

# СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОСТРОЕНИЕМ РАСПИСАНИЙ ПОДГОТОВКИ КОСМОНАВТОВ

**Н.Ф. Хуснуллин**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*

Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

E-mail: [nhusnullin@gmail.com](mailto:nhusnullin@gmail.com)

**Ключевые слова:** теория расписаний, программирование, CPLEX.

**Аннотация:** В работе рассмотрена задача создания системы автоматизированного рабочего места оператора для построения расписаний подготовки космонавтов. На основе ранее разработанных моделей и алгоритмов их решения предложен прототип, учитывающий основные функциональные требования.

## 1. Введение

Существует множество сфер человеческой деятельности, в которых стоимость организационной ошибки очень высока. Одной из таких является планирование подготовки экипажа для безопасной и корректной работы на Международной космической станции (МКС). В настоящее время в Центре подготовки космонавтов имени Юрия Гагарина планирование подготовки к космическим полетам выполняется вручную без использования каких-либо систем управления, кроме Excel. Требуются большие трудозатраты для построения плана графика подготовки на 3 года и плана подготовки на предстоящую неделю. Актуализация расписаний при изменении внешних условий (например, недоступность тренажера), - ресурсоемкая операция. В целях уменьшения затрат на составление календарного плана подготовки экипажей, даты отправления которых известны, а также для ускорения процесса внесения в него изменений разрабатывается Автоматизированное рабочее место (АРМ).

## 2. Описание системы

С математической точки зрения планирование подготовки экипажа можно рассматривать как обобщение задачи управления проектом с ограниченными ресурсами. Эта проблема NP-трудна в сильном смысле [1]. В работе [2] предлагается математическая модель, основанная на целочисленном линейном программировании (см. Wolsey et al. (1988)). Однако этот подход для данной задачи оказался неэффективным. В работе [3] было представлено сравнение двух подходов к проблеме подготовки космонавтов среднего размера. Первый подход был основан на целочисленном линейном программировании, а второй был основан на программировании ограничений (CP)

(см. Dechter (2003)). Было показано очевидное преимущество СР для решения рассматриваемой проблемы. Применение второго подхода позволило решить задачу с горизонтом планирования 3 года.

В состав программного комплекса входят следующие составные части:

- система работы с данными: сбор, обработка и хранение;
- система планирования и прогнозирования – математическое ядро системы;
- система визуализации и контроля исполнения.

Система работы с данными включает в себя плагин для Excel, который реализован на языке C# и веб-сервер, реализованный на языке Python. Основная цель плагина — предоставление пользователям (операторам) привычного интерфейса по формированию учебного плана, который включает в себя:

- наименования занятий, их продолжительность и отношения предшествования между ними;
- требования к количеству космонавтов как в экипаже, так и на каждом отдельном занятии;
- количество тренажеров, технических средств и помещений, необходимых для проведения занятий, и их количество.

После того как учебный план сформирован, плагин позволяет отправить данные на веб-сервер, который в свою очередь сохранит их в базе данных PostgreSQL. Кроме работы с текущим учебным планом, веб сервер предназначен для работы со справочной информацией, которая включает в себя:

- временные интервалы доступности ресурсов на всем горизонте планирования;
- информацию о преподавателях, сотрудниках, конструкторах, космонавтах;
- информацию о принятых в организации нормативах проведения тех или иных занятий, количестве рабочих часов и т.д.

Пользовательский интерфейс для работы со справочной информацией реализован на языке JavaScript при помощи AngularJs. Кроме редактирования исходных данных, веб сервер предназначен для формирования индивидуального графа отношения предшествования для каждого космонавта. Это необходимо, так как космонавты приходят на подготовку с разным уровнем подготовки и имеют разную учебную нагрузку, соответственно.

Подсистема планирования и прогнозирования предназначена для расчета плана подготовки космонавтов в составе экипажа. На текущий момент существует несколько реализаций, основанных на следующих математических подходах:

- целочисленное линейное программирование (ILP);
- программирование в ограничениях (CP);
- эвристический алгоритм и его модификация на основе генетического алгоритма.

Для решения задачи методами ILP и CP была использована академическая версия пакета IBM ILOG CPLEX v.12.6.2. Эвристический алгоритм реализован на языке C#. В итоге, система в автоматическом режиме учитывает следующие ограничения:

- все занятия из индивидуального плана подготовки каждого космонавта должны быть пройдены до заданного срока;
- каждый ресурс, необходимый для проведения того или иного занятия, должен быть свободен во временном интервале, установленном для проведения данного занятия;
- последовательность проведения занятий не должна противоречить заданным отношениям предшествования между занятиями;
- должны выполняться ограничения на продолжительность занятий, количество занятий того или иного вида в день, в неделю и т.д.;
- должны выполняться заранее установленные фиксированные сроки проведения тех или иных занятий, а также ограничения на временные интервалы между проведением некоторых занятий;
- в случае невозможности построения расписания при заданных ограничениях, система выдает соответствующее сообщение.

В целях уменьшения размерности решаемой задачи и ее декомпозиции, в системе процесс построения плана графика обучения экипажа организован итерационно. Под итерацией понимается запуск математического ядра, которое достраивает ранее построенный план график, на основе вновь поступивших данных. Другими словами, перед каждой итерацией на вход модуля поступает информация о новых, не включенных ранее в расписание занятиях. Вновь поступившие занятия математическое ядро располагает на заданном горизонте планирования. Так, при расчете первой итерации занятия накладываются на пустой план график, на каждой следующей итерации занятия располагаются в еще доступные моменты времени согласно сформированным оператором и системой ограничениям. Контроль за данными которые входят в каждую итерацию и очередностью их расчета остается на стороне оператора, для чего в системе создан специальный интерфейс. Другими словами, оператор автоматизированного рабочего места, согласно объективным или субъективным причинам, решает какие занятия (на практике, какая часть графа) в какую итерацию войдут. В целях обеспечения большей гибкости системы, часть ограничений, задаваемых на уровне математического ядра, переносятся в пользовательский интерфейс в виде параметров, которые может изменять оператор. Заданные оператором параметры генерируются в ограничения и передаются в математическое ядро. Кроме этого, в системе предусмотрены несколько шаблонов для добавления параметров операторами. Решение задачи сохраняется в БД в виде матрицы, состоящей из момента времени начала занятия и его уникального идентификатора в системе. Существует возможность сохранения не только финального варианта календарного плана в виде таблицы, но также в формате исходных данных для математического ядра, который является внутренним форматом системы. Сохранение промежуточных результатов в этом формате позволяет анализировать результаты каждой отдельной итерации и более оперативно выявить ошибку в расчетах, если таковые существуют. Кроме

этого, данный подход позволяет на вход математическому ядру подавать результаты необходимой итерации и проверять работу системы в различных условиях экономя время на подготовку исходных данных.

Далее сохраненное в БД решение система трансформирует в удобный для чтения человеком вид. Для этого в программном комплексе реализована подсистема визуализации и контроля исполнения, которая позволяет:

- отобразить консолидированный план график подготовки;
- отобразить план занятий каждого из космонавтов, нагрузки инструкторов и загруженность тренажеров за выбранный период (сутки, неделя, месяц, и т.д.);
- изменить визуальное представление расписаний и детализацию в зависимости от выбранных параметров;
- просмотреть архивные расписания;
- экспортировать отображения плана подготовки в формат .xlsx (Excel).

### 3. Заключение

В работе рассмотрены основные архитектурные решения программного комплекса, предназначенного для автоматизации процесса составления плана графика подготовки экипажа.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского научного фонда (проект 17-19-01665).

### Список литературы

1. Pritsker A.A. В. Watters L.J. Wolfe P.M. Multiproject scheduling with limited resources: A zero-one programming approach // Management Science. 1969. No. 16.
2. Musatova E.G., Lazarev A.A., Yadrentsev D.A., Ponomarev K.V., Bronnikov S.V., Khusnullin N.F. A Mathematical Model for the Astronaut Training Scheduling Problem // IFAC-PapersOnLine. 2016. Vol. 49, No. 12. P. 221–225.
3. Лазарев А.А. Бронников С.В. Герасимов А.Р. Мусатова Е.Г. Петров А.С. Пономарев К.В. Харламов М.М. Хуснуллин Н.Ф. Ядренцев Д.А. Математическое моделирование планирования подготовки космонавтов // Управление большими системами: сборник трудов. 2016. Вып. 63. С. 129–154.