

ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

А.И. Коннов (АО «Хоневелл»),

А.С. Хохлов, М.В. Городнова (ООО «Центр цифровых технологий»)

Для реализации календарного планирования непрерывного производства сформулирована задача объединения данных от различных плановых систем и систем фактического учета, которые используются для планирования на различных участках производства. Приведены описания структур данных, алгоритмы интеграции и согласования данных. Показано, что задачу согласования данных можно свести к задаче линейного программирования.

Ключевые слова: календарное планирование, непрерывное производство, НПЗ, граф потоков, интеграция систем планирования.

Введение

Одним из основных методов повышения эффективности производства является развитие MES (Manufacturing Execution System) и, как следствие, возможность перехода к внедрению комплексной системы планирования. В задачи такой системы входит подготовка текущего плана производства на месяц с учетом всего технологического цикла предприятия (от поставки сырья до отгрузки готовой продукции) и детализация полученного текущего плана до периода сутки/час в виде календарного плана. Именно этап детализации текущего плана в виде календарного плана/расписания, как показала практика, и составляет исключительную сложность при внедрении [1, 2].

Стандартным подходом к решению задачи календарного планирования является формирование математической модели производства, которая учитывала бы технологические ограничения производственной структуры в плановом периоде, начальные данные и ограничения из текущего плана. Способы решения этой задачи могут быть самыми разными — от полностью ручного подбора переменных математической модели до решения оптимизационных задач, где ищется максимум целевой функции на допустимой области, заданной ограничениями. Решением задачи планирования является допустимый календарный план/расписание, который в случае постановки оптимизационной задачи будет оптимальным. Далее будут рассмотрены основные подходы к построению комплексной системы планирования с описанием их сильных и слабых сторон и предлагаемый авторами способ, основанный на опыте внедрения комплекса планирования.

Подходы к построению комплексной системы планирования

Рассмотрим два основных подхода к построению комплексной системы планирования. Первый предполагает использование единой модели всей работы предприятия, которая строится в отдельном программном продукте [3]. Второй подход предполагает использование нескольких систем планирования, предназначенных для наилучшего моделирования отдельных участков производства. Приведем кратко результаты сравнения ручного и оптимизационного способов решения в каждом из этих случаев.

Проблемы единой модели

Формирование математической модели, описывающей непрерывное производство, например НПЗ, предполагает наличие регламента, позволяющего релятивизировать ее структуру с разной степенью детализации (агрегирования). Структура математической модели непрерывного производства описывается в виде потоковой схемы — ориентированного графа, каждый узел которого отождествляется с объектом производства, а ребра указывают на возможность перемещения определенного материала между узлами. Для актуализации модели, то есть отслеживания происходящих внешних и внутренних изменений, связанных с производством, необходима периодическая корректировка ее коэффициентов, а также и структуры. Частота актуализации модели определяется ее размерностью и допустимым регламентным временем корректировки.

Очевидно, что уменьшение интервала планирования до суток/часа потребует существенно повысить степень детализации модели. Необходимо будет учесть принципиальные логистические и технологические особенности производства, которые не учитывались при текущем планировании, например, скорости потоков, длительность проведения анализов для паспортизации резервуаров, ограничения емкости резервуаров. Соответственно, будет расти объем необходимых данных о состоянии производства и частота актуализации модели.

Переход к интервалу сутки/час существенно сокращает регламентное время на подготовку календарного плана/расписания. Подготовка включает автоматизированный сбор исходных данных средствами MES, формирование модели и ее актуализацию, решение задачи оптимизации, интерпретацию результатов и подготовку рекомендаций диспетчерам производства и товарно-сырьевого цеха. Ручной подбор параметров единой модели из-за указанных обстоятельств в промышленных системах практически не применяется.

В настоящее время стандартным способом решения задачи текущего планирования на непрерывных производствах является последовательное линейное программирование [4]. При этом проблема поиска решения и его интерпретации существенно обостряется, когда наряду с нелинейностью появляются и целочисленные переменные, например, для от-

слеживания последовательности событий в моделях подготовки календарного плана/расписания.

Выход ищут в декомпозиции единой модели на несколько более простых моделей, описывающих технологические переделы производства, и их независимое решение. Но в этом случае проблемы масштаба переходят в требования информационной поддержки нескольких моделей и их взаимодействия, что и будет рассмотрено ниже.

Проблемы использования нескольких подмоделей

Оптимальное планирование производства, представленное совокупностью оптимизационных моделей, учитывающих технологические особенности своего передела, предполагает для своей актуализации обеспечение следующих условий:

- *взаимосвязь моделей.* Достигается путем обмена данными между системами, например, через информационную шину данных, в которой хранятся данные всех плановых систем. Преимущество использования информационной шины данных заключается в том, что число связей между системами растет линейно пропорционально количеству систем, а не квадратично, как в случае прямого обмена;

- *согласование данных.* Трудности возникают из-за несоответствия описания технологий моделями в различных системах, чаще в силу применения своих языков моделирования. На практике задача взаимосвязи достаточно сложна, и наличие общих справочников ее не снимает. Даже в том случае, если подготовленные плановые данные загружаются в учетную систему класса ERP (Enterprise Resource Planning), например, 1C/SAP, не всегда имеются универсальные способы сопоставления данных, полученные из разных систем.

При этом могут использоваться и ручной, и оптимизационный способы решения. Ручной способ с поддержкой в виде электронных таблиц применяется, как правило, в тех случаях, когда решение оптимизационной задачи затруднено из-за наличия большого числа целочисленных переменных. Это управление режимами, резервуарными парками, где требуется управление переключениями. Такой подход используется в системах Flowers (Princeps) (www.princeps.com), CDP (Honeywell) (www.honeywell.com).

Перечисленные обстоятельства в основном и определили реальную ситуацию на производствах. Оптимизационные модели производства создаются средствами специализированных систем, как правило, включают собственный язык моделирования и используются на месячном горизонте и далее (квартал, год и т.п.). Подобный подход к планированию производства по суткам/часам на месячном горизонте не применяют.

При наличии нескольких планов, относящихся к отдельным моделям переделов, необходимо уметь объединять, «сшивать» их. Это означает, что должен быть метод, позволяющий согласовывать данные, полученные из отдельных моделей, с целью получения взаимосвязанного календарного плана/расписания.

Продукты, реализующие информационную шину данных, широко известны и применяются на различных предприятиях для автоматизированной интеграции данных от различных приложений. Примерами таких продуктов могут быть Microsoft BizTalk Server и SAP NetWeaver PI. Однако наличие шины данных не решает задачу согласования данных, полученных из систем с различным моделированием технологических процессов. Для этого предлагается использовать модуль согласования данных.

Модуль согласования данных

Как следует из анализа подхода с декомпозицией, необходимо сформулировать требования к моделям систем планирования, которые бы позволили выполнить объединение планов, полученных в этих системах.

Интуитивное описание задачи

Рассмотрим непрерывное производство, которое обслуживается несколькими плановыми и/или учетными системами, каждая из которых описывает свою часть производства в виде передела или его части (участка, технологического процесса). Предположим также, что некоторые системы могут описывать одни и те же технологические процессы, входящие в переделы.

Каждая из систем решает некоторую задачу со своей спецификой, поэтому возможно, что в каждой из систем используется собственное описание технологии производства — наименования товарной продукции, установок, правила описания технологических процессов.

Если в качестве производственного объекта выбрать НПЗ с процессами нефтепереработки, резервуарным парком и отгрузками, то примерами таких систем могут быть:

1. система фактического учета из класса MES — охватывает весь завод, собирает данные с периодом 1 час. При этом может отсутствовать информация о режимах работы установок;

2. система объемного планирования из класса APS (Advanced Planning and Scheduling) строит планы производства товарной продукции с периодом 1 мес. При описании процессов учитываются режимы работы установок, их входы/выходы и полученные полуфабрикаты как компоненты смещения для требуемого ассортимента товарной продукции;

3. система планирования работы резервуарного парка — строит календарные планы управления резервуарным парком на плановый период. При этом учитывается только планирование товарного парка. Период планирования — 1 мес. с интервалами планирования от 1 часа до нескольких дней. Товарная продукция учитывается с точностью до ассортимента, исходя из предполагаемых условий их отгрузки;

4. система формирования заявок на отгрузку — строит планы реализации товарной продукции. Учитываются общие запасы резервуарного парка, строится график отгрузки товарной продукции на месяц с интервалами планирования в 1 день.

Предлагаемый подход позволяет не ограничиваться указанным набором и использовать одновременно дополнительные системы планирования и учета.

Основные задачи, которые при этом должны решаться в модуле согласования данных:

1) как использовать результаты решения одной плановой или учетной системы в качестве исходных данных другой, ведь они используют разные справочники товарной продукции и установок, которые не всегда можно однозначно сопоставить;

2) если две системы моделируют один и тот же технологический процесс, как проверить, что они моделируют его одинаково, без противоречий. И связанная с этим задача — если в одну из систем внесли изменения в модели технологического процесса, требуется описать изменения в другой системе;

3) как строить отчеты, объединяющие данные, полученные от разных систем.

Несмотря на отличия в моделях, все они описывают один производственный объект, который состоит из набора установок для производства товарной продукции, связанных потоками. Укажем некоторые очевидные свойства, которые следуют из этого.

Во-первых, каждую отдельную модель можно дополнить до модели всего производства, без повышения требований к детальности моделей. Предположим, что имеется отдельная модель, которая не охватывает все предприятие целиком и связана потоками продукции с остальной частью производственного объекта (предприятия). В этом случае достаточно ввести в модель в самом общем виде ту часть производственного объекта, которая не входит в эту модель. Например, в систему планирования работы резервуарного парка, которая учитывает поступление продукции из производственного цеха, можно ввести в качестве отдельного объекта агрегированный объект, который включает участок поступления нефти и производственный цех как единое целое. В дальнейших рассуждениях будем рассматривать отдельные модели как дополненные таким образом и включающие все предприятие.

Во-вторых, для любых двух моделей, набор используемых установок в которых различается, на заводе можно найти такие установки, из которых можно «собрать» как моделируемые установки первой модели, так и моделируемые установки второй модели. То же самое относится и к ассортименту товарной продукции — на заводе используется такой ассорти-

мент, из которого можно получить наборы товарной продукции, соответствующие любой модели. В дальнейшем этот набор установок, из которых можно «собрать» отдельные установки каждой используемой модели, будем называть полным набором установок, а ассортимент товарной продукции — *полным набором продукции* соответственно.

Очевидно также, что по потокам выполняется условие аддитивности: все объемные плановые показатели суммируются — то есть сумма потоков за весь период является суммой потоков по всем интервалам, сумма всех потоков, выходящих из установки, равна суммарному производству этой установки и т. д.

Свойства модели, агрегирование и подготовка отчетов

Рассмотрим то общее, что присутствует во всех используемых системах планирования и учета. Представим модель производства в обобщенном виде на рис. 1, где приведены обозначения и свойства объектов.

Информация о работе производства в рамках этой модели обладает следующими основными свойствами.

1. Свойства потоковой схемы

a. Имеется набор установок (S), между которыми идут потоки (M), где потоки — это сырье, полуфабрикаты или товарная продукция (материалы).

b. Не существует потоков, выходящих из узла и поступающих в этот же узел.

c. На производстве не существует иных потоков из установок, кроме указанных на потоковой схеме.

2. Свойства потоков

a. Имеется возможность измерять/планировать объемы передаваемых потоков с определенной частотой на определенные интервалы планирования. Не обязательно, чтобы интервалы планирования были одинаковой длительности.

b. Длительности интервалов выбираются из тех соображений, что поток в течение всего интервала можно считать равномерным для целей выбранной системы моделирования.

Предположим, что имеется полное описание работы всего завода, включающее детальную потоковую схему, детальный план, а также полные справочники установок и материалов, и это описание удовлетворяет указанным свойствам. Иначе говоря, предположим, что наряду с набором отдельных систем планирования и учета со своими особенностями, имеется и глобальная система с перечисленными основными свойствами.

Тогда для получения отчетов о работе завода с любой степенью детализации по времени, установкам и по товарным продуктам достаточно агрегировать имеющееся полное описание работы завода.

Если для отчета требуется объединить набор производственных установок в одну производственную единицу, то все внутренние потоки между этими установками скрываются, а все исходящие и поступающие потоки считаются поступа-

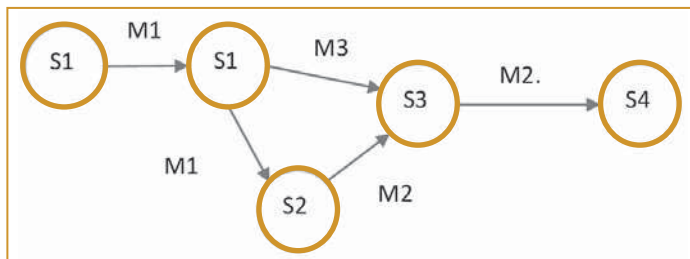


Рис. 1. Модель производства

ющими и исходящими в/из агрегированной производственной единицы. То же самое относится и к потокам материалов. Если для отчета требуется объединение материалов, то все единицы ассортимента объединяются в одну группу, и ее потоки суммируются.

Если интервалы времени отчета можно составить из интервалов времени, которые заданы при полном описании работы, то для расчета потоков достаточно воспользоваться свойством аддитивности и сложить все потоки, входящие в отчетный интервал.

Если требуется более подробная детализация потоков по интервалам, то она вычисляется из условия равномерности потока в интервалах полного описания работы.

Таким образом, при любом агрегировании полного плана работы завода получаем агрегированный план работы всего завода. Несложно видеть, что агрегированная модель обладает основными свойствами потоковой модели, а именно:

- получен набор связанных агрегированных установок, между которыми передаются потоки агрегированных материалов;
- не существует потоков, выходящих из узла и поступающих в этот же узел;
- для агрегированной модели можно выбрать интервалы планирования произвольной длины и рассчитать объемы в этих интервалах, исходя из значений потоков в полном плане.

Интервалы агрегирования выбираются в зависимости от типа задачи планирования, при этом предполагается, что изменение скоростей потоков внутри интервала не представляют интереса.

Формирование детального плана работы

Рассмотрим задачу восстановления детального плана из планов, полученных в имеющихся системах планирования производства, каждая из которых может решать задачу планирования для определенных участков производства и интервала планирования и моделировать производство с определенной детализацией. Для описания методики построения детального плана примем следующие допущения:

- детальный план работы всего производства существует;
- планы отдельных систем планирования производства являются агрегированием детального плана.

Процедура восстановления детального плана распадается на две связанные задачи:

1) построить детальную потоковую схему из набора агрегированных потоковых схем;

2) найти допустимый детальный план потоков, имея детальную потоковую схему и набор агрегированных планов.

Отсутствие допустимого детального плана указывает на противоречия в потоковых моделях исходных систем планирования. В таком случае необходимо провести детальный анализ этих моделей.

Ниже будут описаны способы решения поставленных задач.

Формирование детальной потоковой схемы

Рассмотрим подробнее процесс подготовки детальной потоковой схемы. И так, у нас имеется набор агрегированных потоковых схем, описывающих потоки на различных участках производства. Построение детальной потоковой схемы сводится к следующей последовательности:

1) подготовить детальный справочник установок и материалов, основанный на имеющихся справочниках установок и материалов агрегированных потоковых схем;

2) дополнить каждую агрегированную потоковую схему передела так, чтобы она описывала в агрегированном виде работу всего завода, а не только отдельного участка;

3) подготовить детальную потоковую схему, то есть найти такие потоки детальных материалов между детальными установками, чтобы при агрегировании получились дополненные агрегированные потоковые схемы.

Построение детальной потоковой схемы всего завода (детальная модель) сводится к поиску такой потоковой схемы из детальных объектов, в которой для агрегированных схем переделов (агрегированные модели) выполнялись бы следующие правила слияния.

1. *Если объект не упомянут, то о нем ничего неизвестно.* Если в агрегированной модели отсутствует указание на какой-либо материал или установку, то предполагаем, что эта модель не содержит информации о соответствующем материале или установке, и модель никак не участвует в формировании детального потока с участием этого материала или установки. Но другие модели могут содержать эту информацию.

2. *Если объект упомянут, то что-то должно быть.* Если в агрегированной модели используется в агрегированном виде какой-либо материал или установка, то в детальной модели должен иметься хотя бы один объект, который имеет соответствие в агрегированной модели.

3. *Если поток пустой, то ничего не должно быть.* Если в агрегированной модели используются две агрегированные установки, и между ними нет потока такого материала, который упоминается в этой модели, то и в детальной потоковой схеме не должно быть потока данного материала между установками первой и второй агрегированных моделей.

4. *Должно использоваться все, что можно.* В детальной модели должны присутствовать только потоки, которые не противоречат ни одной агрегированной модели.

5. *Должно использоваться все, что можно, но не больше.* В детальной модели не должно быть лишних потоков, которые не отображаются ни в одной из агрегированных моделей.

Такой способ формирования детальной модели позволяет проверить согласованность отдельных потоковых моделей, указать на их возможную некорректность.

Допустимый детальный план работы

Имея детальную модель, можно попытаться найти такой план работы, который бы выполнялся на де-

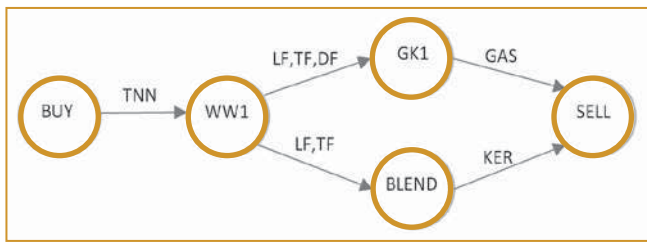


Рис. 2. Потокоская схема модели производства

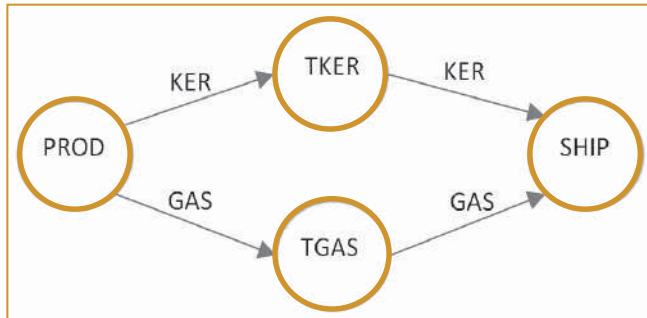


Рис. 3. Потокоская схема модели ТСП

тальной модели. Для детального плана должны выполняться следующие очевидные требования:

- 1) детальный план должен быть задан на детальной модели;
- 2) при агрегировании детального плана должны получаться исходные агрегированные планы;
- 3) интервалы планирования детального плана должны быть достаточно мелкими, чтобы интервалы планирования агрегированных планов являлись объединением детальных интервалов.

Так как агрегированные потоки представляют сумму детальных потоков, входящих в них, то второе условие сводится к решению системы линейных уравнений, в которой в качестве неизвестных используются потоки детальной модели, а в качестве правой части системы уравнений — значения потоков агрегированных моделей. Подобное правило слияния при детализации агрегированных потоков определяет, что все коэффициенты матрицы в этих уравнениях равны 0 или 1.

Способы решения систем линейных уравнений широко известны. В реализованном проекте для поиска решения использовалась задача линейного программирования с заданной целевой функцией минимизации штрафа. В качестве штрафа была выбрана сумма отклонений агрегированной детальной модели от исходных планов, например, текущего планирования.

Использование модуля согласования данных

Представляется, что описанный модуль согласования является необходимой составной частью комплекса систем планирования.

В задачи этого модуля должны входить:

- 1) проверка согласованности отдельных систем планирования друг с другом и с системой фактического учета из класса MES;
- 2) контроль изменений в структуре производственных потоков в моделях отдельных систем;

3) синхронизация и согласование плановых данных, поступающих их отдельных систем;

4) подготовка отчетов и исходных данных для систем планирования.

При этом задача описания правил агрегирования должна возлагаться на пользователей систем планирования, которые формируют плановые модели. Эта задача состоит в том, что для установок и материалов своей модели они должны указывать списки установок и материалов из общезаводского справочника, которые моделируются в системе планирования.

Предлагаемый подход построения модуля согласования обобщается и на следующие актуальные для пользователей случаи:

1) учет материального баланса для узлов, для которых этот баланс должен выполняться — для установок переработки и узлов учета;

2) учет диапазонных решений — в том случае, если возможны несколько решений, то желательно указывать не просто мощность потоков, а минимальное и максимальное значение потоков. В этом случае желательно также, чтобы модуль мог учитывать ограничения типа неравенства;

3) возможность расчета дополнительных показателей в зависимости от вида материала, например, показателей качества.

Практика внедрения комплекса систем календарного планирования [2] показала, что наличие подобного модуля согласования является необходимой составной его частью.

Примеры

Формирование детальной потокоской схемы

Приведем пример формирования детальной потокоской схемы по набору исходных потокоских схем.

Рассмотрим две агрегированные модели НПЗ: модель производства и модель товарно-сырьевого парка (ТСП). Данные модели имеют потокоские схемы, представленные на рис. 2 и 3. Каждый из узлов представляет собой определенную физическую установку либо агрегированный участок технологической схемы. Узлы модели производства: BUY — поступление исходного сырья на производство, WW1 — установка атмосферно-вакуумной перегонки, GK1 — установка гидрокрекинга, BLEND — узел смешения, SELL — перекачка продукции в ТСП. Узлы модели ТСП: PROD — поступление продукции с участка производства, TKER — резервуары для хранения продукта KER, TGAS — резервуары для хранения продукта GAS, SHIP — узел отгрузки. На ребрах схемы указаны потоки, перемещаемые между данными узлами.

Представим данные потокоские схемы в виде матрицы смежности (рис. 4). Заголовки строк матрицы содержат список вершин графа потоков, из которых имеются исходящие потоки, заголовки столбцов матрицы — список вершин графа потоков, в которые имеются входящие потоки. Значения матрицы — перечисление списка материалов (потоков), выходящих



Рис. 4. Матрицы смежности для исходных потоковых схем из узла графа исхода (заголовок строки) в узел назначения (заголовок столбца).

Здесь потоки, поступающие на узел SELL, объединились с потоками, исходящими из узла PROD, так как данные узлы соответствуют одному и тому же узлу рассматриваемого производства. В результате получаем следующие потоки: KER — BLEND→TKER, GAS — GK→TGAS.

Проверка согласованности моделей

Интересно, что при формировании детальной потоковой схемы из исходных потоковых схем агрегированных моделей могут возникнуть случаи, когда каждые две модели из трех взаимно согласованны, но три модели уже не согласованны между собой.

Для демонстрации введем описание трех исходных потоковых схем графически (рис. 5) и в виде матриц смежности (рис. 6).

В каждой из этих моделей используется агрегированный поток: RB — может содержать продукты Red и Blue, GB — может содержать продукты Green и Blue, RG — может содержать продукты Red и Green.

Для каждой двух моделей можно построить объединение, но нельзя построить модель, учитывающую все три набора потоков. Примеры попарного объединения не приводятся ввиду их тривиальности. Для иллюстрации невозможности построения модели, объединяющей все три потоковые схемы, рассмотрим, используя правила слияния, какие потоки должны быть между установками А и С.

Из 3-й модели следует, что это могут быть потоки Red, Green и Blue. Blue может быть из-за того, что он вообще не упоминается в третьей модели, и на него никаких условий не накладывает (правило слияния 1).

Из 1-й модели следует, что потоков Red и Blue между этими установками быть не может, так как данные потоки упо-

минаются в этой модели, в этом случае имелось бы описание потока из А (правило слияния 3). Остается только поток Green.

Но и потока Green быть не может, так как в этом случае во 2-й модели имелся бы поток в С.

Таким образом, не существует детальной потоковой модели, которая бы удовлетворяла всем трем агрегированным моделям. На практике это обычно означает, что в одной из моделей участка производства не был указан поток между установками.

Уравнения детального плана работы

Рассмотрим плановые потоки, заданные на потоковой схеме на рис. 7. Имеются всего две установки, от источника к назначению идут четыре материальных потока *a, b, c, d*. Рассмотрим три набора исходных данных, заданных на периоде планирования с 1 по 5 число включительно:

- 1) со 2 по 3 число общий объем потоков *a* и *b* равен 4;
- 2) с 1 по 5 число общий объем потоков *b* и *c* равен 10;
- 3) с 3 по 4 число общий объем потоков *b, c* и *d* равен 6.

Для наглядности исходные данные также заданы в виде таблицы (рис. 8).

Необходимо найти наиболее разумные разбиения периода планирования на интервалы и скорости отдельных потоков в этих интервалах.

Решение. Предполагая, что задана вся необходимая информация о потоках, будем считать, что потоки в те периоды, когда скорости не заданы, равны 0. Таким образом, можно дополнить начальные ограничения следующими:

- 1) поток *a* в период 1 и 4, 5 равен 0;
- 2) поток *d* в периоды 1, 2 и 5 равен 0.

Из исходных и дополнительных данных сформируем интервалы детального плана для каждого потока:

- 1) поток *a* задан на периодах 1, 2–3 и 4–5. Соответственно сформируем переменные $a_1=0, a_{23}, a_{45}=0$;
- 2) информация о потоке *b* задана на периодах 1, 2, 3, 4, 5 и, значит, формирует переменные b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 ;
- 3) информация о потоке *c* задана на периодах 1–2, 3–4 и 5 и формирует переменные c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 ;
- 4) информация о потоке *d* задана на периодах 1–2, 3–4 и 5 и формирует переменные $d_{12}=0, d_{34}, d_5=0$.

Подставляя эти переменные в исходные ограничения, получаем систему уравнений для положительных неизвестных:

$$a_{23} + b_2 + b_3 = 4;$$

$$b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5 + c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5 = 10;$$

$$b_3 + b_4 + c_3 + c_4 + d_{34} = 6.$$

Эта система уравнений может иметь множество решений. Но при заданной целевой функции мини-

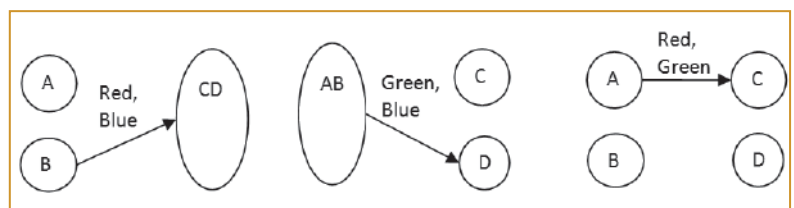


Рис. 5. Потоковые схемы агрегированных моделей

	CD		
A			
B	RB		

	C	D
AB		GB

	C	D
A	RG	
B		

Рис. 6. Матрицы смежности для исходных потоковых схем

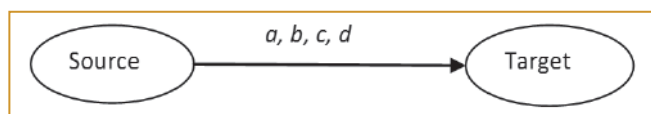


Рис. 7. Потокосхема

мизации штрафа решение системы уравнений сводится к задаче линейного программирования. Рассмотрим, например, следующую целевую функцию, построенную исходя из соображений о равномерности потоков:

$$Z = |b_1 - b_5| + |b_2 - b_5| + |b_3 - b_5| + |b_4 - b_5| + |c_1 - c_5| + |c_2 - c_5| + |c_3 - c_5| + |c_4 - c_5|.$$

В данном функционале минимизируется модуль разности между объемами потоков в различных периодах. Так, для задания минимальной разницы между ежедневными потоками материала b , достаточно наложить штраф за отклонения каждой из переменных b_1, b_2, b_3, b_4 от переменной b_5 . Аналогично, для материала с накладываются штрафы за отклонение переменных c_1, c_2, c_3, c_4 от переменной c_5 . Минимизируя данный функционал при ограничениях, заданных исходной системой уравнений, получаем следующие исходные значения:

$$\begin{aligned} a_{23} &= 2; \\ b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = b_5 &= 1; \\ c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = c_5 &= 1; \\ d_{34} &= 2. \end{aligned}$$

Опыт использования: первые выводы

Рассмотренный подход с использованием модуля согласования применялся при разработке системы календарного планирования в АО «ТАНЕКО» и показал свою эффективность при автоматизации процессов обмена данными.

В качестве исходных моделей использовались следующие модели, описывающие отдельные участки производства:

1) система сбора фактических показателей с выполненными условиями материального баланса. Показатели потоков из этой системы поступали в автоматическом режиме в формате XML несколько раз в сутки и загружались в БД модуля интеграции;

2) система планирования работы производственного цеха. Результатом работы этой системы был многопериодный месячный план. Подготовленный план загружался в ручном режиме в модуль интеграции;

3) система календарного планирования товарного парка. Результатом работы этой системы был месячный почасовой план работы товарного парка. Подготовленный план загружался в ручном режиме в модуль интеграции;

4) система учета продаж 1С. Данные о плановых отгрузках из этой системы загружались в автоматическом режиме в формате XML по мере необходимости.

Поступающие данные хранились в базе данных модуля интеграции в виде отдельных документов. Такой подход позволял хранить несколько вариантов планов (отличающихся, возможно, потоковыми моделями), относящихся к одному периоду планирования. Для поддержания модуля интеграции в актуальном состоянии необходимо было, при внесении изменений в структуры отдельных моделей, формировать описание потоковых моделей в едином формате и выполнять проверки взаимной согласованности моделей.

Для формирования плана работы всего завода пользователь выбирал необходимые документы, учитывающие плановые изменения в объемах и структуре потоков.

Использование модуля интеграции позволило повысить надежность при использовании данных, поступающих из различных моделей, и гибкость при подготовке плана всего завода, учитывающего различные варианты сценариев.

Список литературы

1. Шайдуллин Р.А., Хохлов А.С., Проказина М.В. Имитационные модели в комплексе календарного планирования производства // Автоматизация в промышленности. 2012. №10. с. 15-21.
2. Хохлов А. С. Коннов А. И. Шайдуллин Р. А. Комплексный подход к планированию непрерывного производства // Автоматизация в промышленности. 2015. № 4. с. 35-39.
3. Pierre Guyonnet, F.Hank Grant, Miguel J. Bagajewicz. Integrated Model for Refinery Planning, Oil Procuring, and Product Distribution // Ind. Eng. Chem. Res. 2009. 48.1. 463-482.
4. Дудников Е.Е., Цодиков Ю.М. Типовые задачи оперативного управления непрерывным производством. М.: Энергия, 1979.

Коннов Александр Иванович – канд. физ.-мат. наук, старший консультант АО «Хоневелл»

Хохлов Александр Сергеевич – д-р техн. наук, проф. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, ведущий консультант,

Городнова Мария Владимировна – аспирант МФТИ, консультант ООО «Центр цифровых технологий».

Контактный телефон (495) 796-98-00.

E-mail: maria.gorodnova@mipt-cdt.ru