

ЗАДАЧА СНАБЖЕНИЯ РЕГИОНА НЕФТЕПРОДУКТАМИ ПРИ НАЛИЧИИ ПРОДУКТОПРОВОДА ДЛЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕСКОЛЬКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Инзелт Петер

Исследовательский институт вычислительной техники и автоматизации ВАН, г. Будапешт

I. ВВЕДЕНИЕ

Транспортировка больших количеств жидких нефтепродуктов наиболее экономично может решаться с помощью продуктопровода. Эксплуатационные расходы продуктопровода в 50-100 раз ниже транспортных расходов автотанкеров или железнодорожного транспорта. В развитых странах были сооружены разветвленные сети продуктопроводов и начиная с конца 70-х годов в нашей стране также быстрыми темпами создаются продуктопроводы.

Возможность дешевой транспортировки различных нефтепродуктов по продуктопроводу значительно может изменять регионы снабжения отдельных нефтеперерабатывающих комбинатов. Если НПЗ и большие склады нефтепродуктов соединены между собой продуктопроводом, обладающим достаточно большей пропускной способностью, буферные запасы по продуктам или компонентам, необходимые для покрывания сезонного колебания спроса, не обязательно должны храниться там, где они вырабатывались. Если не фиксируются границы региона снабжения отдельных НПЗ - как это имеет место в настоящее время - можно получить отличающиеся результаты при планировании количества перерабатываемой нефти по НПЗ, по ассортименту продуктов НПЗ и стратегии хранения буферных запасов сезонного колебания спроса.

Необходимо уже здесь отметить, что включение продуктопроводов в модели планирования снабжения регионов (страны) является исключительно сложной, практически нереализуемой задачей. Дело в том, что пропускную способность продуктопровода нельзя характеризовать каким то числом: как покажем, она очень

сильно зависит от того, какие продукты куда, в какой последовательности и в каких количествах транспортируются, кроме того, существует ряд дополнительных условий реализации определенного графика транспортировки. Данная проблема не может быть решена в рамках модели линейного программирования, которая обычно применяется для планирования производства нефтепродуктов и снабжения региона: управление работой продуктопровода необходимо анализировать параллельно с задачей планирования производства нефтепродуктов.

Наличие сети продуктопроводов влияет также на проектирование новых капиталовложений, на территориальное распределение крупных складов для снабжения областей и на соответствующие емкости хранения по продуктам. Как видно будет, любое капиталовложение, изменение в окрестности продуктопровода влияет на условия работы всего комплекса, то есть альтернативные решения должны анализироваться не по объектам, а с точки зрения всей системы, включая условия работы продуктопровода.

Номинальную пропускную способность продуктопровода можно использовать только при транспортировке одного продукта по нему, транспортировка нескольких продуктов всегда снижает эффективную пропускную способность продуктопровода. Ввиду дешевой эксплуатации продуктопровода, следует стремиться к тому, что максимально использовать его пропускную способность, в то же время реализация графика поставки в окрестности максимальной нагрузки продуктопровода является сложной и ответственной задачей. Упрощения в процессе составления графика, случайные изменения в ходе реализации могут привести к сложным ситуациям, поэтому оперативные решения диспетчера продуктопровода должны поддерживаться математическими средствами.

2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СНАБЖЕНИЯ

2.1. Региональная система снабжения

Региональной системой снабжения (РСС) называется совокупность производственных мощностей, складов и транспортных возможностей, обеспечивающая снабжение данного региона жидкими (светлыми) нефтепродуктами, как автобензины различных марок, бензины для химической переработки, газойлы.

РСС состоит из узлов и пунктов потребления, которые соединены между собой (в одно или обоих направлениях) путями перевозки.

Узел характеризуется тем, что он является источником, далее возможным поглотителем большого ассортимента нефтепродуктов (в том числе нетоварных продуктов, компонентов, и обладает значительными буферными мощностями. С точки зрения путей перевозок, принятых во внимание в РСС, узел обладает возможностью отгрузки. Пункт потребления играет роль только поглотителя с ограниченной буферной мощностью, он не обладает возможностью отгрузки товаров к узлам или другим пунктам потребления. В пункте потребления встречаются только товарные нефтепродукты (их определенный ассортимент).

Пути перевозки обеспечивают транспортировку нефтепродуктов от узлов к пунктам потребления и между узлами. Пути перевозки являются продуктопровод, железная дорога, автотранспорт, водный транспорт.

Транспортировка по продуктопроводу значительно (в 50-100 раз) дешевле другим видам транспорта, следовательно, следует максимально использовать его пропускную способность. В то же время следует отметить, что пропускная

способность продуктопровода зависит от конкретного графика постовок, то есть от того, какие продукты, в каком количестве и куда поставляются. С небольшим упрощением реальной ситуации можно сказать, что такой зависимости в случае других видов транспорта не наблюдается, если их пропускная способность задается в т. км и заправочные устройства в НПЗ имеют достаточную производительность. Следовательно, что с точки зрения транспортируемых партий, пути перевозки можно разделить на зависимые (продуктопровод) и независимые (железнодорожный-, водный- и автотранспорт).

2.2. Задача планирования производства РСС

При планировании производства РСС следует дать ответ на следующие основные, связанные друг с другом вопросы:

1. Из какого узла (каких узлов) должны поставляться продукты в конкретные пункты потребления, пути перевозки, момент времени и количества этих поставок;
2. Для оптимального снабжения региона какое количество нефти должно перерабатываться в заданном интервале времени и в каких режимах в узлах системы (НПЗ), какие дополнительные перевозки (компонентов, продуктов) необходимы.

Под критерием оптимальности принимается например минимизация суммарных расходов на переработку, транспортировку и хранение нефти и нефтепродуктов.

Рассмотрим только детерминированную задачу, не забывая, что большинство исходных данных носит вероятностный характер и имеет смысл рассматривать также вопросы надежности выполнения плана. Предполагается, что заданы потребности по каждому виду продуктов в каждом пункте потребления на период планирования в виде кусочно-постоян-

ной функции, известны запасы в начальном моменте планового периода, все технологические параметры и ограничения (например, емкости резервуаров по продуктам, производственные мощности, модели переработки нефти (выход компонентов) и модели смешения, и т.д.). Известны также различные коэффициенты стоимости (например, удельная стоимость транспортировки нефтепродуктов по различным путям перевозки, стоимости переработки нефти на различных НПЗ, - если они отличаются -, и т.д.).

С точки зрения снижения суммарных расходов по всей системе определяющим является снижение расходов на транспортировку нефтепродуктов, то есть именно оптимальное распределение нефтепродуктов. Стоимость переработки или хранения нефти на различных НПЗ обычно мало отличается друг от друга, расходами на транспортировку самой нефти тоже можно пренебречь, потому что она транспортируется по трубопроводу.

Данная задача должна решаться при условии 100 %-ного покрытия спроса. Ввиду того, что пропускную способность продуктопроводов нельзя характеризовать однозначным числовым значением и описание работы продуктопровода - как будет показано - исключительно сложное, в модель линейного программирования, обычно использованная для решения планирования производства РСС, нельзя включить продуктопроводы. Необходимо прибегать к итеративному решению: или определить пределы пропускной способности продуктопроводов при предварительно заданных спросах и стратегиях их покрытия и проверить экономичность различных вариантов (причем количество возможных стратегий очень большое) или рассчитать план с использованием предварительной оценки пропускной способности продуктопровода и проверить реализуемость полученного плана. В обоих случаях можно получить только субоптимальное решение.

По моему мнению, второй вариант является более приемлимым. Принимая во внимание размерность реально решаемых задач, в этапе календарного планирования необходимо разбивать проблему по подсистемам. Несомненно, требуется отдельная модель для узлов (НПЗ) и тогда имеет смысл модель календарного планирования работы продуктопровода, не включающего в себя узлы (для этой модели узел является неограниченным источником – поглотителем, или узел характеризуется набором ограничений). В результате решения глобальной задачи планирования РСС уже имеется основная стратегия переработки нефти и снабжения, что определяет объем поставок между узлами и прикрепляет пункты снабжения по конкретным продуктам к конкретным узлам (и определяет план отдельных НПЗ, что в данном моменте вне сферы наших рассуждений). Теперь необходимо приступить к проверке реализуемости этого плана по продуктопроводам.

3. ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ПРОДУКТОПРОВОДОМ ДЛЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕСКОЛЬКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

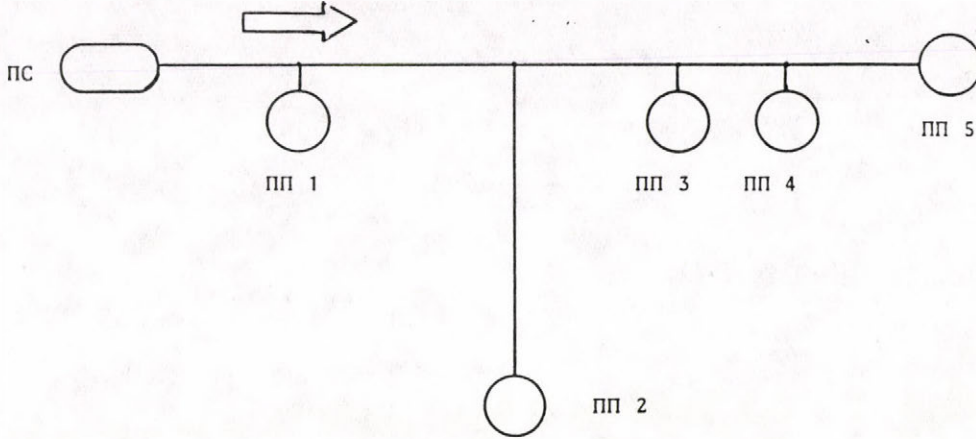
Можно различать три основных типа продуктопроводов для последовательной транспортировки нескольких продуктов к нескольким пунктам потребления (рис. I):

- транспортировка в одно направление (поставка к нескольким пунктам потребления из одного узла)
- транспортировка в два направления (в обоих концах продуктопровода находятся узлы, к пунктам потребления можно поставлять продукты из любого узла, возможна транспортировка нефтепродуктов – или компонентов – между узлами)
- параллельные продуктопроводы с возможностью снабжения пунктов потребления от любого продуктопровода (возможна транспортировка в одно или обоих направлениях, продуктопроводы могут иметь разные диаметры, условные давления).

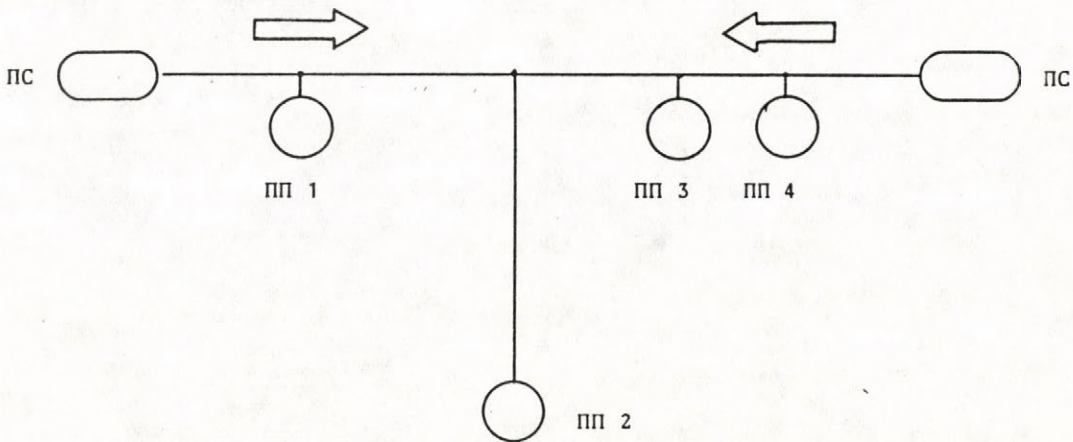
ПС - Пункт снабжения

ПП - Пункт потребления

1/а. Транспортировка в одно направление



1/б. Транспортировка в два направления



1/в. Транспортировка в два направления, два параллельных продуктопровода

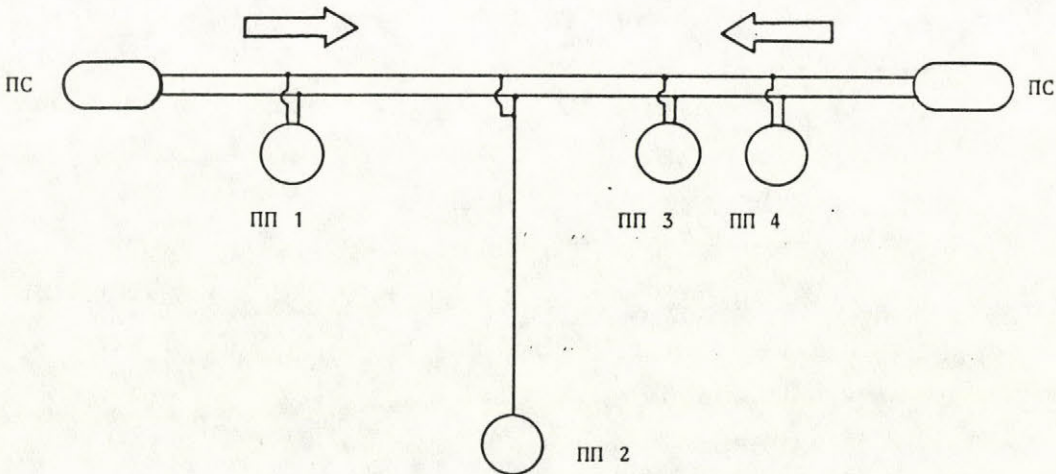


Рис. 1. Основные типы систем регионального снабжения с продуктопроводом

Любая сеть продуктопроводов разбивается узлами на участки вышеприведенных типов, то есть достаточно анализировать особенности работы этих участков.

Рассмотрим самый простой случай, транспортировку нефтепродуктов в одно направление.

3.1. Краткое описание технологии транспортировки

Продуктопровод для транспортировки нефтепродуктов в одно направление (рис. 1.а) исходит из узла, а вдоль его размещены пункты потребления. Часть пунктов потребления находится вблизи продуктопровода (можно пренебречь объемом участка, соединяющего продуктопровод с пунктом потребления), они называются ответвлениями, другие находятся на значительном расстоянии (15-50 км) от продуктопровода, их будем называть разветвлениями. Последние теоретически могут рассматриваться, как самостоятельные продуктопроводы с одним пунктом потребления (при этом пункт разветвления должен рассматриваться узлом, что очень усложняет задачу).

Работа продуктопровода характеризуется следующими основными положениями:

- продуктопровод всегда наполнен нефтепродуктом;
- давление должно сохраняться в заданном диапазоне, что ограничивает количество одновременно наполняемых пунктов потребления (отбора продукта из продуктопровода);
- транспортировку можно прекратить только при условии, что трубопровод наполнен однородным продуктом, потому что иначе повторный пуск транспортировки приводит к интенсивному перемешиванию на границе фаз и в связи с этим к значительным потерям;
- линейная скорость перемещения продуктов находится в диапазоне 4 км/час;

В дальнейшем системой снабжения будем называть совокупность продуктопровода, узла, пунктов потребления и независимых путей перевозки, соединяющих узел с этими же пунктами потребления.

Пусть известны следующие исходные параметры системы снабжения:

- количество пунктов потребления (n),
- количество продуктов, транспортируемых по продуктопроводу (m),
- параметры продуктопровода (диаметр, длина участков между ответвлениями и разветвлениями, и т.д.),
- емкости резервуаров в каждом пункте потребления по продуктам ($m_i^j, i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$); m^3 ,
- запасы в каждом пункте потребления в момент времени t_0 по продуктам (q_{i0}^j), m^3 ,
- спрос в каждом пункте потребления в интервале времени T по продуктам ($z_i^j(T); T=\{t_0, t_v\}$), $m^3/\text{час}$;
- возможность доставки продуктов по независимым путям перевозки (диапазон интенсивности возможной поставки λ_i^j), $m^3/\text{час}$.

Вопросами прогностизирования спроса по пунктам потребления и продуктам здесь не занимаемся. В практике потребители (заправочные станции, МТС, колхозы, и т.п.) обычно прикреплены к заданному пункту потребления. Отметим только, что решение задачи управления продуктопроводом носит субоптимальный характер и потому, что совершенно не исключена возможность реализации более оптимального плана при относительно небольших изменениях спросов по пунктам потребления (при изменении прикрепления потребителей даже при условии, что расстояния на локальные перевозки и соответствующие расходы **немного** увеличиваются). Вообще говоря,

если по конкретным пунктам потребления регулярно наблюдаются "узкие места", целесообразно проверить систему прикрепления потребителей. В то же время, непосредственно стыковать эти задачи, по моему мнению, нельзя.

Можно предполагать, что стоимость транспортировки не зависит от вида продукта и каждый пункт потребления прикрепляется только к одному виду независимого транспорта.

Если речь идет об автотранспорте, продукты не должны транспортироваться в пункт потребления, а могут поставаться непосредственно к его потребителям, но эти случаи не различаются.

Пусть примем следующие упрощения в связи с эксплуатацией системы:

- спрос предполагается постоянным во времени в интервале T по пунктам потребления и продуктам, то есть

$$z_i^j (T) = z_i^j = \text{const}$$

- максимальная скорость отбора продуктов в пунктах потребления зависит только от диаметра соединительного трубопровода, то есть является заданной константой (w_i , м³/час). Объемная скорость продукта в самом продуктопроводе зависит от того, что в данный момент времени в какие пункты потребления отбираются продукты, причем объемная скорость продукта в продуктопроводе ограничена для избежания интенсивного перемещения на границах фаз,
- ограничено общее количество одновременно обслуживаемых пунктов потребления (не более 2-3),
- узел рассматривается неограниченным источником и предполагается, что по независимым путям поставки можно поставлять любое количество нефтепродуктов в пункты потребления, ограниченное только пределом интенсивности приема на пунктах потребления (общее ограничение по количеству автотанкеров, вагонов не принимается во внимание. При

необходимости ограничение на общую пропускную способность независимых путей поставки можно включить в модель).

3.2. Некоторые характеристики системы снабжения

Рассмотрим возможные случаи поставки j -того продукта в количестве g_i^j в i -той пункт потребления.

Знаем, что продуктопровод всегда наполнен нефтепродуктом. Если в данный момент транспортировка по продуктопроводу не идет, возможны два случая. Если при i -том пункте потребления находится j -тый продукт, поставку можно начать немедленно, только необходимо включать насосы. Конечно, предварительно надо принимать решение о том, какой продукт нагнетать в трубопровод с узла!

Если при i -том пункте потребления находится отличающийся от j -того продукт, то ситуация другая. С узла можно начать нагнетание j -того продукта, но необходимо обеспечить опорожнение участка между узлом и i -того пункта потребления. Для этого необходимо иметь свободные резервуары. Продукт, находящийся в продуктопроводе можно распределить произвольно между пунктами потребления всей системы снабжения (так как транспортировка не шла, содержимое продуктопровода должно быть однородным), в количестве, не менее объема участка между узлом и i -тым пунктом потребления. Следует иметь в виду, что интервал времени доставки j -того продукта от узла к i -тому пункту потребления зависит и от распределения содержимого продуктопровода, так как скорости отбора по пунктам потребления могут отличаться!

Если в момент возникновения данного спроса продуктопровод работает, ситуация аналогична с тем, что возможно дополнительное запаздывание ввиду того, что не всегда возможно или целесообразно прерывание текущей операции.

Из изложенного видно, что продуктопровод является своеобразным, ограниченным ресурсом, который занимается удовлетворением каждого спроса на определенный интервал времени. Время между проявлением и удовлетворением конкретного спроса зависит и от состояния продуктопровода и всей системы снабжения в момент возникновения спроса и его удовлетворение изменяет состояние всей системы снабжения (например, в благоприятном состоянии опорожнением продуктопровода можно покрывать другой актуальный спрос по содержимому трубопровода, в противном случае можно занимать те резервуары, которые могли бы обеспечить опорожнение трубопровода в следующем цикле). Решение в связи с удовлетворением некоторого актуального спроса необходимо проанализировать и с той точки зрения, что новое состояние системы было благоприятным с точки зрения удовлетворения прогностизируемой последовательности запросов.

Следует обратить внимание на то, что в каждом случае, когда в момент возникновения спроса при i -том пункте потребления находится продукт, отличающийся от требуемого j -того продукта, необходимо опорожнение участка между узлом и i -тым пунктом потребления, то есть продуктопровод занимается транспортировкой, которая не требуется в данный момент. Это явление снижает эффективную пропускную способность продуктопровода и даже может случиться, что некуда опорожнять содержимое данного участка (возможные приемные резервуары полны) и при этом продуктопровод временно должен останавливаться.

Можно определить некоторые показатели, которые могут использоваться для качественной оценки системы и в эвристических алгоритмах решения задачи. Таким показателем является период пополнения.

$$t_{ip}^j = \frac{M_i^j}{z_i^j} \quad [\text{час}]$$

то есть в случае потребления z_i^j к i -тому пункту потребления не позже через t_{ip}^j час следует снова поставлять j -той продукт (если при предыдущей поставке резервуар полностью наполнился и предусматривается его полное опорожнение).

Минимальный период дополнения $t_{\text{мин}}^p = \min\{t_{ip}^j\}$ есть существенной характеристикой системы, он является верхним пределом планируемого интервала последовательности поставок, если данный спрос следует удовлетворить по продуктопроводу.

Разброс периодов дополнения также характеризует систему снабжения, показывает "узкие места". В хорошо запроектированных системах периоды дополнения должны быть близкими, за исключением того случая, когда один из продуктов поставляется в значительно большем количестве и продуктопровод обычно наполнен этим продуктом. Для этого продукта периоды дополнения могут быть в принципе меньше (достаточно часто можно отобрать этот продукт из продуктопровода). К этому еще возвращаемся при анализе вопросов проектирования РСС.

Очевидно с технологической точки зрения, что периоды дополнения должны быть как можно больше, потому что "переключения" связаны с убытками из-за смешивания на разделе фаз и за счет уменьшения эффективной пропускной способности продуктопровода. Это проще всего достичь увеличением емкости резервуаров на пунктах потребления, но такое решение требует технико-экономического анализа.

Очень важным показателем является изменение периодов дополнения во времени. Если оно небольшое для нескольких интервалов планирования, то колебание потребления во времени (по отношению емкости резервуаров) является медленным возмущением, в противном случае - быстрым возмущением. Это влияет на стратегию управления, в первом случае следует стремиться к оптимизации управления на несколько периодов планирования (использовать, например, "скользящее" планирование), во втором случае следует стремиться к максимальному удовлетворению актуального спроса.

Отметим, что всегда наблюдается сезонное колебание периодов дополнения, поэтому задачу нельзя решать разработкой нескольких "расписаний" поставок.

Коэффициент нагрузки продуктопровода, который является частным необходимых поставок в заданном интервале времени на теоретическую пропускную способность продуктопровода:

$$\zeta = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^m z_i^j}{w_{cs}} \cdot 100 \quad [\%]$$

также можно использовать для качественных оценок. Для конкретной РСС и при заданном ассортименте продуктов, анализируя предыдущие поставки, можно оценить тот диапазон этого коэффициента, в рамках которого задачу можно реализовать. Если коэффициент нагрузки, рассчитанный для актуальной поставки, меньше этого диапазона, то продуктопровод недогружен, если выше - он перегружен.

Отметим, что существуют тривиальные условия снабжения по продуктопроводу, которые целесообразно проверить перед началом планирования. К этим относятся такие условия,

как $w_i > z_i^j$ для всех $i=1,2,\dots,n;$
 $j=1,2,\dots,m;$

то есть скорость поставки должна быть больше скорости потребления для всех пунктов потребления и продуктов.

4. СТРАТЕГИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОДУКТОПРОВОДА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

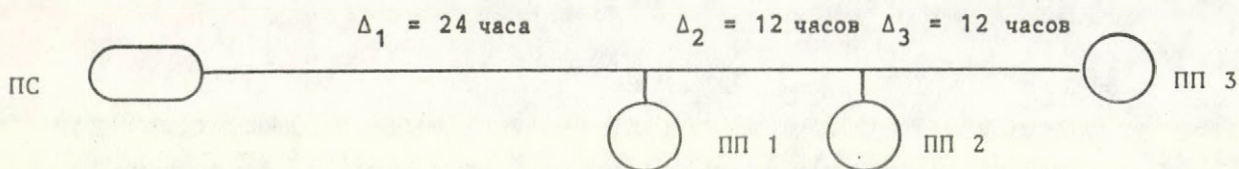
Рассмотрим протекание во времени процессов принятия и реализации решений в связи с эксплуатацией продуктопровода (рис.2). Пусть известны параметры состояния системы (запасы по пунктам потребления, содержимое продуктопровода) в момент t_m а также прогноз потребления на следующий интервал $T = \{t_0, t_v\}$. Момент принятия решения t_d . Как относятся друг к другу эти моменты времени, насколько раньше необходимо принимать решения по "расписанию" на следующий период?

Возможны два случая. В первом случае в момент t_d транспортировка по продуктопроводу не идет и в текущем интервале $T' = \{t'_0, t'_v\}$ поставка уже не предусмотрена. В таком случае $t_m \leq t_d < t_0$. Определим те моменты, когда запасы на пунктах потребления кончаются:

$$\tau_i^j = t_m + \frac{q_i^j(t_m)}{z_i^j}$$

При этом должно выполняться $\min\{\tau_i^j\} \geq t_0$, в противном случае предыдущее планирование было ошибочным.

Нельзя забывать, что продуктопровод наполнен каким-то продуктом. Оптимальное опорожнение продуктопровода можно рассматривать отдельной задачей, в результате "распределения" содержимого трубопровода соответствующие моменты τ_i^j зазываются во времени и получается скорректированный вектор $\theta = \{\theta_i^j\}$.



Принципиальная схема продуктопровода для транспортировки трех продуктов. Указаны времени запаздывания (предполагая, что интенсивность отбора равна во всех ПП и одновременно отбирается только один продукт)

ПС - Пункт снабжения ПП - Пункт потребления

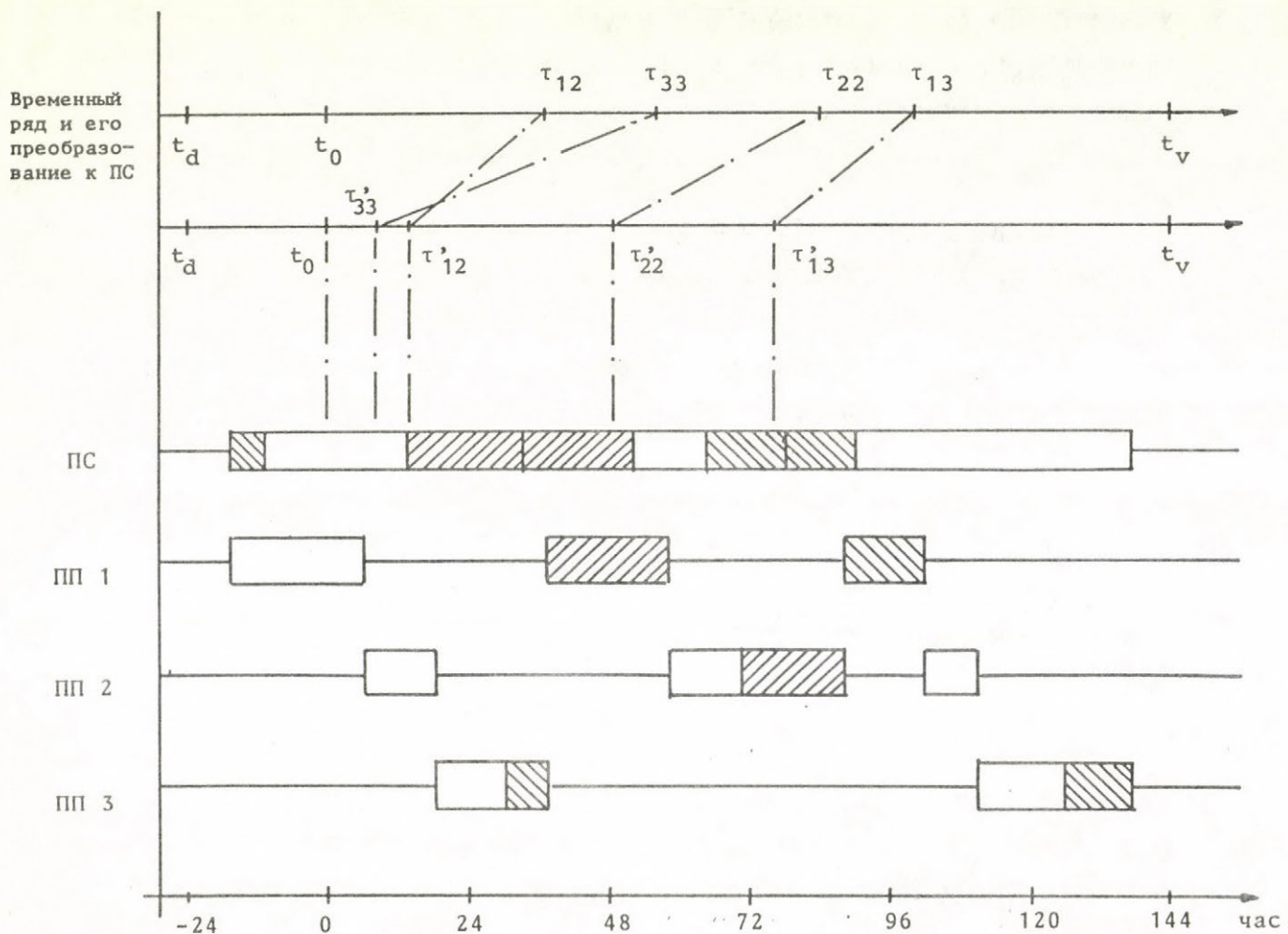


Рис. 2. Временные характеристики работы продуктопровода с указанием нагнетания и отбора пробок. В 6-ти дневном периоде планирования запасы кончаются в 4-х резервуарах. Видно, что задача имеет решение только при условии, что нагнетание продуктов начинается еще до момента t_0 . Пробки газойла № 2 и 5 необходимы для наполнения соответствующих участков трубопровод

Если началом пуска транспортировки будет t_s , то продукт, иагнетанный в продуктопровод в момент t_s появляется на i -той пункте потребления запаздыванием Δ_i (зависит также от распределения содержимого продуктопровода). Для того, чтобы удовлетворить самый ранний спрос интервала планирования T , необходимо:

$$t_s + \Delta_i \leq \Theta_{\min}$$

далее

$$t_d \leq t_s$$

$$\tau_{\min} \leq \Theta_{\min}$$

$$\tau_{\min} \geq t_0$$

где τ_{\min} , Θ_{\min} - $\min \{\tau_i^j\}$, $\min \{\Theta_i^j\}$, соответственно.

В самом неблагоприятном случае, когда

$$\tau_{\min} = t_0$$

и в продуктопроводе находится отличающегося от требуемого продукт, то есть

$$\tau_{\min} = \Theta_{\min}$$

позднейший срок начала транспортировки опережает начало интервала планирования

$$t_s^{\max} = (t_0 - \Delta_i)$$

О позднейшем сроке начала транспортировки говорим потому, что если после наиболее ранним "заказом" следуют вторые, третье и т.п. заказы, может случиться, что они могут быть удовлетворены только тогда, если транспортировка первого продукта начинается раньше позднейшего срока, не дожидаясь полного опорожнения данного резервуара.

Если продуктопровод достаточно загружен и нет значительных перерывов работы, актуальный цикл транспортировки необходимо заканчивать таким образом, чтобы обеспечить по возможности "оптимальную ситуацию" системы для следующего интервала планирования. Для этого часто необходимо пересмотреть реше-

ния по последним поставкам. На основе изложенного можно сделать вывод о том, что требования по поставкам на следующий интервал должны проверяться заблаговременно, перед заканчиванием **текущего** интервала, но не позже вышешоказанного срока.

Важным вопросом является определение длины интервала планирования. Он конечно зависит с одной стороны от характеристик РСС, с другой стороны от скорости изменения потребления продуктов.

Если потребление продуктов изменяется быстро, то долгосрочные прогнозы являются очень сомнительными и надо стремиться к планированию на небольшие интервалы, часто повторяя планирование (при возникновении нового, обоснованного спроса).

Если потребление продуктов изменяется медленно, следует оптимизировать на длительный период и целесообразным является реализация некоторой периодической стратегии поставок. Вообще говоря, периодическая стратегия поставок требует выполнение различных условий для РСС. Таким образом, в начальном моменте имеется двойная задача: следует определить подходящую периодическую стратегию поставок и ее условий; и привести РСС в такое состояние, в котором можно начать периодические поставки. В качестве примера на рис. 3. дается временная диаграмма периодических поставок в несложной РСС.

Отметим, что в случае одних систем возможен большой набор стратегий удовлетворения всех требований путем периодических поставок, в случае других систем совершенно нельзя обеспечить периодическое снабжение. Возможность реализации периодической стратегии поставок является свойством РСС и при реконструкционных работ следует иметь в виду это характеристику. Конечно, возможно также реализация периодических поставок только в отдельных сезонах, в отсутствие экстренных ситуаций и т.д.

Диаграмма изменения запасов в резервуарах

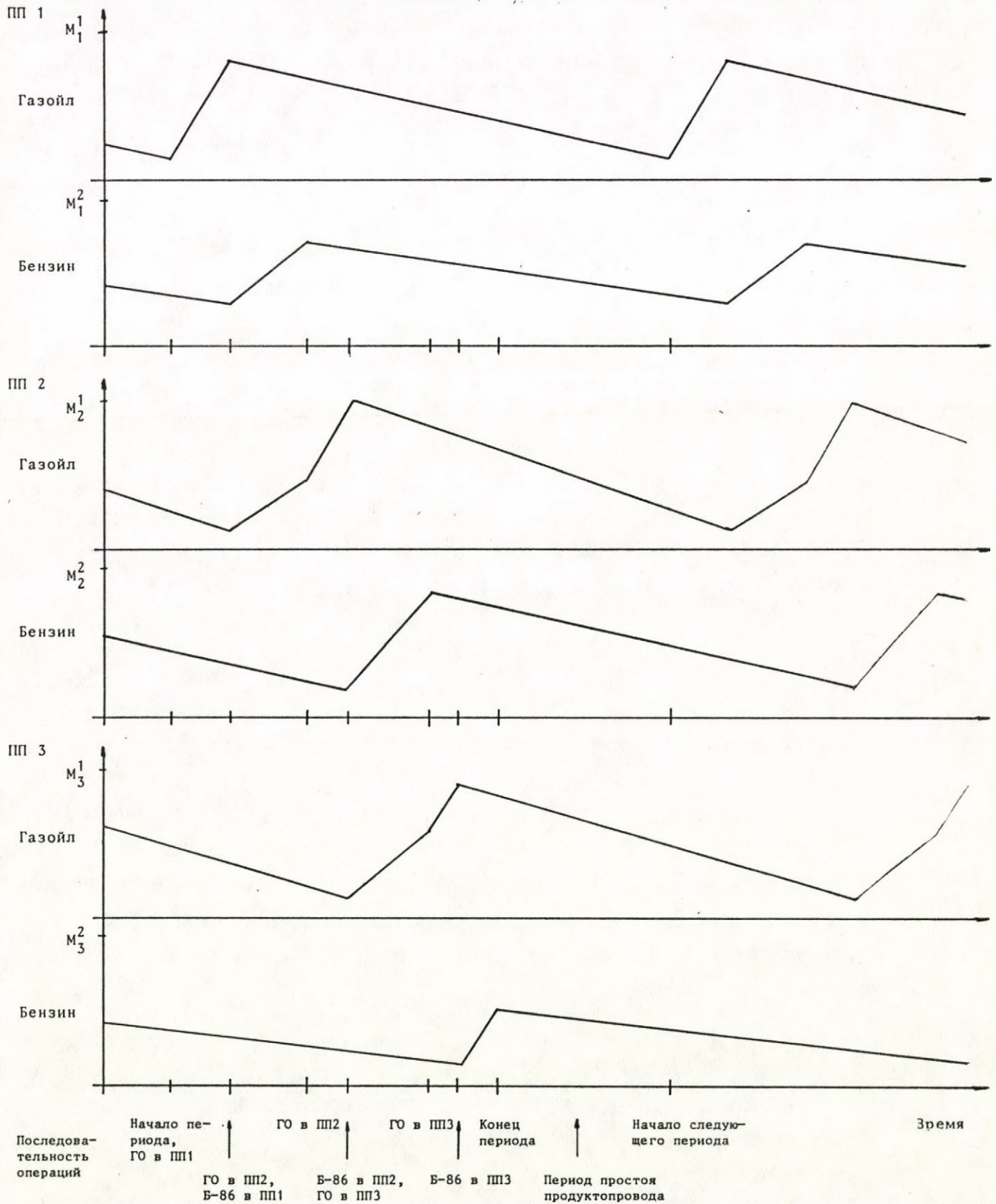


Рис. 3. Схема организации периодической поставки в случае двух продуктов (газойла - ГО и бензина - Б-86) в системе с тремя ПП. Для компенсации колебаний потребления можно варьировать операции отбора и использовать период простоя

Из изложенного уже видно, что в процессе управления продуктопроводом необходимо совместно решать дискретную задачу (определение последовательности "адресованных" пробок) с задачей непрерывного характера (определение объема, "длины" этих пробок).

Если РСС включает в себя n пунктов потребления и в системе транспортируются m продуктов, то количество теоретическим возможных последовательностей пробок - при определенных ограничениях - равно $(n \cdot m)!$, то есть в случае не очень сложных систем (например, 5 пунктов потребления, 3 продукта) уже получается очень большое число для возможных последовательностей. Проверка такого количества вариантов, при этом определяя оптимальный объем "пробок" продуктов, не реализуема.

По моему мнению, необходимо предварительно задавать (или выбирать эвристическим путем, исходя из технологических или других рассуждений) несколько реальных последовательностей поставок и возвращаться к дискретной задаче только тогда, если спрос не может быть обеспечен при таких последовательностях пробок.

Что касается непрерывной задачи, определения объема пробок, отметим, что имеем временной ряд θ_i^j ($i=1,2,\dots,n$; $j=1,2,\dots,m$), характеризующий израсходование запасов по пунктам потребления. Зная последовательность поставок, в зависимости от объема пробок и скорости их отбора на отдельных пунктах потребления можно рассчитать моменты времени t_i^j , когда фронт j -того продукта поступает к i -тому пункту потребления. При этом объем пробок должен определяться таким образом, что неравенства

$$\begin{aligned} t_i^j &\leq \theta_i^j \\ \tau_{ic}^j &\geq t_v \end{aligned}$$

где τ_{ic}^j - момент следующего опорожнения резервуара;
 t_v - конец интервала планирования T ;
выполнились для всех i и j .

Если эта задача имеет решение, то оно недалеко от оптимального, потому что основной компонент целевой функции, транспортные расходы, является минимальным. Если задача не имеет решения, можно проверить другие возможные последовательности и можно сопоставить различные варианты по целевой функции, предполагая, что "недостающие" продукты будут поставляться по независимому пути транспортировки.

В задачу необходимо включить далее набор условий, характеризующих возможность реализации полученного плана (опорожнение содержимого трубопровода и т.д.) или необходимо с помощью имитационной модели проверить реализуемость плана.

5. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОЩНОСТЕЙ ПУНКТОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ, ПОДКЛЮЧЕННЫХ К ПРОДУКТОПРОВОДУ

В предыдущей части неоднократно отметили, что при наличии продуктопровода вся РСС является одной целой и любое изменение влияет на характеристики системы. Здесь желаем обратить внимание на отдельные факты, которые требуют нового подхода при проектировании мощностей пунктов потребления, подключенных к продуктопроводу.

На пунктах потребления емкости резервуаров более-менее пропорциональны обороту данного продукта. При наличии продуктопровода обычно хотя бы один из продуктов поставляется в количестве, значительно больше количества других продуктов (в ВНР таким продуктом является газойл). Это означает, что в большей части времени трубопровод заполнен газойлом и спрос по нему можно удовлетворить немедленно. Необходимые емкости для газойла должны определяться не по обороту этого продукта, а исходя из двух факторов:

- запасы на пунктах потребления должны быть достаточными на время поставки других продуктов (средний коэффициент занятости продуктопровода на транспортировку других продуктов можно рассчитать по сезонам);
- емкости резервуаров должны обеспечить возможность опорожнения газойла из продуктопровода.

С другой стороны, целесообразно иметь большие емкости для продуктов с меньшим потреблением (например, высокооктановый бензин), этим увеличить $t_{\text{мин}}^P$ - минимальный период пополнения. Как уже показывали, этим увеличивается общая (полезная) пропускная способность системы и снижаются потери.

Опыт показывает, что "узкие места" в системе с низким $t_{\text{мин}}^P$ усложняют задачу управления продуктопроводом и снижают экономичность эксплуатации, к ним часто необходимо или проще поставлять продукт по железной дороге или автотранспортом.

Соблюдение указанных требований не всегда требует сооружение новых резервуаров, часто достаточно по-новому распределить имеющиеся резервуары между продуктами. Этот факт также подтверждает целесообразность всестороннего анализа уже имеющихся систем с помощью имитационной модели РСС.

REGIONÁLIS BENZIN- ÉS GÁZOLAJ ELLÁTÓ
RENDSZEREK SAJÁTOSSÁGAI TÖBB TERMÉK
SZÁLLÍTÁSÁRA SZOLGÁLÓ TERMÉKVEZETÉK ESETÉN

Inzelt Péter

Összefoglaló

A termékvezeték - a többi szállítási móddal összehasonlítva - a motorbenzinek és gázolaj rendkívül olcsó szállítását biztosítja, optimális kihasználása jelentős megtakarítást eredményez. A termékek váltakozva, "dugók" formájában haladnak a termékvezetékben. A feladat a "dugók" sorrendjének és nagyságának meghatározása oly módon, hogy - egyéb technológiai korlátok mellett - egyetlen tárolótéren sem fogyhat el egyetlen termék sem, de a tartályok sem tölthetők túl.

A termékvezeték szállítókapacitása függ az egyes igények sorrendjétől és nagyságától, tágabb értelemben a teljes ellátási rendszer állapotától. Minden igény kielégítése a teljes rendszer állapotát változtatja meg. Ebből a tényből következik az is, hogy termékvezeték üzemeltetése esetén a csatlakozó tárolóterek tartálykapacitásait az ellátási rendszer tulajdonságaiból kiindulva kell meghatározni.

ON THE SPECIFIC ROLE OF A MULTIPRODUCT-PIPE-
LINE IN THE REGIONAL PETROL- AND GASOLINE
DISTRIBUTION SYSTEMS

Peter Inzelt

Summary

Pipelines give the opportunity of very low-cost transportation of light crude-oil products to compare them with the railway or road transport. The petrol and gasoline portions are moving sequentially as a set of "plungers". The sequence of "plungers" and their "length" (volume) should be defined so that - among other technological constraints - no product stock should be exhausted at the tank parks connected to the pipeline and over-charging the tanks is impossible, too.

The pipeline throughput depends on the sequence and volume of product-demands, in general sense, on the state of the whole regional system. The satisfying of each demand changes the whole system's state. To achieve the optimal conditions for the multiproduct-pipeline operation, the tank-capacities of the tank-parks connected to the pipeline should be defined on the basis of characteristics of the whole distribution system.