

# ЗАДАЧА ДОЛГОСРОЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ АКТИВАМИ

**А.А. Сухобоков**

*ООО «САП СНГ»*

Россия, 115054, Москва, Космодамианская наб., 52/7

E-mail: [artem.sukhobokov@yandex.ru](mailto:artem.sukhobokov@yandex.ru)

**Ключевые слова:** управление активами, EAM, APM, AIP, математическая формулировка задачи управления активами, задача Systemic Learning.

**Аннотация:** Рассмотрена эмпирически сложившаяся типовая архитектура комплекса систем по управлению активами. Показаны её недостатки – слабая интеграция в общую корпоративную систему управления, чрезмерно жёсткое разделение задач между образующими комплекс системами, отсутствие формализованной постановки задачи, которая решается комплексом систем в целом. В качестве первого шага по преодолению выявленных недостатков предложена математическая формулировка задачи долгосрочного управления активами как задачи Systemic Learning.

## 1. Введение

Среди различных категорий объектов, которыми управляет корпоративная система управления (материалы, финансы, активы, сотрудники, бизнес-процессы) активы, в общем случае, имеют один из самых длительных жизненных циклов. Под активами при этом понимается широкий спектр материальных и нематериальных объектов: здания, сооружения, земельные участки, объекты строительства, единицы оборудования, программные комплексы, базы данных, патенты, лицензии на природные ресурсы и т.д. Парк активов крупного предприятия может насчитывать миллионы или даже десятки миллионов единиц активов. Для предприятий, относящихся к отраслям с интенсивным использованием активов, таким как энергетика, транспорт, телеком, критически важно выстроить и использовать эффективную стратегию управления активами.

Для решения этих двух задач сейчас принято использовать интегрированные комплексы, включающие EAM-(Enterprise Asset Management), APM-(Asset Performance Management) и AIP-(Asset Investment Planning) системы [1,2], в которых:

- EAM-система [3] играет центральную роль, обеспечивает обмен информацией с активами и с другими системами, а также осуществляет сбор и сохранение истории отказов, технического обслуживания и ремонтов активов;
- APM-система обеспечивает принятие решений с целью наиболее эффективного использования активов, улучшает операционную надёжность и безопасность, для этого в ней используя такие инструменты, как RBI (Risk-Based Inspection), FTA (Fault Tree Analysis), SIL-анализ (Safety Integrity Level), RCF-анализ (Root Cause Failure), FMESA (Failure Mode and Effects Criticality Analysis), RCM (Reliability-Centered Maintenance), методы статистического моделирования и машинного обучения;
- AIP-система позволяет проанализировать различные варианты проектов по обновлению активов и выработать инвестиционный план на длительный период исходя из

состояния активов, их критичности, стоимости обслуживания, рисков, имеющегося бюджета и других факторов.

В состав таких комплексов также часто включается система управления мастер-данными об активах [4] и система управления портфелями проектов [5].

У описанного эмпирически складывающегося используемого подхода можно выделить ряд недостатков:

- комплекс систем по управлению активами недостаточно интегрирован в общую корпоративную систему управления. В частности, в качестве одного из основных критериев при принятии решения об изменении состава парка активов, проведении реконструкции, ремонта или технического обслуживания должна выступать оценка, справится ли после этого парк активов с планируемым объёмом работ, или нет. Для планирования загрузки отдельных активов в различных вариантах парка активов целесообразно использовать компоненты APS-системы (Advanced Planning and Scheduling), функциональность которых при решении различных логистических и производственных задач показана в [6]. Для оценки других условий изменения парка активов, должны использоваться HCM (Human Capital Management) и FM (Financial Management). Например, хватит ли у персонала квалификации для работы с новыми активами, найдутся ли финансовые ресурсы для реконструкции активов;
- чрезмерно жёсткое распределение задач между АРМ и АИР, которое может мешать нахождению наиболее эффективного набора операций по управлению активами. Разделив принятие решений между этими двумя классами систем, мы получили раздельное планирование задач технического обслуживания и задач развития, однако на практике эти задачи часто бывают тесно переплетены между собой. Например, в процессе профилактического ремонта оборудования бывает целесообразно провести его частичную реконструкцию с целью повышения безопасности или производительности. Также верно и обратное;
- отсутствие единой формализованной постановки задачи управления активами не позволяет однозначно оценивать ситуацию, в частности, отсутствие формального критерия оптимальности не позволяет оценивать и сравнивать между собой различные последовательности операций по управлению активами, а отсутствие формальных ограничений, которые не должны нарушаться, не позволяет строго отсеять недопустимые последовательности операций.

Устранение перечисленных недостатков целесообразно начать с математической формулировки задачи. Это позволит определить класс алгоритмов и необходимые данные для решения задачи. И только потом на этой основе может быть построена правильная архитектура системы.

## 2. Математическая формулировка задачи

Задача управления активами должна рассматриваться в длительной перспективе времени, распространяющейся на несколько десятилетий и даже больше. Это обусловлено периодом эксплуатации зданий и сооружений (мостов, тоннелей, коммунальных сетей и пр.). Именно такую задачу мы далее будем называть задачей долгосрочного управления активами в отличие от ориентированных на год или несколько лет задач, решаемых в существующих комплексах систем по управлению активами.

Даже когда парк активов состоит только из одного оборудования, его можно рассматривать и оценивать с различных позиций (перспектив): производительность, безопасность, ремонтпригодность и т.д. Ещё больше оснований использовать несколько перспектив, если парк активов дополнительно включает земельные участки, месторож-

дения, сельхозугодья или рыбные промыслы. Для более чёткого разграничения, чем мы можем управлять, на каждом направлении целесообразно выделить не одну перспективу, а две – внутреннюю, где мы можем воздействовать на параметры, и внешнюю, в которой происходят изменения по независимым от нас причинам – под действием законодательства, региональной политики и других факторов.

С учётом изложенного, в формальном виде задача долгосрочного управления активами может быть представлена следующим образом:

- парк активов  $A$  состоит из множества отдельных активов  $a_w, w \in 1, W$  ;
- имеется ограниченная последовательность  $T$  временных периодов  $T^i$  индексированных по  $i \in 1, I$  ;
- на каждом временном периоде  $T^i$  парк активов и окружающая его среда могут быть описаны множеством состояний  $S_j^i, j \in 1, N^i, i \in 1, I$  ;
- состояние парка активов полностью определяется набором значений внутренних показателей  $Iint_k, k \in 1, K, K \leq C_1$  и набором значений внешних показателей  $Iext_m, m \in 1, M, M \leq C_2$  ;
- внешние показатели  $Iext_m, m \in 1, M$  принадлежат к различным внешним перспективам  $Pext_u, u \in 1, U$ , а внутренние показатели  $Iint_k, k \in 1, K$  принадлежат к различным внутренним перспективам  $Pint_u, u \in 1, U$ , число которых совпадает;
- в ходе использования парка активов реализуется переход из состояния  $S_{j_1}^i, i \in 1, I - 1$  на шаге  $i$  только в одно из возможных состояний  $S_{j_2}^{i+1}$  на шаге  $i + 1$ ;
- переход парка активов из состояния  $S_{j_1}^i$  в состояние  $S_{j_2}^{i+1}$  определяется действующими внешними трендами и внутренними инициативами  $D_d^{i,i+n}, i \in 1, I - n, 0 \leq n \leq I - i, d \in 1, D$ , причем для каждого  $S_{j_1}^i$  существует ограниченный набор возможных состояний на следующем временном периоде  $\{S_{j_2}^{i+1}\} \in \{S_n^{i+1}\}, i \in 1, I - 1, n \in 1, N^{i+1}, j_2 \in 1, J_j^{i+1}, J_j^{i+1} \leq N^{i+1}$  ;
- каждая внутренняя инициатива  $D_d^{i,i+n}, i \in 1, I - n, 0 \leq n \leq I - i, d \in 1, D$  состоит из набора мероприятий  $B_d^{i_1,b}, i_1 \in i, i + n, d \in 1, D, b \in 1, B_d$ , каждое из которых подразумевает выполнение конкретных операций  $O_{d,w}^{i,b}, i \in 1, I, d \in 1, D, b \in 1, B_d, w \in 1, W$  с активами  $a_w, w \in 1, W$  ;
- переход между состояниями  $S_{j_1}^i$  и  $S_{j_2}^{i+1}$  осуществляемый при выполнении инициатив  $D_d^{i_1,i_1+n}, i_1 \in 1, I - n, 0 \leq n \leq I - i_1, d \in 1, D$ , где  $i_1 \leq i \leq i_1 + n$ , обеспечивает изменение внутренних показателей парка активов  $Iint_k, k \in 1, K$ , и характеризуется вероятностью  $p_{j_1,j_2}^i, i \in 1, I, j_1 \in 1, N^i, j_2 \in 1, J_j^{i+1}, J_j^{i+1} \leq N^{i+1}$  ;
- в составе значений внутренних показателей  $Iint_k^i, i \in 1, I, k \in 1, K$  имеется показатель  $V^i, i \in 1, I$ , определяющий полезность достигнутого состояния парка активов на шаге  $i$ ;
- совокупная полезность действий по управлению парком активов в течение всей последовательности временных периодов  $T$  определяется функцией  $V = F(V^1, V^2, \dots V^I)$ ;
- в ходе использования парка активов на каждом временном интервале  $T^i$  должны соблюдаться ограничения  $R_e^i(Iint, Iext) \leq L_e^i, e \in 1, E, i \in 1, I$   
где:

□  $E$  – общее число внешних и внутренних ограничений,  $E = Eint + Eext$ ;

- $L_e^i$  – предельное значение для ограничения  $e$  на интервале  $i$  ;
- в качестве параметров  $lint$  и  $lext$  могут использоваться любые показатели  $lint_m^h, lext_k^h, m \in 1, M, k \in 1, K, h \in 1, i$  ;
- целью решения задачи является нахождение последовательности состояний  $S_j^i$  для всех  $i \in 1, I$ , при которой  $V \rightarrow \max$ , и соблюдаются все ограничения  $R_e^i, e \in 1, E, i \in 1, I$ , а также определение всех инициатив  $D_a^{i,i+n}, i \in 1, I-n, 0 \leq n \leq I-i, d \in 1, D$ , содержащихся в них мероприятий  $B_d^{i,b}, i \in 1, I, d \in 1, D, b \in 1, B_d$  и операций с активами  $O_{d,w}^{i,b}, i \in 1, I, d \in 1, D, b \in 1, B_d, w \in 1, W$ , обеспечивающих с максимальной вероятностью переходы между состояниями найденной последовательности.

Произвольная структура функции  $V$  позволяет использовать приведенную формулировку задачи как для управления парками активов коммерческих предприятий, где целевым показателем может являться суммарная дисконтированная прибыль, так и парками активов различных некоммерческих и государственных структур.

В представленной постановке задача долгосрочного управления активами соответствует классу задач Systemic Learning, описанному в [7]. Основной особенностью этого класса задач является системный подход для понимания взаимодействия управляемой системы (в нашем случае – парка активов) и внешней среды. И то, и другое рассматриваются как системы, имеющие свои компоненты, границы и логику взаимодействия. Задача Systemic Learning – сформировать комплексное представление об управляемой системе и внешней среде, обеспечивающее понимание, как на управляемой системе отразятся различные управляющие воздействия. Это позволит в каждом случае выработать лучшее управляющее воздействие. Формирование знаний об управляемой системе и внешней среде происходит инкрементально. Управляющая система функционирует как мультиагентная система, параллельно работая в разных перспективах, при этом она использует несколько методов формирования новых знаний. Наилучшее решение выработывается в результате сочетания Multiperspective Learning и Whole-System Learning.

Конечно, для того чтобы использовать Systemic Learning для долгосрочного управления парком активов требуется проработать ещё много различных аспектов, однако подход представляется перспективным.

## Список литературы

1. Market Guide for Asset Performance Management Software. Gartner, ID G00327803, 25 June 2018 / Foust N., Steenstrup K.
2. Technology Overview for Utility Asset Investment Planning. Gartner, ID G00273672, 5 June 2015, Refreshed 7 October 2016, Revised 19 January 2017 / Eriksen L., Geschickter C.
3. Magic Quadrant for Enterprise Asset Management Software. Gartner, ID G00347118, 9 October 2018 / Steenstrup K., Foust N., Montgomery N.
4. Сухобоков А.А., Строгонова В.И. Об одном подходе к реализации системы управления мастер-данными об активах // Программные продукты и системы. 2017. Т. 30, № 1, С. 51-60.
5. Сухобоков А.А. Алгоритм стратегического управления активами для ЕАМ-систем // Прикладная информатика, 2017. Т. 12. № 4 (70). С. 22-52.
6. Meyr H., Wagner M., Rohde J. Structure of Advanced Planning Systems. Supply Chain Management and Advanced Planning. Concepts, Models, Software, and Case Studies. 5th ed. Eds: H. Stadtler, C. Kilger, H. Meyr. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer, 2015. С. 99-106.
7. Kulkarni P. Reinforcement and Systemic Machine Learning for Decision Making. New Jersey, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2012. 298 p.