

## СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗОВ В ЛАБОРАТОРИЯХ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Е.Е. Дудников (ИПУ РАН),

А.М. Сидоренко, Е.Н. Хоботов (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

*Рассматривается алгоритм построения расписания выполнения анализов в промышленных лабораториях, а также система, программно реализующая этот алгоритм и предназначенная для построения расписания поточных анализов сырья, полуфабрикатов, готовой продукции на предприятиях химико-технологических отраслей.*

*Ключевые слова: теория расписаний, проведение анализов на предприятиях, алгоритм построения расписаний анализов, автоматизированная система планирования анализов, комплексы LIMS, лабораторные приборы.*

### Введение

Эффективность работы и качество производимой продукции большинства промышленных предприятий в значительной степени зависит от своевременного получения результатов лабораторных анализов качества производимых агрегатами продукции, по которым осуществляется управление ТП производства. Нерациональная загрузка приборов и лабораторного оборудования может затягивать сроки получения результатов требуемых анализов, что, в свою очередь, может повлечь за собой значительные финансовые потери из-за снижения качества производимой продукции.

Эффективность работы лабораторий можно существенно повысить путем построения рационального расписания проведения необходимых анализов. Методы теории планирования и построения расписаний выполнения различных работ [1-5] позволяют за счет выбора лучшего порядка запуска и проведения работ на лабораторных анализаторах существенно сократить время завершения наиболее срочных и важных анализов. Применение этих методов может также сократить общее время выполнения всех заданных анализов.

Существующие программные комплексы автоматизации лабораторных работ (LIMS — Laboratory Information Management System), к сожалению, не оснащаются модулями планирования и построения расписаний проведения анализов.

Рассмотрим алгоритм построения расписания выполнения анализов и систему, программно реализующую этот алгоритм и предназначенную для построения расписания поточных анализов сырья, полуфабрикатов, готовой продукции на предприятиях химико-технологических отраслей.

### Постановка задачи

Рассмотрим постановку задачи построения расписания анализов в лабораториях.

Лаборатории предприятий оборудованы анализаторами различных типов. Приборы, относящиеся к одному типу, могут обладать различными характеристиками, которые влияют на точность и время проведения анализов. В лабораторию в заданное время поступают плановые периодические и внеплановые пробы, которые должны быть проанализированы на одном или нескольких подходящих приборах. Время между соседними поступлениями периодической пробы бу-

дем называть интервалом периодичности. Пробы имеют различный интервал периодичности. Обычно более динамичные ТП требуют более частого наблюдения во времени, и соответствующие пробы имеют более короткий интервал периодичности по сравнению с пробами для инерционных и медленных процессов. Поступающим пробам может быть назначен тот или иной приоритет, устанавливающий определенный порядок проведения анализов проб в лаборатории. В качестве примера рассмотрим три приоритета (повышенный, обычный и пониженный). В этом случае пробы повышенного приоритета должны быть проанализированы в первую очередь, обычного приоритета — вслед за ними, а пробы пониженного приоритета анализируются в последнюю очередь.

Расписание составляется на заданный отрезок времени, например, на сутки. Его необходимо пересчитывать, если появляются внеплановые анализы, меняются приоритеты проб или меняется периодичность отдельных проб. Таким образом, можно рассчитать некоторое базовое расписание, которое необходимо корректировать при указанных выше обстоятельствах.

Корректировка базового расписания проводится по той же технологии, что и расчет базового расписания.

В связи с этим в рассматриваемой задаче требуется построить расписание проведения анализов на заданный отрезок времени с использованием имеющегося в лаборатории оборудования, т. е. произвести назначение поступающих проб на соответствующие приборы для проведения анализов и назначить порядок проведения анализов на каждом приборе. Расписание проведения анализов требуется составить таким образом, чтобы обеспечить выполнение всех требуемых анализов для поступающих проб в соответствии с их приоритетами, а при наличии групп проб с одинаковым приоритетом обеспечить внутри таких групп преимущество в проведении анализов у проб с минимальным интервалом периодичности.

### Система планирования анализов

Для решения поставленной задачи была разработана и программно реализована система планирования анализов, состоящая из модуля редактирования исходной информации, модуля планирования и построения расписаний проведения анализов, а также из модуля просмотра графика выполнения анализов.

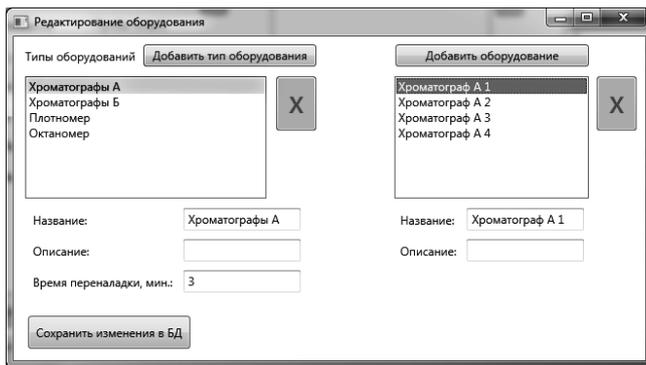


Рис. 1. Окно редактирования информации об оборудовании

Рассмотрим порядок работы системы и параллельно дадим описание каждого модуля этой системы.

### Модуль просмотра и редактирования исходной информации

Работа пользователя с системой начинается с модуля просмотра и редактирования исходной информации об используемом оборудовании и поступающих пробах на анализ. Эта информация предварительно загружается в БД системы. Модуль имеет два окна, позволяющих просматривать и редактировать данную информацию.

На рис. 1 приведено окно редактирования информации о типах оборудования и конкретных анализаторах. Для типа оборудования имеется возможность задавать его название, описание, а также время переналадки между анализами. Например, для хроматографа А в разделе "Описание" указывается жидкостной он или газовый, для измерения каких продуктов применяется. В правой части окна можно создавать и удалять записи о конкретных анализаторах, относящихся к данному типу оборудования. Здесь в разделе "Описание" дается более подробная характеристика прибора, например, для хроматографа — марка прибора, диапазон и точность измерения, время одного анализа.

В окне редактирования информации о пробах и анализах (рис. 2) имеется возможность создавать, удалять и редактировать записи о типовых плановых пробах и анализах, которые должны быть проведены с образцами данной пробы, а также варианты проведения этих анализов. Например, на приведенном рисунке можно увидеть, что "Проба типа 1" является периодической пробой с периодом 2 ч, временем начала 00:00 ч и поступающей в моменты времени 00:00, 02:00, 04:00 ч и т.д. Проба поступает с установки АВТ-1, место отбора пробы на установке Е-3. Тип пробы определяет название продукта и перечень требуемых анализов. В данном случае (для пробы типа 1) требуется определить состав продукта на хроматографе. Для анализа на хроматографе подойдет любой из имеющихся типов хроматографов, однако время проведения анализа на разных типах будет разное: 3 мин на хроматографе типа А и 5 мин на хроматографе типа Б.

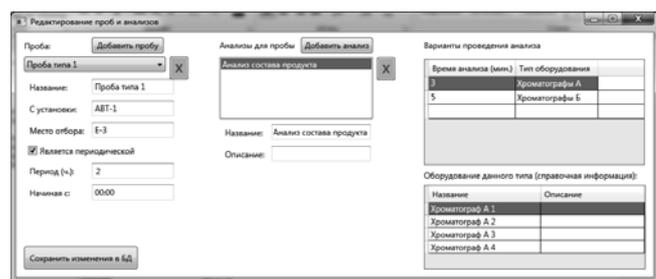


Рис. 2. Окно редактирования информации о пробах и анализах

В правой нижней части окна в качестве справочной информации выводится список оборудования данного типа.

После ввода отредактированных данных по рассмотренной пробе в БД системы пробе присваивается текущий порядковый номер.

### Модуль планирования и построения расписания проведения анализов

В модуле планирования и построения расписаний проведения анализов используется специально разработанный алгоритм, позволяющий формировать порядок проведения анализов, который решает поставленную перед системой задачу.

Исходной информацией для построения расписания служит:

- плановая информация о заранее известных периодических пробах и их анализах (периодичность пробы, время поступления, приоритет, вид и последовательность необходимых анализов для данной пробы, тип подходящего оборудования и время проведения анализа на конкретном оборудовании данного типа);
- аналогичная информация (кроме периодичности) о возможных внеплановых пробах и их анализах.

Исходная информация позволяет рассчитать расписание на заданный срок. Для расчета в предлагаемом алгоритме, как и в ряде традиционных задач теории расписаний, и по такой же схеме используются так называемые решающие правила [3-5]. Заранее формулируются правила назначения анализов на приборы, которые пригодны для выполнения соответствующих анализов, и определяется порядок выполнения анализа на назначенном приборе.

В качестве решающих правил в предложенном алгоритме используются следующие правила:

- анализы одновременно поступающих плановых проб разного приоритета проводятся в порядке понижения приоритета (то есть в первую очередь на данном приборе обрабатываются пробы повышенного, затем нормального и, наконец, пониженного приоритета);
- анализы одновременно поступающих плановых проб одного приоритета проводятся в порядке увеличения их интервалов периодичности, начиная с самого короткого интервала;
- внеплановые пробы анализируются в зависимости от присвоенного им приоритета, в частности, ес-

ли данной внеплановой пробе присваивается повышенный приоритет, то ее анализ выполняется в первую очередь после завершения всех анализов текущих плановых проб такого же приоритета.

Окно модуля планирования представлено на рис. 3. Пользователь имеет возможность выбирать интервал времени, для которого строится расписание, вводит в расчет из БД плановые периодические пробы и их данные, устанавливать приоритеты выполнения анализов (повышенный, обычный и пониженный) для этих проб, а также добавлять в расчет внеплановые пробы. Для внеплановой пробы указывается время поступления этой пробы, название установки и место отбора пробы, а также выбирается тип этой пробы. В данном примере рассматривается четыре типа проб, новые типы могут быть введены с помощью вызова клавиши "Добавить новый тип пробы". Если необходимо ввести в расписание несколько дополнительных внеплановых проб, то они вводятся последовательно. Каждой из них автоматически присваивается свой порядковый номер. На экране указывается общее число добавленных внеплановых проб. Список всех проб, включаемых в расчетный вариант расписания, отображается справа в разделе "Анализ для расчета". В скобках указано общее число проб, включаемых в расчет расписания. При выделении в списке отдельной пробы ниже дается информация о времени поступления этой пробы и ее приоритете. Эта информация может быть отредактирована.

В качестве примера на рис. 3 для рассчитываемого варианта расписания выбран интервал времени в одни сутки с 00:00 ч до 23:59 ч 02 марта 2011 г. Для этого интервала введены плановые периодические пробы и добавлена одна внеплановая проба с поступлением в 20:00 ч. Проба является пробой "Типа 2" и поступает с установки АВТ-2, место отбора пробы Е-13. Справа в окне показаны 15 из 55 введенных проб, 14 плановых (с №40 по № 53) и одна внеплановая (№54). При выделении внеплановой пробы (проба № 54) ниже в окне дается информация о времени ее поступления и выбранном для нее приоритете (повышенный приоритет).

#### Модуль просмотра расписания анализов

В окне просмотра плана анализов (рис. 4) в наглядном виде отображается информация о построенном расписании проведения анализов (диаграмма Гантта). По оси абсцисс показано время, а по оси ординат — используемое оборудование. В окне показан отрезок расписания с 16:00 до 17:30 ч для 12 анализаторов из 17, задействованных в системе.

Каждый прямоугольник на графике являются отображением одного анализа. При наведении мышки на такой прямоугольник появляется всплывающая подсказка с кодом и видом анализа, типом и номером пробы, а также временем начала проведения анализа и его общей длительности.

В данном модуле также имеется возможность просмотра графика работ конкретного оборудования

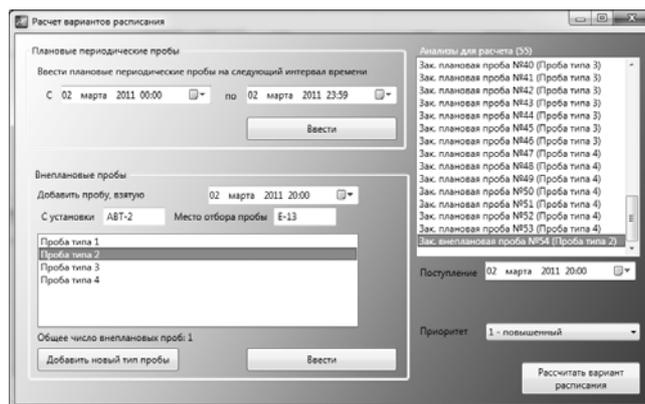


Рис. 3. Окно модуля планирования

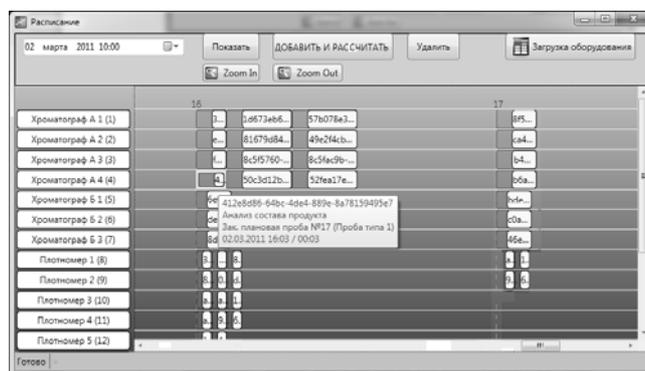


Рис. 4. Окно просмотра плана анализов

Код	Анализ	Оборудование	Время начала	Время окончания
6fe27f8f-0f06-4f...	измерение октанового числа	14	02.03.2011 10:15	02.03.2011 10:21
5dc06cb5-bc81-	измерение октанового числа	14	02.03.2011 11:01	02.03.2011 11:07
281d3a36-360b-	измерение октанового числа	14	02.03.2011 11:08	02.03.2011 11:14
d813f95b-3766-	измерение октанового числа	14	02.03.2011 12:01	02.03.2011 12:07
b76dd958-b121-	измерение октанового числа	14	02.03.2011 12:08	02.03.2011 12:14
ee07fefb-c351-4	измерение октанового числа	14	02.03.2011 12:15	02.03.2011 12:21
1dc378cd-5055-	измерение октанового числа	14	02.03.2011 13:01	02.03.2011 13:07
d96e5ae7-bc24-	измерение октанового числа	14	02.03.2011 13:08	02.03.2011 13:14
78cb9047-dee3-	измерение октанового числа	14	02.03.2011 14:01	02.03.2011 14:07
94069c4c-42bc-	измерение октанового числа	14	02.03.2011 14:08	02.03.2011 14:14
1e13df54-a269-	измерение октанового числа	14	02.03.2011 14:15	02.03.2011 14:21

Рис. 5. Окно с расписанием выполнения анализов

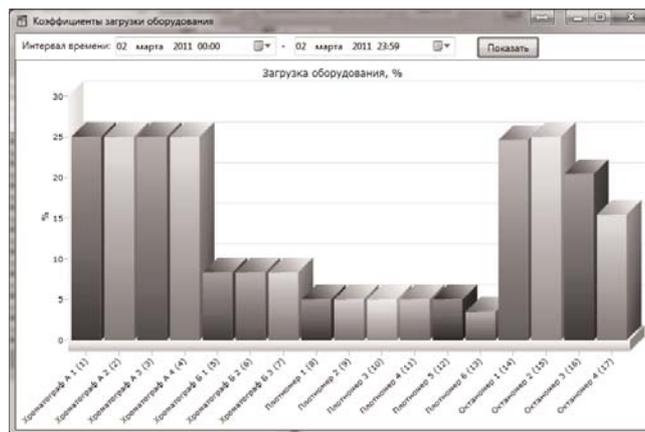


Рис. 6. Окно с коэффициентами загрузки оборудования для проведения анализов

(рис. 5). В окне отображается код и вид анализа, время начала и окончания анализа. На рис. 5 показано расписание работы октаномера 1, имеющего 14 номер в списке используемого оборудования. Расписание выполнения анализов дано для временного периода с 10:15 по 14:21 ч 2 марта 2011 г.

Кроме того, в системе имеется возможность просмотра диаграммы загрузок оборудования за определенный период (рис. 6). На рисунке показаны результаты расчета коэффициентов загрузки оборудования (17 анализаторов) за период в одни сутки с 00:00 до 23:59 ч 2 марта 2011 г.

#### Заключение

Проведенные эксперименты с системой показали достаточно высокое качество получаемых планов проведения анализов при небольшом времени выполнения расчетов. Так, для тестовых примеров (20 анализаторов, 650 плановых суточных анализов) время расчетов не превышает нескольких секунд.

Разработанная система позволяет получать планы проведения анализов в лабораториях при разных

*Дудников Евгений Евгеньевич* – д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник лаб. №35 ИПУ РАН,  
*Хоботов Евгений Николаевич* – д-р техн. наук, проф., ведущий научный сотрудник,  
*Сидоренко Александр Михайлович* – инженер кафедры РК9  
"Компьютерные системы автоматизации производства" МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
Контактный телефон (495) 334-76-40. E-mail: e\_dudnik@ipu.ru e\_khobotov@mail.ru

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИКО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СЛУЖБОЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ПОМОЩЬЮ ЛАБОРАТОРНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

А.Г. Терещенко, В.А. Терещенко, А.Л. Юнак (ФГБОУ ВПО "НИ ТПУ", ИФВТ)

Представлены практические примеры автоматизации процессов управления химико-аналитическими и экологическими службами с помощью лабораторной информационно-управляющей системы (ЛИУС, LIMS) на примере ЛИУС "Химик-Аналитик". Показаны примеры создания единого информационного пространства (ЕИП) предприятия за счет интеграции с другими автоматизированными системами общего и специального назначения. Обобщен опыт при адаптации и внедрении ЛИУС "Химик-аналитик" более чем для 350 химико-аналитических (испытательных) лабораторий различного назначения в России. Выделены структурные элементы информационной системы и основные признаки ЕИП, показана возможность их количественной оценки.

Ключевые слова: ЛИУС, ЛИМС, LIMS, MES, ERP, типовые проектные решения (ТПР), корпоративная информационная система (КИС), единое информационное пространство (ЕИП), качество продукции.

В настоящее время практически все предприятия имеют достаточно многообразные по структуре и автоматизируемым функциям корпоративные информационные системы (КИС), которые часто отождествляют с ERP-системой.

Структурно многоуровневая КИС состоит из систем: управления планированием ресурсами предприятия (ERP), оперативного управления производством (MES), управления технологическими процессами (АСУТП), сбора данных и диспетчерское управление (SCADA), а также программно-технических комплексов (ПТК) и аппаратных средств. Все указанные системы интегрируются в единое информационное пространство (ЕИП) [1].

приоритетах поступающих проб и введении текущих внеплановых анализов.

Кроме того, система позволяет выявлять узкие места в оснащении лабораторий оборудованием и проводить моделирование ее работы с целью выбора лучших вариантов модернизации и пополнения состава лабораторного оборудования, что может потребоваться в случае неудовлетворительной работы лаборатории или при изменениях количества и качества выполняемых анализов.

#### Список литературы

1. Blomer, F., Gunther, H-O., LP-based heuristics for scheduling batch processes // Int. J. Product. Res. 2000, 38, 5.
2. Хоботов Е.Н. Об одном подходе к планированию работы системы по смешению нефтепродуктов // Автоматика и телемеханика. 2004. № 9.
3. Конвей Р.В., Максвелл В.А., Миллер Л.В., Теория расписаний. М.: Наука, 1975.
4. Panwalker S. S, Iskander W., A survey of scheduling rules // Operations research. 1977. 25.
5. Горнев В.Ф., Емельянов В.В., Овсянников М.В. Оперативное планирование в ГПС. М.: Машиностроение, 1990.

*Сидоренко Александр Михайлович* – инженер кафедры РК9

"Компьютерные системы автоматизации производства" МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Контактный телефон (495) 334-76-40. E-mail: e\_dudnik@ipu.ru e\_khobotov@mail.ru