

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СРЕДСТВ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Введение. В условиях, когда успех компании на рынке все больше зависит от уровня производственной эффективности, реформирование системы технического обслуживания и ремонтов (ТОиР) средств перегрузочной техники оказывается действенным способом усиления конкурентоспособности портовых терминалов. ТОиР основных производственных фондов — уязвимое место многих предприятий. Организациям не хватает объективной информации о состоянии оборудования, никогда не известно, когда и где будут простои, сколько времени и средств потребуется на устранение тех или иных неисправностей. Кроме того, ремонты часто проводятся нерегулярно и в пожарном режиме, во время планово-профилактических работ не предупреждаются будущие поломки, а устраняются уже происшедшие. Кроме того, по сложившемуся в среде специалистов мнению, техобслуживание и ремонты — сфера второстепенная, поэтому даже если и появляется желание навести в ней порядок, то обычно из-за обилия более «важных» дел до этого просто не доходят руки. Это приводит к возникновению аварийных ситуаций с непредсказуемыми последствиями, снижению эффективности основного производства, нарушению договорных сроков.

Анализ публикаций по теме. Несмотря на множество теоретических исследований, посвященных решению задачи управления системой ТОиР сложных технических систем [1 – 4], практическое внедрение их результатов в морских портах не происходит по нескольким причинам:

- в традиционной практике проектирования различных стратегий ТОиР средств перегрузочной техники используются усредненные показатели и коэффициенты, установленные исследованиями отраслевых НИИ, которые не учитывают специфику конкретного терминала;
- в настоящее время в общедоступных источниках отсутствуют примеры практического решения задач, стандартных подходов и моделей, относящиеся к данной области;

- существует дефицит высококвалифицированных кадров для разработки и программирования имитационных моделей столь сложных систем, которые должны не только иметь навыки продуктивного построения моделей, но и глубокие знания о работе перегрузочных комплексов.

Сегодня мощности компьютеров и распространение программных продуктов для автоматизации процесса моделирования дают возможность строить модели систем высокой сложности. При этом современные системы автоматизации процесса моделирования предоставляют удобный графический интерфейс, который позволяет специалисту в сфере перегрузочных работ строить сложные модели без глубоких знаний в области компьютерного программирования.

Одним из универсальных инструментов построения сложных имитационных моделей является программный продукт AnyLogic, разработанный российской компанией «Экс Джей Текнолоджис» (англ. XJ Technologies) [5]. Инструмент обладает современным графическим интерфейсом и позволяет использовать язык Java для разработки моделей. Объектно-ориентированный подход и графическая среда разработки моделей AnyLogic значительно ускоряет процесс создания моделей.

Целью данной статьи является разработка имитационной модели функционирования портового терминала для оптимизации стратегии ТОиР его средств механизации.

Изложение основного материала. В среде автоматизации программирования имитационных моделей AnyLogic создаётся модель процесса изменения параметров машины в ходе её эксплуатации. В качестве укрупненного параметра состояния машины используется коэффициент функционального состояния F_S . Под функциональным состоянием (обобщенной характеристикой служебных свойств) системы понимается ее способность и потенциальные возможности выполнять свои функции в пределах допустимых отклонений по качеству и экономичности в течение срока ее службы при условии соблюдения оптимальной ремонтной стратегии [4].

Параметр функционального состояния системы, находящейся в сфере потребления, определяется временем ее использования $F_S = f(t)$ и зависит от состояния отдельных элементов системы.

Момент ввода в эксплуатацию любой технической системы ($t = 0$), сопровождающийся ликвидацией ее защитных и консервирующих элементов, есть начало разрушительного воздействия окружающих условий на ее функциональное состояние. Значение параметра

функционального состояния в период эксплуатации системы зависит от воздействия двух сложных факторов, действующих в противоположных направлениях.

Один из этих факторов – выполнение системой заданного рабочего процесса с одновременным восприятием ею нагрузок при неизбежном ее пребывании во вспомогательных процессах транспортировки, хранения и т.п. Весь этот комплекс сложных воздействий непрерывно снижает уровень функционального состояния системы. Чем больше система нагружена работой, чем больше времени она находится в неблагоприятных условиях эксплуатации, тем интенсивнее снижается ее годность.

Другой фактор, также действующий на параметр функционального состояния системы в течение всего периода ее использования, это своевременная замена изношенных недолговечных элементов и постоянное обеспечение нормальных условий хранения, технического обслуживания и ремонта системы. Этот фактор воздействует на параметр функционального состояния системы в противоположном направлении, то есть позволяет поддерживать функциональное состояние системы на необходимом уровне возможно более длительный срок.

В каждой системе следует выделить две группы элементов:

- конструктивные – все отдельно изготавливаемые детали, входящие в состав системы, независимо от материала изготовления, размеров и формы;
- неконструктивные – неотделяемые элементы, обеспечивающие активную связь или нормальное функционирование всех элементов.

Таким образом, одна составляющая параметра функционального состояния системы выражает сумму параметров ее конструктивных, а другая – ее неконструктивных элементов:

$$F_S = \sum_1^n \mu_e F_{S_{K_i}} + \sum_1^m \mu_i F_{S_{H_j}}, \quad 1)$$

где $F_{S_{K_i}}$ – значение параметра состояния конструктивного элемента;

n – количество конструктивных элементов;

μ_k – коэффициенты влияния параметра функционального состояния данного конструктивного элемента на состояние системы;

$F_{S_{H_j}}$ – значение параметра состояния неконструктивного элемента;

m – количество неконструктивных элементов;

μ_n – коэффициенты влияния параметра функционального состояния данного неконструктивного элемента на состояние системы.

Исследуемая модель предусматривает наличие теоретических зависимостей значений F_S элементов от наработки машины, которые можно построить, изучая технические стандарты, предыдущие статистические данные или мнение экспертов, а в дальнейшем они смогут уточняться в ходе накопления новой статистической информации. Зная текущее значение наработки, можно из указанной выше зависимости определить соответствующее значение F_S машины.

Со временем теоретически предполагаемое значение годности машины будет отклоняться от его действительного значения. Это может быть связано с различными факторами, в основном вероятностного характера, которые невозможно предусмотреть в модели и которые могут значительно повлиять на результаты прогноза.

Для повышения точности прогнозирования стоит ввести регулярное диагностирование состояния машины и уточнение значения её функционального состояния в модели.

Предложенная в [6] система безразборного диагностирования определяет состояние технической системы и ее составляющих механизмов, узлов и элементов массивом диагностических параметров $D_j, j = 1, 2, \dots, J$. Причем, по каждому из параметров введены три категории состояния: хорошее (критическое значение параметра D_j), удовлетворительное (критическое значение параметра D_j'') и неудовлетворительное. В случае хорошего состояния эксплуатация системы продолжается без изменений, при удовлетворительном – периодичность диагностирования сокращается вдвое, при неудовлетворительном – механизм выводится из эксплуатации, и выполняются работы по восстановлению его характеристик.

Введем параметр, характеризующий фактическое техническое состояние i -го элемента по j -му диагностическому параметру K_{ij} , который принимает значения:

- если в процессе старения значение диагностического параметра увеличивается, то

$$K_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если } D_{j \text{ факт}} \leq D_j' \\ 1 - \frac{(D_{j \text{ факт}} - D_j')}{D_j'' - D_j'}, \text{ если } D_j' < D_{j \text{ факт}} < D_j'' \\ 0, \text{ если } D_{j \text{ факт}} \geq D_j'' \end{cases} \quad 2)$$

- если в процессе старения значение диагностического параметра уменьшается, то

$$K_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если } D_{j \text{ факт}} \geq D'_j \\ 1 - \frac{(D_{j \text{ факт}} - D'_j)}{D'_j - D''_j}, \text{ если } D'_j < D_{j \text{ факт}} < D''_j \\ 0, \text{ если } D_{j \text{ факт}} \leq D''_j \end{cases} \quad 3)$$

Другими словами, в этих формулах принимается линейную зависимость коэффициента технического состояния K_{ij} от «своего» диагностического параметра.

Определив, таким образом, значения коэффициентов технического состояния по всем диагностическим параметрам, можно вычислить интегральное значение коэффициента технического состояния машины по формуле:

$$K_i = \sum_{j=1}^{j=J} \alpha_{ij} \cdot K_{ij}, \quad 4)$$

где α_{ij} – коэффициент весомости j -го диагностического параметра для i -го элемента системы.

Значения коэффициентов весомости отдельных диагностических параметров определяются на основании весомостей элементов, состояние которых оценивается данным диагностическим параметром. Если j -ый диагностический параметр используется диагностической системой для оценки состояния i элементов, то

$$\alpha_{ij} = \sum_{i=1}^{i=I} \frac{w_i}{n_i}, \quad 5)$$

где w_i – относительная стоимость i -го элемента системы;

n_i – число параметров, характеризующих состояние i -го элемента системы.

В процессе проведения экспериментов на имитационной модели можно определить оптимальные диапазоны значений коэффициента функционального состояния и, соответствующие им оптимальные режимы эксплуатации машины, которые позволяющие эффективно ее эксплуатировать с допустимыми рисками возникновения аварийных ситуаций.

Критерием оптимальности решаемых в процессе моделирования задач являются суммарные затраты на обработку данного грузопотока. Эта стоимость в построенной имитационной модели характеризуется коэффициентом удельных эксплуатационных затрат на машину (или на

её отдельные элементы). При этом учитывается, что значение этого коэффициента зависит от текущего значения коэффициента функционального состояния – с его понижением пропорционально возрастает коэффициент эксплуатационных затрат. Кроме того учитываются затраты, связанные с проведением диагностирования и восстановительных работ, а также возможные штрафы, связанные с простоем судна.

Апробация разработанной модели производилась при решении задачи функционирования контейнерного терминала:

- груз – контейнеры ISO 1AA (масса брутто 30,48 т; габаритные размеры L/B/H: 12192/2438/2591 мм);
- судно типа CSAV PARANAGUA (длина 220,5 м; ширина 32,24 м; дедвейт 42210 т; осадка: максимальная 12,45 м, минимальная 7,5 м; количество ярусов/рядов: на палубе 4/13, в трюме 1/9+5/11).
- причальный контейнерный перегружатель Liebherr P151L – (GS) Super (режим работы по ISO 4301/1: перегружателя – А8, грузоподъемного механизма – М8, механизма передвижения грузовой тележки – М8, механизма передвижения перегружателя – М6; грузоподъемность на канатах 63,5 т; грузоподъемность со спредером 50,0 т; масса крана без спредера 848,0 т; масса грузовой тележки 25,0 т; высота подъема спредера выше головки рельса 36,9 м; глубина опускания спредера ниже головки рельса 16,0 м; вылет морской консоли от морского рельса 46,0 м; вылет тыловой консоли от берегового рельса 15,24 м; ширина колеи 20,0 м; расстояние от морского рельса до края причала 4,85 м; максимальная скорость подъема и опускания: со спредером без груза 2,166 м/с, со спредером с номинальным грузом 0,866 м/с, скорость посадки 0,05 м/с; ускорение подъема и опускания: со спредером без груза 0,722 м/с², со спредером с номинальным грузом 0,577 м/с²; максимальная скорость передвижения грузовой тележки: со спредером без груза 3,33 м/с, со спредером с номинальным грузом 3 м/с; ускорение передвижения грузовой тележки 0,429...0,6 м/с² (в зависимости от ветровой нагрузки); максимальная скорость передвижения крана 0,75 м/с; ускорение передвижения крана

0,11...0,15 м/с² (в зависимости от ветровой нагрузки); время полного подъема/опускания морской консоли 5 мин).

Логика технологии разгрузки судна основана на действующих рабочих технологических картах и статистических данных.

В ходе выполнения экспериментов производится измерение ряда параметров:

- суммарное время работы каждого механизма и периодов воздействия различных нагрузок на каждый механизм;
- суммарное время простоя судов в порту в ожидании постановки под обработку у причала;
- суммарное время, проведенное судами под обработкой (с учетом всех задержек и перерывов в работе перегружателя).
- суммарное время, проведенное перегружателем в работе (без учета всех задержек и перерывов в работе перегружателя);
- суммарное время, проведенное краном в ремонте, а также отдельно – время проведенное в запланированных и аварийных ремонтах;
- суммарное время выполнения эксперимента, которое определяет время переработки заданного объема грузопотока (6350000 контейнеров);
- суммарные расходы, связанные с эксплуатацией перегружателя.

Обработка одного судна по результатам моделирования в среднем требует 16,5 часов непрерывной работы перегружателей. За это время перегружатель выполнил 558 полных циклов. В течение этого времени грузоподъемный механизм отрабатывает в среднем 7,38 ч, механизм передвижения грузовой тележки – 5,66 ч, механизм передвижения крана – 0,06 ч. Средняя производительность перегружателя в моделируемых условиях составила 33,92 цикл/час. На основании данных ГОСТ 25835-83 и ISO 4301/1-86, полученных экспериментально коэффициентов нагружения механизмов перегружателя, установленных норм времени их работы, определена зависимость коэффициента функционального состояния F_S от числа отработанных циклов N (см. рис. 1).

В результате моделирования определены зависимости значений времени T и суммарных затрат C на обработку грузопотока от предельного значения коэффициента функционального состояния F_{Speed} (рис. 2).

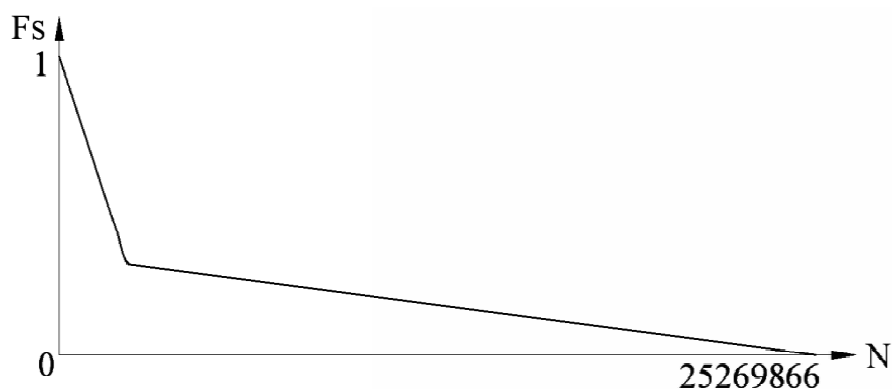


Рисунок 1 – Зависимость усредненного коэффициента функционального состояния годности машины F_S от числа отработанных циклов N

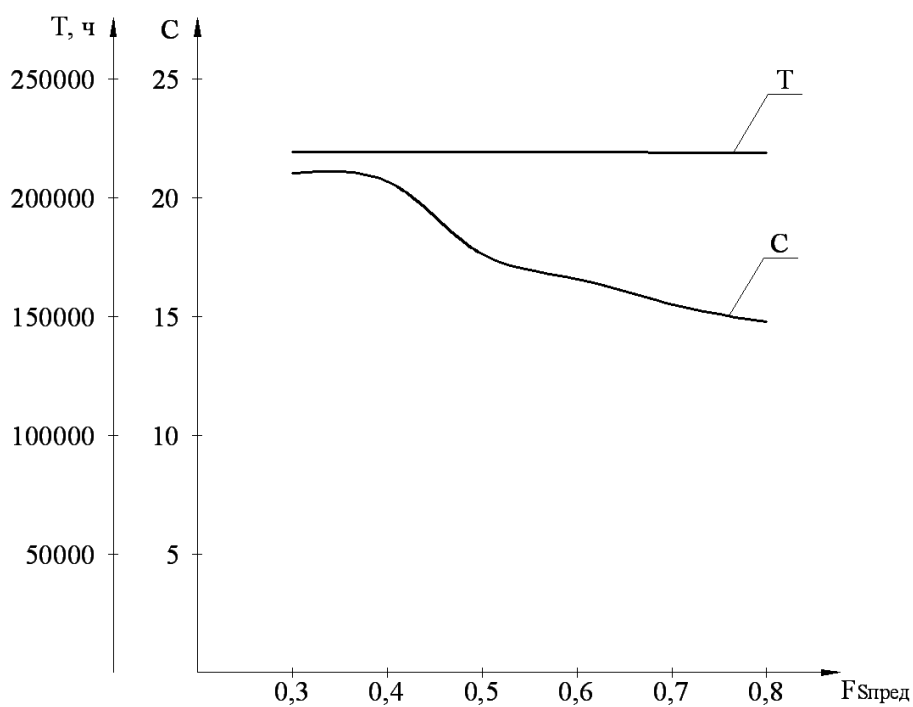


Рисунок 2 – Время T и суммарные затраты C на обработку заданного грузопотока

Выводы. Разработанная имитационная модель может быть использована также для решения целого ряда практических задач:

- оценка пропускной способности грузового фронта комплекса, производительности отдельных машин на конкретных видах груза и эффективности организации работы складов комплекса;
- сравнение альтернативных типов оборудования, проектов производства и организации трудового процесса, модернизации и реконструкции, технологий перегрузки грузов;
- прогнозирование пропускной способности создаваемого или модернизированного комплекса, остаточного ресурса и надежности оборудования, изменения уровня показателей оборудования в ходе различных режимов его эксплуатации и обслуживания.
- оптимизация конструкции, оснащения и параметров оборудования, программ управления автоматизированными системами, технологий производства грузовых работ, периодов технического обслуживания и диагностики оборудования.
- создание тренажеров для подготовки специалистов, повышение уровня их квалификации, отработка различных сценариев нестандартных ситуаций, действия в аварийных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Банзак Г.В., Боряк К.Ф., Селюков А.В. Имитационная статистическая модель процесса технического обслуживания «по состоянию» сложного восстанавливаемого объекта РЭТ / Г. В. Банзак, К. Ф. Боряк, А. В. Селюков // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К., 2011. – № 31. – С. 4–12.

2. Банзак Г.В., Цыцарев В.Н. Методика определения оптимальных параметров стратегии технического обслуживания “по

состоянию” с постоянной периодичностью контроля // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 3 . – С.65-71

3. Берман А.Ф., Бычков И.В., Николайчук О.А. Моделирование и информационные технологии исследования технического состояния уникальных механических систем // Тр. IV Междунар. Евразийского симп. по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата (EURASTRENCOLD-2008). Пленарные доклады. Якутск, 23-27 июня 2008 г. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2008. – С. 79-90.

4. Шахов А.В. Проектирование жизненного цикла ремонтпригодных технических систем. Монография. Одесса, Феникс, 2005. – 192 с.

5. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: «БХВ-Петербург», 2005. – 400 с.

6. Остапчук А.А. Проектирование системы безразборного диагностирования перегрузочного оборудования // Зб. Наук. Праць «Проблеми техніки». Одеса, ОНМУ № 3, 2013. С. 143 – 152.