

МОДЕЛЬНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

А. Н. Павлов, В. В. Захаров (Санкт-Петербург)

Введение

В докладе описано развитие подхода к динамическому планированию и управлению функционированием и модернизацией судостроительного производств, основанного на полимодельном описании предметной области [1]. Судостроительное производство ранее было рассмотрено как сетевая управляемая система. С помощью логико-динамических ограничений описано управление работами, потоками и ресурсами. Это позволило представить процессы формирования заявок поставщикам и плана обработки заказов с учетом ограничений производительности предприятия и транспортных ресурсов. Взаимодействие моделей осуществлено путем передачи управляющих переменных в ограничения модели управления потоками, а также в дополнительные модели управления ресурсами и каналами их передачи. Описанную ранее двухэтапную процедуру поиска оптимального управления предлагается расширить рядом дополнительных шагов, которые позволят повысить обоснованность принимаемых решений.

Особенности функционирования судостроительных производств

Традиционно для описания функционирования и управления модернизацией подсистем судостроительного производства используют различные модели, которые согласованы на внешнем, интерфейсном уровне. Такой подход является причиной получения недостоверных результатов. Следует отметить, что современные системы поддержки принятия решений, ответственные за управляющие воздействия имеют дискретную природу. На практике задачи принятия решений лежат на соответствующем персонале, а не на проведении постоянной фоновой оценки и выборе плана действий специализированными программными средствами.

Авторами предложено рассмотреть планирование функционирования и модернизации судостроительного производства не как назначение статических заданий машинам и механизмам и их директивной замены, а как динамическую процедуры в соответствии с изменяющейся средой выполнения операций и активным поведением элементов. Предложенная ранее постановка задачи позволяет опираться на методологию динамического планирования [2]. Кроме того, последние исследования показали, что модели оптимального управления с гибридными ограничениями, учитывающие влияние факторов неопределённости, позволяют решать задачи планирования в системах Индустрии 4.0 [3].

Ускоренный темп внедрения результатов научно-технического прогресса стал причиной серьезного увеличения перечень уязвимостей технической инфраструктуры сложных объектов, в том числе и судостроительных производств. Это связано с неразрывным взаимодействием со средой, в которой непрерывно происходят изменения интенсивности выработки, передачи, обработки информации, а также её объема, которые непосредственно влияют на процесс производства. В условиях ускоренного старения информации задержка в принятии решений провоцирует снижение эффективности принимаемых решений с беспрецедентной скоростью, особенно в обстановке дефицита ресурсов и времени. Увеличение и усложнение современных судостроительных цехов является одной из причин наличия множества вариантов функционирования и модернизации. В рамках перехода к новому формату производства по принципу «умная фабрика» повышаются требования к уровню устойчивости развития (в т.ч. и модернизации), функционирования судостроительных

производств; скорости формирования и реализации выбранного управления и оценки возможных альтернатив, т.е. обоснованности принимаемых решений.

Как правило, операторам в современных системах управления предоставляется смысловая информация только о состояниях элементов, а не об объекте контроля (цеха, нескольких, предприятия) в целом. Указанные обстоятельства приводят к тому, что интегральная оценка состояния элементов и формирование необходимых управляющих воздействий на производственной инфраструктуру, в т.ч. информационных и киберфизических, осуществляется операторами в основном вручную на базе тех или иных эвристических правил. Современные информационные системы поддержки принятия решений широко опираются на методики, основывающиеся на прецедентах, однако в условиях постоянных изменений и усложнения элементов и подсистем объектов, а также в случае отсутствия базы прецедентов невозможно найти близкое «эталонное» решение, что влечет принятие решений «далеких» от оптимального [4].

В случае отсутствия релевантной базы прецедентов, в частности на стадии одновременного функционирования «старых» и «новых» элементов модернизируемого цеха(-ов), целесообразно обратиться к экспертам, поскольку на этом этапе судостроительное предприятие и его части находятся в менее устойчивом неизвестном ранее состоянии. Бесперывное высокоинтенсивное производство требует предельно высокой оперативности принятия решений и комплексной, всесторонней оценки того множества вариантов функционирования и модернизации, которое определено на соответствующих этапах для проработки возможностей достижения целевых показателей при различных требованиях к конечному облику цеха(-ов) или предприятия в целом. Отметим, что эксперты в силу обстоятельств могут быть недоступны или их оценка в условиях высокой когнитивной нагрузки может оказаться ошибочной. Для устранения данного недостатка предлагается применение автоматизированного многокритериального анализа разработанных планов функционирования и управления модернизацией судостроительного предприятия. Основной идеей данного подхода является выявление неявных знаний экспертов путем проведения опроса и обработки ответов на базе представленной ниже методики.

Методика многокритериальной оценка планов

Пусть некоторое множество показателей плана модернизации цеха(-ов) или предприятия в целом оценивается набором показателей качества $F = \{F_1, F_2, \dots, F_m\}$, каждый из которых представляет собой лингвистическую переменную. Скажем, лингвистическая переменная $F_i =$ «экономическая эффективность модернизации цеха» может принимать значения из множества простых и составных термов $T(F_i) = \{\text{«низкая»}, \text{«ниже среднего»}, \text{«средняя»}, \text{«выше среднего»}, \text{«высокая»}\}$. Для качественной интерпретации результирующего показателя будем использовать лингвистическую переменную «целевая эффективность модернизации цеха», которая может принимать значения $T(F_{res}) = \{\text{«плохая»}, \text{«ниже среднего»}, \text{«средняя»}, \text{«выше среднего»}, \text{«хорошая»}\}$. В самом общем виде знания лиц, принимающих решения, о взаимосвязи частных показателей качества $F = \{F_1, F_2, \dots, F_m\}$ с результирующим показателем F_{res} можно представить продукционными моделями следующего вида:

$$P_j: \text{«IF } F_1 = A_{1j} \text{ and } \dots \text{ and } F_m = A_{mj}, \text{ THEN } F_{res} = A_{jres}\text{»}, A_{ij} \in T(F_i), A_{jres} \in T(F_{res}) \quad (1)$$

где A_{ij}, A_{jres} являются термами соответствующих лингвистических переменных. В качестве общей шкалы по отношению ко всем значениям показателей используется биполярная шкала $[-1, 0, +1]$, а термы можно задать с помощью нечетких чисел (L-R) типа (рис. 1).

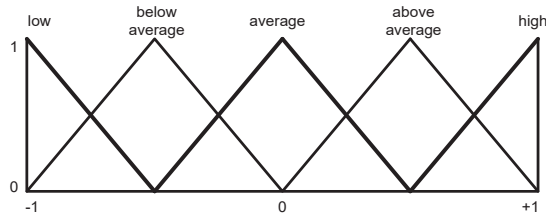


Рис. 1. Термы лингвистической переменной в шкале [-1, +1]

В соответствии с методом решения задачи многокритериального оценивания, предложенным в работе [5], крайние («минимальные» и «максимальные») значения лингвистической переменной F_i шкалы маркируют «-1» и «+1», а для построения результирующего показателя F_{res} , согласно положениям теории планирования эксперимента, формируют ортогональный план экспертного опроса, элементами которого являются крайние маркированные значения частных показателей эффективности $F = \{F_1, F_2, \dots, F_m\}$. Пример ортогонального плана экспертного опроса для трех частных показателей эффективности показан в табл. 1.

Таблица 1. Ортогональный план экспертного опроса

F_0	F_1	F_2	F_3	F_1F_2	F_1F_3	F_2F_3	$F_1F_2F_3$	F_{res}
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	A_{1res}
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	A_{2res}
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	A_{1res}
1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	A_{3res}
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	A_{2res}
1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	A_{4res}
1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	A_{3res}
1	1	1	1	1	1	1	1	A_{5res}
λ_0	λ_1	λ_2	λ_3	λ_{12}	λ_{13}	λ_{23}	λ_{123}	

В табл. 1 значения термов лингвистической переменной F_{res} результирующего показателя эффективности могут быть представлены нечеткими треугольными числами (рис. 2). Тогда, например, во второй строке таблицы представлено следующее суждение эксперта: «если показатель F_1 имеет значение “высокий”, показатель F_2 – значение “низкий”, показатель F_3 – “низкий”, то результирующий показатель F_{res} оценивается как “ниже среднего”».

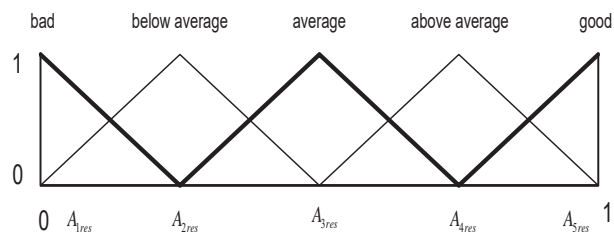


Рис 2. Шкала результирующего показателя

Расчет коэффициентов результирующего (обобщенного) показателя:

$$F_{res} = \lambda_0 + \sum_{i=1}^m \lambda_i F_i + \sum_{i=1}^m \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m \lambda_{ij} F_i F_j + \dots + \lambda_{12\dots m} F_1 F_2 \dots F_m, \quad (2)$$

учитывающих влияние как отдельно взятых частных показателей, так и совокупностей по два, три и так далее показателей, осуществляется по правилам, принятым в теории планирования эксперимента. Для этого вычисляются усредненные скалярные произведения соответствующих столбцов ортогональной матрицы (табл. 1) на вектор значений результирующего показателя эффективности. Так, например, значение коэффициента λ_2 вычисляется следующим образом:

$$\lambda_2 = \frac{-A_{1res} - A_{2res} + A_{1res} + A_{3res} - A_{2res} - A_{4res} + A_{3res} + A_{5res}}{8}. \quad (3)$$

С учетом вышеизложенного предлагаемая методика многокритериального принятия решений состоит из следующих шагов.

Шаг 1. Формирование множества лингвистических шкал для каждого из частных показателей и результирующего показателя качества сопоставимых планов модернизации цеха (ов) судостроительного предприятия. Перевод частных показателей в шкалу [-1, +1].

Шаг 2. Построение ортогонального плана опроса экспертов и проведение экспертного опроса (ответы на вопросы производционных правил).

Шаг 3. Построение результирующего показателя качества сопоставимых планов модернизации цеха (ов).

Для оценки качества полученных результатов авторами предлагается использовать следующие показатели качества: целевой, технической, экономической эффективности модернизации судостроительного предприятия. Результирующим показателем следует выбрать обобщенную эффективность управления модернизацией предприятия.

Обновленный алгоритм поиска оптимального плана модернизации

Шаг А. Представленные в работе [1] шаги повторяются, но лицо ответственное за принятие решений, производит изменение целевых показателей качества. Результатом этого этапа является обновленный план функционирования, отвечающий другим требованиям (критериям качества), например, с максимальной скоростью функционирования или экономии и т.д.

Шаг Б. Происходит оценка планов модернизации цеха (ов) судостроительного предприятия с помощью описанной выше методики без привлечения экспертов и выбор оптимального с точки зрения экспертов плана.

Шаг В. Реализация выбранного на предыдущем шаге варианта и реализация с одновременным синтезом адаптивных планов и программ управления переходом объекта управления из текущего в выбранное макросостояние.

Шаг Г. Формирование программы перепланирования, либо коррекции исходной программы функционирования и модернизации цеха (ов) судостроительного предприятия в случае непредвиденных возмущений на основе текущей информации.

Заключение

Выявленные неявные знания позволяют глубже оценить синтезированные на предыдущих этапах планы. Представленное дополнение к методике динамического управления функционированием и модернизацией судостроительного производства позволит повысить оперативность и качество принимаемых управленческих решений, путем привлечения и интеграции знаний экспертов в процесс оперативного и стратегического выбора планов среди множества альтернатив.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ (№№ 16-29-09482-офи-м, 17-08-00797, 17-06-

00108, 17-01-00139, 17-20-01214, 17-29-07073- офи-м, 18- 07-01272, 18-08-01505, 19–08–00989), Госзадания Министерства образования и науки РФ №2.3135.2017/4.6, в рамках бюджетной темы №№0073–2019–0004 и Международного проекта ERASMUS+, Capacity building in higher education, №73751-EPP-1-2016-1-DE-EPPKA2-CBHE-JP.

Литература

1. **Sokolov Boris, Potryasaev Semyon, Merkurjev Yuri A.** Multiple-model description and algorithms of ship-building manufactory scheduling // Труды четвертой Международной научно-практической конференции «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИКМ МТМТС-2017) // ISBN 978-5-902241-40-9 // АО «Центр технологии судостроения и судоремонта», Санкт-Петербург, 2017. С. 137-141.
2. **Ivanov, Dmitry & Sokolov, Boris.** (2010). Dynamic supply chain scheduling. *Journal of Scheduling*. 15. 201-216. 10.1007/s10951-010-0189-6.
3. **Alexandre Dolgui, Dmitry Ivanov, Suresh P. Sethi & Boris Sokolov** (2019) Scheduling in production, supply chain and Industry 4.0 systems by optimal control: fundamentals, state-of-the-art and applications, *International Journal of Production Research*, 57:2, 411-432, DOI: 10.1080/00207543.2018.1442948
4. **Bakmut A.D., Krylov A.V., Krylova M.A., Okhtilev M.Y., Okhtilev P.A., Sokolov B.V.** Proactive Management of Complex Objects Using Precedent Methodology. In: Silhavy R. (eds) *Artificial Intelligence and Algorithms in Intelligent Systems. CSOC2018 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 764. Springer, Cham (2019)
5. The Technique of Multi-Criteria Decision-Making in the Study of Semi-Structured Problems / A. N. Pavlov [et al.] // *Proceedings of the 6th Computer Science On-line Conference (CSOC2017)*. April 2017. Springer International Publishing Switzerland, 2017. *Cybernetics and Mathematics Applications in Intelligent Systems*. Vol. 2: P. 131-140.