

**ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ В КОМПЛЕКСЕ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА НПЗ**

Р.А. Шайдуллин (ИПУ РАН),

А.С. Хохлов (ЗАО «Хоневелл»), М.В. Проказина (МФТИ)

*Предлагается подход к решению задачи календарного планирования нефтеперерабатывающего производства, основанный на имитационном моделировании. Анализируется место имитационного моделирования в комплексе систем календарного планирования.*

*Ключевые слова: нефтеперерабатывающий завод, календарное планирование, имитационное моделирование, MES, APS.*

**Введение**

Нефтеперерабатывающий завод (НПЗ) включает большое число технологических объектов, обеспечивающих последовательную переработку сырья с целью получения требуемого количества и качества товарных нефтепродуктов, потребляемых рынком.

Технологические объекты, реализующие различные процессы переработки, связаны материальными потоками, характеризующимися количеством и показателями качества, что и определяет сложность НПЗ как объекта автоматизации при решении взаимосвязанных задач класса планирования (APS) и оперативного управления (MES), в том числе – задачи календарного планирования, то есть составления расписания производства.

Актуальным в связи с развитием информационных технологий планирования APS/MES представляется переход к решению задач календарного планирования производства НПЗ с использованием имитационного подхода. В качестве ПО в таком подходе может быть использовано средство имитационного моделирования Capacity & Distribution Planner (CDP) разработки корпорации Honeywell. Система CDP не только облегчает составление расписаний и позволяет проводить анализ различных вариантов планов, но и выступает в качестве платформы комплекса календарного планирования, обеспечивающей хранение плановой информации, план-факт анализ и использование внешних систем для выработки оптимальных расписаний.

**Задача календарного планирования**

Под задачей календарного планирования (КП) производства понимается нахождение последовательности технологических операций, когда работа установок и резервуаров увязана с поставкой и переработкой определенного типа сырья и отгрузкой необходимого вида готовой продукции и, соответственно, требуемыми перекачками материальных потоков [1]. При переходе к часовым интервалам (2...4 ч) задача календарного планирования трактуется как составление расписания.

Исходной информацией для задачи является план производства на период (месяц, неделя, декада), полученный при решении задачи текущего планирования, а также данные о фактических запасах в резервуарах и режимах работы установок на момент составления календарного плана.

Основной целью КП является реализация утвержденного плана, сглаживание ритма технологических операций и при необходимости прогноз поставок сырья и/или потребности в товарной продукции на рынке. Их взаимосвязанный учет определяет экономический эффект внедрения систем календарного планирования и составления расписания.

В зависимости от особенностей производства и размерности математической модели задача КП может быть поставлена для всего нефтеперерабатывающего завода или его части, например, для одного цеха или группы цехов, вырабатывающих определенную продукцию. Когда календарный план составляется для различных цехов в отдельности, необходимо учитывать взаимодействие планов этих подразделений. Часто в таком случае задачу решают последовательно: составляется расписание работы первого цеха, и оно является входными данными для задачи второго цеха и т.д. Когда необходимо составлять расписание производства для всего завода целиком, вводят промежуточный слой между уровнем текущего планирования и уровнем составления расписания [2].

**Подходы к решению задачи КП**

Для решения задачи КП применяют следующие подходы [3]: математическое программирование, методы имитационного моделирования, эвристические методы.

Оптимизационные методы широко используются как для текущего планирования, так и для построения расписаний работы НПЗ. При этом целью задачи является оптимальное распределение сырья по резервуарам и установкам, выбор оптимальных режимов работы всех установок, оптимальное смешение промежуточных нефтепродуктов и выпуск оптимального ассортимента товарных продуктов. Поиск оптимального расписания работы НПЗ представляет собой задачу математического программирования большой размерности, как правило, нелинейную и целочисленную.

Применение на практике методов оптимизации календарного плана не всегда возможно. Оптимизационные модели в реальных задачах КП могут не дать решение за приемлемое время, часто очень сложны по структуре, чувствительны к настройкам модели и требуют высокого уровня подготовки пользователя системы. Прибегая же к агрегированию или деком-

позиции задачи, можно упустить важные технологические аспекты, которые влияют на поиск оптимального решения. Таким образом, задача оптимального календарного планирования и построения расписания для сложной изменяющейся во времени системы является трудновыполнимой задачей для реального внедрения на производстве.

Применение методов имитационного моделирования дает возможность найти допустимое решение задач такой размерности и сложности, при которой оптимизационные модели, основанные на методах математического программирования, не могут быть применены [4].

Имитационное моделирование включает построение модели рассматриваемого производства, определение ее параметров и дальнейшее «проигрывание» этой модели во времени с целью нахождения значения совокупности переменных, отражающих функционирование производства. Имитационная модель должна описывать протекающие в основных аппаратах ТП с учетом требуемых ограничений и существенных взаимосвязей между компонентами производства. По мере детализации описания, рассчитать КП в ручном режиме становится невозможно, и требуется автоматизированный подход, позволяющий в отведенное время найти решение, отвечающее возникшей на производстве ситуации.

Отметим, что наряду с оптимизационным и имитационным методами существует ряд эвристических подходов к решению задачи КП [5]. К ним можно отнести, в частности, методы решающих правил и методы эволюционного моделирования.

#### Регламент планирования на НПЗ

В настоящее время на многих НПЗ текущее планирование производства осуществляется на период, равный 1 месяцу. Первый вариант плана на следующий месяц начинают просчитывать еще в середине текущего месяца. При этом в качестве исходных данных, которые должны определять состояние завода на начало горизонта планирования, используют прогнозные данные плана текущего месяца. На момент начала нового месяца план пересматривают, наполняя фактическими данными, и в случае сильного расхождения утверждают новую версию. В процессе работы в течение месяца план может быть пересмотрен несколько раз.

Некоторые НПЗ стали использовать многопериодное текущее планирование, что увеличивает эффективность этого типа планирования. План на месяц составляется условно с разбивкой при необходимости на 3...4 интервала для учета графика ремонтов установок или вариации спроса на товарную продукцию. Это может существенно упростить реализацию и внедрение систем календарного планирования [6].

В настоящее время из-за отсутствия автоматизированных систем КП составление расписания производства на НПЗ проходит в ручном режиме

с помощью электронных таблиц и зачастую без согласования между различными подразделениями завода. При этом наличие, например, подекадного производственного плана существенно упрощает составление календарного плана.

#### Имитационный подход к решению задачи КП

С учетом объема и сложности моделируемого производства построение имитационной модели включает:

- разделение производства на составные части – компоненты, которым соответствуют свои подмодели,
- описание каждого компонента в виде подмодели, то есть совокупности переменных, параметров и функциональных зависимостей моделируемых переменных от параметров или других переменных,
- описание взаимодействия подмоделей между собой.

В общем виде имитационную модель можно описать следующим уравнением:

$$U = f(x, p), \quad (1)$$

где  $U$  – состояние моделируемой системы,  $f$  – функциональные зависимости,  $x$  – переменные модели,  $p$  – параметры модели.

Переменные модели представляют собой те величины, при изменении которых система изменяет свое состояние. Параметры, в отличие от переменных, нельзя выбирать произвольно. Параметрами подмодели могут являться фиксированные значения или вычисляемые данные, которые являлись переменными другой подмодели. Функциональной зависимостью переменных и параметров определяются подмодели, а имитационная модель производства определяется совокупностью взаимодействующих подмоделей.

Для задачи календарного планирования, в которой переменные и параметры модели зависят от времени, уравнение (1) выглядит следующим образом:

$$U[t] = f(x[t], p[t]). \quad (2)$$

Переменными такой имитационной модели могут быть ежедневно принимаемые решения, например, «приготовить 3 октября 2012 г. 100 тонн моторного масла SAE 10W40 в резервуаре № 301». В терминах модели это будет означать, что переменные резервуара «№ 301», отвечающие за приготовление продукта SAE 10W40, должны принять соответствующие значения: момент времени – «3 октября 2012 г.», операция – «приготовление», объем – 100 т.

При изменении этих значений произойдет пересчет всех переменных модели, функционально зависящих от них. То есть переменные, отвечающие за запасы компонентов и присадок, необходимых для смешения SAE 10W40, уменьшатся «3 октября 2012 г.» в соответствии с рецептурой приготовления, которая в свою очередь представляет собой набор параметров модели. При этом указанные параметры также могут быть пере-

считаны, например, с учетом изменения температуры окружающей среды или свойств поступивших присадок.

С помощью параметров моделируются ограничения задачи календарного планирования. Примером может быть ограничение емкости резервуара. Если значение переменной, определяющей запас материала в резервуаре, в определенный момент времени будет больше, чем значение параметра, определяющего емкость резервуара, то состояние системы является недопустимым. Параметром может быть заявка на отгрузку готовой продукции. В этом случае, если набор переменных таков, что отгружается продукции меньше или больше, чем необходимо, то набор переменных подлежит пересмотру.

Искомым состоянием системы при имитационном подходе к КП является такой набор значений переменных, который в каждый момент времени не нарушает заданные ограничения модели.

#### Система имитационного моделирования CDP

ПО Capacity & Distribution Planner (CDP) является средством построения календарного плана производственных операций, начиная от поставки сырья, производства промежуточных и готовых продуктов и заканчивая их отгрузкой. Система имеет реляционную БД, что обеспечивает хранение плановой информации и единственность утвержденного плана. Система CDP позволяет использовать ранее утвержденные планы, накопленные в БД, для формирования новых календарных планов. ПО удачно встраивается в регламент планирования НПЗ, а ее отличительной особенностью является автоматическая загрузка фактических данных и пересчет плана, что позволяет вовремя реагировать на изменения работы НПЗ и прогнозировать нестандартные ситуации, такие как переполнение резервуара или отклонения от утвержденного графика поставок готовой продукции. Данные в системе представляются в табличной форме, в виде графиков, трендов и диаграмм Ганта.

Date	Cond P50 Dry std bbl	Σ	Cond P50 Tot std bbl	Σ	Cond P10 Dry std bbl	Σ	Cond P10 Tot std bbl	Σ	Cond Offtake ID	But P50 Dry std m3
01/01/2008	0	0	0	0	0	0	0	0		0
02/01/2008	53,293	53,293	53,293	53,293	86,763	86,763	86,763	86,763		4,088
03/01/2008	45,380	98,673	127,572	127,572	47,271	133,004	133,004	1,000	C0001	2,749
04/01/2008	29,245	127,918	29,445	156,963	30,568	36,029	127,572		C0001	1,172
05/01/2008	38,224	166,142	67,669	223,811	39,817	75,846	0			1,371
06/01/2008	25,152	191,294	102,821	324,115	36,617	112,463	0			1,236
07/01/2008	106,337	297,631	209,158	533,789	110,768	223,230	0			4,395
08/01/2008	30,055	327,686	239,213	773,002	31,307	254,538	0			1,516
09/01/2008	87,210	414,896	326,423	1,099,425	91,800	346,338	0			3,670
10/01/2008	87,210	502,106	236,633	1,336,058	91,800	263,138	175,000	C0002		3,670
11/01/2008	87,210	589,316	150,843	1,486,901	91,800	179,938	175,000	C0002		3,670
12/01/2008	87,210	676,526	63,083	1,549,984	91,800	96,738	175,000	C0002		3,670
13/01/2008	87,210	763,736	-24,737	1,525,247	91,800	13,538	175,000	C0002		3,670
14/01/2008	87,210	850,946	62,473	1,587,720	91,800	105,338	0			3,670
15/01/2008	87,210	938,156	149,683	1,737,403	91,800	197,138	0			3,670
16/01/2008	87,210	1,025,366	236,893	1,974,296	91,800	288,938	0			3,670
17/01/2008	87,210	1,112,576	324,103	2,298,400	91,800	380,738	0			3,670
18/01/2008	87,210	1,200,786	411,313	2,709,713	91,800	472,538	0			3,670

Рис. 1. Интерфейс пользователя системы CDP

В основе системы CDP – имитационная модель с дискретным временем (дни или часы). Модель отображается в табличном виде: столбцы представляют собой переменные модели, а строки – время. На пересечении столбца и строки (рис. 1) – значение переменной в соответствующий момент времени. Функциональные зависимости между переменными модели определяются формулами, имеющими как вычислительный, так и логический характер. Состояние системы может зависеть от переменных нелинейным образом как непрерывно, так и дискретно, что определяет исключительную сложность решения задачи КП оптимизационными алгоритмами.

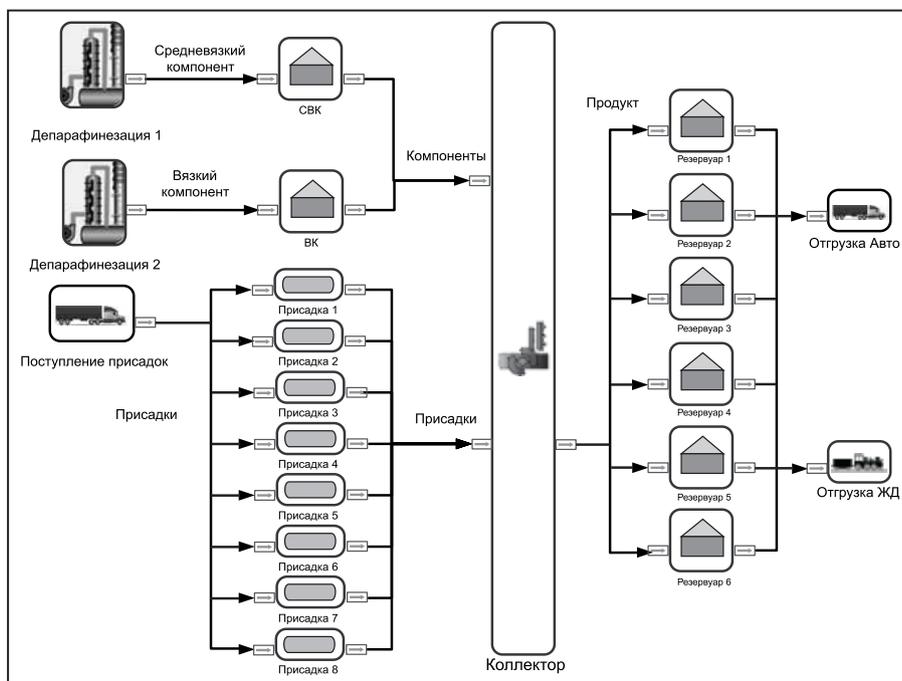


Рис. 2. Схема участка смешения масел

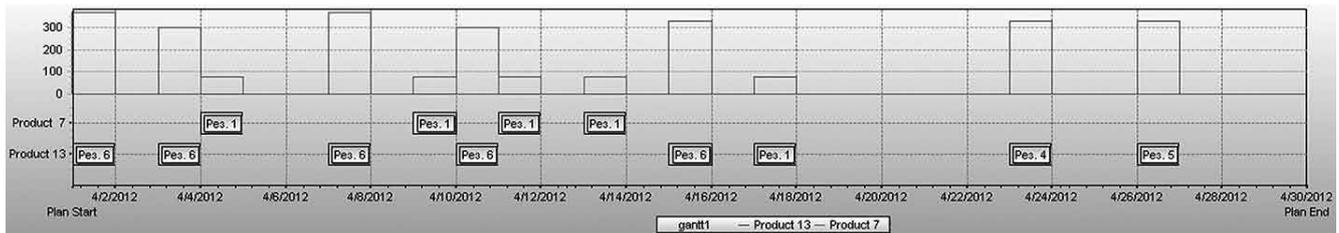


Рис. 3. Диаграмма Ганта и объемы приготовления масел 7 и 13

### Варианты моделирования

Система CDP позволяет строить модели производства не только отдельных цехов НПЗ, но и завода в целом: размерность вычислений, в отличие от систем оптимизационного календарного планирования, с ростом задачи увеличивается линейным образом. Также нет особых препятствий для составления календарного плана, например, на год с периодом планирования в 1 день или даже 1 час. При создании имитационной модели производства для задачи КП в первую очередь принимается во внимание доступность плановой информации из систем текущего планирования и фактической информации из систем сбора фактических данных о работе производства (элемент MES), а также структура предприятия и сложившаяся в организации практика планирования.

### Пример реализации имитационного моделирования

Рассмотрим применение имитационного моделирования в системе CDP для решения задачи календарного планирования смешения масел НПЗ. На рис. 2 представлена схема участка по смешению масел.

На участок смешения компоненты масел непрерывно поступают с установок депарафинизации. Закачка присадок в резервуары происходит из автоцистерн. Для хранения каждой присадки используется свой собственный резервуар. Известны ограничения по хранению, запасы материалов на начальный момент времени и график поступления компонент и присадок. В цехе находится один коллектор, который обеспечивает дозирование компонент и присадок в соответствии с рецептом смешения, которое происходит в товарных резервуарах. Из любого входа коллектора поток можно направить в любой выход. Общее время приготовления масла принимается за 1 день. Всего в цехе смешения производится около 15 видов масел за месяц. Известна их рецептура и график отгрузки продукции.

Задача КП — составить расписание смешения масел в соответствии с имеющимся планом затаривания продукции на месяц и ограничениями на время приготовления масла и вместимости всех резервуаров, причем известным считаются: график поступления присадок и скорость поступления компонент; начальный запас компонент и присадок в резервуарах; минимальный и максимальный уровни резервуаров; рецептура масел; план отгрузки масел на месяц.

Чтобы найти решение, необходимо определить объемы произведенных в каждый день масел и резервуары, в которых будет производиться их смешение. Решение будет допустимым, если содержимое в резервуарах находится между минимальным и максимальным уровнями и выполнен план отгрузки продукции.

### Модель CDP

Приведем описание имитационной модели системы CDP на примере цеха по смешению смазочных масел. Модель состоит из компонентов, отражающих работу реальных установок. Например, моделью резервуара будет набор параметров, связанных формулой:

$$SVK\_INV\_T = SVK\_INV\_T(-1) + SVK\_IN\_T - SVK\_OUT\_T, \quad (3)$$

где  $SVK\_INV\_T$  — переменная, обозначающая запас (атрибут INV) в резервуаре СВК (атрибут SVK), выраженный в тоннах (атрибут T),  $SVK\_IN\_T$  и  $SVK\_OUT\_T$  — переменные, отвечающие за поступление (атрибут IN) и слив (атрибут OUT) материала из резервуара СВК. А  $SVK\_INV\_T(-1)$  — это значение переменной  $SVK\_INV\_T$  в предыдущий период: час назад или день назад.

CDP позволяет строить сложные имитационные модели, используя логические функции, например, такие:

$$PR1\_IN\_T = IF(PRD1\_TNK = "Pез1", PRD1\_DAY\_T, IF(PRD2\_TNK = "Pез2", PRD2\_DAY\_T, \dots)). \quad (4)$$

Здесь поступление продукта в резервуар 1 (переменная  $PR1\_IN\_T$ ) вычисляется следующим образом: если переменная, отвечающая за выбор резервуара для смешения «Продукта 1» (атрибут  $PRD1\_TNK$ ), указывает на резервуар 1, то в этот резервуар поступает количество материала, заданное для смешения данного продукта (переменная  $PRD1\_DAY\_T$ ) в данный день. Это количество, как и любая переменная или параметр, может задаваться вручную оператором системы, вычисляться по формуле или может получаться из другой системы (сбор фактических данных, макрос, оптимизатор).

Функции времени используются в логических формулах для инициализаций событий, происходящих с определенной периодичностью. Например, каждый вторник резервуар может не работать из-за регламентных работ:

Таблица. График приготовления масел

Дата	Продукт 1	Продукт 2	Продукт 3	Продукт 4	Продукт 5	Продукт 6	Продукт 7	Продукт 8	Продукт 9	Продукт 10	Продукт 11	Продукт 12	Продукт 13	Продукт 14	Продукт 15
01.04.2012	Резервуар 2 80 т												Резервуар 6 370 т		
02.04.2012		Резервуар 4 300 т													
03.04.2012													Резервуар 6 300 т		
04.04.2012							Резервуар 1 80 т								
05.04.2012	Резервуар 2 80 т														
06.04.2012					Резервуар 3 330 т										
07.04.2012													Резервуар 6 370 т		
08.04.2012												Резервуар 5 300 т			
09.04.2012							Резервуар 1 80 т								

$$PP1\_INV\_MAX\_T = IF(\text{DayOfWeek}(DAYDATE)) = 2, PP1\_INV\_MIN\_VAL\_T, PP1\_INV\_MAX\_VAL\_T, (5)$$

где  $PP1\_INV\_MAX\_T$  – текущее ограничение уровня запаса резервуара 1 сверху,  $DAYDATE$  – переменная текущей даты и времени,  $\text{DayOfWeek}$  функция, которая возвращает день недели,  $PP1\_INV\_MIN\_VAL\_T$  а и  $PP1\_INV\_MAX\_VAL\_T$  – минимальный и максимальный объем резервуара 1 соответственно.

Неотъемлемой составляющей имитационной модели в системе CDP являются объектно-ориентированные компоненты-классы. Как классы в парадигме объектно-ориентированного программирования, эти компоненты обладают внутренними переменными, обеспечивающими хранение данных, и методами, исполняемыми алгоритмами обработки данных, а конкретные установки или другие сущности являют-

ся экземплярами классов. Достаточно создать класс «Резервуар», и все физические резервуары в модели будут экземплярами этого класса со всеми параметрами и процедурами, описанными в классе.

Так создаются все подмодели (резервуары, установки, пункты поступления и отгрузки материалов и пр.). Функциональные зависимости имитационной модели связывают подмодели между собой, определяя материальные и информационные потоки. Переменные вводятся вручную, вычисляются по формулам или являются результатом вычисления внешних систем. Из всех переменных модели можно выделить управляющие переменные, которые отражают принимаемые решения. Такой, например, является переменная, отвечающая за выбор резервуара для смешения «Продукта 1» (атрибут  $PRD1\_TNK$ ) в формуле (4).

Изменяя управляющие переменные, оператор системы CDP находит решение задачи календарного планирования. Выбор того или иного набора управляющих переменных может осуществляться оператором на основе его опыта планирования или опыта, накопленного системой CDP (ранее утвержденный план может быть скопирован из истории). Также управляющие переменные могут быть предложены внешним решателем – вычислительным алгоритмом или оптимизатором, после чего оператор может подкорректировать календарный план средствами имитационного моделирования: создать несколько вариантов плана, проанализировать их и выбрать наилучший. На диаграмме Ганта (рис. 3) и в отчете (таблица) представлено решение задачи на месяц.

**Применение системы CDP**

Преимущество системы календарного планирования CDP заключается в автоматическом учете фактических данных во время

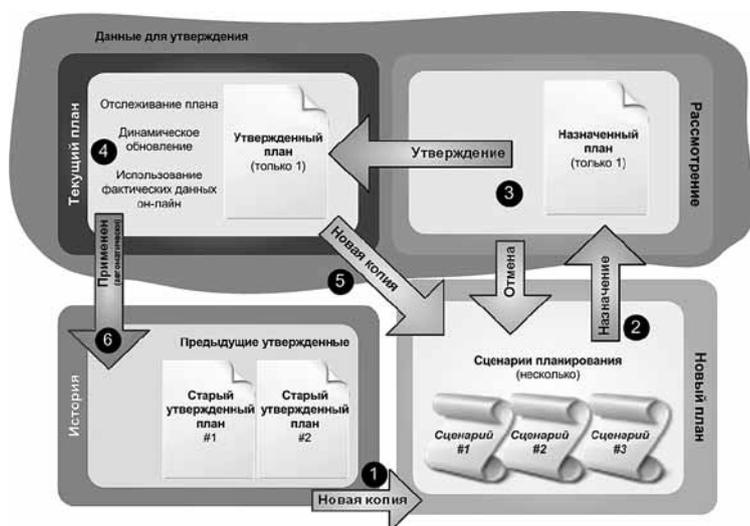


Рис.4. Регламент работы с планом в системе CDP

выполнения календарного плана. Это значит, что система отвечает на вопрос, как будут развиваться события, если действовать по текущему плану с учетом данных прошедших дней или часов. В случае расхождения плановых данных с фактическими имитационная модель укажет, какие ограничения будут нарушены и в какой момент (выделено на рис. 1). При этом оператором создается новая версия календарного плана, в основе которой лежит предыдущая версия. Оператор, на основе своего опыта, разрешает возникшие неувязки плана и утверждает новый план, в который начинают поступать фактические данные. Регламент планирования, поддерживаемый системой CDP, представлен на рис. 4.

Система CDP и предлагаемый имитационный подход к решению задачи КП удовлетворяют трем основным взаимосвязанным критериям успешного внедрения систем планирования [7].

- *Степень детализации должна быть достаточной, чтобы модель наиболее полно отражала поведение объекта автоматизации.* Имитационная модель CDP позволяет выбирать уровень детализации, обеспечивающий необходимое качество решения задачи КП.

- *Степень автоматизации процедуры актуализации модели и достоверности исходных данных должна позволить за приемлемое время собрать надежные исходные данные для расчета.* CDP автоматически подгружает данные и на их основе пересчитывает план.

- *Специалисты, работающие с системой, должны быть готовы интерпретировать результаты расчета плана и отклонения его от факта, учитывая степень детализации и способ актуализации модели.* При пересчете плана на основе новых фактических данных CDP указывает расхождения плана от факта и имитирует последствия, к которым может привести работа завода по текущему утвержденному плану. Специалист, работающий с системой CDP, может «проиграть» несколько сценариев и, проанализировав их, принять необходимые меры по устранению нестандартных ситуаций, если такие имеют место.

Система CDP применяется для решения задачи КП производства и транспортировки сжиженного газа на нескольких площадках по всему миру, самой крупной из которых является RasGas (г. Катар). Так, для обеспечения планирования производства и поставок газа около 20 имитационных моделей CDP работают, обмениваясь данными, создавая и ежедневно обновляя календарные планы на год вперед.

#### Комплекс календарного планирования

Обозначим место имитационных моделей в составе комплекса календарного планирования производства (рис. 5).

Для составления календарного плана необходимы плановые данные из системы текущего планирования, а именно: план на месяц. При использовании внешнего оптимизатора для решения части задачи календарного планирования необходим уточненный

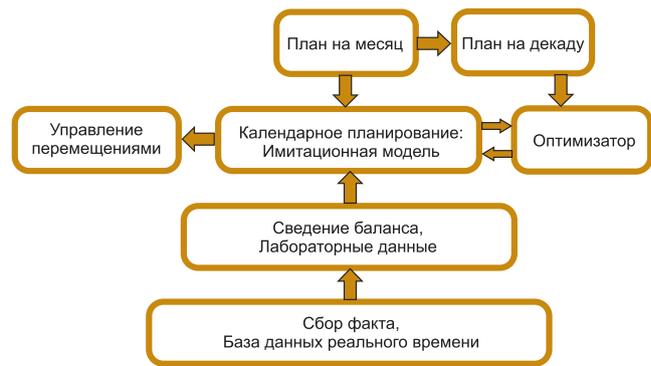


Рис. 5. Имитационные модели в комплексе календарного планирования

план на декаду или неделю. Он также может быть получен из системы текущего планирования.

С другой стороны, при обновлении календарного плана имитационная модель получает фактические данные из систем уровня MES (сведение баланса и ведение лабораторных данных). Эти системы являются основой сбора фактических данных о работе предприятия типа НПЗ и их хранения в БД РВ предприятия.

Результат работы модели – календарный план работы НПЗ – поступает в систему управления перемещениями, которая является ключевой для реализации КП, обеспечивая необходимый контроль и мониторинг процессов, требующих перекачек потоков между резервуарами и установками НПЗ.

#### Заключение

Использование имитационного моделирования и, в частности, системы CDP для задач календарного планирования производства продукции НПЗ имеет ряд преимуществ. Имитационный подход позволяет решать задачи большей размерности, нежели оптимизационные средства календарного планирования. Так, оптимизационная модель КП на месяц по дням или часам не решается за приемлемое время. Имитационная модель позволяет производить расчет КП, например, на месяц по дням или по часам, и проводить для него анализ «что – если».

Следует отметить, что система CDP позволяет создавать новый вариант плана на основе предыдущего, в то время как в оптимизационных средствах каждый раз решается новая задача, а чтобы учесть ранее построенный план, необходимо вводить дополнительные ограничения. Хранение всех построенных календарных планов в БД позволяет накопить опыт планирования и применять его в работе. А автоматический пересчет текущего плана с учетом фактических данных обеспечивает своевременный прогноз отклонений от плана, что позволяет, по возможности, избегать нестандартных ситуаций.

Использовать на практике систему CDP предлагается в качестве основы комплекса календарного планирования: для хранения планов и плановых данных, ручной корректировки плана, а также для «план-

факт» анализа. Поиск решения задачи календарного планирования может осуществляться оператором на основе имеющегося у него опыта. Однако вместе с системой СDR может использоваться внешний оптимизационный решатель, позволяющий найти решение задачи КП для части производства, например, поставки сырья или смешения нефтепродуктов.

#### Список литературы

1. Дудников Е.Е., Цодиков Ю.М. Типовые задачи оперативного управления непрерывным производством М.: Энергия, 1979.
2. Баулин Е.С., Любимов Ю.Б. Взаимосвязь задач текущего планирования и составления расписаний НПЗ//Автоматизация в промышленности. 2010. № 6.
3. Левин В.И. Некоторые мысли о теории расписаний//Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2005. Т. 11. № 2 а (0,6 п. л.)
4. Ройтбург Ю.С. и др. Общие принципы автоматизированного формирования расписаний и управление запасами в машиностроительном производстве. Модели и методы логистики//Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2007. № 2.
5. Антамошкина Е.А., Шарыпова К.В. Эвристический алгоритм составления расписаний дискретных производств//Информатика и системы управления. 2010. № 1 (23).
6. Баулин Е.С., Боронин А.Б., Хохлов А.С. Скользящая детализация текущего плана деятельности НПЗ/НХК и актуализация оптимизационных моделей планирования//Автоматизация в промышленности. 2012. № 10.
7. Хохлов А.С., Коннов А.И., Зельдин А.Е. Системы оптимизационного планирования и опыт внедрения и эксплуатации их в ВИНК//Автоматизация в промышленности. № 9. 2009.

*Шайдуллин Ренат Анварович — аспирант ИПУ РАН, инженер, Хохлов Александр Сергеевич — д-р техн. наук, руководитель отдела систем планирования и оперативного управления производством ЗАО «Хоневелл», Проказина Мария Владимировна — студент МФТИ.  
Контактный телефон (495) 796-98-00.  
E-mail: Renat.Shaidullin@Honeywell.com*

## ПЛАНИРОВАНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ РАСПИСАНИЙ РАБОТ С УЧЕТОМ СБОРКИ УЗЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

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

*Рассматривается алгоритм построения планов и расписаний работ на уровне предприятий, в которых наряду с механообработкой комплектующих деталей производится также сборка различных узлов, используемых для изготовления готовой продукции, а также система, программно реализующая этот алгоритм.*

*Ключевые слова: планирование, теория расписаний, сборка узлов, алгоритм, производственная программа, агрегирование, решающие правила.*

#### Введение

В последние годы проблемы планирования и построения расписаний работ, а также проблемы разработки систем планирования вызывают повышенный интерес благодаря заметному увеличению эффективности производств с использованием таких систем. Однако большинство существующих методов и систем планирования и построения расписаний работ позволяют решать задачи только на уровне производственных участков и цехов [1–4]. При этом на основе разобренных производственных расписаниях для участков и цехов не всегда удается построить удовлетворительные планы и расписания работ на уровне предприятия [5–7].

Попытка же использовать для построения расписания на уровне производства методов, предназначенных для планирования работ в цехах и на производственных участках, вызывает значительные затруднения из-за большой размерности и сложности возникающих задач. Кроме того, процесс сборки комплектующих узлов, а также готовой продукции значительно усложняет построение расписаний, поскольку возникают проблемы, связанные с выбором порядка выполнения операций как при сборке узлов различных типов, так целого производимого изделия.

Причем выбор порядка выполняемых операций при сборке оказывает существенное влияние как на порядок обработки комплектующих деталей для этих сборок, так и на общее время выполнения производственных программ.

В связи с этим возникает необходимость создания новых методов, позволяющих строить согласованные планы работ для всех производственных подразделений предприятия, включая сборочные цеха и участки.

В данной работе рассматриваются идеи и принципы создания методов, позволяющих строить планы и расписания работ на уровне предприятий, в которых наряду с механообработкой комплектующих деталей может производиться также сборка различных узлов, используемых при изготовлении готовой продукции. Кроме того, описывается структура программной системы, реализующей рассматриваемые в работе методы.

#### Постановка задачи

Рассмотрим задачу построения расписания работ на машиностроительном предприятии, имеющем ряд механообрабатывающих и механосборочных цехов, а также сборочный цех, в котором производится сборка выпускаемой продукции, состоящей из изде-