

**Сетевое планирование и
управление ремонтом
подвижного состава**

Сетевое планирование и управление ремонтом ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Развитие и совершенствование организации и технологии при ремонте подвижного состава обусловили необходимость применения более гибких и целенаправленных методов планирования и управления. Одним из методов научного анализа планирования, управления и контроля является сетевое планирование (СПУ).

Виды сетевых моделей

В системе сетевого планирования и управления используется сетевая модель, в которой весь комплекс выполняемых ремонтных работ расчленяется на отдельные, четко определенные операции. В ней наглядно показаны все операции от начала и до конца ремонта локомотивов. Сетевая модель изображается в виде сетевого графика с помощью стрелок и кружков.

Сетевые графики могут составляться двумя способами: на языке событий, когда кружки на графике обозначают события, а стрелки – работы или иные связи между событиями (так называемые сети типа «работы дуги»); на языке работ, когда кружки на графике обозначают работы, стрелки – связи между ними, а понятие «событие» вовсе не используется (так называемые сети типа «работы – вершины»).

Следует отметить, что перевод сетевых графиков с языка работ на язык событий и обратно не представляет особого труда.

На языке «событий» работа означает действие или процесс, например, снятие и разборка контроллера, демонтаж и проверка контактора; на языке же «работ» работа уже характеризует только название действия или процесса, например, снять и разобрать контроллер, демонтировать и проверить контактор или контроллер снять и разобрать, контактор демонтировать и проверить.

Целесообразность применения этих типов сетевого графика определяется в каждом конкретном случае особенностями организации ремонтного производства и характером решаемых задач планирования и управления. Хотя построение сетей типа «работы – вершины» проще, однозначнее, не требует введения дополнительных элементов (фиктивных работ), в большинстве же случаев, особенно при ремонте локомотивов, предпочитают сети типа «работы – дуги», поскольку в последних отражены события в выполнении работ. Кроме того, при значительном числе входящих и выходящих работ из события сеть типа «работы – дуги» оказывается более экономной (по числу элементов); в наиболее простых моделях сетевые графики этого типа могут выполняться в масштабе, т. е. длины дуг (стрелок) могут нести некоторую информацию о работах. С другой стороны, сеть типа «работы – вершины» предпочтительна при частых изменениях состава и структуры ремонтных работ, так как отображение этих изменений в сети типа «работы – вершины» производится непосредственно, а в сети типа «работы – дуги» может потребовать существенной перестройки.

Учитывая, что при ремонте локомотивов в основном применяются сетевые графики типа «работы – дуги», рассмотрим более подробно характеристику указанных понятий. Понятие «работа» на сетевом графике означает процессы или совокупность процессов, используется оно в широком смысле и может иметь следующие значения:

- во-первых, процессы, требующие затрат времени и ресурсов для их осуществления. Любой производственный или иного характера процесс, протекающий в течение определенного времени и для реализации которого затрачиваются трудовые и материальные ресурсы, является просто работой или действительной работой;

- во-вторых, процессы, требующие только времени. Так, при естественной сушке материалов, в процессе зарядки аккумуляторных батарей и т. п. нужно только определенное время без затрат труда. Эти процессы также принято считать работами или ожиданием;

- в-третьих, процессы, не требующие затрат ни времени, ни ресурсов. Это так называемые зависимости или фиктивные работы. Если действительные работы и ожидание на сетевом графике изображаются в виде сплошной линии, то фиктивная работа (зависимость) пунктирной линией.

В отличие от работ события свершаются мгновенно, в определенные моменты времени, при этом не потребляются никакие ресурсы. Свершение события означает, что открыт фронт для последующих работ. Каждое событие имеет номер, который проставляется внутри кружочка. Нумерация может быть произвольной в том случае, когда это будет касаться машинной обработки сети, а для ручной обработки сетевого графика номер события, откуда выходит работа, должен быть меньше номера события, куда входит работа.

В ряде случаев в одном сетевом графике для увеличения его наглядности различные по характеру события возможно изображать различными геометрическими фигурами (квадраты, треугольники, прямоугольники, эллипсы и др.). Например, для наглядности изображения работ, выполняемых слесарями различной специальности, события в сетевых графиках изображаются определенными геометрическими фигурами: кружки для слесарей-механиков, прямоугольники для слесарей-кузовщиков, квадраты для слесарей-электриков комплексной бригады и т. д. Кроме того, работы выполняемые при ТР-3, на первой секции изображены одной линией; а на второй и при ТР-2 – двумя линиями. Такое отображение работ в сетевой модели делает ее доступной не только разработчикам, но и непосредственным исполнителям: старшим мастерам, мастерам и бригадирам отделений депо. Сетевая модель, в которой стрелки не являются векторами с произвольными длиной и направлением, называется безмасштабной. Однако на чертеже стрелки располагаются в порядке, указывающем определенную последовательность выполнения работ. Сетевая модель, в которой стрелки изображаются в виде определенных длин, обозначающих продолжительность работ, и отражаются в соответствующей календарной шкале (по часам, дням, сменам), называется масштабной.

Сетевая модель в зависимости от числа самостоятельных результатов, для достижения которых она разрабатывается, может быть одноцелевая и многоцелевая. Одноцелевая сетевая модель составляется для одного вида ремонта локомотивов, хотя в ней могут быть и некоторые промежуточные цели, например, ремонт переходных комплектов узлов и агрегатов. Многоцелевая сетевая модель представляет собой модель, в которой одновременно связаны по времени или ресурсам несколько одноцелевых сетевых моделей.

Одноцелевые сетевые модели содержат единственное исходное событие, единственное завершающее событие, детерминированные оценки работ. Несмотря на упрощенность этих моделей, они позволяют эффективно решать существенные проблемы управления ремонтным процессом на предприятии. Так, они позволяют найти: минимальное время, в течение которого может быть выполнен ремонт локомотива; ремонтные работы, которые определяют продолжительность выполнения ремонта локомотива в целом; моменты начала и окончания каждой ремонтной работы.

Однако наибольший эффект достигается при внедрении многоцелевых сетевых моделей. Поэтому в ряде локомотивных депо разрабатывались многоцелевые детерминированные модели с учетом времени, т. е. несколько сетевых графиков отдельно для каждой серии и вида ремонта локомотивов, увязанные между собой по трудовым ресурсам или по временным показателям работы специализированных подразделений депо. Такие сетевые модели содержат несколько исходных событий, несколько завершающих событий, детерминированные временные оценки работ. С помощью их успешно решались проблемы одновременного управления ремонтом нескольких локомотивов не только в пределах одного подразделения, но и в масштабах всего депо т.е. с учетом специализированных и заготовительных отделений депо.

Детерминированная сетевая модель является фиксированной с самого начала выполнения операций, когда заранее известны технические требования, методы и средства выполнения операций, хотя ряд дополнительных операций может появиться в процессе выполнения работ и при их дальнейшей детализации. Детерминированные модели можно разделить на модели с детерминированными и случайными оценками. В полностью Детерминированной модели все работы имеют фиксированные оценки, которые при определении ее параметров остаются неизменными.

Если работы получают несколько временных оценок, которые задаются исполнителям с определенными вероятностями, то такие оценки в детерминированной модели являются случайными. Следует отметить, что полностью детерминированных моделей не существует, а подобная условность является просто необходимой и весьма полезной при составлении плана выполнения работ.

До сих пор речь шла о таких процессах ремонта, в которых для завершения ремонта локомотивов при любых условиях должны быть выполнены все работы, причем условием для начала последующей является обязательное выполнение всех предшествующих (соединение предшествующих работ по схеме «и»). При ремонте локомотивов могут встречаться зависимости и иного характера. Возможна, например, такая зависимость: работа «а» может начаться после окончания, по крайней мере, одной из двух работ «б» или «с» (соединение по схеме «или»). Для отображения таких зависимостей применяются альтернативные сетевые графики, допускающие соединение входящих (а также и выходящих) дуг как по схеме «и», так и по схеме «или».

Альтернативная сетевая модель содержит ряд вариантов возможных решений с различной вероятностью достижения конечной цели, например, в случае когда заранее не известны трудоемкость предстоящих ремонтных работ, технология ремонта, число работников, которые будут производить ремонт, и т. д. Она также может быть с детерминированными и случайными оценками.

Анализ применения сетевых моделей в локомотивном хозяйстве, выполненный ПКБ ЦТ, показал, что при пересмотре технологического процесса все сетевые графики ремонта локомотивов в депо в основном разрабатываются в масштабном изображении. Это облегчило разработчикам и исполнителям работу с сетевыми графиками, наглядно показало наличие и размеры резервов времени, критический путь и сроки свершения событий.

При графическом изображении сетевого плана процесса ремонта на горизонтальную ось наносятся выбранные единицы времени (часы) и через каждую точку (или две) проводится вертикаль. На полученной таким образом временной сетке и строится масштабный сетевой график. На этом графике в отличие от общепринятых сетевых моделей длина каждой стрелки (проекция на горизонтальную ось) соответствует продолжительности работы; продолжительность отдельной ремонтной операции определяется расстоянием по горизонтали между соответствующими начальным и конечным событиями. Для более быстрой визуальной оценки резервов времени и критического пути в график иногда вводят ряд символов (треугольники, квадраты и т. д.) для обозначения начала и конца резервного времени. Кроме того, резерв времени может изображаться ломаной или пунктирной линией.

Применение масштабных сетевых графиков позволило упростить изображение технологии и проведение необходимых вычислений, увеличить наглядность изображения всего ремонтного процесса, критического пути и резервов времени, более просто и наглядно рассчитать потребность в необходимых трудовых и материальных ресурсах как по отдельным ремонтным работам, так и для ремонтируемого локомотива в целом. Кроме того, позволило снизить трудоемкость, облегчить анализ и оптимизацию сетевых моделей, сходство с линейными графиками, понимание их всеми работниками депо.

В основе метода сетевого планирования и управления лежит сетевой график, который представляет собой графическую модель технологического процесса, показывающую последовательность и логическую взаимосвязь выполняемых технологических операций. Состав работ в сетевых моделях может быть представлен с любой степенью детализации. Система СПУ координирует действия руководителя и исполнителей на всех участках и позволяет сосредоточить внимание на решающих работах технологического процесса. Основными элементами сетевого графика для любого производственного процесса являются: **работа, событие, путь**.

Работа – это процесс, в результате которого наступает какое-либо событие. Понятием “работа” охватывается действительная и фиктивная работа, ожидание. Действительная работа – трудовой процесс, требующий затрат времени, трудовых и материальных ресурсов. Ожидание – это процесс, не требующий материальных и трудовых затрат, но занимающий время. На сетевом графике действительная работа и ожидание обозначаются сплошной безмасштабной стрелкой.

Фиктивная работа или зависимость – логическая связь между событиями, не требующая затрат времени и ресурсов, она только показывает на зависимость одного события от другого. Фиктивная работа на сетевом графике обозначается пунктирной линией со стрелкой на конце. Фиктивная работа не имеет продолжительности. Работы, отображенные на сетевом графике сплошными линиями, не являются векторами и вычерчиваются без масштаба. Их длина и направление произвольны, но на чертеже они располагаются в последовательности выполнения технологических операций.

Событие – начало или окончание любой работы. Оно фиксирует результат выполнения предшествующих ему работ. На событие не расходуется ни время, ни ресурсы. На сетевых графиках событие обозначается кружком с порядковым номером. Событие, из которого выходит стрелка, отображающая работу, называется *предшествующим* по отношению к данной работе, событие, в которое входит стрелка, называется *последующим*.

Путь – непрерывная технологическая последовательность работ от исходного события до завершающего. В сетевом графике может быть несколько путей, что соответствует параллельному ведению различных работ. Каждый путь характеризуется составом и количеством работ, а также определенной продолжительностью. Продолжительность каждого пути определяется суммарным временем выполнения всех работ, составляющих этот путь.

Путь от начального события до конечного, имеющий наибольшую продолжительность, называется критическим. Работы, лежащие на критическом пути, не имеют резервов времени. Изменение продолжительности работ, находящихся на критическом пути, изменяют срок наступления завершающего события сетевого графика.

В сетевых графиках по ремонту вагонов продолжительность критического пути отображает время простоя вагона в ремонте, которое устанавливается для соответствующего типа вагонов.

Для разработки сетевого графика необходимы следующие исходные данные:

1. Полный и подробный перечень работ, технологического процесса.
2. Трудоемкость технологических операции и коэффициент их повторяемости.
3. Взаимная логическая последовательность операций.
4. Профессии рабочих и их количество при выполнении технологических операций.

Состав работ в сетевых графиках может быть представлен с любой степенью детализации. Основное условие построения сетевого графика – обязательное наличие внутренней взаимосвязи между работами, когда начало последующей работы обусловлено окончанием предыдущей. В сетевом графике должно быть только одно начальное и одно конечное событие; не должно быть тупиков, т.е. событий, из которых не выходит ни одна работа; не должно быть замкнутых контуров; событий, имеющих одинаковую нумерацию. Между двумя событиями должна быть только одна работа. Для параллельных работ между двумя событиями вводится дополнительное событие, фиктивная работа или логическая связь.

Временные характеристики

К основным параметрам сетевой модели относятся: продолжительность работы, критический путь, резервы времени событий и работ. Эти параметры являются исходными для получения ряда дополнительных характеристик, а также для анализа модели или, что то же самое, для анализа составленного плана ремонта локомотивов.

Моментом начала работы называется максимальный из моментов времени, когда выполненный объем работы равен нулю; моментом окончания – минимальный из моментов времени, когда выполненный объем работы равен ее полному объему. Промежуток времени между моментами начала и окончания работы называется продолжительностью.

Продолжительность работы (i, j) обычно обозначается $t(i, j)$, момент ее начала $t_H(i, j)$, момент окончания $t_0(i, j)$, где i – номер начального события, а j – номер конечного события.

Одна из основных задач метода СПУ состоит в определении продолжительности ремонта локомотивов, если известны продолжительности выполнения всех отдельных работ. Для этого используется такое понятие, как путь.

Путем (L) в сетевом графике называется такая последовательность работ (стрелок), в которой конец каждой предшествующей работы (стрелки) является началом каждой последующей работы (стрелки),

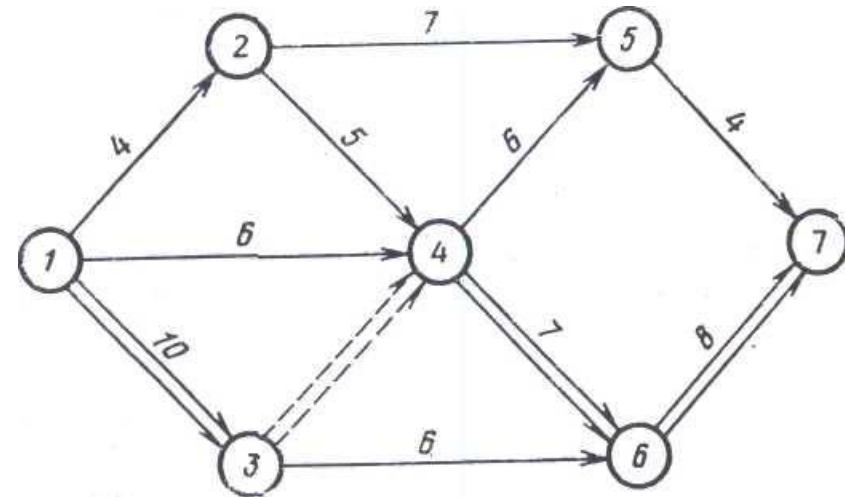
$$L = \{(i_1, i_2), (i_2, i_3), (i_3, i_4), \dots, (i, j), \dots, (i_{k-1}, i_k)\}.$$

Путь в сетевом графике может быть выражен также с помощью событий, через которые он проходит, $L=(i_1, i_2, i_3, i_4 \dots, i_k)$.

Событие i_1 является начальным (началом пути), а событие i_k конечным (концом пути). Так, например, на рис. 1 путь (2–4; 4–5; 5–7) проходит через события (2, 4, 5, 7). Событие 2 является началом этого пути, а событие 7 – его концом.

Длиной (продолжительностью) пути L называется число, равное сумме продолжительности работ, входящих в этот путь. Длина (продолжительность) пути L обозначается через $t(L)$ и выражается в единицах времени. Математически она может быть выражена формулой

$$t(L) = t(i_1, i_2) + t(i_2, i_3) + t(i_3, i_4) + \dots + t(i, j) + \dots + t(i_{k-1}, i_k).$$



Фрагмент сетевого графика

Критическим путем от события i_1 до события, i_k называется путь, имеющий максимальную продолжительность и проходящий через эти события.

Путь от исходного до завершающего события называется полным. Так, на рисунке, где продолжительность работы указана над стрелкой, можно выделить восемь полных путей, каждый из которых имеет свою продолжительность:

$$L_1=(1-2; 2-5; 5-7); t(L_1)=15;$$

$$L_2=(1-2; 2-4; 4-5; 5-7); t(L_2)=19;$$

$$L_3=(1-2; 2-4; 4-6; 6-7); t(L_3)=24;$$

$$L_4=(1-4; 4-5; 5-7); t(L_4)=16;$$

$$L_5=(1-4; 4-6; 6-7); t(L_5)=21;$$

$$L_6=(1-3; 3-4; 4-5; 5-7); t(L_6)=20;$$

$$L_7=(1-3; 3-4; 4-6; 6-7); t(L_7)=25;$$

$$L_8=(1-3; 3-6; 6-7); t(L_8)=24.$$

Полный путь, имеющий максимальную продолжительность, называется критическим полным или просто критическим путем от исходного до завершающего события. Путь L_7 , имеющий продолжительность 25 единиц времени, является критическим для сети.

Работы и события, лежащие на критическом пути, называются соответственно критическими работами и критическими событиями. Поскольку все работы, лежащие на критическом пути, являются обязательными, то полная продолжительность выполнения всего комплекса работ, отображенного сетевым графиком, равна продолжительности критического пути. Анализ критического пути позволяет выделить те немногие работы, от которых действительно зависит полная продолжительность ремонта локомотивов. За счет сокращения продолжительности работ удастся сократить общую продолжительность ремонта локомотивов. Критический путь сети может выделяться на графике двойной или толстой линией. С помощью сетевого графика, кроме критического пути, рассчитывается ряд показателей для каждого события и каждой работы. Такими показателями являются прежде всего сроки свершения события.

Ранний срок свершения события. Этот показатель характеризует календарную дату наиболее раннего из возможных сроков свершения того или иного события. Поскольку каждое событие является результатом одной из нескольких работ, а те в свою очередь следуют за какими-либо предшествующими событиями, то срок его свершения определяется наиболее длительным отрезком пути от исходного события до рассматриваемого.

Поздний срок свершения события. Этот показатель характеризует календарную дату наиболее позднего из допустимых сроков свершения того или иного события. Если установлен срок свершения конечного события, являющегося результатом всего комплекса проводимых работ, то каждое промежуточное событие должно свершаться не позже определенной даты. Эта дата и является предельно допустимым сроком свершения события. Зная приведенные выше показатели для события, можно определить для каждой из работ составленного графика следующие показатели:

а) **ранний срок (дата) начала работы.** Он определяется моментом свершения, предшествующего данной работе события в его самый ранний срок;

б) **поздний срок (дата) начала работы.** Это предельно допускаемый срок ее начала в предположении, что при условии установленного времени выполнения в результате не будет поставлен под угрозу срыва установленный срок свершения конечного события или, что то же самое, следующее за данной работой событие свершится не позже своего позднего срока;

в) **ранний срок (дата) окончания работы.** Этот срок окончания работы при условии ее начала в самый ранний срок и выполнения ее в пределах установленной продолжительности;

г) **поздний срок (дата) окончания работы.** Определяется моментом свершения последующего для данной работы события в его самый поздний срок.

Резерв времени для событий показывает, на какой предельно допустимый период времени может задержаться свершение того или иного события, не вызывая при этом опасности срыва срока свершения конечного события. Разумеется, что события, находящиеся на критическом пути, не имеют резервов времени.

Работы также могут располагать резервами времени для их выполнения. При этом различают следующие резервы времени.

Полный резерв времени. Это максимально возможный запас времени для выполнения данной работы при условии, что в результате такой задержки следующее за данной работой событие свершится не позже чем в свой поздний срок. Другими словами, эта разница между наиболее поздним сроком свершения последующего за работой события и суммой самого раннего срока свершения предшествующего работе события и продолжительности работы.

Свободный резерв времени. Это запас времени, которым можно располагать при выполнении данной работы в предположении, что предшествующее и последующее события этой работы свершаются в свои самые ранние сроки. Другими словами, это разница между ранним сроком свершения последующего за работой события и суммой раннего срока свершения события, стоящего у начала работы, и времени работы.

Ресурсные характеристики

Каждая работа сетевой модели требует определенных ресурсов, В процессе выполнения ремонта локомотивов в общем случае используются следующие ресурсы: труд, овеществленный в основных производственных фондах – машины и механизмы, инструменты и приборы; труд, овеществленный в предметах труда, – материалы, сырье, топливо, полуфабрикаты, детали и т. д.; живой труд работников – рабочие, инженерно-технические и другие работники.

На практике применения сетевых моделей различают два основных типа ресурсов: складированные (невозобновляемые) и нескладированные (возобновляемые) ресурсы. К первому типу относятся материалы, топливо, сырье, полуфабрикаты, детали и т. д. Это ресурсы типа материалов. Ко второму типу относятся трудовые ресурсы (рабочие, инженерно-технические и другие работники), машины, механизмы, оборудование, производственные площади и т. п. Это ресурсы типа мощностей.

Различия между ресурсами состоят в следующем. Ресурсы типа материалов непосредственно расходуются в процессе выполнения работ, изменяя свою натуральную форму и не допуская повторного использования. Как правило, не будучи использованы в установленное время, такие ресурсы могут быть использованы в более позднее время в процессе ремонта (до полного исчерпания наличного количества соответствующих ресурсов). Обычно предполагается, что количество неиспользуемого складированного ресурса остается неизменным (без учета новых поставок), хотя в отдельных случаях необходимо учитывать расходы по хранению материалов, проценты платы за оборотные средства, нормы естественной убыли, сроки хранения и т. д.

В отличие от этого ресурсы типа мощности в процессе выполнения работы сами не расходуются, а производят сами или в сочетании с другими ресурсами некоторый расходуемый фактор (человеко-дни, машино-смены и т. п.), не допускающий складирования. В связи с этим неиспользование или недоиспользование нескладированного ресурса в течение определенного времени является потерей того количества расходуемого фактора, которое он за это время мог произвести, но не произвел. Однако через определенное время необходимо учитывать возможные изменения производительности тех или иных видов нескладированных ресурсов в зависимости от продолжительности и условий их использования.

При использовании складываемых ресурсов необходимо различать график потребления ресурса данной работой, который выражает потребное количество ресурса определенного вида в зависимости от состояния работы, т. е. количества ресурса, необходимого для выполнения установленного объема ремонта, соответствующего каждому состоянию. Потребность отдельной работы в нескладываемом ресурсе определенного вида обычно характеризуется интенсивностью потребления этого ресурса, т. е. количеством единиц ресурса, используемых в каждый данный момент. Она отражается в графике интенсивности потребления ресурса данной работой. Отдельная работа может использовать один или несколько видов ресурсов различных типов. Любому состоянию работы соответствует множество технологически допустимых значений интенсивности потребления каждого из этих ресурсов. Выбор допустимых интенсивностей для всех видов ресурсов в основном определяется скоростью ведения работ. Поскольку этот выбор, как правило, неоднозначен, то одной работе может соответствовать целая совокупность графиков потребления каждого вида ресурса, т. е. продолжительность выполнения работы зависит от графика потребления ресурсов.

В зависимости от числа видов ресурсов, учитываемых по отдельным работам и по ремонту локомотивов в целом, различают:

модели с учетом одного вида ресурса, например, учет в комплексной бригаде слесарей-ремонтников без делений их по специальностям и другим признакам;

модели с учетом нескольких видов ресурсов, например, каждую работу выполняет определенная группа слесарей-ремонтников специализированных бригад.

В зависимости от сложности учитываемых графиков потребления ресурсов отдельными работами различают:

модели, в которых все работы ведутся с постоянной скоростью и интенсивностью потребления всех видов ресурсов;

модели, в которых скорости ведения отдельных работ могут быть переменными, а интенсивности потребления всех ресурсов изменяются пропорционально этой скорости, например, если работа выполняется одним слесарем за 10 ч, то двумя – за 5 ч;

модели, в которых скорости ведения отдельных работ могут быть переменными, а интенсивности потребления различных видов ресурсов могут изменяться различно в соответствии с заданными для них графиками, например, если работа выполняется одним слесарем за 10 ч, то двумя – за 6 ч, а тремя – за 4,5 ч.

Анализ показал, что ресурсные характеристики сетевой модели указываются либо непосредственно на графике, либо в таблицах. В основном применяется первый способ: непосредственно на сетевых моделях. В типовых сетевых моделях ремонта локомотивов ресурсные характеристики непосредственно указываются на сетевой модели в виде графика загрузки исполнителей, который приводится ниже сетевой модели.



Одной из задач ремонтно-восстановительного комплекса ОАО «РЖД» является управление технологическими процессами обслуживания и ремонта подвижного состава, в число результатов которого входят сокращение времени проведения технического обслуживания и ремонта, снижение количества сверхурочных работ, своевременное пополнение материально-технических запасов, обеспечение качества выполнения технологических процессов. Благодаря этому значительно повышается производительность труда, сокращаются затраты на обслуживание ремонтных предприятий, снижается себестоимость ремонта. Важной функцией управления является планирование и анализ обеспеченности технологических процессов запасными частями и материалами.

Важно отметить, что автоматизация управления технологическими процессами позволяет повысить коэффициент готовности подвижного состава и оборудования ремонтных предприятий



Одним из вариантов реализации управления технологическими процессами ремонта подвижного состава является применение сетевого планирования.

Сетевое планирование – это метод, который основывается на использовании математического аппарата теории графов и системного подхода для отображения и алгоритмизации комплексов взаимосвязанных работ, действий или мероприятий для достижения четко поставленной цели.

Сетевое планирование позволяет определить, во-первых, какие работы или операции из числа многих, являются «критическими» по своему влиянию на общую календарную продолжительность ремонта и, во-вторых, каким образом построить наилучший план проведения всех работ по данному ремонту с тем, чтобы выдержать заданные сроки при минимальных затратах.

Сетевое планирование основывается на разработанных практически одновременно и независимо методе критического пути МКП (СРМ – Critical Path Method) и методе оценки и пересмотра планов ПЕРТ (PERT – Program Evaluation and Review Technique).



Задача сетевого планирования состоит в том, чтобы графически, наглядно и системно отобразить, и оптимизировать последовательность и взаимозависимость работ, действий или мероприятий, обеспечивающих своевременное и планомерное достижение конечных целей. Для отображения и алгоритмизации тех или иных действий или ситуаций используются экономико-математические модели, которые принято называть сетевыми моделями, простейшие из них – сетевые графики.

После того как построен сетевой график и рассчитаны все его характеристики (критический путь и его продолжительность, резервы времени для событий и работ и др.), начинается новый этап работы – оптимизация сетевого графика. Под оптимизацией сетевого графика подразумевается последовательное улучшение сети с целью достижения минимального срока выполнения комплекса или распределения всех видов ресурсов, с учетом имеющихся ограничений. Как правило, первый вариант сети не является окончательным, так как рассчитанные первоначальные сроки выполнения ремонта локомотивов не дают удовлетворительных результатов, а ранние сроки свершения завершающих событий значительно превосходят ожидаемые сроки. В связи с этим возникает необходимость в сокращении критических путей сетевых моделей..



Как известно, полная продолжительность выполнения всего комплекса работ равна продолжительности критического пути. Анализ сетевого трафика позволяет выделить те работы, от которых действительно зависит полная продолжительность всего комплекса работ. Количество таких работ невелико по сравнению с общим количеством работ в сети. В среднем в сетевых моделях количество критических работ, как правило, не превышает 10-15 % общего количества работ.

При обычных методах планирования комплекса работ нередко при сокращении общего срока его выполнения стремятся сократить продолжительность всех или большинства работ. Такой подход, как правило, не давал соответствующего эффекта, так как требовал дополнительных затрат и незначительно сокращал продолжительность выполнения всего комплекса работ.

Корректировка сетевого графика позволяет сократить продолжительность критического пути за счет проведения ряда мероприятий: варьирования временными показателями событий и работ, использования агрегатно-узлового метода ремонта, перераспределения ресурсов между критическими и некритическими работами.



В общем виде прежде всего следует уделить особое внимание проверке достоверности оценок исходных параметров работ, попавших в критическую зону. Сокращение планируемой продолжительности критических работ может быть достигнуто за счет привлечения к их выполнению дополнительных ресурсов. Это должно делаться в первую очередь за счет перераспределения ресурсов между критическими и некритическими работами с изменением сроков или продолжительности последних в пределах их запасов времени. Если такое перераспределение не приводит к удовлетворительным результатам, то привлекают дополнительные ресурсы (при их наличии).

Пересмотр топологии сетевой модели с целью сокращения продолжительности критического пути состоит в изменении состава или последовательности выполнения отдельных работ, а также взаимосвязи между ними. Основным средством сокращения ремонтного цикла в этом случае является детализация работ в сетевой модели, использование агрегатно-узлового метода ремонта, изменение технологии выполнения работ. Рассмотрим эти процессы на примере ремонта локомотивов.



Целесообразность проведения любого мероприятия, приемлемость намеченных сроков ее выполнения, эффективность предлагаемых организационных мероприятий должны определяться исходя из того, как они повлияют на соответствующие показатели всей сетевой модели ремонта локомотивов.

После проведения сокращения продолжительности работ по критическому пути, снова производят пересчет сетевой модели, чтобы выявить достаточность принятых мер, а также узнать, не появились ли новые критические пути. Если новый вариант сетевого графика не обеспечивал соблюдение установленных сроков ремонта, то вся процедура повторяется снова, до тех пор, пока не будет получен удовлетворительный результат, т. е. приведение сетевой модели в соответствие с установленным сроком ремонта локомотивов осуществляется путем последовательного улучшения первоначального варианта плана с проведением необходимого количества повторных расчетов. Одновременно для сокращения количества пересчетов сетевой модели к его показателям должны проводиться мероприятия по сокращению работ не только на критическом, но и на подкритических (т. е. близких к критическому) путях.

Сокращение продолжительности работ должно быть реальным, а не чисто волевым. В отдельных случаях, особенно при жестких ограничениях по времени ремонта и выделенным ресурсам, окончательным результатом расчета по улучшению первоначального плана выполнения ремонта может быть обоснованное доказательство невозможности уложиться в установленную продолжительность без корректировки этих ограничений.



Место сетевого планирования в системе ремонта

Одной из актуальных задач для любого ремонтного предприятия является обеспечение технологической готовности, на которую оказывает влияние календарное планирование, что в свою очередь позволяет рационально использовать технологические ресурсы предприятия, обеспечить непрерывность технологического процесса и высокое качество ремонта.

Использование сетевого планирование на локомотиворемонтных предприятиях позволяет значительно упростить процесс технологической подготовки ремонтного производства, сделать его прозрачным и легко перестраиваемым. Помимо этого, сетевое планирование облегчит переход ремонтного депо на использование системы менеджмента качества за счет строго прописанных норм времени на выполнение технологических операции, норм расхода материалов, режимов обработки и методов контроля.

Данный подход предлагается реализовать на основе модели управления качеством технологических процессов ремонта локомотивов с использованием сетевого планирования в рамках автоматизированной системы управления (АСУ) «Сетевой график», применяемой для контроля и корректировки выполнения технологических операций в соответствии с алгоритмом, представленном на рисунке 1.

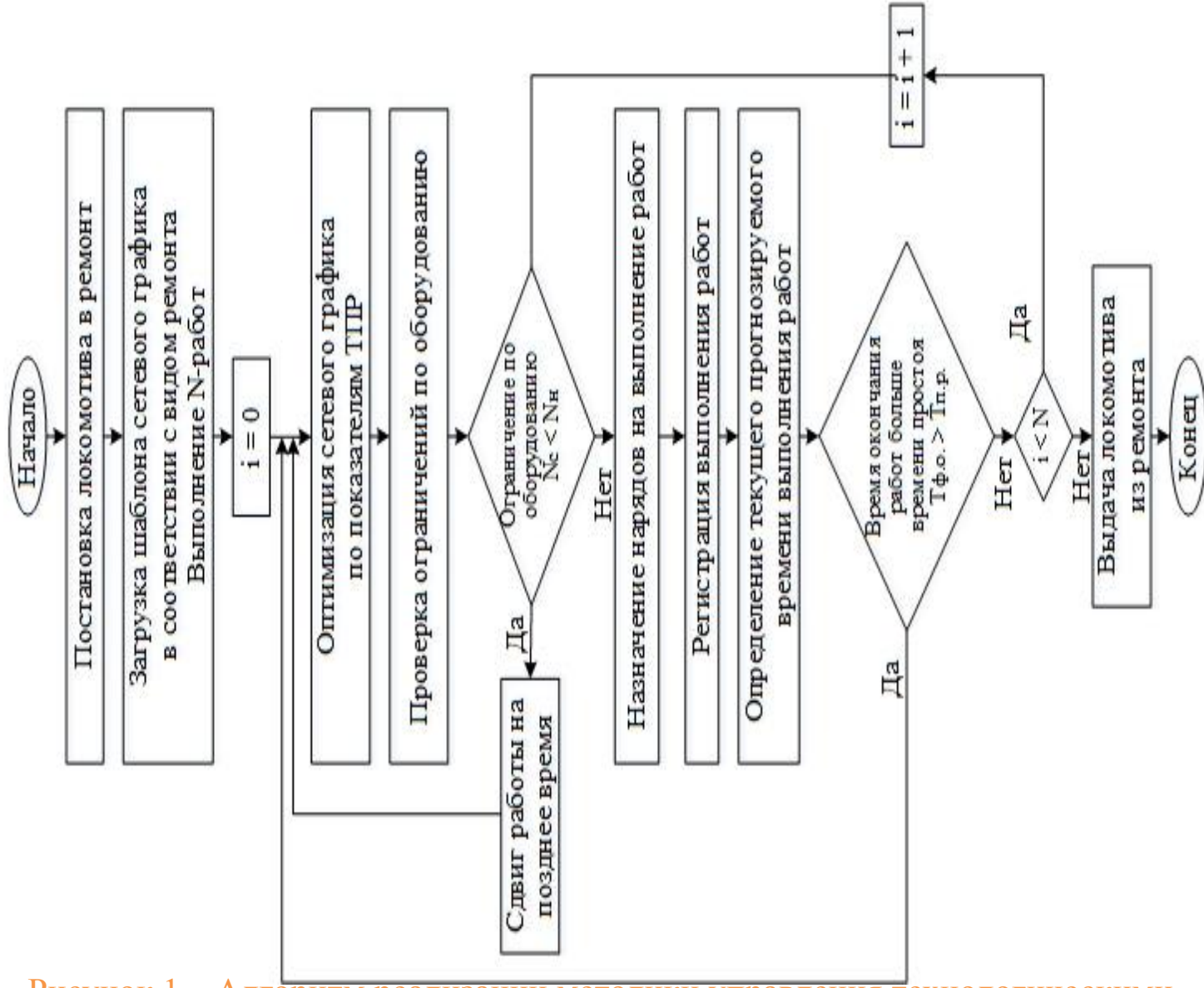


Рисунок 1 – Алгоритм реализации методики управления технологическими процессами ремонта локомотивов



- При постановке тепловоза в ремонт мастер цеха начинает работу с регистрации списочного состава. После этого мастер выполняет запрос из АСУ «Сетевой график» о поставленных в ремонт локомотивах. После обработки запроса АСУ «Сетевой график» назначает слесарей на работы и выдает проблемные места по ресурсам. Процесс корректировки базовых сетевых графиков по показателям технологической подготовки ремонта (ТПР) осуществляется по алгоритму, представленному на рисунке 2.

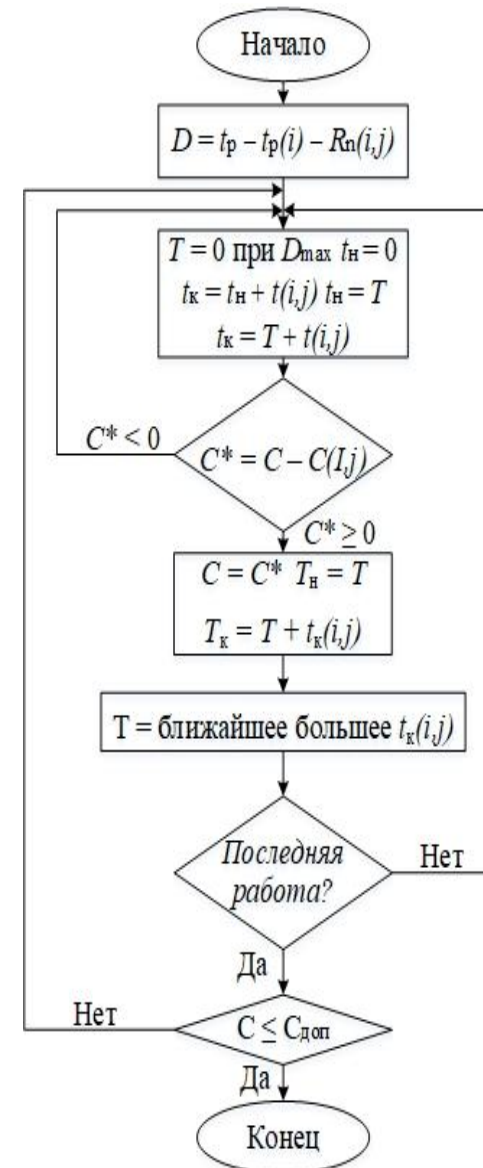


Рисунок 2 – Алгоритм корректировки сетевого графика



Для каждой работы (i,j) вычисляется показатель близости работы к критическому пути D . Составляется расписание для очередной работы, имеющей наибольшее значение D и начальное событие которой уже попало в расписание. После начала и окончания очередной работы (i,j) из требуемого значения показателя ТПР C вычитается $C(i,j)$. Если $C^* \geq 0$, то расписание (i,j) работы сохраняется, C принимается равным C^* , время начала работы по расписанию t_n принимается равным T , время окончания работы по расписанию $t_k = T + t(i,j)$.

Если $C^* < 0$, то расписание для работы (i,j) аннулируется. Выбирается работа со следующим D , начальное событие которого уже попало в расписание

и свершилось к моменту T , для этих работ повторяются шаги 2 и 3. Операция кончается тогда, когда рассмотрены все работы, предыдущее событие которых уже попало в расписание.

Величина T заменяется на ближайшее большее значение из набора величин $t_k(i,j)$. Определяются работы, которые кончаются к моменту времени T , и значения показателя ТПР по этим работам учитываются в C .



- Критерий оптимальности, который достигается в результате расчета – максимальное значение показателя технологической подготовки ремонта.
- Например, если количество свободного оборудования N_c меньше количества требуемого оборудования N_n , программа предлагает корректировку времени начала выполнения работ.
- Мастер цеха корректирует начало выполнения работ по предлагаемой АСУ «Сетевой график» схеме, после чего запускает процедуру назначения нарядов и заказа материалов и запасных частей. В процессе выполнения ремонта мастер цеха заходит в подсистему «Мониторинг ремонта» и из списка выбирает нужный локомотив. Система выполняет запрос данных о выполненных нарядах, запрос данных о деталях и узлах, требующих ремонта в автоматизированных системах технического диагностирования, запрос данных об отремонтированных деталях, поступивших на склад. Полученные данные отмечаются в подсистеме «Работа с нарядами» и «Мониторинг ремонта».



- В случае отставания от графика выполнения работ, автоматически пересчитывается время начала и окончания выполнения зависимых от них работ. При выдаче тепловоза из ремонта мастер цеха заходит в подсистему «Постановка в ремонт» и выбирает тепловоз. Система выполняет запрос данных о приемке или замечаниях приемщика и о выдаче тепловоза соответственно. После этого переходит в подсистему «Работа с нарядами».
- В том случае, когда замечаний нет, мастер цеха закрывает наряды, и система отправляет данные о выполненных технологических операциях.
- Данный подход позволяет осуществлять оперативный контроль и управление технологическими процессами ремонта локомотивов. Схема взаимодействия АСУ «Сетевой график» с действующим программным обеспечением и автоматизированными системами управления, используемыми в депо, представлена на рисунке 3.

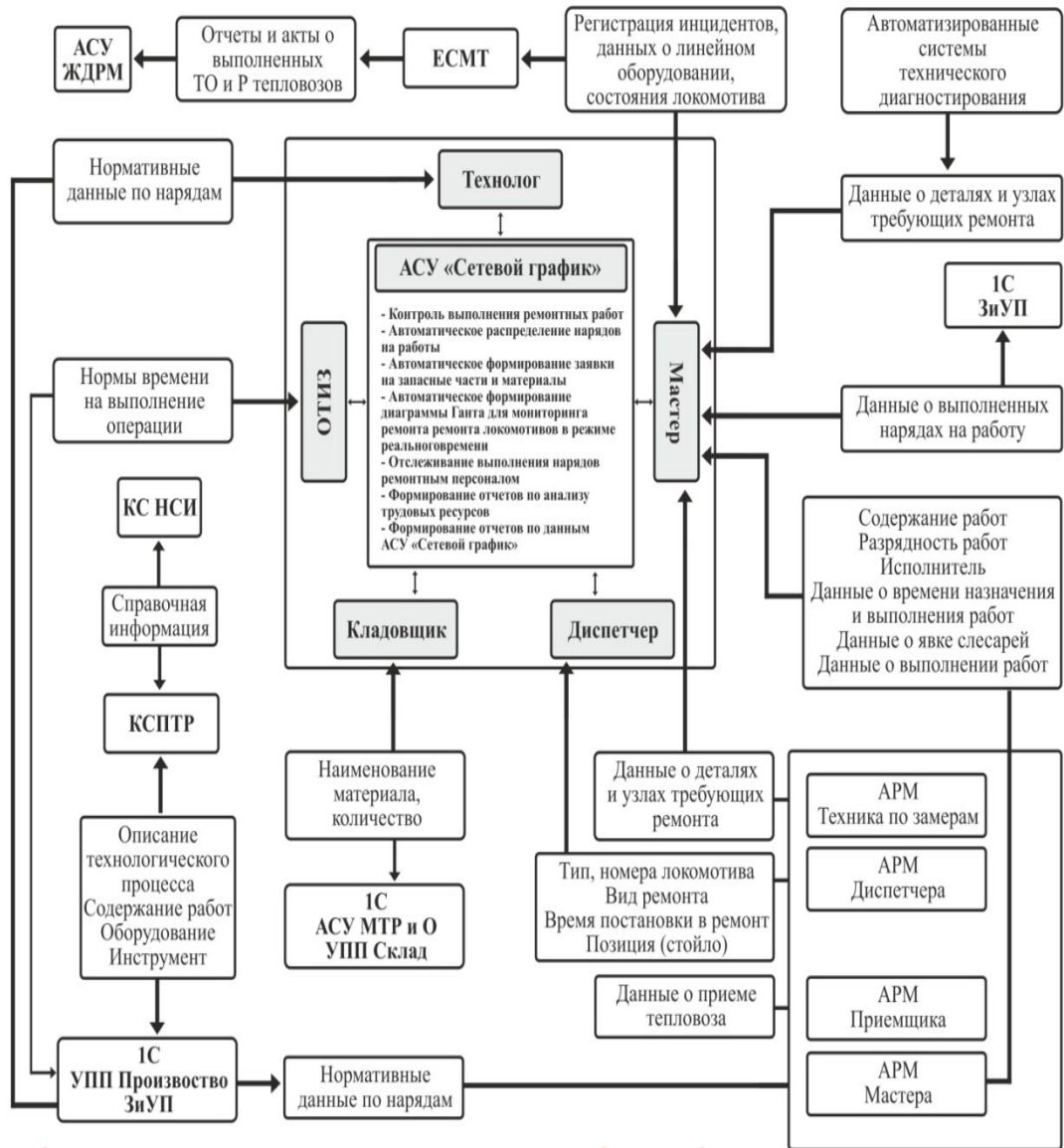


Рисунок 3 – Схема взаимодействия АСУ «Сетевой график» с действующими системами и программным обеспечением



С использованием предложенной методики управления оптимизированы технологические процессы и составляются сетевые графики ремонта локомотивов в сервисном локомотивном депо. На рисунке 4 приведена схема перемещения тепловозов серий 2ТЭ116, 2ТЭ116У по технологическим позициям при выполнении ТО-3, ТР-1 с указанием реперных точек (точки качества, ворота качества).



Рисунок 4 – Перемещение тепловозов 2ТЭ116, 2ТЭ116У по технологическим позициям с указанием реперных точек при выполнении ТО-3 и ТР-1



На позиции 1 (пункт ТО-2) выполняется обдувка тяговых двигателей, затем тепловоз перемещается на позицию 2 в цех ТО-3, ТР-1 на вибродиагностику зубчатой передачи и подшипниковых узлов (точка качества №1), на текущей позиции техниками производятся замеры бандажей колесных пар, высоты путеочистителя и автосцепных устройств (точка качества №2), далее тепловоз выводят из цеха на позицию 3 (точка качества №3), где при работающем дизеле проверяют работу всех групп оборудования, после этого тепловоз ставится на ремонтное стоило позиция 4 для выполнения цикловых работ. Технологические маршруты выполнения цикловых работ при выполнении ТО-3 и ТР-1 укрупненно приведены на рисунках 5 и 6 соответственно. По завершении цикловых работ тепловоз перемещается на позицию 5 обточки бандажей колесных пар. После обточки бандажей тепловоз переводят на позицию 6 для проведения проверки групп оборудования при работающем дизеле и предъявления машины приемщику (ворота качества). На рисунках 7 и 8 приведены схемы перемещения тепловозов серий 2ТЭ116, 2ТЭ116У по технологическим позициям при выполнении ТР-2, ТР-3.

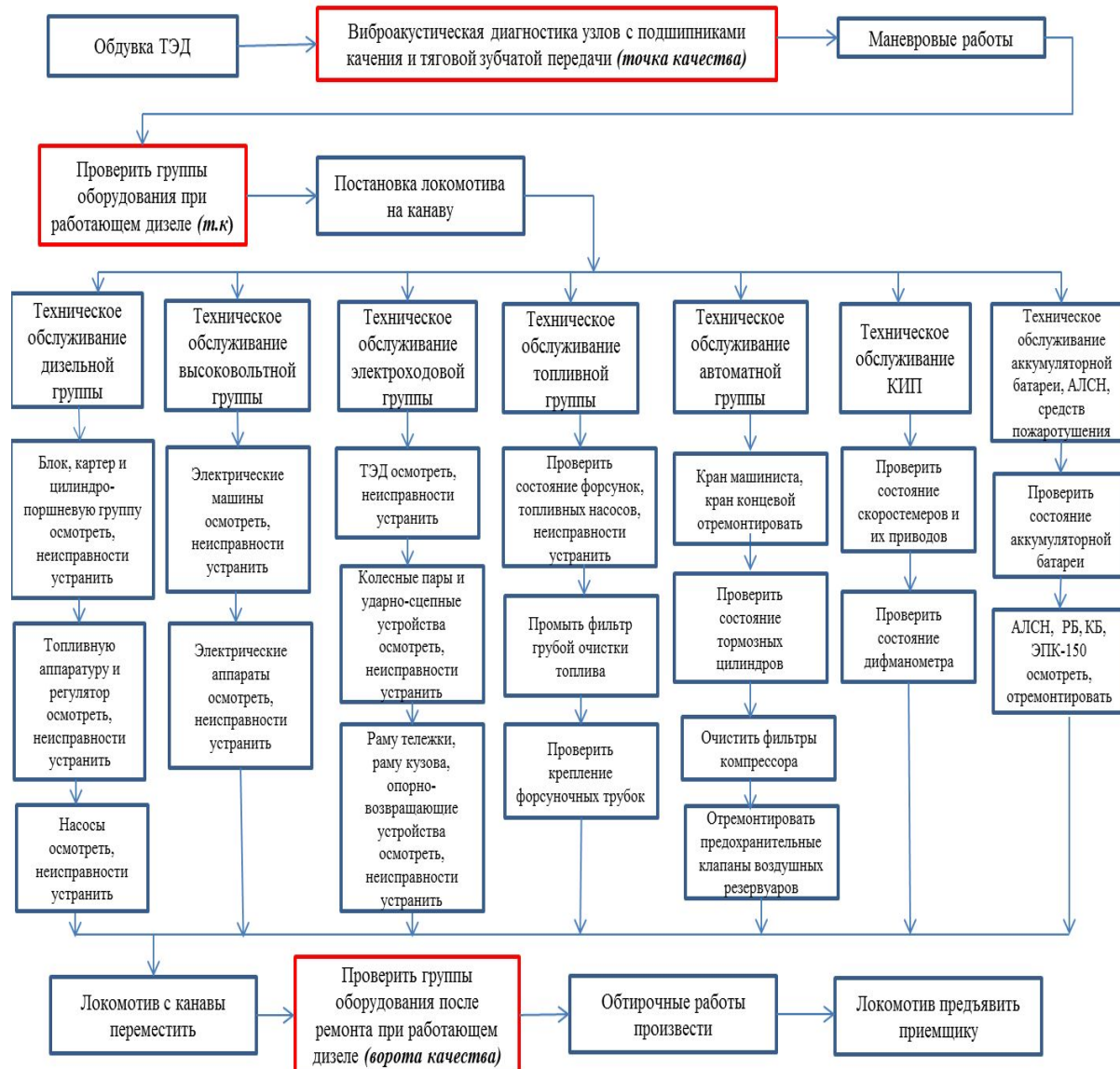


Рисунок 5 – Блок-схема технологического процесса технического обслуживания ТУ-3 тепловозов серий 2ТЭ116, 2ТЭ116У

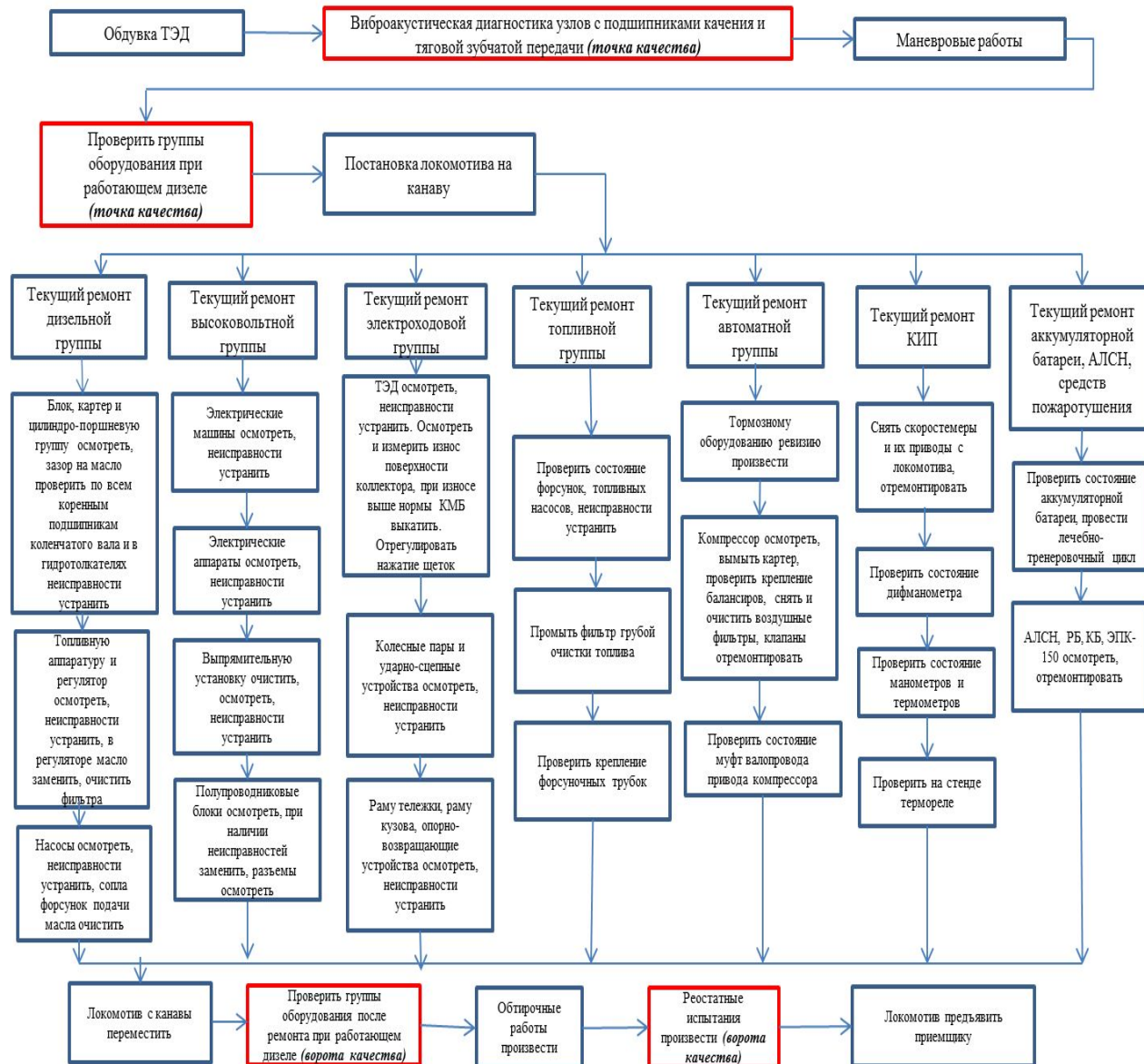


Рисунок 6 – Блок-схема технологического процесса ремонта ТР-1 тепловозов серий 2ТЭ116, 2ТЭ116У



- 1 – топливное оборудование;
- 2 – цилиндрические комплекты;
- 3 – коллекторы выпускные;
- 4 – электрооборудование;
- 5 – водяные насосы;
- 6 – управляемая заслонка;
- 7 – турбокомпрессор;
- 8 – компрессор КТ-7;
- 9 – кран машиниста;
- 10 – кран концевой;
- 11 – секции холодильника;
- 12 – электродвигатель топливоподкачивающего насоса;
- 13 – привод распределительного вала.

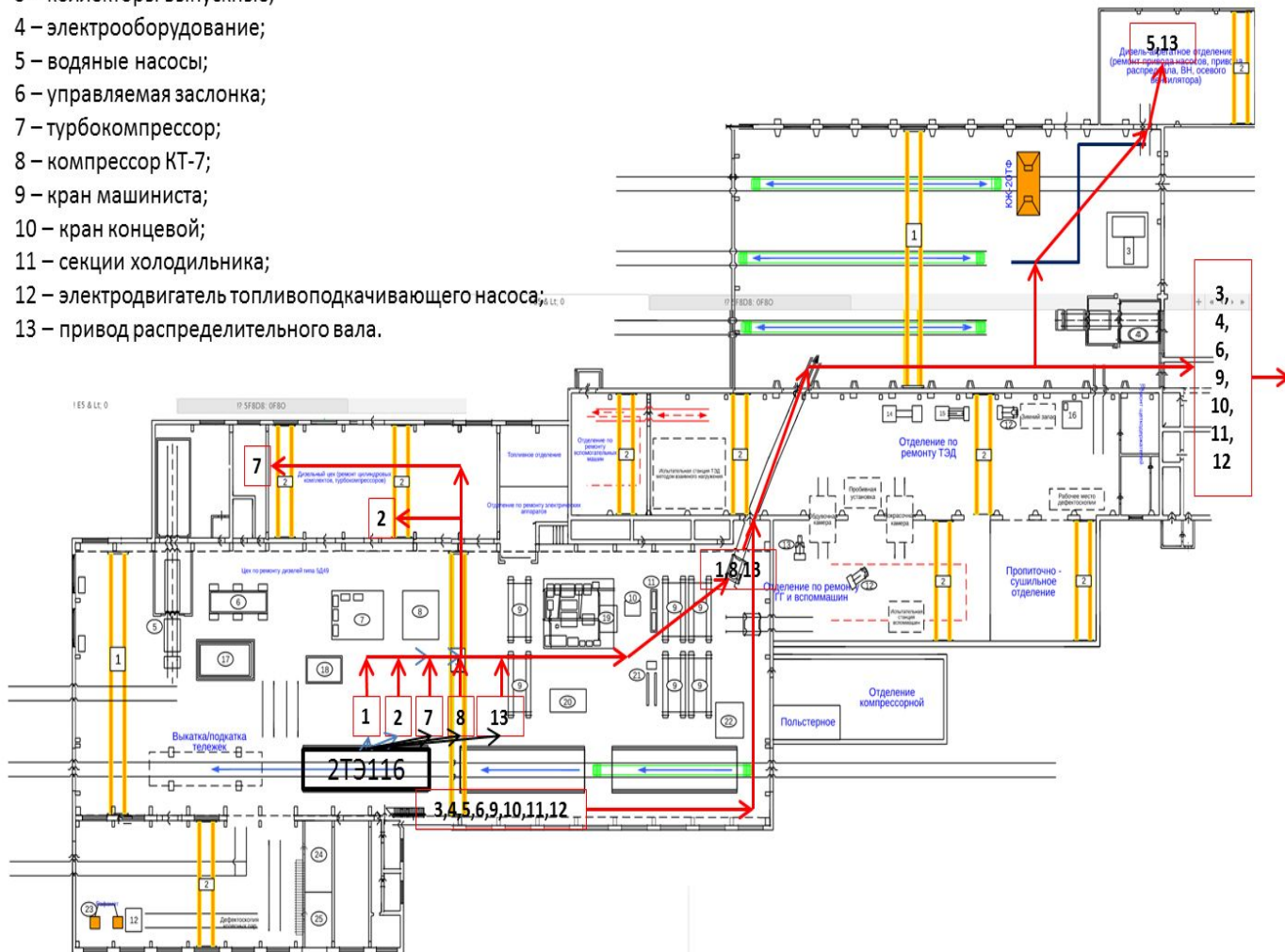


Рисунок 7 – Схемы перемещения узлов тепловозов 2ТЭ116, 2ТЭ116У по технологическим позициям при ремонте в объеме ТР-2



I – позиция выкатки тележек; II – позиция демонтажа крыши тепловоза; 1 – тележка в сборе; 2 – рама тележки; 3 – колесно-моторный блок; 4 – колесная пара с буксовыми узлами; 5 – тяговый электродвигатель; 6 – тормозная рычажная передача; 7 – тормозной цилиндр; 8 – гидравлический гаситель колебаний; 9 – рессорное подвешивание; 10 – дизель-генераторная установка; 11 – тяговый генератор; 12 – вентилятор осевой; 13 – турбокомпрессор; 14 – коллектора, глушитель, трубопроводы; 15 – крышки цилиндров, втулки; 16 – шатунно-поршневая группа; 17 – лоток с распределительным механизмом; 18 – привод распределительного вала; 19 – компрессор КТ-7; 20 – кран машиниста; 21 – кран концевой; 22 – кран трехходовой; 23 – моторкомпрессор; 24 – электродвигатель вентилятора охлаждения ВУ; 25 – электродвигатель вентилятора охлаждения ТЭД; 26 – выпрямительная установка; 27 – контакторы, реле, полупроводниковые блоки, электропневматические вентили; 28 – секции холодильника; 29 – калорифер; 30 – электродвигатель вентилятора холодильной камеры; 31 – возбуждатель; 32 – стартер-генератор; 33 – измерительные приборы; 34 – блок дизеля; 35 – рама дизеля; 36 – коленчатый вал в сборе; 37 – электродвигатель топливоподкачивающего насоса; 38 – электродвигатель маслопрокачивающего насоса; 39 – насос водяной; 40 – насос топливный; 41 – насос масляный; 42 – воздушные резервуары; 43 – крыши тепловоза; 44 – буксовые узлы; 45 – колесная пара.

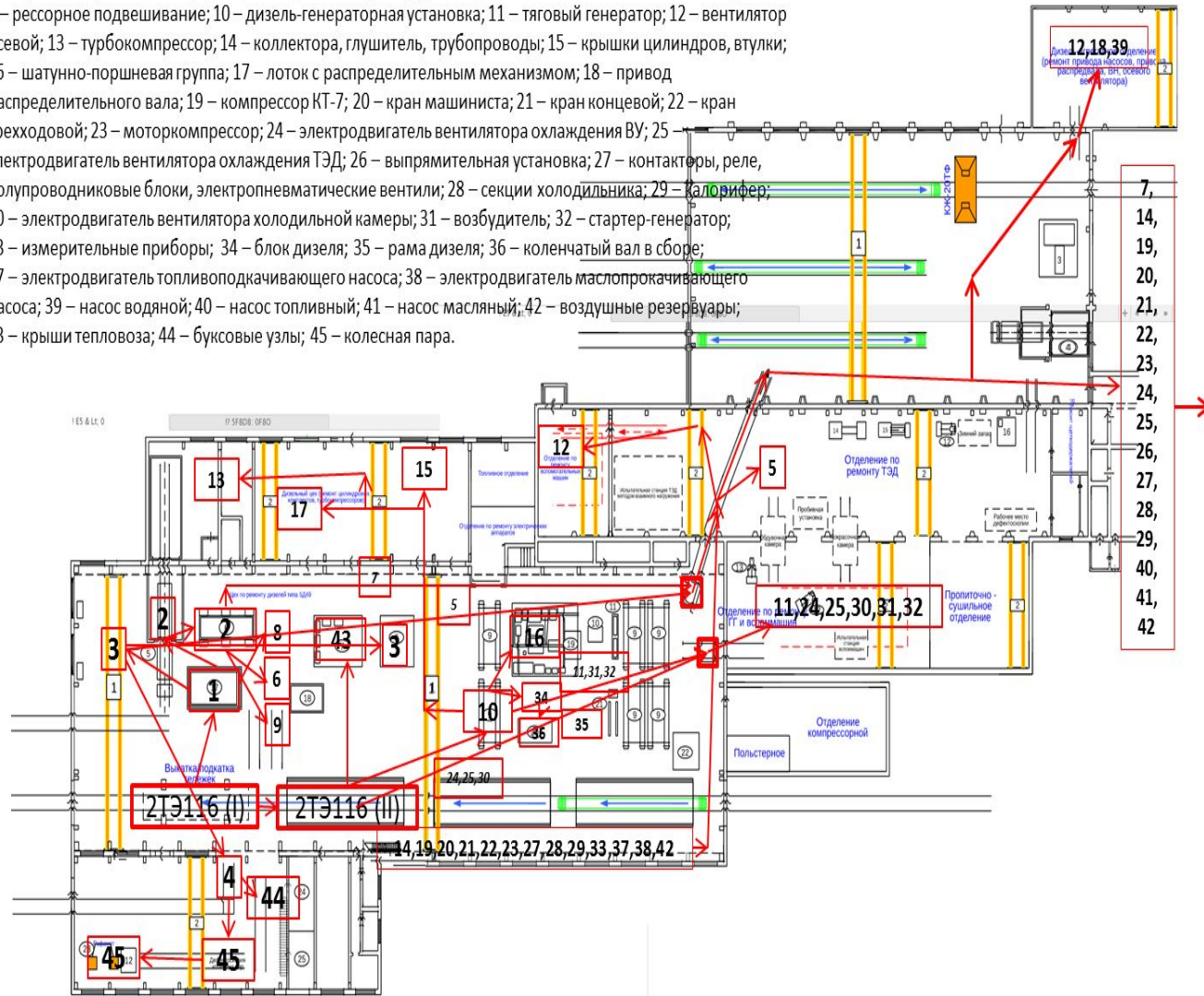


Рисунок 8 – Схемы перемещения узлов тепловозов 2ТЭ116, 2ТЭ116У по технологическим позициям при ремонте в объеме ТР-3



На позиции 1 выполняется обдувка тяговых двигателей, затем тепловоз перемещается на позицию 2 в цех ТО-3, ТР-1 на вибродиагностику зубчатой передачи и подшипниковых узлов (точка качества №1), на текущей позиции техниками производятся замеры бандажей колесных пар, высоты путеочистителя и автосцепных устройств, далее тепловоз выводят из цеха на позицию 3 (точка качества №3), где при работающем дизеле проверяют работу всех групп оборудования, после этого тепловоз ставится на ремонтное стоило позиция 4 для выполнения разэкипировки машины. Далее машина переводится в цех ТР-3 на позицию 5 для выполнения цикловых работ. По завершении цикловых работ тепловоз перемещается на позицию 6 обточки бандажей колесных пар. После обточки бандажей тепловоз переводят на позицию 7 для проведения его экипировки (ворота качества №1), далее на позицию 8 для проверки оборудования при работающем дизеле (ворота качества №2). После проверки и устранения выявленных замечаний тепловозу производят реостатные испытания и предъявляют приемщику позиции 9,10 (ворота качества №3). При выполнении цикловых работ в объемах ТР-2 и ТР-3 производится демонтаж оборудования тепловоза с перемещением его по цехам депо.



• При выполнении ремонта в объеме ТР-2 тепловоз ставится на позицию демонтажа крышевого оборудования. После чего снимают крыши над дизель-генераторной установкой и поперечную балку. Далее демонтируют топливное оборудование дизеля (1) и отправляют его в топливный цех для проведения ремонтных работ. Затем снимают и передают в ремонт в секционное отделение выпускные коллекторы (3). Далее демонтируют водяные насосы (5) и транспортируют их в дизель-агрегатное отделение. После этого снимают турбокомпрессор (7) и перемещают его на ремонт в малый дизельный цех. После демонтажа турбокомпрессора, приступают к снятию привода распределительного вала (группа 69) (13), для передачи его в ремонт в дизель-агрегатное отделение. После этого снимают цилиндрические комплекты. Далее снимают автотормозное оборудование: компрессор КТ-7 (8) и краны машиниста (9), концевой (10), и направляют их в цех по ремонту автотормозного оборудования. Параллельно снимается электрооборудование (4) тепловоза и секции холодильника (11) с передачей их в отделение по ремонту электронного оборудования и секционное отделение соответственно. Остальные работы по циклу ТР-2 выполняются на тепловозе. После проведения ремонтных работ над демонтированными узлами они устанавливаются на место в последовательности обратной демонтажу.

• Структурная схема технологического процесса ремонта в объеме ТР-2 тепловозов серий 2ТЭ116, 2ТЭ116У приведена на рисунке 9. При выполнении текущего ремонта дизельной и дизель-агрегатной групп демонтируются цилиндрические комплекты, выхлопные коллекторы, водяные и масляные насосы, вентили и краны, турбокомпрессор, секции холодильника.

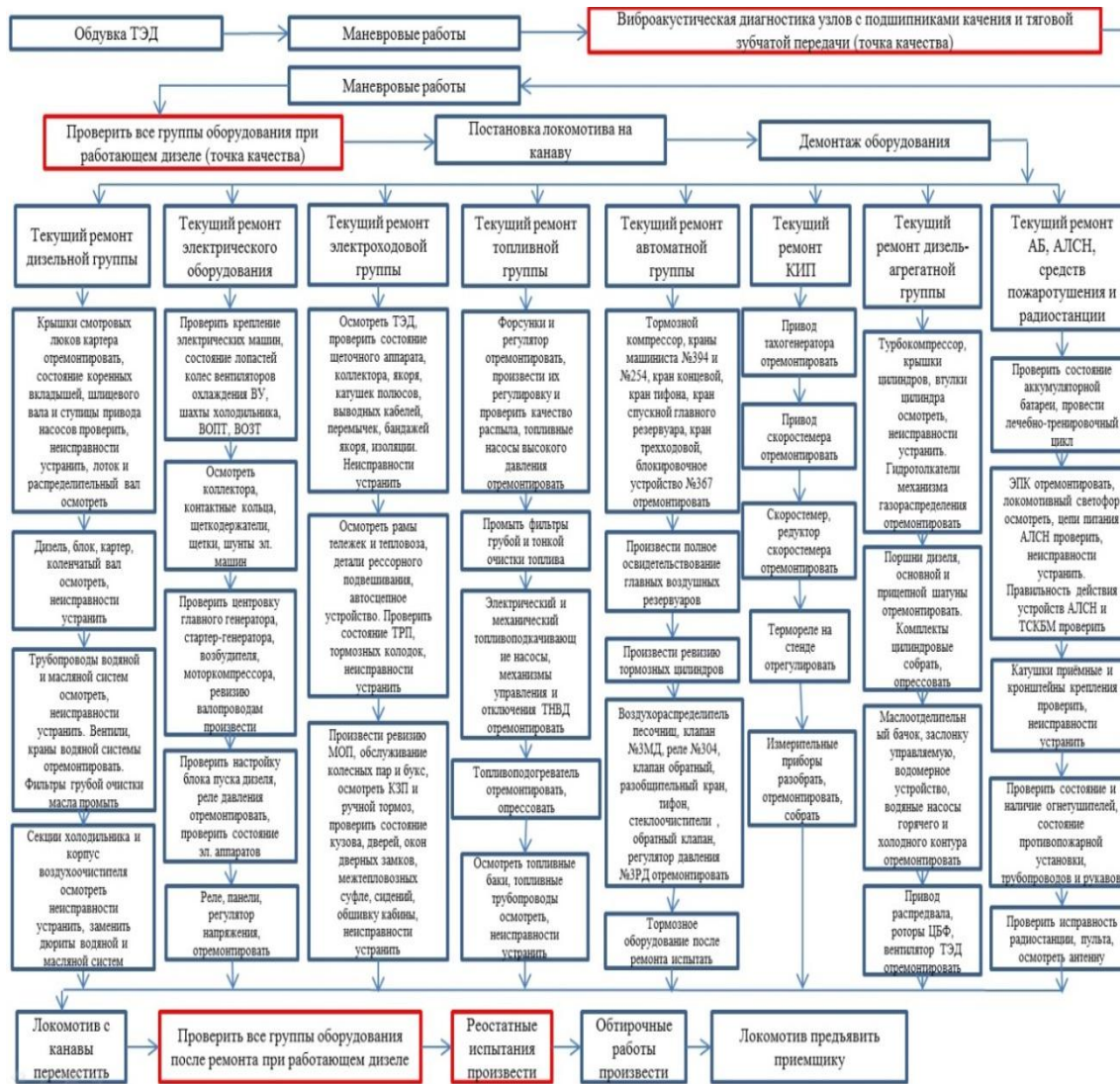


Рисунок 9 – Блок-схема технологического процесса текущего ремонта
ТР-2 тепловозов серий 2ТЭ116, 2ТЭ116У



При этом цилиндрические комплекты разбираются и направляются для проведения ремонта в дизельный цех. Выполняется осмотр и ремонт поршней, шатунов, цилиндрических крышек и втулок, неисправности устраняются, после чего производится сборка цилиндрических комплектов. Осматривается топливная аппаратура, масляная и водяная система дизеля, газораспределительный механизм, блок и картер дизеля на наличие протечек масла и дизельного топлива. Ремонтируются гидротолкатели механизма газораспределения дизеля в дизель-агрегатном отделении. Кроме того, осматриваются коленчатый вал и глушитель дизеля, редуктор и муфта валопровода привода возбуждителя и стартер-генератора, промываются фильтры грубой очистки масла и центробежный фильтр, водяная система охлаждения дизеля. Проверяется состояние трубопроводов, дюритов и фланцевых соединений масляной и водяной систем дизеля. Выхлопные коллекторы перемещаются для ремонта в специализированный цех. Также в дизель-агрегатном отделении выполняют ремонт валопровода к редуктору гидронасосов, маслоотделительного бачка, управляемой заслонки, водомерного устройства, водяных насосов холодного и горячего контуров, привода распределительного вала, роторов ЦБФ и вентилятора охлаждения ТЭД. Осматриваются и очищаются секции холодильника и корпус воздухоочистителя.



Техническое обслуживание электрооборудования предусматривает осмотр и проверку крепления всех электрических машин и аппаратов, а также подводящих проводов, клеммных реек и соединений. Проверяется состояние коллекторов, контактных колец, щеток и щеткодержателей, изоляторов, бандажей, производится очистка деталей. Кроме того, осматриваются выпрямительная установка, лопасти колес вентиляторов, шахты холодильника, ВОПТ и ВОЗТ. Проверяется состояние силовых и блокировочных контактов электрических аппаратов. Проверяется центровка главного генератора, стартер-генератора, возбудителя, моторкомпрессора, производится ревизия валопроводов. Выявленные неисправности устраняются. Также ремонтируются реле, панели, регулятор напряжения.

- При выполнении ремонта в объеме ТР-3 тепловоз ставится на позицию (I) выкатки тележек из-под кузова тепловоза. После выкатки тележки в сборе (1) ставятся на позицию разборки. Под кузов тепловоза подкатываются технологические тележки и он переводится на позицию (II). Рама тележки (2) отсоединяется от колесно-моторных блоков (3) и подается в моечную машину, а затем на ремонтную позицию, на которой осуществляется снятие тормозной рычажной передачи (6). Тормозная рычажная передача (6), гидравлический гаситель колебаний (8), рессорное подвешивание (9) ремонтируется на специальных позициях, которые изображены на схеме (рис. 3.6). Колесно-моторные блоки (3) разбирают. Тяговый электродвигатель (5) на ремонт перемещают в электромашинный цех, а колесную пару с буксовыми узлами (4) в колесное отделение. Параллельно с выше указанными работами выполняют съем крышевого оборудования и перемещение его на позицию (43). Далее демонтируют дизель-генераторную установку и перемещают на позицию (10), где ее разбирают.



Тяговый генератор (11) отсоединяют от дизеля и направляют в электромашинный цех, осевой вентилятор (12) передают в отделение по ремонту моторвентиляторов, турбокомпрессор (13), лоток с распределительным механизмом (17) и цилиндрические крышки (15) направляют в малый дизельный цех, топливное оборудование – в топливный цех. Демонтированная шатунно-поршневая группа ремонтируется на позиции (16). Привод распределительного вала (18) и водяные насосы (39) транспортируют в дизель-агрегатное отделение. После этого блок дизеля с коленвалом устанавливается на позицию (34), где извлекается коленвал в сборе (36) и рама дизеля (35). С колесной пары снимаются буксовые узлы (44). Колесная пара (45) дефектоскопируется и передается на обточку бандажей. Параллельно выше указанным работам осуществляется демонтаж остального оборудования тепловоза и передача его по цехам согласно, приведенной схеме. После проведенных ремонтных работ сборка и монтаж оборудования на тепловоз осуществляется в обратной последовательности.

- Структурная схема технологического процесса ремонта тепловозов в объеме ТР-2 серий 2ТЭ116, 2ТЭ116У, приведена на рисунке 10.

- На основании проведенного анализа формируются шаблоны сетевых графиков технических обслуживаний и ремонтов грузовых тепловозов.

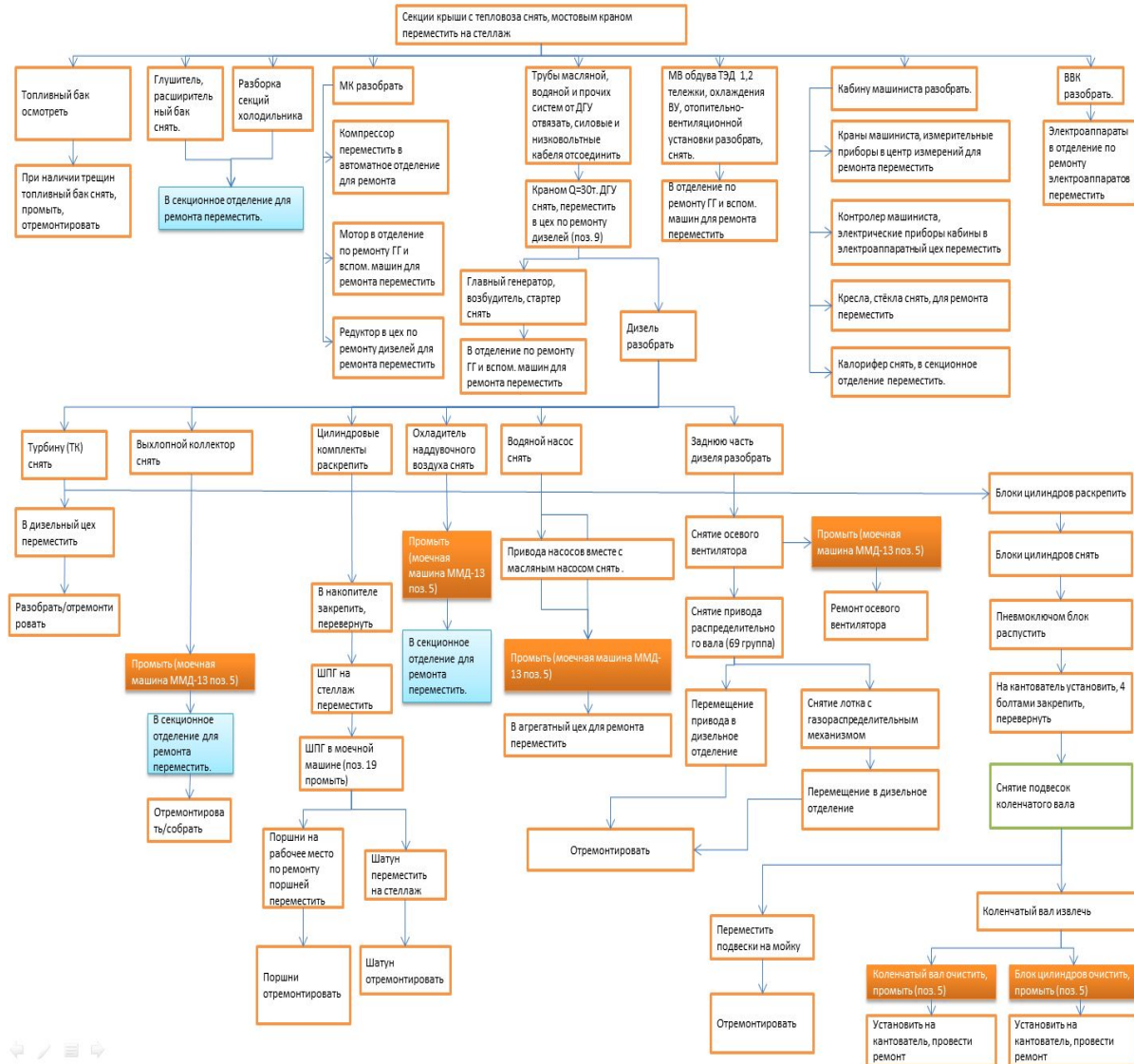


Рисунок 10 – Блок-схема технологического процесса текущего ремонта ТР-3 тепловозов серий 2ТЭ116, 2ТЭ116У



- **Разработка базовых сетевых графиков ремонта локомотивов**

- Сетевой график – это динамическая модель технологического процесса, отражающая технологическую зависимость и последовательность выполнения комплекса работ, увязывающая их свершение во времени с учетом значений показателей технологической подготовки ремонта, с выделением при этом узких (критических) мест.
- Для обеспечения прозрачности, читаемости и информативности выполняется поуровневое построение сетевых графиков на проведение технического обслуживания и ремонта тепловозного парка СЛД. На верхнем уровне строится сетевой график в целом на тепловоз, включающий укрупненные работы по группам оборудования, а также работы связанные с постановкой машины на ремонт и ее выпуском из ремонта.
- Пример шаблона работ по верхнему уровню приведен в таблице 1.

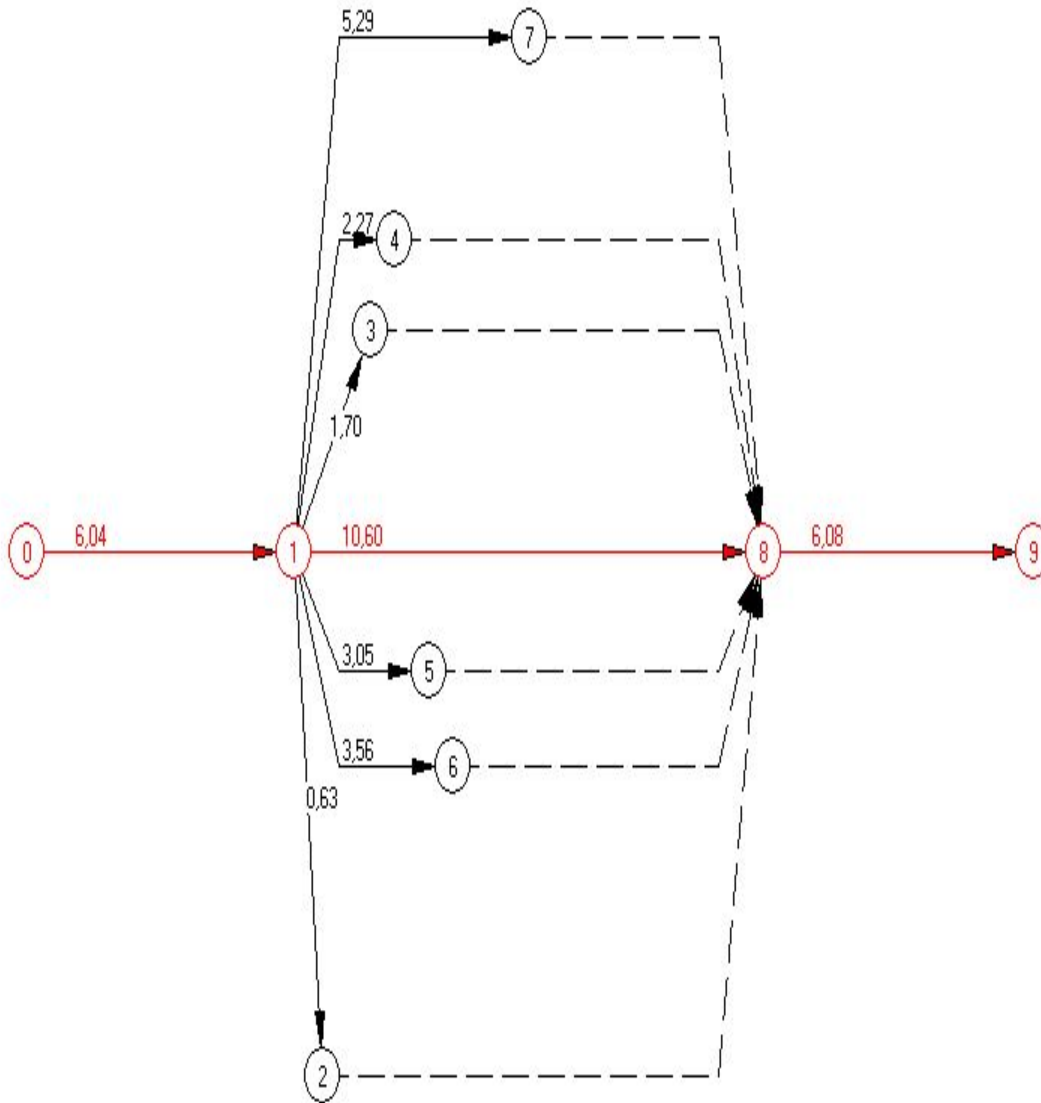


Таблица 1 – Шаблон работ для сетевого графика ТО-3 тепловоза серии 2ТЭ116

На ча ло	Ко не ц	Крит ичес кое собы тие	Содержание работы	Трудоемкость	Количество человек
0	1	1	Постановка машины на ремонт	6,04	1
1	2	8	Техническое обслуживание дизельной группы	5,29	1
1	3	8	Техническое обслуживание высоковольтной группы	10,6	1
1	4	8	Техническое обслуживание электроходовой группы	3,05	1
1	5	8	Техническое обслуживание топливной группы	2,27	1
1	6	8	Техническое обслуживание автоматной группы	3,56	1
1	7	8	Техническое обслуживание контрольно-измерительных приборов	0,63	1
1	8	8	Техническое обслуживание АБ, АЛСН (КЛУБ) и пожарных устройств	1,7	1



Сетевой график «Техническое обслуживание ТО-3 тепловоза серии 2ТЭ116» представлен на рисунке 11.



Продолжительность критического пути 22,72 часа.

Рисунок 11 – Сетевой график «Техническое обслуживание ТО-3 тепловоза серии 2ТЭ116»



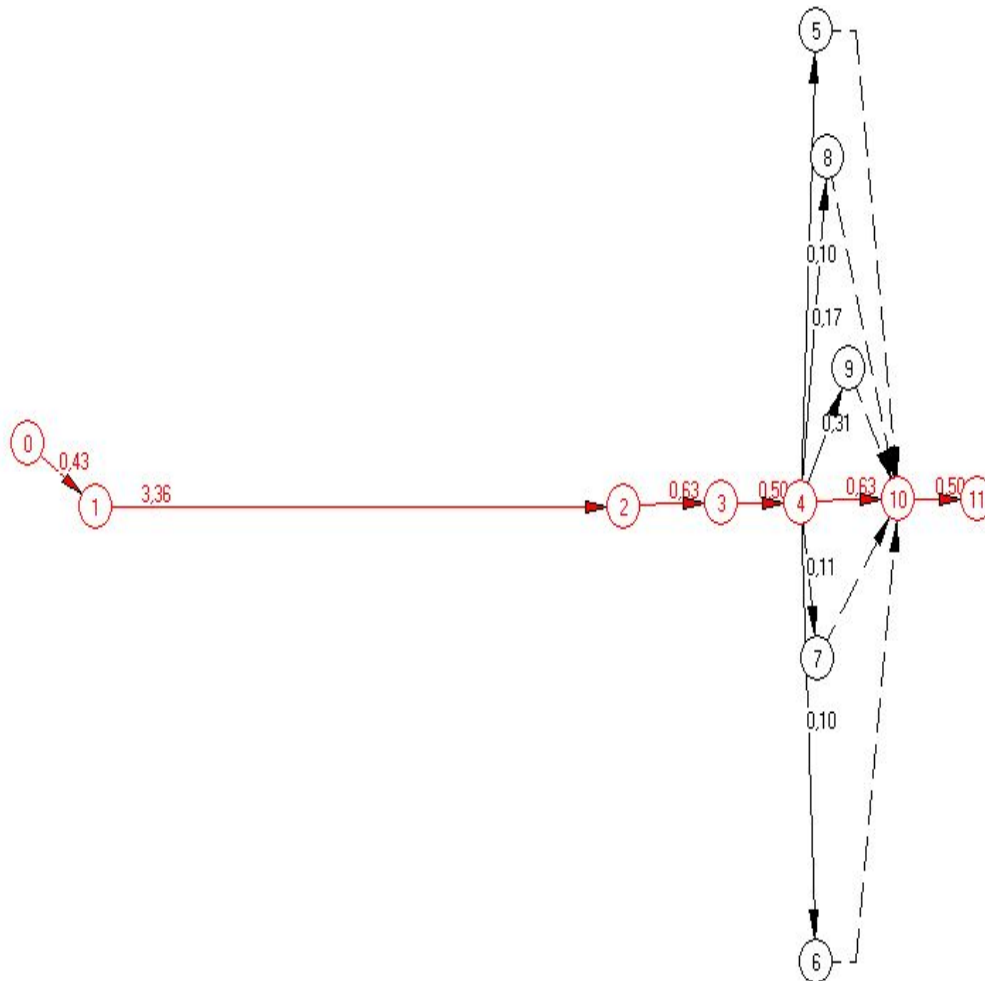
Определитель работ сетевого графика приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Определитель работ сетевого графика «Техническое обслуживание ТО-3 тепловоза серии 2ТЭ116»

Работа	Производимые работы	Продолжительность работы	Кол-во человек	Трудовые моменты	Время раннего начала, Т р.н.	Время позднего начала, Т п.н.	Время раннего окончания, Т р.о.	Время позднего окончания, Т п.о.	Резерв времени
0 - 1	Постановка машины на ремонт	6,04	1	6,04	0,00	0,00	6,04	6,04	0,00
1 - 7	Техническое обслуживание (ТО) дизельной группы	5,29	1	5,29	6,04	11,30	11,30	16,60	5,31
1 - 8	ТО высоковольтной группы	10,60	1	10,60	6,04	6,04	16,60	16,60	0,00
1 - 5	ТО электроходовой группы	3,05	1	3,05	6,04	13,60	9,09	16,60	7,55
1 - 4	ТО топливной группы	2,27	1	2,27	6,04	14,40	8,31	16,60	8,33
1 - 6	ТО автоматной группы	3,56	1	3,56	6,04	13,10	9,60	16,60	7,04
	ТО контрольно-измерительных								



- На выполнение укрупненных работ сетевого графика верхнего уровня строятся сетевые графики на нижнем уровне:
 - – «Постановка машины на ремонт»;
 - – «Техническое обслуживание дизельной группы»;
 - – «Техническое обслуживание высоковольтной группы»;
 - – «Техническое обслуживание электроходовой группы»;
 - – «Техническое обслуживание топливной группы»;
 - – «Техническое обслуживание автоматной группы»;
 - – «Техническое обслуживание контрольно-измерительных приборов»;
 - – «Техническое обслуживание АБ, АЛСН (КЛУБ) и пожарных устройств»;
 - – «Выпуск машины из ремонта».
- Исходными данными для построения сетевых графиков нижнего уровня являются работы по группам оборудования, отраженные в журнале ТУ-28, а так же в деповских технологических процессах. Продолжительность критического пути по каждому сетевому графику нижнего уровня является трудоемкостью работы сетевого графика верхнего уровня. Например, продолжительность критического пути по сетевому графику «Постановка машины на ремонт» (рисунок 12) составляет 6,04 часа, соответственно в шаблоне исходных данных на сетевой график верхнего уровня в графе «трудоемкость» ставится норма времени 6,04 часа.



Продолжительность критического пути 6,04 часа.

Рисунок 12 – Сетевой график «Постановка машины на ремонт»



- Пример определителя работ приведен в таблице 3.
- Таблица 3 – Определитель работ сетевого графика «Постановка машины на ремонт»

Работа	Производимые работы	Продолжительность работы	Кол-во человек	Трудоемкость	Время раннего начала, Т р.н.	Время позднего начала, Т п.н.	Время раннего окончания, Т р.о.	Время позднего окончания, Т п.о.	Резерв времени
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0 - 1	Обдувку тяговых двигателей произвести	0,43	1	0,43	0,00	0,00	0,43	0,43	0,00
1 - 2	Диагностику узлам с подшипниками качения и тяговой зубчатой передаче до ремонта произвести	3,36	2	6,72	0,43	0,43	3,79	3,79	0,00
2 - 3	Выполнить замеры колесных пар, высоты путеочистителей и автосцепных устройств	0,63	2	1,25	3,79	3,79	4,42	4,42	0,00
3 - 4	Маневровые работы	0,50	1	0,50	4,42	4,42	4,92	4,92	0,00
4 - 8	Проверить дизельную группу при работающем дизеле. Произвести отбор воды и масла для анализа.	0,17	2	0,35	4,92	5,37	5,09	5,54	0,45
4 - 7	Проверить высоковольтную группу при работающем дизеле	0,11	2	0,22	4,92	5,43	5,03	5,54	0,52
4 - 5	Проверить электроходовую группу при работающем дизеле	0,10	2	0,20	4,92	5,44	5,02	5,54	0,53
4 - 10	Проверить топливную группу при работающем дизеле	0,63	1	0,63	4,92	4,92	5,54	5,54	0,00
4 - 9	Проверить автоматную группу при работающем дизеле	0,31	1	0,31	4,92	5,23	5,23	5,54	0,32
4 - 6	Проверить КИП при работающем дизеле	0,10	1	0,10	4,92	5,44	5,02	5,54	0,53
10 -									