



ВВЕДЕНИЕ

Нефтегазовая промышленность — одна из самых динамично развивающихся отраслей нашей страны. Такой статус всегда определял стратегию внедрения наиболее дорогих и инновационных решений на нефтегазовых предприятиях. И сегодня в этой отрасли, несмотря на экономический кризис, продолжается реализация современных проектов по автоматизации с применением передовых научных методов и программно-технических средств. Эта тенденция подтверждается материалами статей, собранных в 6 номере журнала "Автоматизация в промышленности".

В журнале, посвященном актуальным вопросам и задачам нефтегазовой промышленности, рассмотрены:

- проекты по автоматизации нефтегазовых предприятий (раздел "Применение средств автоматизации");
- инновационные решения, позволяющие повысить эффективность функционирования нефтегазовых предприятий, среди которых; системы отображения информации коллективного пользования; применение продуктов и технологий, направленных на облегчение работы пользователей;
- технические требования на автоматику газораспределительных и газотранспортных систем;
- алгоритмическое обеспечение систем автоматизации;
- особенности и области применения БД;
- некоторые новинки технических средств автоматизации.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЗАДАЧ ТЕКУЩЕГО ПЛАНИРОВАНИЯ И СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЙ НПЗ

Ю.Б. Любимов, Е.С. Баулин (ЗАО "Хоневелл")

Разработан новый подход к решению задачи составления расписаний нефтеперерабатывающего производства по часам, который заключается во введении дополнительной промежуточной задачи календарного планирования по дням для плавного перехода от задачи текущего планирования к задаче составления расписаний.

Ключевые слова: планирование, составление расписаний, RPMS, Production Scheduler, многопериодное планирование, математическое моделирование.

Актуальной задачей для персонала любого производственного подразделения является оперативное управление производством, исходя из фактической производственной ситуации на данный момент, позволяющее перейти к детализированной выработке производственного плана вплоть до составления расписаний работы каждой установки по часам.

Задача построения производственного плана работы НПЗ состоит из двух подзадач: текущее планирование и составление расписаний. Текущее планирование — это процесс составления производственного плана работы завода на несколько месяцев или недель. План включает оценки количества сырья, которое нужно будет переработать, количества продуктов, которые нужно будет произвести, загрузки установок, прибыли на соответствующий горизонт планирования. Составление расписаний — процесс определения последовательности технологических операций, выполняемых на заводе с целью реализации утвержденного плана, полученного при решении задачи текущего планирования. Расписания составляются, как правило, на несколько дней с детализацией по часам. При решении этой задачи требуется найти графики:

- распределения поступающей нефти по резервуарам;
- работы установок, изменения режимов работы;
- операций смешения;

- распределения промежуточной и готовой продукции по резервуарам;
- отгрузки готовой продукции.

Решению задачи текущего планирования посвящено множество публикаций, и существует целый набор систем моделирования для нефтепереработки, позволяющих решать эту задачу. Проблемам составления расписаний также посвящена обширная литература, в которой, как правило, затрагиваются проблемы составления расписания работы только отдельных блоков завода, например, блока смешения масел или блока отгрузки товарной продукции, а проблемы построения расписания работы всего завода с учетом свойств потоков освещены слабо. В основном это связано с большой трудоемкостью решения подобной задачи: большая размерность задачи и возникающие вычислительные трудности. В настоящее время известны лишь частные случаи внедрения ПО, позволяющего составлять подробные расписания работы установок основного производства завода с учетом качественных спецификаций потоков.

Рассмотрим, как решается задача составления расписаний работы завода с помощью оптимизационной системы моделирования *Production Scheduler (PS)* фирмы Honeywell. В отличие от других систем составления расписаний уникальность данного ПО заключается в том, что с использованием методов оптимизации создаются сразу несколько вариантов расписания. Таким

Оказывается, союз нефти и газа надежнее политических союзов.

К. Кушнер

образом, пользователь имеет возможность выбрать из списка наилучшее, с его точки зрения, расписание. Критерием оптимизации является улучшение функционирования завода. Под функционированием здесь понимается мера эффективности, например, связанная с уменьшением количества переключений технологических режимов, операций запуска/остановов оборудования, перекачек.

ПО Production Scheduler вырабатывает расписания работы, в которых учитываются качественные характеристики готовой продукции, а также принципиальные технологические особенности производства. При составлении расписаний Production Scheduler позволяет учитывать следующие логистические правила работы завода [1]:

- количество потока между двумя любыми установками должно быть нулевым, то есть поток не течет, либо значение должно лежать между минимальной и максимальной величиной потока;
- любая установка на заводе в любой момент времени может выполнять только одну операцию;
- для входных/выходных портов резервуаров должно быть задано минимальное и максимальное время задержки между операциями заполнения и опустошения резервуара;
- количество содержимого в резервуаре должно быть не меньше заданного минимального значения и не больше заданного максимального значения;
- для каждой установки могут быть заданы минимальная и максимальная продолжительность каждой операции;
- в определенных случаях установки должны выполнять операции в заданной последовательности;
- для установок, через которые сырье подается на завод, может быть определен тип подачи сырья: непрерывный (соответствует поступлению нефти через трубу) или партиями (соответствует поставке нефти с помощью танкеров);

Для поддержания работоспособности такой системы необходимо периодически обновлять информацию о состоянии завода, включающую данные двух типов:

- *постоянные* — технологическая схема производства, а также логистические правила работы завода, отражающие технологические аспекты производства. Изменение этих данных происходит очень редко и только после согласования с руководством завода;
- *переменные* — плановые ограничения и фактические данные о работе завода. Последние должны обновляться ежедневно. Плановые ограничения задаются каждый раз на горизонт планирования, на который составляется расписание работы. Эти ограничения являются результатом решения задач более высокого уровня.

Будем считать, что все постоянные данные нам известны и зафиксированы в модели. Таким образом,

чтобы составить расписание работы завода на несколько дней, необходимо располагать следующими данными:

- а) фактические данные на текущий момент:
 - запасы во всех резервуарах с учетом качества содержимого;
 - допустимые технологические режимы работы установок;
 - фактические материальные балансы установок;
- б) плановые ограничения на несколько дней, на которые нужно составить расписание:
 - количество сырья, которое поступит на завод и которое нужно переработать;
 - количество готовой продукции, которое нужно произвести и отгрузить;
 - спецификации смесений.

Из задачи текущего планирования для составления расписаний имеем:

- план работы НПЗ на несколько месяцев или недель (лучшие с экономической точки зрения показатели на расчетный период);
- данные по резервуарным паркам: запасы на начало периода планирования, ограничения на емкости резервуаров;
- данные по установкам: ограничения по производительности, плановые материальные балансы установок, усредненные загрузки на весь горизонт планирования, варианты технологических режимов;
- ограничения на получение сырья и отгрузку готовой продукции на расчетный период. Качественные и количественные характеристики сырья и спецификации готовой продукции;
- описание дополнительных ограничений (например, график ремонта установок).

Очевидно, что данных, полученных на этапе решения задачи текущего планирования, недостаточно для составления корректных расписаний. Таким образом, возникает вопрос о взаимосвязи задач текущего планирования и составления расписаний. Для решения этой проблемы предлагается подход, который заключается во введении дополнительной промежуточной задачи календарного планирования работы завода по суткам.

Задача календарного планирования работы (КП) завода по суткам — это задача многопериодного планирования, которая решается на тот же расчетный период, что и задача текущего планирования, но с детализацией по суткам на ближайший отрезок времени. Решая задачу составления плана работы по суткам, необходимо выполнить план, полученный при решении задачи текущего планирования, с учетом логистических правил работы завода, отражающих технологические аспекты производства.

Задача КП вводится для облегчения составления расписаний. На заводе имеются установки разной степени инерционности, то есть присутствуют установки, у которых переключают режимы работы достаточно редко, например, один раз в неделю или месяц (АВТ, риформинг, гидроочистка), у других уста-

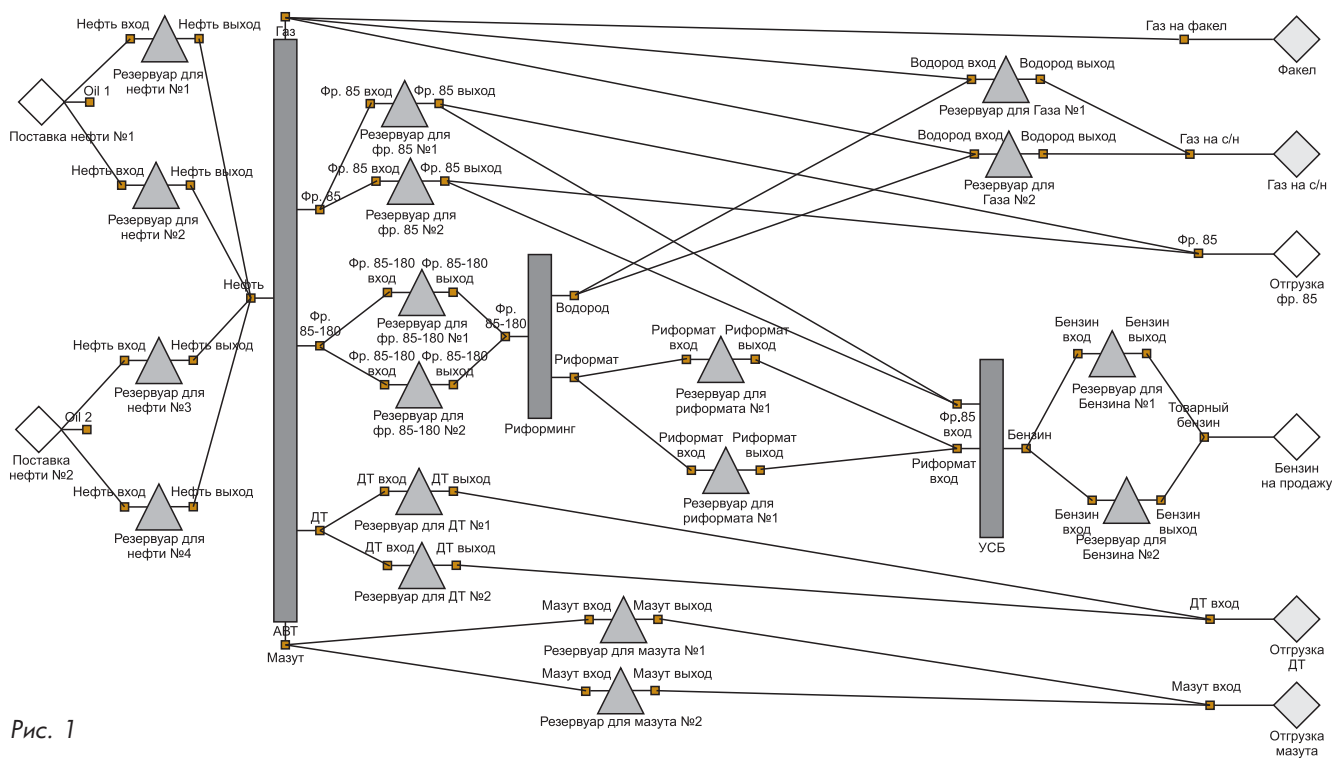


Рис. 1

Новок режимы работы переключают часто, например 1...2 раза в день (резервуары, установки смешения). Поэтому можно составить график переключения режимов работы установок с большей инерционностью при решении задачи календарного планирования, а при составлении расписаний зафиксировать этот график. Кроме того, установки с большей степенью инерционности, такие как АВТ, риформинг, гидроочистка, являются определяющими производством и, работая в одном режиме, производят продукцию с одинаковыми коэффициентами выходов и показателями качества. А это позволяет, рассчитав качественные характеристики всех потоков при решении задачи календарного планирования, использовать готовые рецепты смешения для составления расписаний. Таким образом, составляя расписания работы завода, не нужно учитывать качественные характеристики потоков, а необходимо только следить за соблюдением рецептов и выполнением логистических правил работы завода, что значительно упрощает задачу составления расписаний.

Для решения задачи КП необходимо располагать двумя типами данных: плановыми и фактическими. Плановые данные – это утвержденный план работы завода, полученный из решения задачи текущего планирования. Выполнение этого плана является главным критерием задачи календарного планирования, а в случае невозможности реализации этого плана нужно минимизировать отклонения от него.

Завод не может работать равномерно, выполняя каждый день усредненную часть плана, так как:

- меняется качество поступающего сырья;
- отгрузка товарной продукции осуществляется партиями;

- присутствуют плановые ремонты установок;
- возникают нештатные ситуации (аварии, отсутствие необходимых компонентов для приготовления продукции);
- установки не могут работать в разных технологических режимах одновременно.

Поскольку перед началом выполнения плана невозможно предсказать точно, когда и какие именно возникнут ситуации, вызывающие неравномерную работу завода, задачу календарного планирования будем решать несколько раз с учетом отработанного факта, то есть сначала составим график работы завода на первую неделю. Получив фактические данные по результатам работы завода за неделю, составляем план на следующую неделю. Фактическая информация должна обновляться ежедневно и включать данные: о количестве и свойствах запасов; о допустимых режимах работы установок; фактические материальные балансы установок.

Для решения задачи текущего планирования используется система моделирования нефтехимии и нефтепереработки класса RPMS. Подобные системы внедрены на многих заводах в мире, в том числе в России. При составлении производственного плана с помощью таких систем задача текущего планирования решается как задача линейного программирования (ЛП) [2]:

$$F = \sum_{i=1}^N c_i x_i - \sum_{i=1}^N d_i x_i \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$AX \leq B$$

$X^T = [x_1, \dots, x_N]$ – переменные задачи, которые могут включать помимо величин потоков и другие переменные модели: нагрузки установок, затраты энергоносителей и т.д., которые линейно зависят от величин потоков.

Время работы установок

Название установки	Начало работы	Окончание работы
УСБ	02.02.2010 06:00	02.02.2010 09:00
УСБ	02.02.2010 18:00	02.02.2010 21:00

Количество продукции, выходящей с установки

Название установки	Установка, куда направляется поток	Начало работы	Окончание работы	Количество, т
УСБ	Product Storage №2	02.02.2010 06:00	02.02.2010 09:00	686
УСБ	Product Storage №1	02.02.2010 18:00	02.02.2010 21:00	1200

Количество компонентов, поступающих на установку

Установка, из которой поступает поток	Название установки	Начало работы	Окончание работы	Количество, т
Резервуар для риформата №1	УСБ	02.02.2010 06:00	02.02.2010 09:00	631,63
Резервуар для риформата №1	УСБ	02.02.2010 18:00	02.02.2010 21:00	1104,87
Резервуар для фр. 85 №1	УСБ	02.02.2010 06:00	02.02.2010 09:00	54,38
Резервуар для фр. 85 №1	УСБ	02.02.2010 18:00	02.02.2010 21:00	95,12

Рис. 2

В формуле (1) c_i – цены единицы готовой продукции x_i ; d_i – затраты на производство единицы продукта x_i ; $A\{a_{ir}\}$ – матрица коэффициентов ограничений, отражающих технологические и экономические аспекты задачи (ресурсы сырья, мощности установок, материальные балансы, рецептура смесений, спецификации готовых продуктов и т.д.); $B^T = [b_1, \dots, b_N]$ – правые части ограничений.

Задача текущего планирования является нелинейной, поскольку качественные характеристики потоков изменяются в зависимости от условий, и A представляет собой матрицу с переменными коэффициентами. Поэтому сначала принимают оценку матрицы A и решают задачу ЛП. После решения проверяют, подтвердились ли оценки. Если да, то решение найдено, иначе оценка уточняется и решение повторяется. Такая процедура называется последовательным ЛП (ПЛП).

Для решения задачи календарного планирования в системе RPMS необходимо использовать плановые данные, полученные при решении задачи (1), устанавливая их как глобальные ограничения на весь горизонт планирования, и использовать фактические данные о работе завода, фиксируя их за прошедший период времени.

Задача календарного планирования решается с помощью LP-моделей как задача многопериодного планирования [3]:

$$F = \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^N c'_j x'_j - \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^N d'_j x'_j, F \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^T a'_{ir} x'_i = b'_r, t = 1, \dots, T, \quad (3)$$

$$q_i \leq \sum_{i=1}^T x'_i \leq \bar{q}_i, i \in I^0, \quad (4)$$

$$y_i^{t+1} = y_i^t + \sum_{i \in I^+} x'_i - \sum_{i \in I^-} x'_i, 0 \leq y_i^t \leq S_i^t, t = 1, \dots, T-1. \quad (5)$$

Здесь F – прибыль, x'_i – переменные задачи, продукты в период t ; y_i^t – запасы продукта к концу периода t ; I^+ – множество потоков продукта, пополняющих запас; I^- – множество потоков продукта, расходующих запас; a'_{ir} – коэффициенты матрицы $A\{a'_{ir}\}$, отражающей технологические, экономические аспекты задачи, а также логические правила работы завода; c'_j – цены, b'_r , q_i , \bar{q}_i , S_i^t – правые части ограничений; I^0 – множество общих ограничений на весь горизонт планирования T . Переменные x'_i помимо величин потоков могут включать и другие переменные модели: нагрузки установок, затраты энергоносителей и др., линейно зависящие от величин потоков. Длительность τ_t периодов t может меняться, весь горизонт планирования фиксирован

$$T = \sum_{t=1}^T \tau_t.$$

Для сбора фактических данных на заводе должно быть внедрено ПО, позволяющее ежедневно собирать данные с датчиков на заводе и хранить их в БД. Однако не все измерения приборов на заводе точны и не все необходимые данные можно измерить. Поэтому данные, полученные от датчиков и сохраненные в БД, необходимо сбалансировать, то есть найти неверно измеренные значения показания датчиков, исправить их и вычислить недостающие исходные данные. Для сбора данных с датчиков и хранения их в БД в России на

УСБ	Название операции	02.мар																								03.мар																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Фракция 85	Резервуар для фр. 85 №1	[График]																								[График]																							
	Резервуар для фр. 85 №2	[График]																								[График]																							
Риформат	Резервуар для риформата №1	[График]																								[График]																							
	Резервуар для риформата №2	[График]																								[График]																							
Бензин	Резервуар для бензина №1	[График]																								[График]																							
	Резервуар для бензина №2	[График]																								[График]																							

Рис. 3

ряде заводов внедрена система Uniformance, а для балансировки данных используется система Production Balance от компании Honeywell.

Заключение

Рассмотрим пример расписаний, составленных с помощью системы Production Scheduler, для демонстрационной модели НПЗ на два дня с разбиением по часам. Расписание будет составлено в период с 02.02.2010 г. по 04.02.2010 г. На рис. 1 изображена схема завода в Production Scheduler (интерфейс системы русифицирован):

- ромбами изображены установки (Perimeter), через которые сырье поступает на завод, либо установки, через которые отгружается готовая продукция;
- треугольниками изображены резервуары;
- прямоугольниками изображены установки переработки нефти.

После решения задачи текущего планирования с помощью системы RPMS имеем месячный план на февраль, из которого известно, сколько сырья необходимо переработать и сколько нефтепродуктов произвести. Далее, в результате решения задачи календарного планирования в системе RPMS получаем детальный месячный план по суткам, в том числе и на период с 02.02.2010 по 04.02.2010, включая данные по: сырью (поступающее количество на переработку и перерабатываемое), нефтепродуктам (производимое и отгружаемое), запасам (начальные и конечные), материальным балансам (коэффициенты выхода по каждому потоку).

Далее формируем информацию для внесения в систему Production Scheduler для составления расписаний, включающую результаты решения задачи кален-

дарного планирования и сбалансированные фактические данные:

- данные о резервуарах (минимальная/максимальная емкость, запас в тоннах);
- данные об установках (выполняемые операции, начало/окончание работы, минимальная/максимальная выработка в тоннах);
- данные об установках переработки нефти (материальные балансы).

На основании этих данных получаем детальные расписания работы всех установок завода с учетом качественных характеристик потоков, так как они были учтены при решении задачи календарного планирования. Расчет осуществляется за 19 с. Система Production Scheduler позволяет посмотреть полученное решение в форме электронных таблиц (рис. 2) и в форме диаграммы Ганта (рис. 3), на которой ржыми линиями изображено время работы установки; светлоржыми линиями изображено время поступления компонентов смешения; серыми линиями изображено время выхода продукции с установки.

Таким образом, решение задачи календарного планирования предоставляет необходимые данные для выработки расписаний.

Список литературы

1. Kelly J.D. Logistics: the missing link in blend scheduling optimization // Hydrocarbon Processing. 2006. №6.
2. Дудников Е.Е., Цодиков Ю.М. Типовые задачи оперативного управления непрерывным производством. М.: Энергия, 1979.
3. Цодиков Ю.М. Оптимальное календарное планирование для непрерывного производства с ограничениями на структуру графика // Автоматика и телемеханика. №1. 2008.

Любимов Юрий Борисович – канд. техн. наук, главный инженер, Баулин Евгений Сергеевич – инженер ЗАО "Хоневелл".

Контактный телефон (926) 532-03-98. E-mail: Evgeny.Baulin@honeywell.com

ЭФФЕКТИВНАЯ MES В СТРУКТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ КИРИШСКОГО НПЗ

О.А. Безручко (ООО "КИНЕФ"), Н.А. Куцевич (ЗАО "РТСофт")

На Киришском нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ) введена в опытно-промышленную эксплуатацию система производственного учета. Показаны этапы создания системы управления, ее основные функциональные возможности. Особое внимание уделено архитектуре системы сбора и хранения технологических данных – основе для построения MES и функционирования аналитических приложений¹.

Ключевые слова: MES, система производственного учета, сбор и хранение данных, единая тематическая витрина данных.

Международная ассоциация MESA определяет MES как системы, состоящие из набора программных и аппаратных средств, обеспечивающих функции управления производственной деятельностью от заказа на изготовление партии продукции и до завершения производства. Учитывая непрерывность процесса нефтепереработки и современные российские экономические условия, это определение можно конкретизировать: система класса MES состоит из набора про-

граммных и аппаратных средств, обеспечивающих функции управления производственной деятельностью от получения задания на выработку партии продукции и до отгрузки партии потребителю.

Для создания эффективной MES необходимо наличие большой исторической БД и возможность наблюдения за процессом в РВ. Другими словами, важна прозрачность производства, так как контроль над производством продукции должен осуществляться постоян-

¹ Статья подготовлена по материалам доклада Безручко О.А. "Особенности создания MES для нефтепереработки на примере "ПО Киришинефтеоргсинтез", прозвучавшего на I международной научно-практической конференции "Эффективные технологии управления производством". Москва. 2009 г.