

Формализация задачи генерации оптимального графика обслуживания медицинского оборудования

Попов Г. А.¹, Мамлеева А. Р.², Понтус В. Н.³

¹Попов Георгий Александрович / Popov Georgij Aleksandrovich – доктор технических наук, профессор;

²Мамлеева Аделя Рифкатовна / Mamleeva Adelya Rifkatovna – аспирант,
кафедра информационных технологий, институт информационных технологий и коммуникаций;

³Понтус Владимир Николаевич / Pontus Vladimir Nikolaevich – магистрант,
кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления,
институт информационных технологий и коммуникаций,
Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань

Аннотация: в статье проводится анализ области обслуживания медицинского оборудования, выявлены проблемы и предложены варианты решения.

Abstract: the article analyzes the field of medical equipment service, identify problems and propose solutions.

Ключевые слова: медицинское оборудование, паспорт оборудования, факторы, влияющие на обслуживание медицинской техники, критерии оптимальности, формализация ограничений

Keywords: medical equipment, equipment passport, factors affecting the maintenance of medical equipment, optimality criteria, formalizing restrictions.

Электромедицинская аппаратура эксплуатируется, как правило, в течение многих лет до выхода ее из строя либо полного физического износа. В целях повышения уровня безопасности инженерно-техническому персоналу следует систематически проводить контроль эффективности и безопасности эксплуатации медицинской аппаратуры. Все работы по техническому обслуживанию и плановому ремонту медицинской техники должны серьезно планироваться и точно выполняться. Однако в медицинских учреждениях обычно существуют серьезные бюджетные ограничения на непрофильные работы, включая техническое обслуживание [1]. Поэтому встает серьезная задача компьютерной поддержки планирования обслуживания оборудования с учетом всех ограничивающих факторов, с целью снижения риска выхода оборудования из строя и повышения рентабельности использования медицинской техники.

Для создания алгоритмического и программного обеспечения, позволяющего автоматизированно в режиме реального времени составлять оптимальный график обслуживания медицинского оборудования организации с учетом существующих ресурсных ограничений необходимо формализовать основные факторы, влияющие на обслуживание медицинской техники, представляющие из себя ограничения и критерии оптимальности.

Укрупненно существующие ограничения можно разделить на следующие группы:

1. Ограничения по человеческим ресурсам.
2. Ограничения по доступным ЗИП.
3. Ограничения по временным окнам обслуживания оборудования.
4. Ограничения на максимально возможный риск отказа в обслуживании.
5. Ограничение на непрерывность операций по обслуживанию.

Оптимальность построенного графика может быть оценена из стандартной экономической модели рентабельности активов.

$$ROA = \frac{R}{A} \cdot 100\%,$$

где

ROA – рентабельность

R – прибыль

A – общая стоимость активов (оборудования)

Поскольку стоимость активов определена, как и процент амортизации еще на этапе закупки, а управление количеством активов производится на стратегическом государственном уровне, в рамках задачи можно свести задачу максимизации рентабельности к максимизации оцененной прибыли $R \rightarrow \max$.

Таким образом, в общем виде задачу исследования можно представить следующим образом:

$$\begin{cases} R(GM, GW) \rightarrow \max \\ |Restrictions_{HR}(GM)| = 0 \\ |Restrictions_{CI}(GM)| = 0 \\ |Restrictions_{Time}(GM)| = 0 \\ |Restrictions_{Risk}(GM)| = 0 \end{cases}, \quad (1.2)$$

где

GM - график обслуживания,
 GW - график эксплуатации,
 $R(GM, GW)$ – прибыль, получаемая при реализации графиков обслуживания и эксплуатации,
 $Restrictions_{HR}$ - нарушения ограничений на людские ресурсы,
 $Restrictions_{CI}$ - нарушения ограничений на ЗИП,
 $Restrictions_{Time}$ - нарушения временных ограничений,
 $Restrictions_{Risk}$ - нарушения ограничений на допустимый риск.

Для создания такого способа предположим, что для каждой единицы оборудования экспертно оценивается выручка с часа работы и потери с часа вынужденного простоя. Последнее важно, поскольку из-за вынужденного простоя учреждение несет репутационные издержки и возможно даже штрафы. Также для каждого конкретного рабочего дня известен показатель вероятности отказа, изначально оцениваемый вручную, а затем постоянно увеличивающийся по линейному закону до следующего события технического обслуживания. Тогда,

$$\begin{aligned}
 R &= \sum_{obj} R_{obj}, \\
 R_{obj} &= \sum_{day} GW_{obj}(day) \cdot Price_{obj} \cdot (1 - PD_{obj\ day}) \\
 &\quad - \sum_{day} GW_{obj}(day) \cdot Cost_{obj} \cdot PD_{obj\ day} \\
 &\quad - \sum_{day} MaintenanceCost(\sum_{day} GM_{obj}(day)),
 \end{aligned}$$

где

R – общая прибыль со всего оборудования,
 R_{obj} – общая прибыль с конкретной единицы оборудования,
 $PD_{obj\ day}$ – значение вероятности отказа для единицы оборудования в конкретный день,
 $Price_{obj}$ – выручка с часа работы оборудования,
 $Cost_{obj}$ – потери с часа вынужденного простоя оборудования,
 $MaintenanceCost(day)$ – затраты на обслуживание оборудования в текущий день.

Для длительных горизонтов планирования (квартал, год, 5 лет) важно учитывать фактор инфляции и альтернативных издержек, поэтому вместо простой суммы для вычисления R_{obj} следует использовать чистую приведенную стоимость (чистый дисконтированный доход, Net present value) – сумму дисконтированных значений потока платежей, приведенных к сегодняшнему дню.

Для величины $PD_{obj\ day}$ действуют следующие закономерности. При покупке нового оборудования $PD_{obj\ day}$ полагается равной нулю. Далее из документации к оборудованию берется величина наработки на отказ, из графика эксплуатации считается предварительная дата, когда наработка будет достигнута и полагается, что к этой дате $PD_{obj\ day}$ будет равна 50 % (поломка наступит с вероятностью 50 %).

Каждая операция по техническому обслуживанию оборудования может либо уменьшить (если не выявлено сбоев), либо увеличить вероятность отказа оборудования на определенный процент, задаваемый экспертно. Так, например, успешный диагностический осмотр, без выявления неисправностей и серьезного износа может понизить величину вероятности отказа на 50%.

Ограничения, описанные при постановке задачи, могут быть формализованы при помощи теоретико-множественной модели. Таким образом, теоретико-множественный подход позволяет полностью формализовать задачу построения оптимального графика обслуживания. Однако, такой подход усложняет построение программного обеспечения, поскольку количество моделируемых параметров системы достаточно велико. Поэтому для упрощения дальнейшей разработки алгоритма следует осуществить семантическое моделирование предметной области [4]. Такая модель позволит с одной стороны продолжать использовать теоретико-множественную формализацию (поскольку семантическая модель представляется графом, в свою очередь являющимся множеством вершин и ребер), а с другой стороны упростить разработку алгоритмического и программного обеспечения используя объектно-ориентированный подход.

Литература

1. Данилов О. Автоматизация ТОиР. Хроника внедрений [Электронный ресурс] // Новости машиностроения. 2013. – URL: <http://www.imash.ru/materials/automation/35654-avtomatizacija-toir.-khronika-vnedrenij.html>.
2. EAM Технологии. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.tadviser.ru/index.php?title=EAM&cache>.
3. Анализ рынка EAM-систем. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.galaktika.ru/eam/category/galaktika-eam>.
4. Карпенко А. Современные алгоритмы оптимизации. Учебное пособие. – МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014.