_G)},$$

$$T_{M13} = \frac{(1+\beta_B) T_{G12} + \gamma(1+\beta_G) T_{B0}}{(1+\beta_B) + \gamma(1+\beta_G)}$$

и т.п.

В каждом приближении, после вычисления ρ и V , определяем скорости на входе V_{B01} , $V_{B03} = 2V_{B0} - V_{B01}$ и $V_{Г10}$, $V_{Г30} = 2V_{Г0} - V_{Г10}$ из условий постоянства давлений на выходе, выражаемых с помощью формул (9):

$$\begin{aligned} \Delta P_{B1} &= \frac{1}{2} \zeta_{B01} \rho_{B0} V_{B01}^2 + \frac{1}{2} \lambda_{B11} \frac{L/2}{d_B} \frac{\rho_{B01} + \rho_{B21}}{2} \left(\frac{V_{B01} + V_{B21}}{2} \right)^2 + \\ &\frac{1}{2} \lambda_{B31} \frac{L/2}{d_B} \frac{\rho_{B21} + \rho_{B41}}{2} \left(\frac{V_{B21} + V_{B41}}{2} \right)^2 + \frac{1}{2} \zeta_{B41} \rho_{B41} V_{B41}^2 + (V_{B41} - V_{B01}) \rho_{B0} V_{B01} \equiv \\ \Delta P_{B3} &= \frac{1}{2} \zeta_{B03} \rho_{B0} V_{B03}^2 + \frac{1}{2} \lambda_{B13} \frac{L/2}{d_B} \frac{\rho_{B03} + \rho_{B23}}{2} \left(\frac{V_{B03} + V_{B23}}{2} \right)^2 + \\ &\frac{1}{2} \lambda_{B33} \frac{L/2}{d_B} \frac{\rho_{B23} + \rho_{B43}}{2} \left(\frac{V_{B23} + V_{B43}}{2} \right)^2 + \frac{1}{2} \zeta_{B43} \rho_{B43} V_{B43}^2 + (V_{B43} - V_{B03}) \rho_{B0} V_{B03} \end{aligned} \quad (11)$$

и аналогичного выражения для $\Delta P_{Г1} = \Delta P_{Г3}$.

Отметим, что из использованных в (11) выражений потерь давления (9) потери на входе в канал и на выходе из него, а также реактивные давления учтены, конечно, только один раз.

Заменяя в (11) отношения скоростей и плотностей через отношения температур по формулам типа (1) и (3), получим уравнение, в которое V_{B01} входит явно (в его правой части индексы «в» опускаем):

$$\begin{aligned} \left(\frac{V_{B03}}{V_{B01}} \right)^2 &= \left(\frac{2V_{B0} - V_{B01}}{V_{B01}} \right)^2 = \\ &\frac{\zeta_{01} + \frac{\lambda_{11}L}{16d} \left(1 + \frac{T_0}{T_{21}} \right) \left(1 + \frac{T_{21}}{T_0} \right)^2 + 2 \left(\frac{T_{41}}{T_0} - 1 \right) + \frac{T_{21}}{T_0} \left[\frac{\lambda_{31}L}{16d} \left(1 + \frac{T_{21}}{T_{41}} \right) \left(1 + \frac{T_{41}}{T_{21}} \right)^2 + \zeta_{41} \left(\frac{T_{41}}{T_{21}} \right)^2 \right]}{\zeta_{03} + \frac{\lambda_{13}L}{16d} \left(1 + \frac{T_0}{T_{23}} \right) \left(1 + \frac{T_{23}}{T_0} \right)^2 + 2 \left(\frac{T_{43}}{T_0} - 1 \right) + \frac{T_{23}}{T_0} \left[\frac{\lambda_{33}L}{16d} \left(1 + \frac{T_{23}}{T_{43}} \right) \left(1 + \frac{T_{43}}{T_{23}} \right)^2 + \zeta_{43} \left(\frac{T_{43}}{T_{23}} \right)^2 \right]} \end{aligned}$$

Аналогичное уравнение получается для $V_{Г10}$.

КПД теплообменника (10) следует определять по среднемассовой температуре T_{B4} воздуха на выходе:

$$\eta_{TO} = \frac{T_{B4} - T_{B0}}{T_{Г0} - T_{B0}}, \quad T_{B4} = \frac{\rho_{B41} V_{B41} T_{B41} + \rho_{B43} V_{B43} T_{B43}}{\rho_{B41} V_{B41} + \rho_{B43} V_{B43}}.$$

Изложенный расчет можно непосредственно распространить на любую разбивку теплообменника. Принятая разбивка на 4 кольца позволяет определить главную – линейную – часть изменения параметров по координатам z и r , а также влияние сжимаемости воздуха и газа на основные показатели теплообменника.

АВТОР

Степанов Георгий Юрьевич (01.08.1922 – 15.10.2005), доктор физико-математических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, почетный член Российской академии естественных наук (РАЕН), действительный член Международной Астронавтической академии, главный научный сотрудник НИИ механики МГУ.

Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal
International Public Organization
“Integration strategy”
<http://maplants-journal.ru>*

*//Machines and Plants:Design and Exploiting.
2024. № 1. pp. 34 – 40.*

DOI:

Received: 28.05.2024

Accepted for publication: 30.05.2024

© International Public Organization “Integration strategy”

Two-dimensional calculation of the heat exchanger taking into account pressure losses and changes in the density of air and gas²

Georgy U. Stepanov

Moscow, Russian Federation

The article describes an engineering method for calculating an annular cross-flow heat exchanger in a two-dimensional formulation, taking into account the compressibility of the heated air and the cooled gas. The calculation formulas are derived on the basis of the equations of state and continuity in relation to air and gas, the equations of thermal balance, as well as expressions for hydraulic losses. The calculation according to the formulas is carried out in successive iterations, as a result of which the final air and gas temperatures, pressure losses and efficiency of the heat exchanger are found. The rapid convergence of the calculation allows for 2-3 iterations to determine the main – linear – part of the distribution of air and gas parameters in the cross section of the heat exchanger. If necessary, an increase in accuracy is achieved by increasing the number of iterations.

Keywords: heat exchanger, temperature efficiency, pressure loss.

AUTHOR

Stepanov Georgy Yuryevich (01.08.1922 – 15.10.2005), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Honored Worker of Science and Technology of the RSFSR, honorary member of the Russian Academy of Natural Sciences (RAS), full member of the International Astronautical Academy, chief Researcher of the Institute of Mechanics of Moscow State University.

² Consent to the publication of the manuscript of the article was given by the copyright holder and the author of the book "About the scientist "tank-cosmonaut" from the Stepanov dynasty. Collection of essays and memoirs" / Authors-compilers: M.M. Burenkov , V.V. Solomai, N.I. Troitsky . – M.: MEGALION, 2017. – 320 p.

Машины и Установки проектирование, разработка и эксплуатация

Сетевое издание
МОО «Стратегия объединения»
<http://maplants-journal.ru>

Ссылка на статью:

//Машины и установки: проектирование,
разработка и эксплуатация.

МОО «Стратегия объединения»

Электрон. журн. 2024. № 1. С. 41 – 47.

DOI:

Представлена в редакцию: 28.05.2023

Принята к публикации: 30.05.2023

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 929

Людвиг Генрихович Кифер - ученый, конструктор и педагог, основоположник отечественной школы инженеров по подъемно-транспортным машинам и оборудованию¹

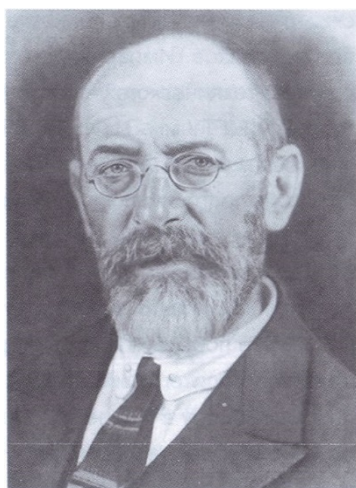
Ивашков Н.И.^{*}, Сафонова Е.Н.,
Вершинский А.В., Борзенко М.В.

^{*}ptsnpp@yandex.ru

Московская область, Российская Федерация

Статья посвящена жизнеописанию Людвиг Генриховича Кифера, выдающегося инженера, педагога и организатора отечественного технического образования.

Ключевые слова: грузоподъемные машины, краны, конвейеры, лифты, канатные дороги, подготовка инженеров.



«Россия силой обстоятельств быстро приближается к тому положению, при котором... сильное развитие средств подъема и транспортирования грузов станет настоящей потребностью... Работа предвидится большая, поле деятельности... ожидается весьма широкое, способное дать нравственное и материальное обеспечение. Если... пропустим..., то через несколько лет уже будет поздно, инициатива у нас будет вырвана из рук иностранцами и догнать упущенное время уже будет трудно»

Л.Г. Кифер

Развитием идей основоположника отечественной науки и образования в области машиностроения Ивана Алексеевича Вышнеградского [1], стала деятельность выдающегося инженера, педагога и организатора отечественного технического образования Людвиг Генриховича Кифера [2-6], направленная на формирование и совершенствование

¹ Статья из журнала «Подъемно-транспортное дело» №6 2017 г. Согласие на публикацию дано авторами статьи.

специализированной подготовки инженерных кадров в области подъемно-транспортной техники и механизации подъемно-транспортных работ.

Словами, приведенными в эпиграфе [7], Л.Г. Кифер точно предсказал грядущее бурное развитие подъемно-транспортного машиностроения в России и СССР. И как теперь больно сознавать, что огромные успехи в этой области и несомненный приоритет отечественных производителей грузоподъемной и транспортирующей техники в двадцатом веке по целому ряду направлений оказались утраченными. Как и раньше, актуальными остаются лишь предостережения относительно упущенных инициатив и времени.

Л.Г. Кифер родился в 1870 году в Тифлисе (ныне - Тбилиси) в семье инженера, служившего директором обсерватории. В 1887 году, после окончания реального училища в небольшом дагестанском городке Темир-Хан-Шура (ныне - Буйнакск), как кавказский стипендиат был принят в число воспитанников Императорского московского технического училища (ИМТУ, теперь - МГТУ им. Н.Э. Баумана). В его воспоминаниях о годах учебы [8] довольно подробно показана принятая в то время в училище система подготовки инженеров.

После окончания в 1893 году ИМТУ Л.Г. Кифер поступил конструктором на паростроительный завод Н. Бромлей, в 1894 году в бюллетене Политехнического общества была напечатана его первая научная работа «О сотрясениях корпуса парохода». Большое влияние на формирование профессиональных интересов Людвиг Генрихович оказал работа в первой в России инжиниринговой компании «Строительная контора инженера Александра Вениаминовича Бари». В конторе А.В. Бари под руководством великого инженера, впоследствии почетного академика, Владимира Григорьевича Шухова с 1895 года он занимался проектированием металлических конструкций резервуаров и павильонов Нижегородской промышленной и художественной выставки 1896 года. До 1898 года, работая в различных технических конторах, молодой инженер Л.Г. Кифер выполнил первые по времени изыскания для постройки Московской окружной железной дороги, руководил работами по устройству в домах водопровода, канализации и отопления.

В 1898 года Людвиг Генрихович поступил преподавателем черчения в ИМТУ, через год начал вести занятия по проектированию деталей машин и кранов, а с 1900 года приступил к чтению самостоятельного курса «Грузоподъемные машины», из которого в дальнейшем вылились специальные курсы: «Сложные краны», «Транспортирующие устройства», «Детальное проектирование грузоподъемных машин».

И.А. Вышнеградский считал, что курс по подъемным машинам, который стал в конце XIX - начале XX века основной дисциплиной академического образования инженеров, аккумулируя все базовые инженерные и фундаментальные науки, дает изучившим его и составившим проект подъемной машины подготовку к машиностроению вообще [1]. С таким взглядом на этот предмет относился к курсу по подъемным машинам и Людвиг Генрихович. Он вспоминал: «Читаемый мной предмет «Грузоподъемные машины» считался предметом, как бы венчающим общее техническое образование студентов, он был синтезом группы предметов (сопротивление материалов, прикладная механика, детали машин), после чего студенты выбирали себе специальность» [8].

Актуальность подготовки высококвалифицированных специалистов подъемно-транспортного профиля подтверждалась собственным опытом Л.Г. Кифера, накопленным в процессе многолетней конструкторской практики, связанной с разработкой разнообразного подъемно-транспортного оборудования для многих отраслей промышленности. Важным стимулом к этому стала также необходимость создания в СССР специализированных производств наиболее востребованных видов подъемно-транспортной техники: кранов, конвейеров, лифтов, канатных дорог и др.

Л.Г. Кифер стоял у истоков и был инициатором создания целого ряда научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций по подъемно-транспортным машинам. Так, после 1917 года он работал в отделе подвесных канатных дорог Комитета государственных сооружений, принимал участие в оснащении подъемно-транспортными средствами строителств Шатурской электростанции и Днепрогэса. В 1927 году стал техническим руководителем направления по производству подъемно-транспортного оборудования во Всесоюзном машинотехническом синдикате ВСНХ СССР (ВМТС), в 1928 году возглавил созданный при ВМТС проектный отдел численностью 122 человека [9]. Долгие годы Л.Г. Кифер был научным руководителем Всесоюзного научно-исследовательского института подъемно-транспортного машиностроения (ВНИИ-ПТМАШ). Людвиг Генрихович занимался проблемами безопасной эксплуатации подъемно-транспортных машин, принимал участие в разработке первых редакций Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов и лифтов.

Выдающийся вклад в развитие высшего технического образования Л.Г. Кифер внес в 1924 году созданием по его инициативе в МГТУ им. Н.Э. Баумана первой в СССР кафедры «Подъемно-транспортные машины и оборудование», положившим начало систематической подготовке инженерных кадров для подъемно-транспортного машиностроения. Возглавлявшаяся им более четверти века кафедра впервые разработала методологию подготовки инженеров-механиков по подъемно-транспортным машинам и оборудованию, сформировала образовательные программы и учебные планы для обеспечения учебного процесса, подготовила учебную литературу по основным дисциплинам специальности, обеспечила методическую основу для создания подобных кафедр во многих технических вузах страны. Неоднократно издававшиеся с начала прошлого века до середины его пятидесятых годов периодически обновлявшиеся редакции книги Л.Г. Кифера «Грузоподъемные машины» [10 и др.] и дополнявшие их атласы конструкций [11 и др.], в которых обобщался отечественный и зарубежный опыт построения грузоподъемных машин в первой половине XX века, до настоящего времени сохраняют свою полезность для студентов, аспирантов и инженеров подъемно-транспортного профиля. С 1938 г. на кафедре «Подъемно-транспортные машины и оборудование» началось формирование отдельных специализаций: «Механическое оборудование доменных и мартеновских цехов», «Дорожно-строительные машины» и др. Это обогащало содержание подготовки инженеров и способствовало развитию базовой специальности.

Под руководством Л.Г. Кифера кафедрой были начаты научные исследования и разработки, направленные на совершенствование конструкций, повышение качества, надежности и долговечности подъемно-транспортной техники и ее компонентов, разработаны новые методы и нормы расчета и проектирования подъемно-транспортных машин.

Уже первые питомцы кафедры оставили яркий след в развитии подъемно-транспортного машиностроения. Среди них - крупные деятели промышленности, науки, образования: Иос.И. Абрамович [2, 12], П.И. Бурмистров [2], Н.В. Воробьев [2, 6], В.В. Калмыков, А.А. Кастальский, П.А. Кудрявцев [2], Н.С. Лейкин [2,13], В.А. Манильский, Б.И. Прозоров и др. Видными учеными, специалистами и педагогами в сфере подъемно-транспортной техники и технологий стали многие из воспитанников кафедры и учеников Л.Г. Кифера: Ис.И. Абрамович [2], В.П. Балашов [2], А.Г. Берлинблау [2, 14], В.К. Дьячков [2], В.Т. Киркин, М.С. Комаров, И.П. Крутиков [2], Д.Н. Спицына [2], И.О. Спицына [2] и др. Среди выпускников кафедры - Лауреаты Ленинской и Государственных премий: Иос.И. Абрамович [2, 12], Б.Р. Аксютин [2,13], А.Г. Берлинблау [2,14], П.И. Бурмистров [2], А.Н. Гнутов, С.И. Крапоткин, Н.А. Кривошеин [2, 13], Н.С. Лейкин [2, 13], А.В. Топчиев, В.А. Шахнович и др. Воспитанники кафедры профессора М.Л. Александров [2, 15],

Н.В. Воробьев [2,6] и И.И. Ивашков [2, 16] были удостоены звания заслуженный деятель науки и техники РСФСР.



В 1950 году Л.Г. Кифер оставил пост заведующего созданной им кафедры. Коллеги, сотрудники и ученики профессора Л.Г. Кифера отмечали его ровный характер, высокую интеллигентность и эрудированность. Он был скромным, отзывчивым, доступным для общения и располагавшим к себе человеком, вызывавшим уважение и доверие в среде специалистов и всех окружающих.

Умер Людвиг Генрихович Кифер в 1955 году в возрасте 85 лет и был похоронен в Москве на Ваганьковском кладбище.

Список литературы

1. Сафонова Е.Н. Иван Алексеевич Вышнеградский - организатор науки и образования в области подъемнотранспортного машиностроения - В кн.: Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы // Материалы XVII Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. - М.: МГСУ, 2013. - С. 114-50.
2. Подъемно-транспортная техника: словарь справочник: в 2 т. Т. 2 / Л.Н. Горбунова, Н.И. Ивашков, А.А. Короткий и др.; ред.: К.Д. Никитин, Л.Н. Горбунова. - Красноярск: ИПК СФУ, 2008. - 598 с.
3. Научные школы Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана. История развития / Под ред. И.Б. Федорова, К.С. Колесникова. - 2-е изд., доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 464 с.
4. Ивашков Н.И. К 75-летию кафедры подъемно-транспортного машиностроения МВТУ // Подъемно-транспортное дело. - 1999. - № 2. - С. 2-6.
5. Зерцалов А.И. Техническое образование в России до 1917 года и ИМТУ И Подъемно-транспортное дело. - 1999. - № 2. - С. 36-40.
6. Вершинский А.В. Кафедре «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана - 85 лет // Подъемно-транспортное дело. - 2009.
7. Взгляд издалека // Подъемно-транспортное дело. - 2008. - № 2. - С. 30.
8. Школа и жизнь корифея подъемно-транспортного дела // Подъемно-транспортное дело. - 2004. - № 4. - С. 34-38.
9. Капитонов Е.Н. История химического машиностроения России и бывшего СССР. - М.: Машиностроение, 1999. - 132 с.
10. Кифер Л.Г., Абрамович И.И. Грузоподъемные машины: Учебное пособие для машиностроительных вузов: Ч. 1. - М.: Машгиз, 1957. - 486 с.
11. Грузоподъемные машины: Атлас конструктивных чертежей, схем и эскизов грузоподъемных машин и их деталей: Учебное пособие для вузов / Л. Г. Кифер, И.И. Абрамович. - М.: Машгиз, 1948-1949: Ч. 1. - 1948. - 147 с.; Ч. 2. - 1949. - 196 с.
12. Профессор И.И. Абрамович // Подъемно-транспортное дело. - 2005. - № 1. - С. 31-32.

13. Полянский В.И., Тищенко В.Г. Создание и развитие подъемно-транспортной техники для боевых и космических ракетных стартовых комплексов. 70 лет Корпорации «Стратегические пункты управления – Центральное конструкторское бюро тяжелого машиностроения» // Подъемно-транспортное дело. – 2017. – № 4-5. – С. 8-13.

14. Берлинблау А.Г. Век жизни. – М.: б.и., 2011. – 164 с.

15. Вершинский А.В., Ивашков Н.И. М.П. Александров – выдающийся ученый и педагог: К 100-летию со дня рождения видного деятеля науки и образования // Подъемно-транспортное дело. – 2016. – № 3. – С. 2-3.

16. Илья Ильич Ивашков. К 80-летию со дня рождения // Подъемно-транспортное дело. – 2003. – № 2. – С. 25-26.

АВТОРЫ

Ивашков Николай Ильич, кандидат технических наук, генеральный директор ООО НПП «Подъемтранссервис», Московская область.

Сафонова Екатерина Николаевна, преподаватель, Московская государственная академия водного транспорта - филиал Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова.

Вершинский Анатолий Владимирович, доктор технических наук, профессор, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана.

Борзенко Мария Вячеславовна, инженер.

Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal
International Public Organization
“Integration strategy”
<http://maplants-journal.ru>*

*//Machines and Plants: Design and Exploiting.
2024. № 1. pp. 41 – 47.*

DOI:

Received: 28.05.2024

Accepted for publication: 30.05.2024

© International Public Organization “Integration strategy”

**Ludwig Genrikhovich Kiefer is a scientist,
designer and teacher, the founder of the national
school of engineers for lifting and transport
machines and equipment**

**Ivashkov N.I.*., Safonova E.N.,
Vershinsky A.V., Borzenko M.V.**

[*ptsnpp@yandex.ru](mailto:ptsnpp@yandex.ru)

Moscow region, Russian Federation

The article is devoted to the biography of Ludwig Henrikhovich Kiefer, an outstanding engineer, teacher and organizer of Russian technical education.

Keywords: lifting machines, cranes, conveyors, elevators, cable cars, training of engineers.

References

1. Safonova E.N. Ivan Alekseevich Vyshnegradsky - organizer of science and education in the field of lifting and transport engineering - In the book: Lifting and transport, construction, road, track machines and robotic complexes // Materials of the XVII Moscow International Interuniversity scientific and technical Conference of students, undergraduates, postgraduates and young scientists. - M.: MGSU, 2013. - pp. 114-50.
2. Lifting and transport equipment: dictionary reference: in 2 vols. 2 / L.N. Gorbunova, N.I. Ivashkov, A.A. Korotkiy, etc.; ed.: K.D. Nikitin, L.N. Gorbunova. - Krasnoyarsk: IPK SibFU, 2008. - 598 p.
3. Scientific schools of the Bauman Moscow State Technical University. History of development / Edited by I.B. Fedorov, K.S. Kolesnikov. - 2nd ed., supplement - M.: Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University, 2005. 464 p.
4. Ivashkov N.I. On the 75th anniversary of the Department of Lifting and Transport Engineering of the Moscow State Technical University // Lifting and transport business. - 1999. - No. 2. - pp. 2-6.
5. Zertsalov A.I. Technical education in Russia before 1917 and IMTU and Lifting and transport business. - 1999. - No. 2. - pp. 36-40.
6. Vershinsky A.V. The Department of Lifting and Transport Systems of Bauman Moscow State Technical University is 85 years old // Lifting and transport business. - 2009.
7. A look from afar // Lifting and transport business. - 2008. - No. 2. - p. 30.
8. School and life of the luminary of lifting and transport business // Lifting and transport business. - 2004. - No. 4. - pp. 34-38.

9. Kapitonov E.N. History of chemical engineering in Russia and the former USSR. – M.: Mechanical Engineering, 1999. – 132 p.
10. Kiefer L.G., Abramovich I.I. Lifting machines: A textbook for engineering universities: Part 1. – M.: Mashgiz, 1957. – 486 p.
11. Lifting machines: Atlas of structural drawings, diagrams and sketches of lifting machines and their parts: A textbook for universities / L. G. Kiefer, I.I. Abramovich. – M.: Mashgiz, 1948-1949: Part 1. – 1948. – 147 p.; Part 2. – 1949. – 196 p.
12. Professor I.I. Abramovich // Lifting and transport business. – 2005. – No. 1. – pp. 31-32.
13. Polyansky V.I., Tishchenkov V.G. Creation and development of lifting and transport equipment for combat and space rocket launch complexes. 70 years of the Corporation "Strategic control points – Central Design Bureau of heavy engineering" // Lifting and transport business. – 2017. – No. 4-5. – pp. 8-13.
14. Berlinblau A.G. Century of life. – M.: B.I., 2011. – 164 p.
15. Vershinsky A.V., Ivashkov N.I. M.P. Alexandrov – an outstanding scientist and teacher: On the 100th anniversary of the birth of a prominent figure of science and education // Lifting and transport business. – 2016. – No. 3. – pp. 2-3.
16. Ilya Ilyich Ivashkov. On the 80th anniversary of his birth // Lifting and transport business. – 2003. – No. 2. – pp. 25-26.
-

AUTHORS

Ivashkov Nikolay I., Ph.D., General Director of NPP "Lifttranservice" LLC, Moscow region.

Safonova Ekaterina N., lecturer, Moscow State Academy of Water Transport - branch of the Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet.

Vershinsky Anatoly V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Bauman Moscow State Technical University.

Borzenko Maria V., engineer.