

ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПЛАНОВ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

С. А. ПОТРЯСАЕВ^{*1}, Е. Е. ЩЕРБАКОВА¹, Ю. В. КОНОПЛЕВ²

¹Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия
^{*}komaro2@mail.ru

²Балтийский государственный технический университет „ВОЕНМЕХ“ им. Д. Ф. Устинова,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Создание судов представляет собой сложный многоэтапный процесс. Возникает необходимость решения задач оценивания и анализа производственного потенциала предприятия, а также синтеза технологии и планов функционирования. С точки зрения оптимального управления, это задачи оценивания управляемости сложной системы и проактивного управления ее структурной динамикой. Предложен способ решения этих задач на основе областей достижимости нестационарных детерминированных конечномерных дифференциальных динамических систем с перестраиваемой структурой. В результате решения рассматриваемых задач формируются пессимистическая и оптимистическая оценки выполнимости производственной программы, а также оптимальная технология реализации производственного плана и расписание работы оборудования судостроительного предприятия.

Ключевые слова: судостроительное предприятие, оценивание выполнимости плана, производственный потенциал предприятия, планирование работы предприятия, оптимальное планирование, структурная динамика, проактивное управление

Благодарности: исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90284/20.

Ссылка для цитирования: Потрысаев С. А., Щербакова Е. Е., Коноплев Ю. В. Программно-математическое обеспечение расчета производственных планов судостроительного предприятия // Изв. вузов. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 12. С. 925—929. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-12-925-929.

SOFTWARE AND MATHEMATICAL SUPPORT FOR THE CALCULATION OF PRODUCTION PLANS OF A SHIPBUILDING ENTERPRISE

S. A. Potryasaev^{*1}, E. E. Scherbakova¹, Yu. V. Konoplev²

¹St. Petersburg Federal Research Center of the RAS,
St. Petersburg, Russia
^{*}komaro2@mail.ru

²D. F. Ustinov Baltic State Technical University VOENMEH,
St. Petersburg, Russia

Abstract. The creation of ships is a complex multi-stage process. There is a need to solve the problems of assessing and analyzing the production potential of the enterprise, as well as the synthesis of technology and operation plans. From the point of view of optimal control, these are problems of assessing the controllability of a complex system and proactive control of its structural dynamics. A method for solving these problems is proposed based on reachability domains for non-stationary deterministic finite-dimensional differential dynamical systems with a tunable structure. As a result of solving the problems under consideration, pessimistic and optimistic estimates of the feasibility of the production program are formed, as well as the optimal technology for implementing the production plan and the work schedule of the equipment of the shipbuilding enterprise.

Keywords: shipbuilding enterprise, plan feasibility assessment, enterprise production potential, enterprise work planning, optimal planning, structural dynamics, proactive management

Acknowledgment: the studies performed on this topic were carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project No. 20-38-90284/20.

For citation: Potryasaev S. A., Scherbakova E. E., Konoplev Yu. V. Software and mathematical support for the calculation of production plans of a shipbuilding enterprise. *Journal of Instrument Engineering*. 2022. Vol. 65, N 12. P. 925—929 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-12-925-929.

Постановка и основные результаты решения задачи. На содержательном уровне задачи синтеза технологий и комплексных планов функционирования судостроительного предприятия имеют следующую формулировку. Известно исходное структурное состояние предприятия, пространственно-временные, организационные, финансовые, технические и технологические ограничения, связанные с производственным процессом, заданы интервал времени, на котором осуществляется управление структурной динамикой, и соответствующая система показателей качества указанного управления. Требуется найти такую последовательность плановых и регулирующих воздействий на параметры, элементы, объекты, подсистемы структуры и в целом судостроительное предприятие, при которой для каждого заданного сценария изменения возмущающих воздействий обеспечивался бы оптимальный переход данной системы из текущего в требуемое многоструктурное макросостояние.

Данная задача относится к классу задач динамического многокритериального структурно-функционального синтеза сложной организационно-технической системы и построения расписания ее работы [1—4].

Практика показывает, что в начале планового периода может быть не ясно, хватит ли у судостроительного предприятия ресурсов на весь период для достижения поставленных заказчиком целей. Для этого должны предварительно решаться задачи оценивания и анализа производственного потенциала предприятия. В терминах оптимального управления данный класс задач относится к классу задач оценивания управляемости сложной организационно-технической системы. Если решение этой задачи существует, то целесообразно приступать к синтезу технологии и планов.

Для конкретизации и решения рассматриваемой задачи приведем ее следующее концептуальное описание [5, 6]. С этой целью введем множества: создаваемых объектов (например, судов либо стандартных судостроительных единиц); ресурсов предприятия; операций, входящих в производственные процессы.

Производственные операции связаны друг с другом с использованием логических операций „и“, „или“, „альтернативное или“. С помощью такого рода операций может быть задана альтернативная технология реализации производственных процессов. Пусть заданы основные пространственно-временные, технические и технологические ограничения, а также интервал времени, в течение которого собирается судно. Задана система показателей качества производственного плана. Необходимо, во-первых, оценить производственный потенциал предприятия на заданном интервале времени, и сформировать технологию и комплексный план его функционирования. Задана система показателей качества. Основными из них являются показатели, оценивающие: полноту выполнения технологических операций и процессов; суммарное нарушение директивных сроков реализации программы; равномерность использования ресурсов.

Говоря о методе и алгоритме синтеза технологии и комплексного плана функционирования судостроительного предприятия, необходимо указать, что в их основу был положен методический аппарат, базирующийся на комбинированном использовании методов последовательных приближений и ветвей и границ [7, 8].

В качестве исходных данных для разработанного модельно-алгоритмического обеспечения использовались следующая информация: описание вариантов производственных программ и реализующих их технологий; сроки реализации производственной программы в це-

лом; перечень типов изделий, подлежащих постройке; планируемые сроки постройки каждого изделия; приоритетность каждого изделия.

Для каждого типа изделия также задаются: перечень сборочных единиц изделия; перечень операций по созданию типовых сборочных единиц и их взаимосвязи; длительность выполнения каждой операции и возможные отклонения; технологические ограничения — перечень оборудования, на котором может выполняться конкретная операция; перечень оборудования и его характеристики (время выполнения каждой допустимой операции); прогнозируемые сценарии снижения производительности оборудования, вызываемые внешними, внутренними, объективными, субъективными причинами.

В результате решения рассматриваемой задачи формировался состав выходных данных для пессимистической и оптимистической оценки выполнимости производственной программы. Значения показателей качества: показатель выполнимости производственного плана; набор частных показателей качества реализации производственных планов для оптимистических и пессимистических сценариев изменения внешней и внутренней обстановки — показатель полноты выполнения технологических операций создания сборочных единиц; суммарное время нарушения директивных сроков выполнения операций, входящих в производственный план; показатель равномерности загрузки однотипного оборудования судостроительного предприятия; общее время выполнения производственного плана, а также конкретные интервалы времени и доля загрузки каждой единицы оборудования предприятия.

При синтезе технологий и комплексных производственных планов к основным выходным данным относятся выбранная оптимальная технология реализации производственного плана, а также сам план и расписание работы оборудования судостроительного предприятия. Проведенный анализ используемых в настоящее время на отечественных судостроительных предприятиях программных средств комплексного моделирования и планирования показал, во-первых, существенную гетерогенность программного и математического обеспечения, во-вторых, сложность или невозможность организации взаимодействия между программными средствами. Упомянутые выше программные средства комплексного моделирования и планирования представляют собой унаследованные программные системы в виде законченных решений (например, имитационная модель в среде AnyLogic, GPSS), реализующих имитационные модели судостроительного завода, прошедшие валидацию и верификацию. Такие подсистемы целесообразно использовать в составе предлагаемого программно-методического комплекса. Разработка подобных подсистем „с нуля“ представляет собой процесс, экономически не выгодный как с точки зрения трудозатрат, так и времени выполнения проекта. В связи с этим необходимо организовать программный комплекс таким образом, чтобы обеспечить беспрепятственный обмен согласованными исходными данными и выходным результатом между готовыми и создаваемыми программными средствами.

В разработанный полимодельный комплекс включены следующие унаследованные модули: расчета показателей надежности и критичности отказов; многокритериального оценивания и анализа интегральных показателей выполнимости производственных планов.

Связующее программное обеспечение, с помощью которого осуществляется централизованный и унифицированный событийно-ориентированный обмен сообщениями между различными информационными системами, реализовано в виде сервисной шины предприятия. Следует еще раз подчеркнуть, что стандартизация моделей взаимодействия веб-сервисов не определяет логику работы программного комплекса. Для этих целей используется язык описания последовательности действий и инфраструктура для его выполнения. В рассматриваемом примере используется реализация сервисной шины OpenESB, в которой имеется встроенный интерпретатор языка WS-BPEL. Вследствие этого выходной файл расчетного модуля, содержащий синтезированную технологию и план ее реализации, записанный в формате BPMN

2.0, конвертируется в исполняемый файл в формате WS-BPEL, который интерпретируется средствами OpenESB, реализуя бизнес-логику, т.е. взаимодействие между различными частями программного комплекса.

Заключение. В основу разработки экспериментального образца программного модуля положено полимодельное динамическое описание процесса функционирования судостроительного предприятия, включающее в себя комплекс моделей управления технологическими операциями, комплекс моделей управления оборудованием, комплекс моделей управления материальными потоками. Основное достоинство предложенных комплексов моделей состоит в том, что они, в отличие от существующих разработок, базируются на результатах современной теории проактивного управления сложными организационно-техническими объектами. Указанный фундаментальный научный базис предоставляет потенциальным пользователям возможность решения широкого спектра задач многовариантного прогнозирования, мониторинга и управления производственными процессами для различных сценариев изменения внешней и внутренней обстановки на предприятии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В. Л. и др. Технология судостроения: уч. для вузов / Под общ. ред. А. Д. Гармашева. СПб: Профессия, 2003. 342 с.
2. Павловский Ю. А. Имитационные модели и системы. М.: Фазис, 2000. 132 с.
3. Вавилов А. А., Имаев Д. Х., Плескунин В. И. и др. Имитационное моделирование производственных систем. М.: Машиностроение, 1983. 416 с.
4. Охтилев М. Ю., Зеленцов В. А., Потрясаев С. А., Соколов Б. В. Концепция проактивного управления сложными техническими объектами и технологии ее реализации // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 12. С. 73—75.
5. Соколов Б. В., Охтилев М. Ю., Потрясаев С. А., Юсупов Р. М. Методы и алгоритмы адаптации моделей планирования промышленного производства // 5-я Междунар. науч.-практ. конф. „Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем“ (ИКМ МТМТС-2019). 2019. С. 166—172.
6. Потрясаев С. А. Синтез сценариев моделирования структурной динамики АСУ активными подвижными объектами // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57, № 11. С. 46—52.
7. Соколов Б. В., Крылов А. В., Охтилев М. Ю., Охтилев П. А., Потрясаев С. А. Логико-динамическая модель и алгоритмы комплексного планирования функционирования автоматизированной системы управления активными подвижными объектами // Тр. XIX Междунар. конф. „Проблемы управления и моделирования в сложных системах“. 2017. С. 508—513.
8. Потрясаев С. А. Математическое и программное обеспечение синтеза технологий и планов работы киберфизических систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 11. С. 939—946.

Сведения об авторах

- Семен Алексеевич Потрясаев** — д-р техн. наук; СПбФИЦ РАН, СПИИРАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; вед. научный сотрудник; E-mail: semp@mail.ru
- Екатерина Евгеньевна Щербакова** — аспирант; СПбФИЦ РАН, СПИИРАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; E-mail: komaro2@mail.ru
- Юрий Вячеславович Коноплев** — Балтийский государственный технический университет „ВОЕНМЕХ“ им. Д. Ф. Устинова, кафедра А5 динамика и управление полетом летательных аппаратов; научный сотрудник; E-mail: konoplev_iuv@voenmeh.ru

Поступила в редакцию 30.08.2022; одобрена после рецензирования 14.09.2022; принята к публикации 31.10.2022.

REFERENCES

1. Aleksandrov V.L. et al. *Tekhnologiya sudostroyeniya* (Shipbuilding Technology), St. Petersburg, 2003, 342 p. (in Russ.)
2. Pavlovsky Yu.A. *Imitatsionnyye modeli i sistemy* (Simulation Models and Systems), Moscow, 2000, 132 p. (in Russ.)
3. Vavilov A.A., Imaev D.Kh., Pleskunin V.I. et al. *Imitatsionnoye modelirovaniye proizvodstvennykh sistem* (Simulation Modeling of Production Systems), Moscow, 1983, 416 p. (in Russ.)
4. Potryasaev S.A. *Journal of Instrument Engineering*, 2012, no. 12(55), pp. 73–75. (in Russ.)
5. Sokolov B.V., Okhtilev M.Yu., Potryasaev S.A., Yusupov R.M. *Imitatsionnoye i kompleksnoye modelirovaniye morskoy tekhniki i morskikh transportnykh sistem (IKM MTMTS-2019)* (Simulation and Integrated Modeling of Marine Equipment and Marine Transport Systems (IKM MTMTS-2019)), Proceedings of the Fifth International Scientific and Practical Conference, 2019, pp. 166–172. (in Russ.)
6. Potryasaev S.A. *Journal of Instrument Engineering*, 2014, no. 11(57), pp. 46–52. (in Russ.)
7. Sokolov B.V., Krylov A.V., Okhtilev M.Yu., Okhtilev P.A., Potryasaev S.A. *Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh sistemakh* (Problems of Control and Modeling in Complex Systems), Proceedings of the XIX International Conference, 2017, pp. 508–513. (in Russ.)
8. Potryasaev S.A. *Journal of Instrument Engineering*, 2018, no. 11(61), pp. 939–946. (in Russ.)

Data on authors

- Semen A. Potryasaev** — Dr. Sci.; St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling; Leading Researcher; E-mail: semp@mail.ru
- Ekaterina E. Scherbakova** — Post-Graduate Student; St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling; E-mail: komaro2@mail.ru
- Yury V. Konoplev** — D. F. Ustinov Baltic State Technical University VOENMEH, Department of Aircraft Dynamics and Flight Control; Researcher; E-mail: konoplev_iuv@voenmeh.ru

Received 30.08.2022; approved after reviewing 14.09.2022; accepted for publication 31.10.2022.