

**УДК 65.012.2**

***Титов Н.Н., Шибeko В.Н.***

*1. к.т.н., ООО «НВП МОДЕМ», nikoltit@yandex.ru*

*2. старший преподаватель, ГГТУ им. П.О. Сухого, svn20070809@gmail.com*

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ**

В докладе рассматриваются вопросы адаптации классических задач формирования календарных планов к условиям цифровой экономике. Выделены

актуальные проблемы, возникающие при создании перспективных систем календарно-сетевое планирования и управления современными индустриальными проектами. Намечены основные подходы к решению этих проблем, в частности, к разработке единой программно-алгоритмической инструментальной среды. Особый упор делается на развитие кибернетических принципов решения задач календарного планирования.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** теория расписаний, цифровая экономика, проектное планирование, комбинаторные алгоритмы, динамическое программирование, объектно-ориентированный каркас.

Анализируя современные технологические процессы (ТП), можно отметить две важнейшие общие тенденции - их ускорение и усложнение [1]. Человек как лицо, принимающее решения (ЛПР), хотя и обладает хорошими свойствами адаптации, воспринимает эти тенденции с большим трудом, в результате чего многие решения принимаются либо с опозданием, либо неадекватно сложившейся проблемной ситуации. Освоение новых технологий управления, опережающее овладение которыми и подготовка кадров соответствующей квалификации, являются приоритетом политики развития (внедрение цифровой экономики). Основными направлениями применения новых технологий управления при переходе к цифровой экономике (ЦЭ) являются [2]:

- Интеграция всех уровней автоматизированных систем, включая управленческие системы высшего уровня.
- Планирование и составление графиков работы обеспечивающих организаций и служб на основе поступающих данных и прогнозной аналитики.
- Появление новых бизнес-моделей, основанных на переходе от продажи продукта к продаже услуг.

Дополнительно можно отметить еще два важных фактора:

- ✓ Повсеместное внедрение проектного подхода в организации управления.
- ✓ Развитие экономики знаний, позволяющей выявлять и устранять отклонения производственного процесса от его нормального течения.

Многие проблемы управления возникают при решении практических задач автоматизации современного производства. Например, при разработке информационных систем управления крупными нефтедобывающими компаниями встал вопрос [3]: какому подходу в организации управления (проектному или процессному) отдать предпочтение? С одной стороны компания имеет дело с текущими проектами строительства скважин, а с другой стороны деятельность компании традиционно связана с повторяющимися бизнес-процессами, нацеленными на достижение определенных результатов. Важнейшим элементом управления любого предприятия является планирование и

прежде всего календарное планирование. Эффективность планирования определяется обоснованностью методологии его организации и принятия плановых решений. Как оптимально совместить сроки и темпы строительства новых скважин с управлением нефтедобычей и выделяемыми ресурсами? Как обеспечить эффективную загрузку ресурсов и при этом минимизировать общие издержки производства? Как и в какой степени учесть интересы и риски всех участников сложного технологического процесса? Ответ на эти и другие вопросы, связанные с календарным планированием, может дать интеллектуальная система поддержки принятия (СППР) плановых решений [4]. В рамках интеллектуальной СППР противопоставление двух подходов к управлению уже не является рациональным. Можно уверенно утверждать о конвергенции проектного и процессного подходов. Развивая идею конвергенции, в работе [5] была предложена базовая модель непрерывного календарного планирования, универсальная для многих приложений, включая массовое строительство буровых скважин.

В период советской экономики был накоплен ценный, положительный опыт планирования: составление долгосрочных планов, использование экономико-математических методов и моделей, разработка нормативно-сметных баз планирования. Стоит отметить, что единственный отечественный лауреат Нобелевской премии по экономике («за вклад в теорию оптимального распределения ресурсов - 1975») Канторович Л.В. изучал, помимо прочего, различные методы планирования [6].

В условиях перехода к цифровой экономике значимость планирования будет постоянно повышаться. Появляются масштабные индустриальные проекты, в которых риски технологических и организационных ошибок чрезвычайно высоки, а сроки и бюджеты жестко ограничены. В настоящее время к процессу планирования применяют только некоторые научные подходы. Между тем, усложнение управления современными предприятиями, вертикально-интегрированная структура, постоянная конкуренция требует интегрированного подхода, аккумулирующего положительные стороны различных подходов. В нефтегазодобывающей отрасли интегрированное планирование востребовано в масштабном проекте добычи арктической нефти с использованием платформы «Приразломная». Оптимизация бизнес-процессов интегрированного планирования производственной деятельностью позволит эффективно управлять этим уникальным объектом.

Математические модели и методы календарного планирования исследуются в рамках теории расписаний (ТР) [7]. Интерес обычно представляет построение не любых расписаний, а лишь тех из них, которые являются оптимальными относительно того или иного критерия. Существует множество различных постановок задач ТР. Для обозначения

классов задач ТР ещё в 1979 году была предложена нотация Грэхема, представляющая собой комбинацию всего трёх характеристик:

$(\alpha \uparrow \beta \uparrow \gamma)$ , где  $\alpha$  - модель обслуживаемой системы;

$\beta$  - модель исполнения работ (включает наличие отношений предшествования, директивные сроки, возможности агрегирования и т.п.);

$\gamma$  - целевая функция, минимизация которой и является задачей составления оптимального расписания.

Целевая функция может быть как простой, так и составной. Задание данной характеристики является обязательным атрибутом, поскольку именно она определяет стратегию поиска единственного решения и качество полученного результата.

Сложившаяся ранее методология решения задач календарного планирования нацелена на нахождение единственного решения за приемлемое время, удовлетворяющее математически выверенным критериям оптимальности. Однако экономическим и другим факторам, влияющим на процесс планирования, явно тесно в рамках такой постановки. Задачу календарного планирования часто называют задачей оптимального распределения ресурсов в проекте (комплексе операций) и относят к сложным многоэкстремальным или комбинаторным задачам оптимизации [8]. Точные решения подобного типа задач получены только для небольшого числа частных постановок или для задач небольшой размерности. Первоначально в проектном планировании повсеместно появилась базовая задача RCPSP - построение расписания выполнения работ проекта с учетом отношений предшествования (сетевое графика) и ограничения на ресурсы (Resource-Constrained Project Scheduling Problem). Математическая постановка RCPSP является классической для ТР, однако имеется целый ряд принципиальных ограничений для практического применения. Были предприняты варианты расширенной постановки RCPSP-задачи (мультимодальные постановки), но и данный подход [9] не обеспечивает полноту описания разнообразных прикладных задач календарного планирования. В результате [10] появился класс GCPSP - обобщенных задач проектного планирования (Generally Constrained Project Scheduling Problem), которые решают задачу оптимизации целевой функции проекта на множестве локально согласованных расписаний. Сложности в формализации постановок задач календарного планирования во многом объясняется математическим стереотипом - получить единственное решение. Точное решение в календарном планировании – это не панацея, его может либо просто не существовать, либо вычислительных и временных ресурсов будет недостаточно.

Многие комбинаторные задачи оптимизации оказались успешно решены главным образом благодаря продвинутым алгоритмам, а не

повышением скорости процессоров. Этот факт отметил один из мировых корифеев программирования Дональд Э.Кнут в своей фундаментальной работе «Комбинаторные алгоритмы» [11]. В отличие от теории расписаний в комбинаторной математике до сих пор не удалось создать единый символьный язык (систему обозначений и понятных соглашений). Опыт показывает, что разработка новых алгоритмов планирования будет продолжаться как для новых постановок задач календарного планирования, так и для вновь выявленных вариаций старых. В связи с этим из всего многообразия методов решения хочется выделить универсальный метод динамического программирования (ДП). Процесс поиска календарного плана разбиваем на последовательные этапы, для каждого этапа формулируем свои показатели и на их основе критерии отбора, в результате формируются множества частичных решений, на последнем этапе получаем множество доминирующих (альтернативных) решений и право отбора единственного (оптимального) решения, если это потребуется, остается ЛПР. Алгоритмы поиска календарных планов на основе ДП позволяют частично преодолеть «проклятие размерности» и получить эффективные решения практических задач распределения ресурсов [12].

Разнообразие моделей и методов составления календарных планов ставит перед разработчиками проблему эффективной программной реализации. Применение универсальных математических библиотек для подобных задач оказывается малоэффективным. Разработка специализированных программ для каждого нового приложения является затратным подходом в силу сложности современных задач календарного планирования.

В связи с этим актуальным представляется разработка единой инструментальной среды для эффективной программной реализации экономико-математических моделей, алгоритмов и приложений календарного планирования, тем более, что востребованность в подобном инструменте велика [9]. В работе [13] обосновывается перспективная разработка объектно-ориентированного каркаса для приложений теории расписаний и проектного планирования, т.н. SAF-каркас (Scheduling Application Framework). Использование объектно-ориентированных каркасов для достижения целей календарного планирования представляется вполне оправданным, учитывая успешный опыт разработки сложных программных систем в смежных предметных областях. В качестве алгоритмического обеспечения в составе программно-инструментальной среды общего назначения, предполагается использовать аналог алгоритма последовательной диспетчеризации [10]. Думается, что в дальнейшем алгоритмическую составляющую SAF-каркаса можно будет расширить универсальными алгоритмами динамического программирования, а в отдельных случаях точными алгоритмами комбинаторного типа.

В системе Российской академии наук проблемами календарного планирования занимаются следующие структуры:

- Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» в части разработки алгоритмов планирования вычислений в многопроцессорных системах.
- Институт проблем управления РАН в части теории и методов оптимизации объемно-календарного планирования и маршрутизации.
- Институт системного программирования РАН в части разработки эффективных инструментальных решений для создания перспективных прикладных программных комплексов.

К сожалению, этим академическим исследованиям не хватает объединяющего начала, что во многом объясняется отсутствием в организационной структуре РАН отделения «Кибернетики». Недавно в рамках научно-методического сопровождения экономики нового типа был создан «Центр цифровой экономики МГУ», одной из задач которого является разработка стандартов ЦЭ. В советское время вопросам экономической кибернетики уделялось большое внимание. Первый факультет в стране с таким названием был открыт в 1970 году в составе нынешнего РЭУ им. Г.В. Плеханова. С приходом рыночной экономики интерес к экономической кибернетике в РФ значительно снизился и трансформировался к изучению мирового опыта в этих вопросах. Наступают новые времена и появляются новые задачи. Необходимо с инновационных позиций кибернетической науки и требований цифровой экономики объединить усилия и попытаться получить прорывной результат в решении актуальных проблем календарного планирования.

В Республике Беларусь еще в советский период была создана передовая научная школа по теории расписаний, успешно работающая и в настоящее время над теоретическими и практическими вопросами календарного планирования [14]. Следует отметить и тот факт, что в экономике республики по-прежнему доминируют советская плановая модель. Поэтому научная межгосударственная кооперация в вопросах календарного планирования может способствовать достижению взаимовыгодных результатов.

### **Выводы**

1. Сложный характер современного производства требует внедрение интегрального подхода к задачам календарного планирования, позволяющего оптимизировать бизнес-процессы производственной деятельности.

2. Наукоёмкость, недостаточное программное обеспечение и большие затраты (дороговизна) на создание интеллектуальных систем планирования, а также нехватка квалифицированных кадров как среди проектировщиков,

так и среди пользователей образуют определенный "психологический барьер" для массового продвижения этих систем в практику управления.

3. Многообразие различных постановок и методов решения создает проблему систематизации задач календарного планирования на единой основе. Необходимо продолжить работы по математической формализации задач данного типа на общей кибернетической основе и с учетом инновационных требований цифровой экономики.

4. Актуальным представляется разработка инструментальной среды для эффективной программной реализации экономико-математических моделей, алгоритмов и приложений календарного планирования. В алгоритмической части усилия следует сосредоточить на разработке продвинутых комбинаторных алгоритмов, а в качестве программных инструментов использовать перспективные объектно-ориентированные каркасы.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Программа развития инновационной деятельности Российской академии наук // М., 2013.

2. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» // М., 2017.

3. *Калянов Г.Н., Титов Н.Н., Шибeko В.Н.* «Оптимизация распределения ресурсов буровой компании в условиях массового строительства скважин», сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «Теория активных систем» (ТАС-2014), секция №3 «Управление проектами», 17-18 ноября 2014, ИПУ РАН, 104-108 стр.

4. *Титов Н.Н.* «Разработка системы поддержки непрерывного календарного планирования: Экономико-математическое обеспечение крупной буровой компании» (ISBN 978-3-330-05632-9), 2017, 81 стр.

5. *Калянов Г.Н., Титов Н.Н., Шибeko В.Н.* «Поиск эффективных решений задач непрерывного календарного планирования», // Информационные технологии и вычислительные системы, М.: ,2018, №1, 85-98 стр.

6. *Вассерман А.А.* «Гибридное управление», М.: Бизнес-журнал, 2015, №8, 62-64 стр.

7. *Лазарев А.А., Гафаров Е.Р.* «Теория расписаний. Задачи и алгоритмы», М.: МГУ, 2011, 222 стр.

8. *Баркалов С.А., Буркова И.В., Глаголев А.В., Колпачев В.И.* «Задачи распределения ресурсов в управлении проектами», М.:ИПУ РАН, 2002, 65 стр.

9. *Аничкин А.С., Семенов В.А.* «Современные модели и методы теории расписаний». Труды ИСП РАН, том 26, вып. 3, 2014 г., стр. 5-50.

10. *Аничкин А.С., Семенов В.А.* «Математическая формализация задач проектного планирования в расширенной постановке». Труды ИСП РАН, том 29, вып. 2, 2017 г., стр. 231-256. DOI: 10.15514/ISPRAS-2017-29(2)-9.

11. *Дональд Э. Кнут* «Искусство программирования. Том 4,А / Комбинаторные алгоритмы, часть 1», изд-во «Вильямс», 2013, 955 стр.

12. *Калянов Г.Н., Титов Н.Н., Шибeko В.Н.* «Алгоритм поиска решений задач непрерывного календарного планирования», сборник научных трудов XX юбилейной Российской научной конференции «Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ-2017)», 26-28 апреля 2017 г., ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», М.:2017, 397-403 стр.

13. *Аничкин А.С., Семенов В.А.* «Объектно-ориентированный каркас для программной реализации приложений теории расписаний.» Труды ИСП РАН, том 29, вып. 3, 2017 г., стр. 247-296. DOI: 10.15514/ISPRAS-2017-29(3)-14.

14. *Танаев В.С., Ковалев М.Я., Шафранский Я.М.* «Теория расписаний. Групповые технологии», Минск: ИТК НАН Беларуси, 1998.