

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,
Рощин 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.

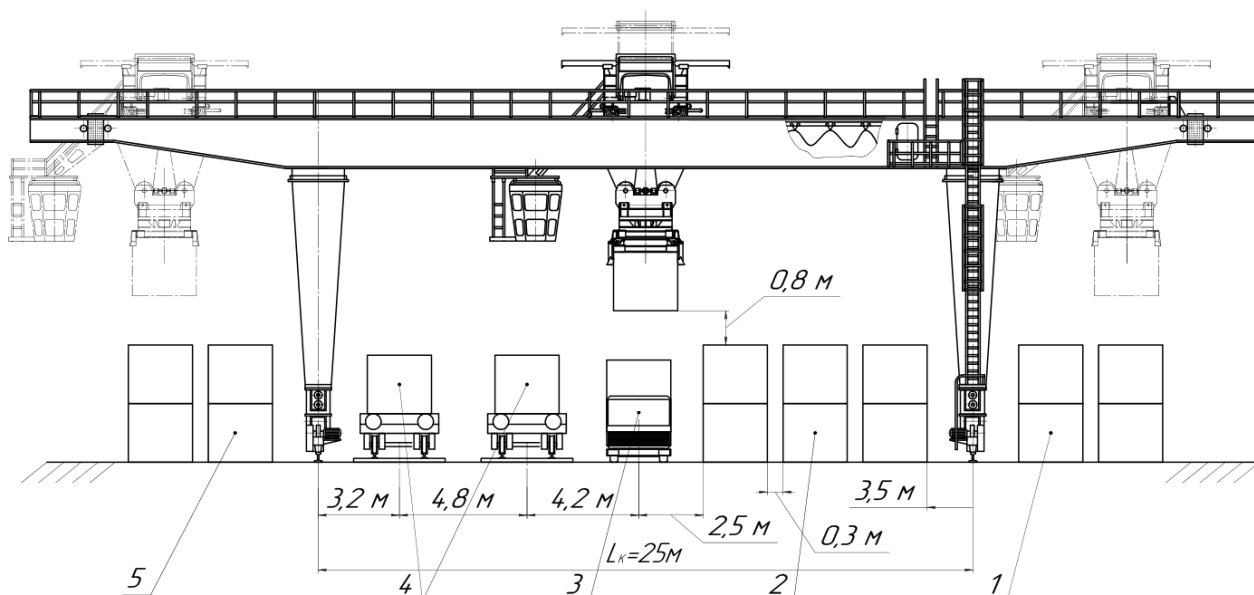


Рис. 1. Пример плана расположения блока контейнеров и проездов для техники:
 1 – площадка хранения под консолью со стороны гибкой опоры; 2 – площадка хранения под мостом крана; 3 – проезд для автотранспорта; 4 – проезды для ж/д транспорта; 5 – площадка хранения под консолью со стороны жесткой опоры.

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.).

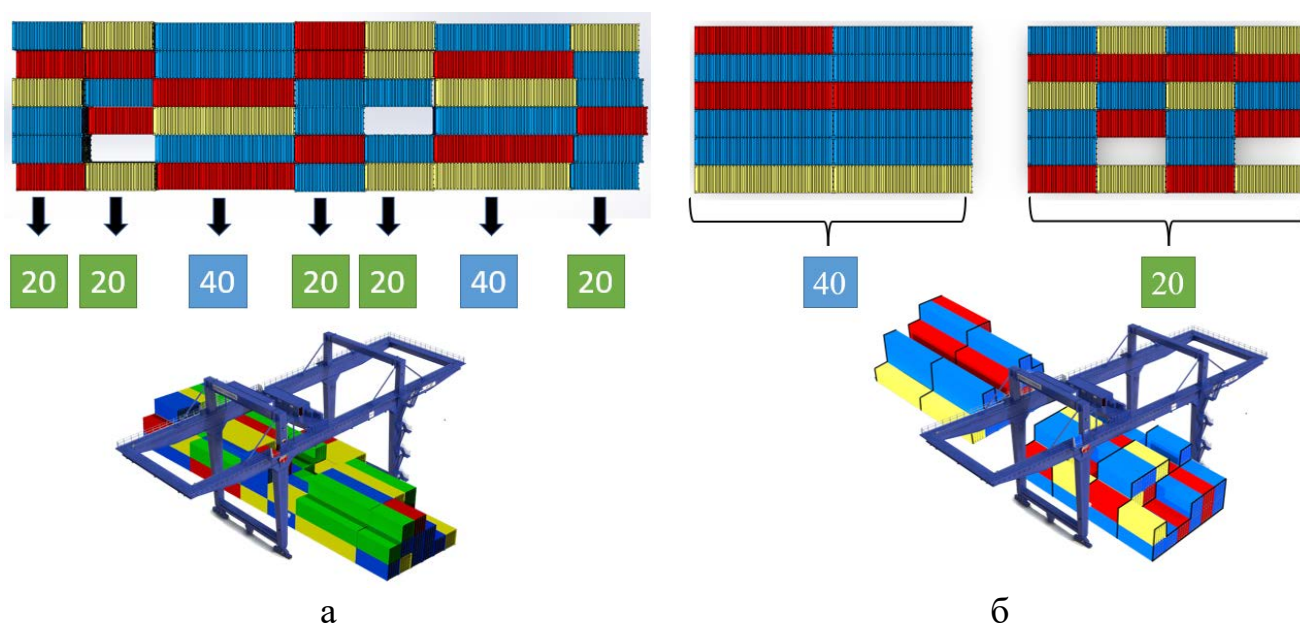


Рис. 2. Стратегии размещения блоков:
 а – размещение контейнеров в едином блоке, б – размещение контейнеров по типоразмеру контейнера.

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 отправителям 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].

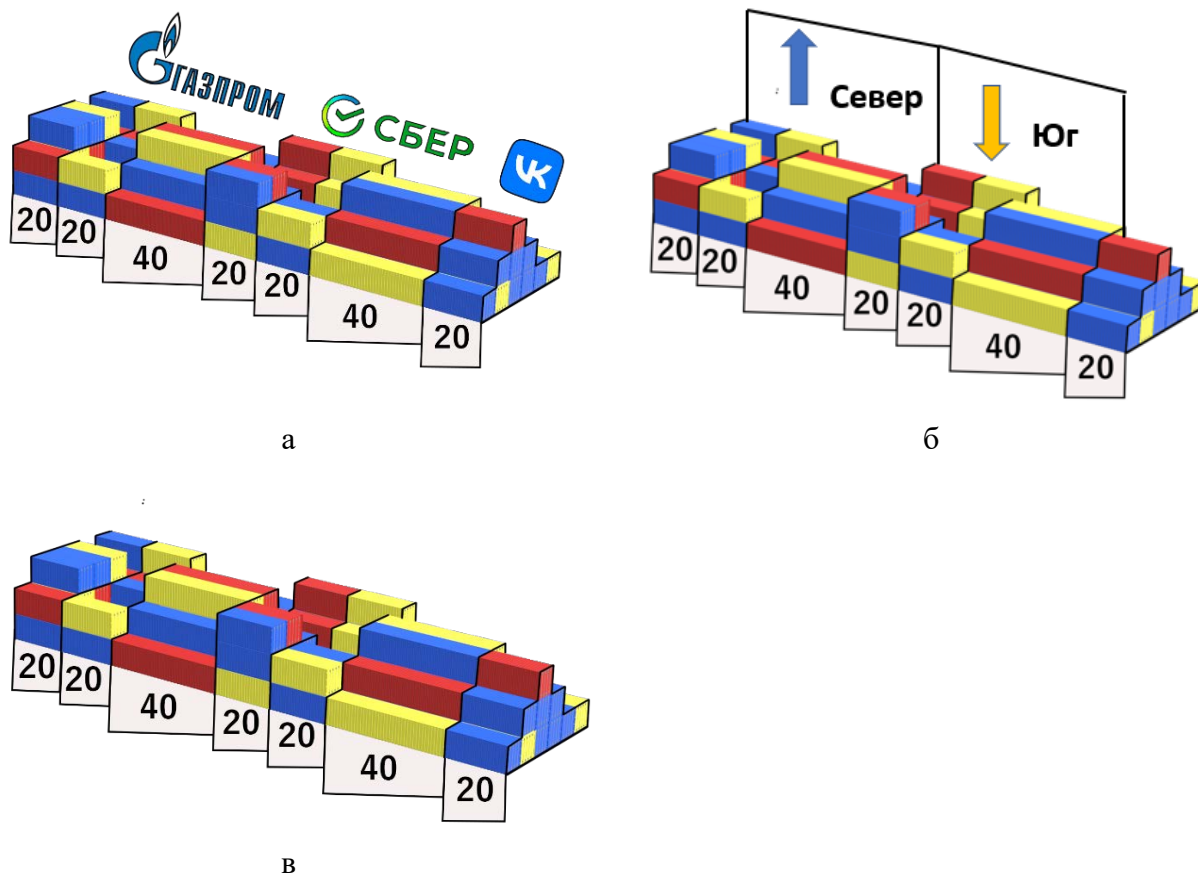


Рис. 3. Варианты размещения контейнеров в блоке

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.

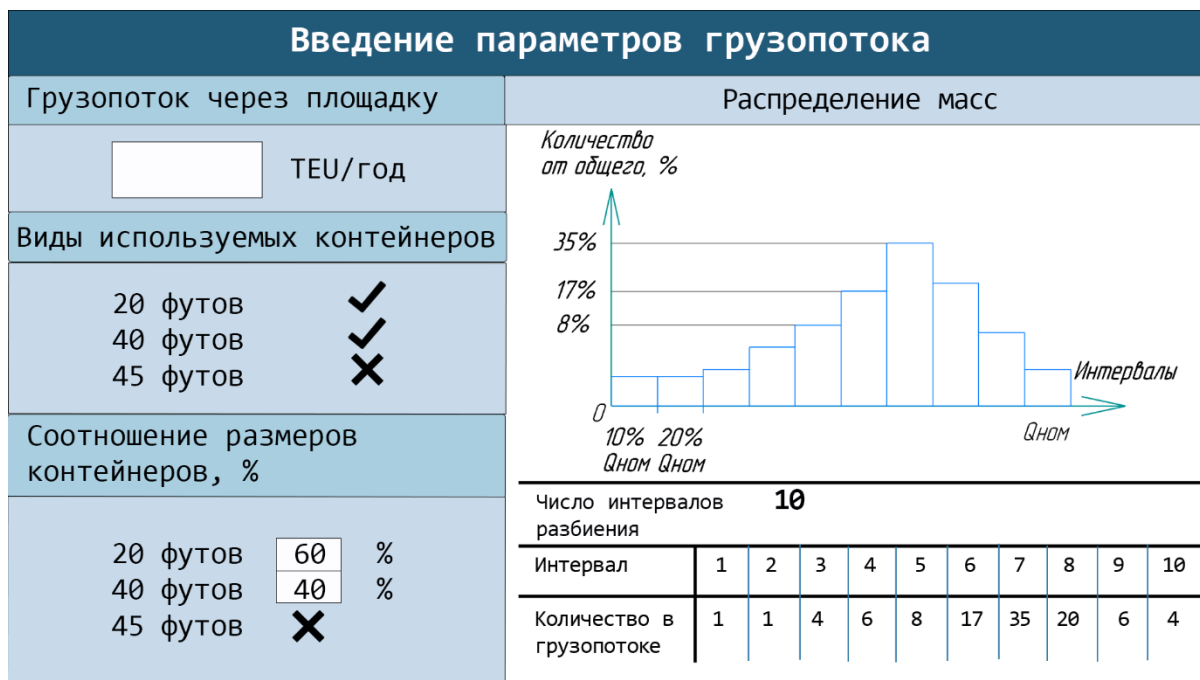


Рис. 5. Пример интерфейса программы для ввода данных о грузопотоке

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.

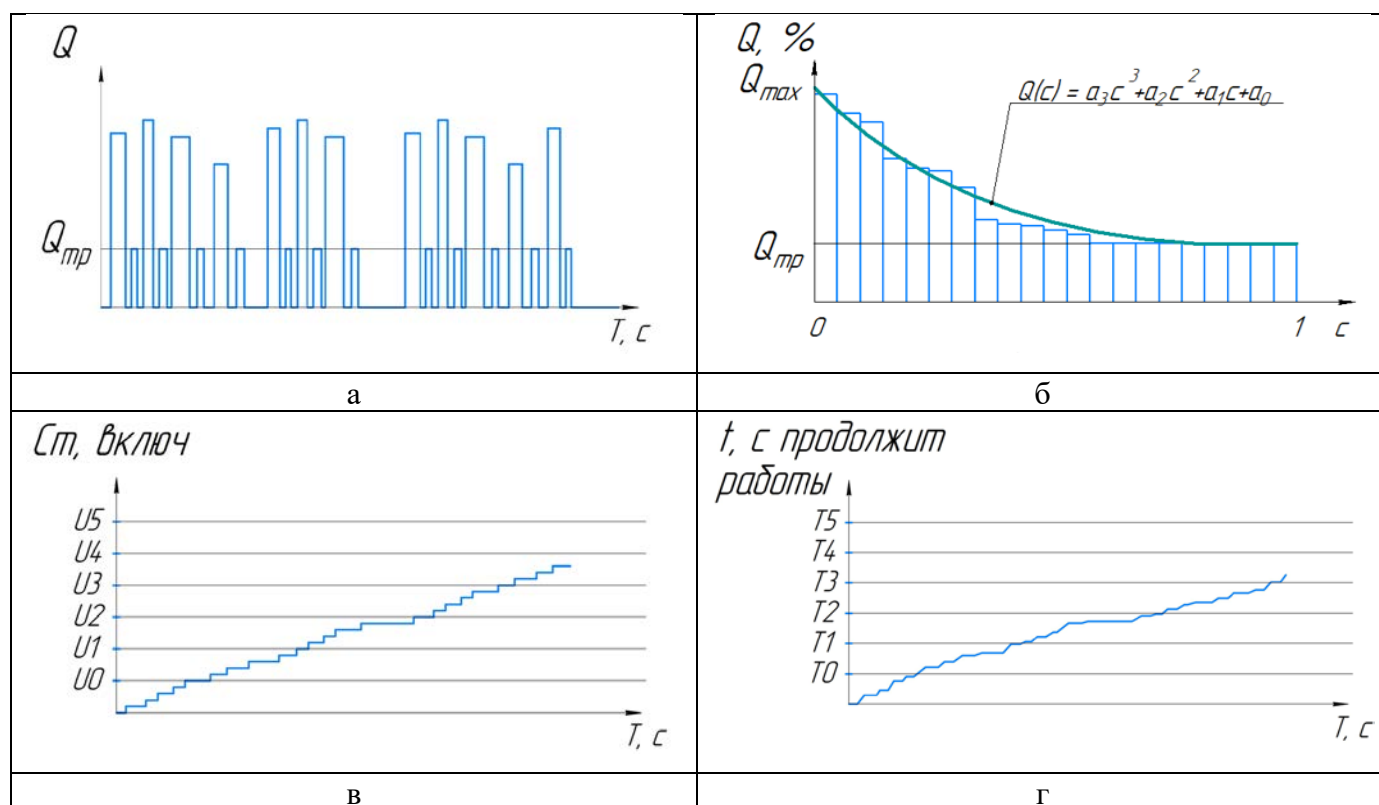


Рис. 6. Результаты работы модели:

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

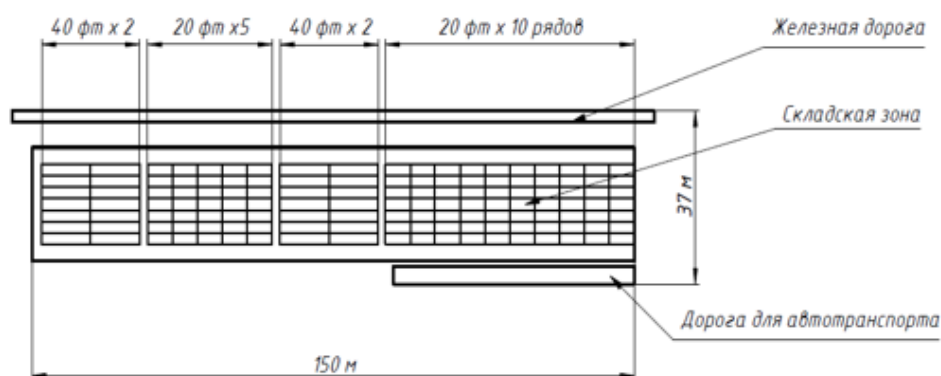


Рис. 7. Схема терминала для моделирования, соответствующая реальному терминалу

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