

Функционально-аналитическое планирование строительного производства с соблюдением принципов промышленной безопасности

Шувакин А. Е.¹, Слаутин П. С.²

¹Шувакин Александр Евгеньевич / Shuvakin Alexander Evgenyevich - начальник отдельного подразделения;

²Слаутин Павел Сергеевич / Slautin Pavel Sergeevich - начальник лаборатории неразрушающего контроля, Общество с ограниченной ответственностью «Малое инновационное предприятие губкинского университета», Научно-образовательный центр

«Энергосберегающие технологии и техническая диагностика» (ООО «НОЦ ЭТ ТД»), г. Москва

Аннотация: описана задача формирования ремонтной программы предприятия - нахождение такой производственной программы (календарного плана выполнения работ, загрузки оборудования, вариантов работы технологических установок, потребности в материально-технических ресурсах и т. д.), которая обеспечивает достижение экстремума выбранного критерия оптимизации (минимального риска эксплуатации с соблюдением принципов промышленной безопасности) и выполнение ограничений, накладываемых условиями производства (ресурсных ограничений).

Abstract: we describe the task of forming a maintenance program of the enterprise - Finding a production program (schedule of works, loading equipment, the options of technological systems, the need for material and technical resources, etc.), which ensures the achievement of the selected extremum optimization criterion (operation with minimum risk the principles of industrial safety) and the implementation of the restrictions imposed by the conditions of production (resource constraints).

Ключевые слова: ремонтно-восстановительные работы. функционально-аналитическое планирование. система поддержки принятия решений. метод анализа иерархий. критерий ранжирования. иерархическая структура.

Keywords: repair work. functional and analytical planning. decision support system. analytic hierarchy process. ranking criteria. hierarchical structure.

Снижение риска эксплуатации производственных объектов в значительной мере связано с оптимизацией организационных и технологических процессов выполнения ремонтно-восстановительных работ (РВР). Планирование РВР является одной из основных задач, решаемых любым промышленным предприятием. Проблема планирования РВР может быть с достаточной степенью точности описана математическими моделями принятия решений, устанавливающими связь между целями оптимизации и альтернативными решениями. В работе предлагается концепция системы поддержки принятия решений (СППР) при оценке экспертами качества проектирования и сооружения производственных объектов и определения очередности (планирования) производства РВР.

Задача формирования ремонтной программы предприятия заключается в нахождении такой производственной программы (календарного плана выполнения работ, загрузки оборудования, вариантов работы технологических установок, потребности в материально-технических ресурсах и т. д.), которая обеспечивает достижение экстремума выбранного критерия оптимизации (здесь – критерия минимального риска эксплуатации) и выполнение ограничений, накладываемых условиями производства (например, ресурсных ограничений).

Одним из перспективных научных методов, позволяющих эффективно описывать и решать проблемы планирования, является метод анализа иерархий (МАИ) [1-3]. Данный метод положен в основу предлагаемой концепции СППР.

Предлагаемый подход позволяет учесть такие сложноформализуемые факторы, как опыт и интуицию экспертов, принимающих решения на различных этапах составления производственной программы. Принцип декомпозиции в методе анализа иерархий заключается в представлении проблемы в виде графов (схем) простых доминантных иерархий с корнем в вершине, символизирующей цель исследования, и множествами элементов на промежуточных уровнях, которые отражают критерии, факторы, события, влияющие на элементы последующих уровней. Нижний уровень обычно содержит перечень альтернатив. МАИ позволяет формализовать процедуры количественной оценки приоритетов, используя как числовую информацию (статистические данные и пр.), так и систематизированные компаративные суждения экспертов, представленные в специальных шкалах.

Рассмотрим итеративный процесс декомпозиции и представления проблемы очередности вывода объектов в ремонт в иерархической форме. На графическом представлении иерархии верхний уровень отражает общую цель – снижение риска эксплуатации производственной системы за счет установки оптимальной очередности вывода объектов в ремонт. На втором уровне находятся факторы (критерии), уточняющие цель, и

на третьем (нижнем) уровне находятся производственные объекты, которые должны быть оценены по отношению к критериям второго уровня.

Из множества всех возможных критериев ранжирования производственных объектов по очередности проведения РВР, экспертами было предложено выделить, в частности, следующие основные группы: критерии функционального назначения (степени важности) объекта, критерии технического состояния объекта, критерии условий эксплуатации, критерии последствий возникновения аварии.

Рассмотрим предложенные группы критериев более подробно. Критерии степени важности объекта по функциональному назначению позволяют оценивать такие факторы, как: опасность объекта для жизни и здоровья людей (например, вследствие его высокой энергоемкости и/или содержания опасных сред); близкое расположение и взаимное влияние других опасных производственных и иных объектов (например, транспортных); нахождение объекта в сейсмически опасном районе и др.

Критерии оценки технического состояния объекта позволяют оценить, в частности, следующие характеристики: срок эксплуатации производственного объекта; состояние конструктивных материалов; степень коррозионной опасности элементов металлических конструкций; наличие опасных и потенциально опасных дефектов; плотность распределения дефектов; темпы развития дефектов и др.

В состав группы критериев условий эксплуатации объекта были включены оценки следующих важнейших параметров функционирования: конструктивные параметры объекта; технологический режим эксплуатации; конструктивно-технологические особенности; нагрузки и воздействия; характеристики сырья, промежуточных и конечных продуктов; природно-климатические условия.

Последствия аварии производственного объекта (с учетом последствий вывода объекта в ремонт и проведения РВР) предлагается оценивать с помощью таких критериев, как: оценка социальных последствий (может быть связана с плотностью населения в районе расположения объекта); оценка правовых последствий (в частности, размер штрафов и иных взысканий); оценка экологического ущерба; затраты на ликвидацию последствий возможной аварии; технико-экономический анализ сравнения вариантов проведения РВР; сроки службы отремонтированных конструктивных элементов и др.

Проведенный анализ групп критериев свидетельствует, что иерархическое описание проблемы требует введения дополнительного уровня критериев (по группам), и иерархия может быть дополнена.

В соответствии с требованиями метода анализа иерархий для каждого уровня были выполнены парные сравнения элементов проблемы друг с другом относительно их воздействия на примыкающий сверху («направляемый») элемент. Субъективные сравнения проводились с использованием шкалы относительной важности, позволяющей выразить результаты сравнений численно в диапазоне 1–9 («равная важность» – «очень сильное превосходство»). Для уровней групп критериев и самих критериев парное сравнение состояло в получении ответов на вопрос, какой из критериев более важен или имеет большее воздействие на направляемый элемент. Заметим, что на уровне групп критериев каждая из описанных групп сравнивалась со всеми остальными группами по степени ее воздействия на общую цель (минимальный эксплуатационный риск); на уровне критериев сравнения проводились внутри групп, чтобы уменьшить число сравниваемых одновременно элементов до 7 ± 2 , как того требует МАИ.

На уровне альтернатив (объектов, относительно которых принимаются решения о выводе в ремонт), необходимо проводить парные сравнения всех объектов друг с другом относительно каждого из критериев. При парном сравнении объектов необходимо решать вопрос о предпочтительности одного объекта перед другим относительно вывода его в ремонт с точки зрения рассматриваемого критерия.

Необходимо отметить то, что иерархическое описание проблемы может итеративно уточняться с точки зрения влияния факторов на общую цель в ходе дальнейшего экспертного анализа, а также то, что осуществленная иерархическая декомпозиция проблемы может быть далеко не единственной.

По результатам парных сравнений критериев были составлены квадратные обратносимметричные матрицы, при этом для второго уровня иерархии потребовалась одна матрица с размерностью, равной числу групп критериев, а для третьего уровня – по одной матрице для каждой группы критериев с размерностями, соответствующими числу критериев в каждой группе.

На следующем этапе применения МАИ были рассчитаны локальные приоритеты элементов проблемы на каждом уровне иерархии, для этого были найдены главные собственные векторы для каждой матрицы парных сравнений, а затем результаты были нормализованы к единице для получения векторов приоритетов. Для критериев полученные векторы приоритетов характеризуют силу влияния каждого отдельного критерия на общую цель либо на критерий более высокого уровня (направляемый элемент).

Так, при анализе локальных приоритетов второго уровня иерархии было, в частности, определено, что более высокий приоритет при выполнении РВР будут иметь объекты: отказы которых связаны с опасностью для жизни людей и значительным экономическим ущербом; находящиеся в неудовлетворительном техническом состоянии, связанном с высоким эксплуатационным риском; функционирующие в условиях, близких к критическим.

Далее в ходе работы была проведена оценка согласованности экспертных суждений с помощью индекса согласованности полученных локальных приоритетов. Для определения индексов согласованности

были получены числа Фробениуса (Frobenius) (старшие по модулю простые собственные значения) для каждой матрицы парных сравнений. Путем деления индексов согласованности на числа, соответствующие случайной согласованности матриц того же порядка (справочные величины), были получены отношения согласованности (ОС). Путем уточнения экспертных суждений, величины ОС были приведены в диапазон 0–10 %, считающийся допустимым для большинства задач.

На заключительном этапе анализа иерархии проблемы очередности РВР был проведен синтез составных (глобальных) приоритетов элементов. В соответствии с МАИ, синтез осуществлялся, начиная со второго уровня вниз, при этом локальные приоритеты умножались на приоритет направляемого элемента и суммировались по каждому элементу в соответствии с критериями, на которые воздействует этот элемент. Таким образом, для каждого уровня были получены составные приоритеты, которые использовались для взвешивания локальных приоритетов элементов, расположенных уровнем ниже. Локальные приоритеты производственных объектов, полученные в процессе обработки экспертных суждений на этапах апробации, внедрения и эксплуатации СППР, могут быть взвешены с помощью составных приоритетов критериев для получения окончательного результата – глобальных приоритетов объектов по отношению к общей цели. Полученное ранжирование определяет очередность вывода производственных объектов в ремонт, оптимальную по критерию минимизации риска с точки зрения экспертов, чьи суждения легли в основу разработанной иерархии.

В зависимости от величины производственной системы, в СППР могут быть реализованы различные способы определения приоритета производственного объекта относительно критерия третьего уровня иерархии. Если мы имеем крупную производственную систему, состоящую более чем из 9 объектов, может быть применен подход на основе субкритериев (показателей). В этом случае, вместо проведения парных сравнений объектов между собой, в иерархию вводятся субкритерии, определяющие градации предпочтительности объекта (например, высокая, средняя, низкая) относительно критерия, и устанавливается важность этих субкритериев по отношению к критериям так, как описано выше (т. е. добавляется еще один уровень в иерархию). Далее каждый производственный объект сравнивается с каждым субкритерием, при этом объекту приписывается приоритет того субкритерия, который наилучшим образом описывает данный объект. После этого все приоритеты для данного производственного объекта суммируются, а затем полученные величины нормализуются, чтобы получить глобальные приоритеты объектов.

Таким образом, в работе предложен способ иерархического представления проблемы очередности проведения ремонтно-восстановительных работ на множестве объектов производственных систем различного масштаба, позволяющий учесть большинство факторов и ограничений, влияющих на ранжирование объектов, а также использовать накопленный опыт, знания и интуитивные представления экспертов по данной проблеме. Также предложен алгоритм оценки возможности появления отказа при эксплуатации производственных объектов и ранжирования их по степени опасности. Определены группы критериев, которые могут оказывать влияние на безопасность и целостность производственных объектов. В соответствии с устоявшимися подходами к оценке надежности эксплуатации сложных технических систем, в основу расчета приоритетов положены количественные оценки возможности возникновения отказа производственных объектов. При решении указанных задач был использован математический аппарат метода анализа иерархий.

Алгоритмическая реализация метода анализа иерархий в информационной среде автоматизированной системы принятия решений обеспечивает выполнение следующих основных этапов: построение матриц парных сравнений, проверка согласованности суждений, синтез приоритетов объектов. Полученные приоритеты объектов рассматриваются как очередность проведения ремонтно-восстановительных работ на объектах и являются основой для составления научно-обоснованной ремонтной программы производственного предприятия.

Литература

1. *Саати Т. Л.* Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети. - М.: Ленанд, 2015. - 360 с.
2. *Семенов С. С., Воронов Е. М., Полтавский А. В. и др.* Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем. - М.: Ленанд, 2015. - 520 с.
3. *Шешукова Т. Г., Гуляева Е. Л.* Теория и практика контроллинга. - М.: Инфра-М, 2008. - 176 с.