

УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ. МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЦИКЛОВ – ПРОГРАММА «ЛЕНТА»

К.В. Цыбанов, В.Н. Шевченко, А.В. Третьяков (Санкт-Петербург)

Общие положения

В общем виде схемы большого (до заводского ремонта) и полного (до списания) циклов эксплуатации объекта морской техники (ОМТ) приведены на рисунке 1.

Большой цикл эксплуатации (БЦ)



Полный цикл эксплуатации (ПЦ)

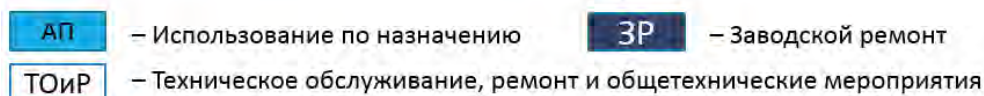
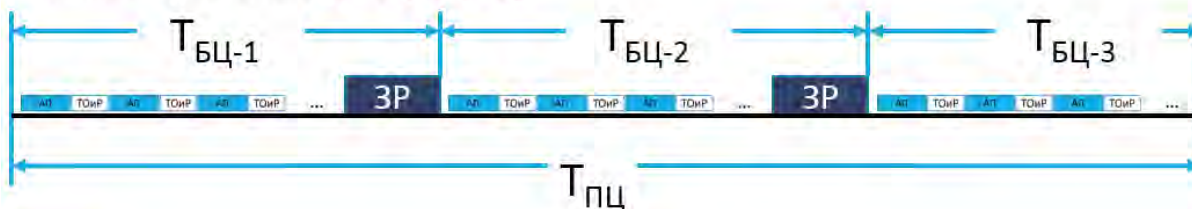


Рисунок 1 – Схемы эксплуатационных циклов ОМТ

В АО «ЦКБ МТ «Рубин» разработана программа «Лента», позволяющая моделировать эксплуатационные циклы и рассчитывать за полный срок службы (или любой произвольный интервал времени) такие параметры, как:

- суммарное время использования объекта по назначению;
- суммарное время технического обслуживания (ТО) и ремонтов;
- доля времени использования объекта по назначению;
- суммарные затраты на поддержание технической готовности объекта;
- удельную стоимость использования ОМТ по назначению, и другие.

Перечисленные параметры могут использоваться как критерии при сравнительной оценке вариантов проектируемых объектов и вариантов их возможных моделей использования.

В программе «Лента» рассматриваемые объекты описываются множеством располагаемых ресурсов (физических и временных), множеством процессов, в которых эти ресурсы расходуются или восстанавливаются, и отношениями между процессами.

Общий вид окна графического представления схемы эксплуатационных циклов для ОМТ представлен на рисунке 2.

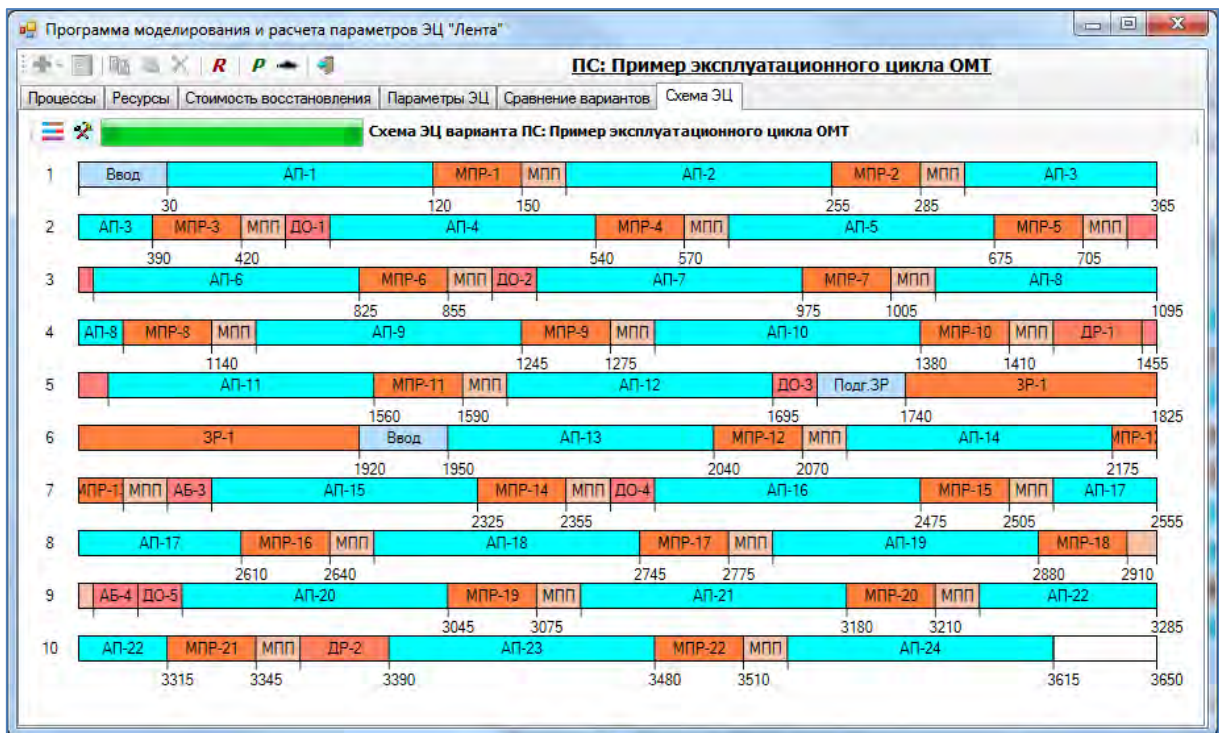


Рисунок 2 – Окно графического представления эксплуатационных циклов

Процессы и ресурсы

Все процессы ОМТ, образующие эксплуатационные циклы (ЭЦ), можно разделить на следующие виды:

- использование по назначению;
- процессы, предназначенные для восстановления ресурсов, необходимых для очередного использования по назначению (восстановительные процессы) – различного вида ТО и ремонт;
- общетехнические мероприятия по подготовке ОМТ и экипажа к выходу в море для очередного использования по назначению;
- использование для проведения учений и отработки прочих специальных задач.

Для использования по назначению ОМТ должен располагать некоторым множеством ресурсов, позволяющих выполнять задачи назначения в течение заданного времени.

При разработке программы определено, что для ОМТ характерны два вида ресурсов – временные $\{T_j\}$ и физические $\{R_i\}$. Последние определяются запасом некоторой энергии (энергоресурса), топлива, материальных средств или возможной наработкой основных систем ОМТ. Временными ресурсами являются требования к периодичности отдельных мероприятий, в том числе назначенные показатели долговечности.

Временные ресурсы расходуются в каждом процессе, кроме тех процессов, в которых они восстанавливаются. Физические ресурсы расходуются при использовании по назначению, а также для проведения учений и отработки прочих специальных задач. Восстанавливаются и временные и физические ресурсы в процессах вида «ТО и ремонт». Отдельные ресурсы могут восстанавливаться при общетехнических мероприятиях и проведении учений.

В начальный момент эксплуатации все располагаемые ресурсы имеют максимальное значение $\{T_j^*\}$ и $\{R_i^*\}$.

В произвольный момент времени t располагаемый временной ресурс определяется по формуле

$$T_j^* - (t - t_{0j}), \quad (1)$$

где T_j^* – j -й временной ресурс;

t_{0j} – момент начала исчисления расходования j -го ресурса (начальный момент эксплуатации или момент завершения некоторого восстановительного в отношении j -го ресурса процесса).

Располагаемый физический ресурс в момент t определится по формуле

$$R_i^* - R_{\Sigma i}(t), \quad (2)$$

где $R_{\Sigma i}(t)$ – суммарный расход i -го ресурса с начального момента эксплуатации или момента завершения некоторого восстановительного в отношении i -го ресурса процесса к моменту t .

Интенсивность использования i -го физического ресурса в m -ом процессе в общем случае обозначается, как k_{mi} , интенсивность восстановления – z_{mi} .

Суммарный расход i -го физического ресурса на момент окончания m -го процесса определяется по формуле

$$R_{\Sigma i}(t_m^k) = R_{\Sigma i}(t_m^h) + k_{mi} \cdot \tau_m \cdot (1 + \gamma_{mi}), \quad (3)$$

где t_m^h и t_m^k – начало и окончание m -го процесса;

τ_m – продолжительность m -го процесса, $\tau_m = t_m^k - t_m^h$;

γ_{mi} – резерв ресурса i -го вида, учитываемый в m -ом процессе.

Процесс использования по назначению возможен, если для любого временного ресурса (из общего количества j^*) и любого физического ресурса (из общего количества i^*) выполняются условия

$$T_j^* - (t - t_{0j}) \geq \tau_0, \quad \forall j \in \overline{1, j^*} \quad (4)$$

и

$$R_i^* - R_{\Sigma i}(t) \geq k_{0i} \cdot \tau_0 \cdot (1 + \gamma_{0i}), \quad \forall i \in \overline{1, i^*} \quad (5)$$

где τ_0 – продолжительность использования по назначению;

k_{0i} – интенсивность использования i -го физического ресурса при использовании по назначению (потребление ресурса в единицу времени).

Отношения между процессами

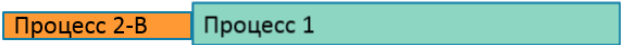




Восстановительные процессы ОМТ различаются по составу и объему выполняемых работ. Так, например, при доковом ремонте ОМТ выполняются все работы докового осмотра и, следовательно, восстанавливается не только ресурс «срок службы до докового ремонта», но и ресурс «срок службы до докового осмотра». Заводской ремонт поглощает все виды работ докового и межпоходового ремонтов. В общем виде все типы отношений между двумя процессами приведены в таблице 1.

Расчет трудоемкости и стоимости восстановительных процессов выполняется по завершении моделирования ЭЦ. Для ОМТ расчет проводится на основе регрессионных уравнений в соответствии с нормативной документацией.

На рисунке 3 представлено окно программы «Лента» с результатами моделирования схемы ЭЦ, где отображаются:

- суммарное количество процессов, продолжительность и стоимость;
- последовательность всех процессов;
- остаток ресурсов на момент окончания выбранного процесса;
- рассчитанные параметры больших и полного ЭЦ.

Т а б л и ц а 1 – Отношения между процессами

Наименование (обозначение)	Определение	Описание
Предшествующий процесс (<i>B</i>)	$t_1^H \geq t_2^K$	Процесс p_2 в обязательном порядке предшествует процессу p_1 t_1^H – начало процесса p_1 ; t_2^K – окончание процесса p_2 
Последующий процесс (<i>P</i>)	$t_2^H \geq t_1^K$	Процесс p_2 в обязательном порядке выполняется после процесса p_1 
Поглощаемый процесс (<i>A</i>)	$p_2 \subset p_1$	Процесс p_1 поглощает все восстановительные мероприятия процесса p_2 
Параллельный процесс $dT = 0$ (<i>O</i>)	$[t_2^H, t_2^K] \subset [t_1^H, t_1^K]$	Процесс p_2 выполняется в течение процесса p_1 не увеличивая его продолжительность 
Параллельный процесс $dT > 0$ (<i>C</i>)	$t_1^K = (t_1^H + \tau_1) + \tau_2$ $[t_2^H, t_2^K] \subset [t_1^H, t_1^K]$	Процесс p_2 выполняется в течение процесса p_1 и увеличивает его продолжительность τ_1 – продолжительность процесса p_1 без процесса p_2 ; τ_2 – продолжительность процесса p_2 . 

Сравнительная оценка вариантов проектируемых объектов

Важнейшей характеристикой ОМТ является его полный срок службы. Ввиду большой стоимости постройки ОМТ целесообразно использовать как можно дольше. Однако с течением времени увеличиваются и затраты на выполнение ТО и ремонтов, в том числе, из-за ограниченных ресурсов и сроков службы оборудования, с увеличением полного срока службы ОМТ может возникнуть потребность и в увеличении количества заводских ремонтов.

Заводской ремонт имеет наиболее высокую трудоемкость и стоимость из всех восстановительных мероприятий. Затраты на каждый следующий ремонт, как показывает опыт эксплуатации, на треть выше предыдущего. При истечении срока службы основных систем дальнейшая эксплуатация ОМТ возможна только при их замене, что также существенно увеличивает стоимость заводского ремонта.

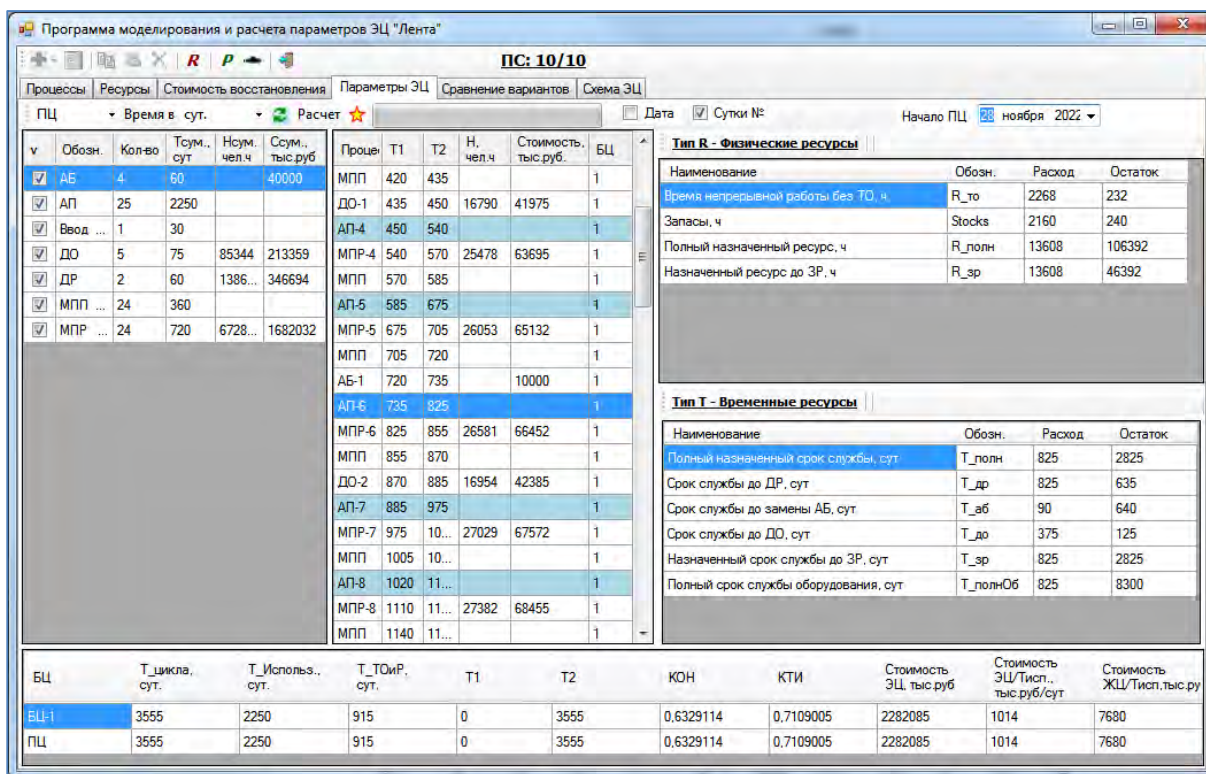


Рисунок 3 – Окно результата моделирования схемы ЭЦ

Критерием для определения оптимального срока службы целесообразно принять удельную стоимость использования ОМТ по назначению ρ , определяемую как

$$\rho = \frac{C_{\text{стр}} + C_{\text{экспл}}}{T_{\text{исп}}} \quad (6)$$

где $C_{\text{стр}}$ – стоимость постройки;
 $C_{\text{экспл}}$ – стоимость эксплуатации;
 $T_{\text{исп}}$ – суммарное время использования;

В качестве примера рассмотрим следующие возможные варианты ЭЦ ОМТ с назначенными сроками службы его систем и оборудования 10 лет до заводского ремонта (ЗР) и 25 лет полный:

- вариант 1, без ЗР – ОМТ списывается по достижении назначенного срока службы до ЗР. Обозначение варианта – 10/10;
- вариант 2, с одним ЗР. Обозначение варианта – 10/25;
- вариант 3, с двумя ЗР. Во время второго ЗР проводится замена оборудования. Обозначение варианта – 10/35;
- вариант 4, с тремя ЗР. Во время второго ЗР проводится замена оборудования. Обозначение варианта – 10/50.

На рисунках 4 и 5 приведены результаты сравнения вариантов ЭЦ. Как видно из рисунков, максимальный коэффициент использования по назначению (КИН) у варианта 10/10. Однако у этого варианта и наибольшая удельная стоимость жизненного цикла, что связано с высокой стоимостью постройки и малым временем использования по назначению.

Вариант 10/35 имеет такое же значение КИН, как и у варианта 10/50. Однако из-за того, что оборудование вырабатывает свой срок службы не полностью, удельная стоимость жизненного цикла существенно увеличивается.

При заданных параметрах оптимальным является вариант 10/25.

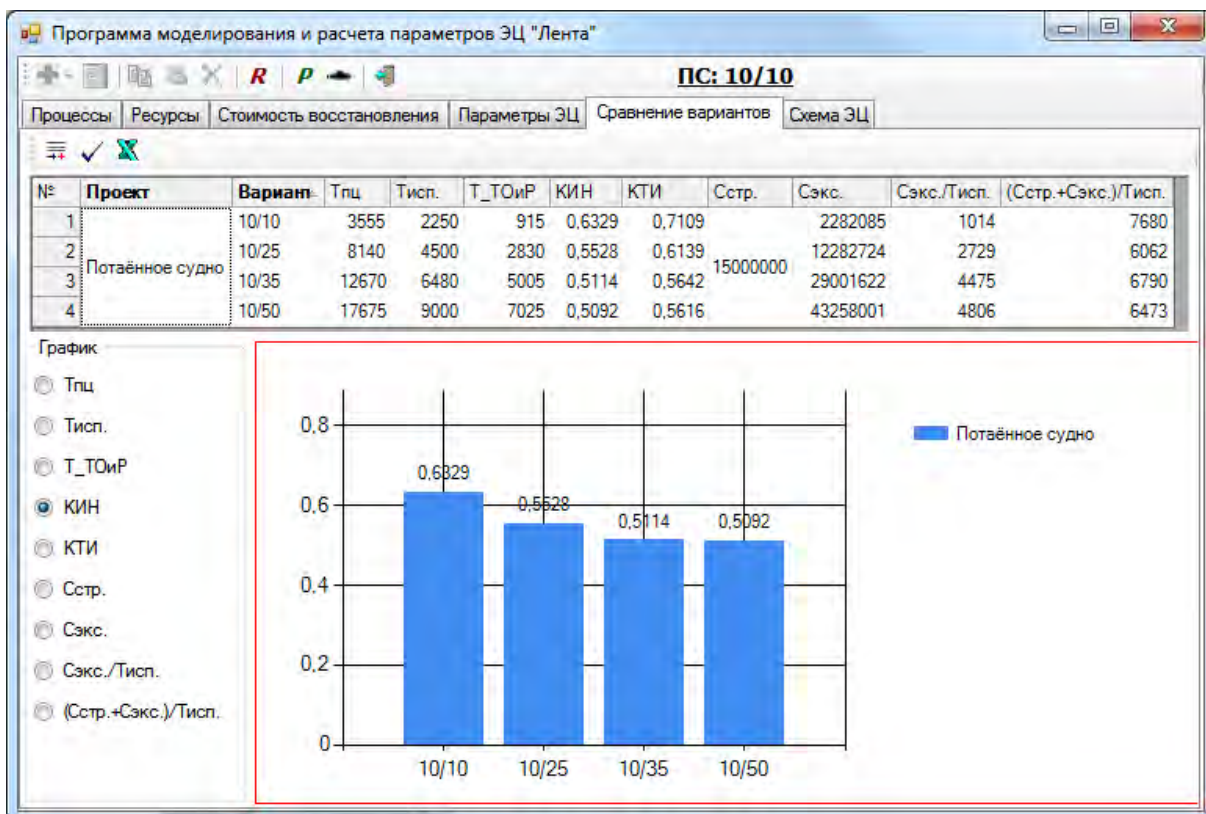


Рисунок 4 – Окно сравнения вариантов ЭЦ по коэффициенту использования по назначению

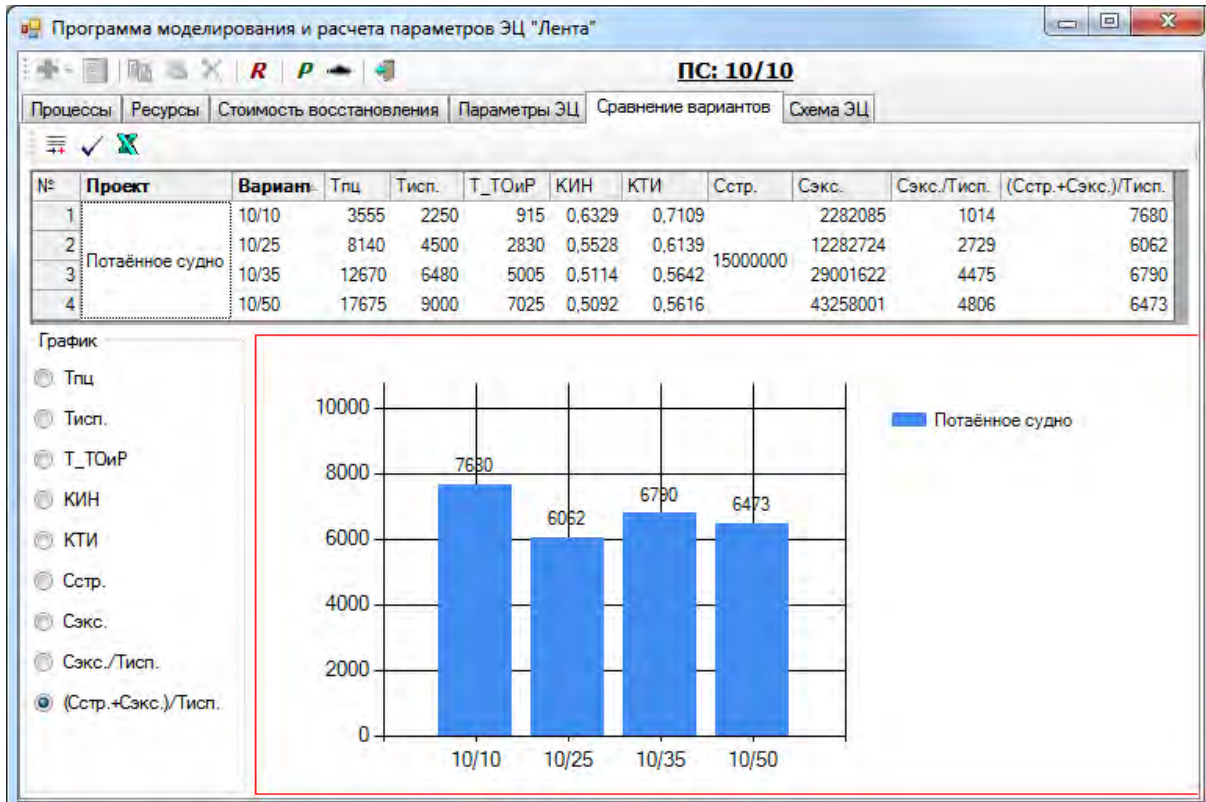


Рисунок 5 – Окно сравнения вариантов ЭЦ по удельной стоимости жизненного цикла

Выводы

1. Применение программы «Лента» обеспечивает повышение качества и сокращение трудоемкости проектирования в части обоснования надежности и стоимости эксплуатации ОМТ, вследствие:

- автоматизации подготовки данных и расчетов параметров эксплуатационных циклов, включая расчеты трудоемкости продолжительности ТО и ремонтов, и стоимости эксплуатации ОМТ;
- автоматизации процесса построения схемы эксплуатационных циклов ОМТ;
- автоматизации сравнительного анализа вариантов проекта ОМТ по критерию стоимость/эффективность.

Расчеты, аналогичные представленным для ОМТ, могут быть выполнены для управления жизненным циклом любых объектов, имеющих длительный срок службы.

2. В общем случае решение по выбору оптимального варианта жизненного цикла можно делать только с учетом необходимой интенсивности использования, количества совместно эксплуатируемых объектов и стоимости всех затрат на проектирование, создание, эксплуатацию и утилизацию.

3. Дальнейшее развитие и применение программы для группы совместно эксплуатируемых объектов даст возможность оценки изменения во времени количества объектов, находящихся в технической готовности и (или) одновременно проходящих ТО и ремонт, а также прогнозировать динамику загруженности средств ТО и ремонта.