

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ МОДЕЛЕЙ

Проаналізовано стратегію оперативного управління режимами газотранспортних систем. Наведено алгоритм роботи діалогового програмного комплексу оперативного управління на базі моделювання нестационарних режимів ГТС. Розглянуто блок-схему узагальненого алгоритму комплексу в режимі оперативного управління, яка відображає його основні функціональні можливості.

Проанализирована стратегия оперативного управления режимами газотранспортных систем. Приведен алгоритм работы диалогового программного комплекса оперативного управления на базе моделирования нестационарных режимов ГТС. Рассмотрена блок-схема обобщенного алгоритма комплекса в режиме оперативного управления, отражающая его основные функциональные возможности.

Работа газотранспортных систем (ГТС) практически постоянно сопровождается возникновением нестационарных режимов, образующихся под воздействием множества разнообразных факторов, среди которых можно выделить как различные плановые технологические операции (включение и отключение оборудования компрессорных станций (КС), изменение режимов его работы, изменение конфигурации линейных участков и прочие), так и непредвиденные аварийные ситуации (отказы оборудования, разрушение трубопровода линейного участка (ЛУ) и прочие).

Каждое из подобных возмущений может вызвать весьма длительный переходный процесс в ГТС, длящийся от нескольких часов до нескольких суток. Поэтому нестационарные режимы ГТС наблюдаются достаточно часто, в связи с чем управление функционированием газотранспортных систем в нештатных ситуациях является весьма важной задачей.

Это обстоятельство обуславливает актуальность исследований переходных процессов в ГТС, важнейшей задачей которых является разработка математического аппарата и программных средств, позволяющих моделировать переходный режим ГТС при различных типах возмущений с целью получения рекомендаций диспетчеру ГТС по выбору оптимальной стратегии управления системой для наискорейшей стабилизации режима, минимизации включаемого для этой цели резервного газоперекачивающего оборудования, оптимизации потребляемых энергоресурсов.

Оптимальная стратегия управления газотранспортной системой определяется результатами моделирования и системного анализа происходящих в ГТС процессов. Исследованные методы системного анализа стационарных и нестационарных режимов совместно с математическими моделями основных элементов ГТС позволяют анализировать сложноразветвленные газотранспортные системы произвольной конфигурации.

Процессы в линейной части ГТС описываются системой уравнений Навье-Стокса и многократно используются в объединенной модели ГТС. В компрессорной станции технологические процессы протекают намного быстрее, чем в линейной части. При этом КС изображается в прос-

транстве математической точкой, а установившиеся и переходные процессы в ней описываются одностепенными системами нелинейных алгебраических уравнений.

При моделировании стационарных и переходных режимов ГТС используются уравнения узла, отражающие баланс масс, энергий, равенство давлений во всех трубах, объединенных в узле, и температур отходящих от узла газовых потоков.

При системном анализе совместно исследуются математические модели отдельных подсистем объектов, а с помощью уравнений связи выполняется их объединение. Математические модели ГТС представляют собой объединение математических моделей ее основных элементов — компрессорных станций, линейных участков (ЛУ) трубопроводов и узлов. Модели трубопроводов и КС являются недоопределенными, использование модели узла приводит к получению переопределенной системы уравнений. Формирование системных моделей ГТС, предназначенных для численного системного анализа, производится путем объединения моделей подсистем с соответствующим преобразованием последних. Изменение моделей трубопроводов и КС состоит в том, что переменные точек, примыкающих к узлам, "склеиваются", исходя из условий равенства давлений подходящих и отходящих от узла потоков и равенства температур отходящих от узла потоков. Кроме того, в моделях трубопроводов производится сокращение количества уравнений на два для точек втекания газа в трубопровод и на одно для точек вытекания.

Такой подход дает замкнутую систему алгебро-дифференциальных уравнений, которая моделирует процессы в ГТС произвольной конфигурации с различным количеством КС и ЛУ, расчетные схемы могут содержать контуры и перемычки.

Совокупность математических моделей, описывающих процессы в газотранспортной системе, представляет собой систему дифференциальных уравнений в частных производных. Для проведения системных исследований необходимо выполнить алгебраизацию приведенных уравнений. Для этой цели можно использовать как явные, так и неявные методы интегрирования [1,2].

К основному достоинству явных методов следует отнести простоту. Однако, как показала практика, при

определенных соотношениях шагов по пространственной и временной координатам довольно рано наступают численная неустойчивость.

Иная картина наблюдается при использовании неявных методов интегрирования. Численная устойчивость здесь довольно высока, и шаг интегрирования по времени может составлять от десятка минут до нескольких часов. Недостатком же таких методов является необходимость решения больших систем алгебраических уравнений, которая, однако, при современном уровне развития вычислительной техники не является серьезным препятствием.

Практика показала, что матрицы систем уравнений для исследования таких переходных процессов получаются слабозаполненными. Поэтому для их решения рационально использовать специальную методику работы с разреженными матрицами [1-3].

Для решения задач выбора оптимальной стратегии управления газотранспортной системой в Институте общей энергетики НАН Украины был разработан диалоговый программный комплекс (ДПК) "Динамика". Решение описанной выше системы дифференциальных уравнений с помощью ДПК при использовании современных вычислительных средств позволяет диспетчеру-технологу получать информацию о режимных параметрах в любой пространственной точке газотранспортной системы в случае стационарного режима течения газа, а также в любых временных и пространственных срезях в случае возникновения нестационарного режима.

В ходе моделирования режимов ГТС с помощью ДПК "Динамика" имеется возможность выполнения различных технологических переключений: отключение одного газоперекачивающего агрегата (ГПА) или групп ГПА, одного или нескольких компрессорных цехов, всей компрессорной станции, а также отключение любого количества труб на линейных участках.

По результатам моделирования переходных процессов, возникающих в системе при тех или иных возмущениях, с помощью комплекса "Динамика" (в режиме работы "оперативное управление") диспетчер принимает решение о необходимости применения тех или иных управляющих воздействий: изменения оборотов конкретных ГПА; изменения структуры цехов и КС (отключения или включения дополнительного оборудования); регулирования потребителей путем ограничения поставляемого газа; изменения граничных значений режимных параметров на входе или выходе из системы (давления, расхода газа, температуры).

В ходе расчета переходного процесса, в соответствии с алгоритмами работы программного комплекса, предусматривается определение оптимального состава включаемого резервного оборудования по критерию минимального времени установления нового стационарного режима.

При оптимизации состава работающего оборудования автоматически выполняется оптимизация энергопотребления. При расчете предусматривается варьирование шага дискретизации по времени (минуты, часы) в зависимости от технологических ситуаций и глубины возмущения.

В качестве входных данных используются:

- схема ГТС;
- режимные параметры компрессорных станций — давление, расход, температура;
- объем транспортируемого газа;
- величины отборов газа потребителям;
- разрешенные величины изменений граничных условий — давлений входа и выхода системы, расхода на выходе системы;
- возмущение — аварийный или плановый останов агрегата, цеха, всей КС, отключение трубы, всей нитки.

После запуска диспетчером программного комплекса, в соответствии с алгоритмом работы, приведенном на рис.1, осуществляется считывание схемы ГТС и режимных параметров из базы данных текущих режимов в рабочую область программного комплекса. В процессе считывания схемы ГТС вносятся и корректируются, при необходимости, исходные данные.

В качестве следующего шага работы ПК выполняется гидравлический расчет с контролем исходных данных и рассчитанных эффективностей линейных участков, а также параметров работы компрессорных станций.

С использованием программного комплекса в режиме оперативного управления решается ряд технологических задач:

- Расчет длительности режима аккумуляции газа в ГТС и величины аккумулированного газа. При этом рассчитывается необходимый расход газа на входе в систему ($Q_{вх}=?$) при поддержании неизменными давлений на входе и выходе системы, а также расхода на выходе из системы ($P_{вх}, P_{вых}, Q_{вых}=\text{const}$).

- Расчет величины аккумулированного газа в ГТС, а также длительности его использования при допущении, что $P_{вх}, P_{вых}, Q_{вх}=\text{const}$. Расход газа на выходе системы при этом рассчитывается ($Q_{вых}=?$).

- Расчет длительности форсированного транспорта газа, при котором определяется расход газа на входе и выходе системы при заданных давлениях на входе и выходе системы ($P_{вх}=\text{const}, P_{вых}=\text{const}, Q_{вх}=? , Q_{вых}=?$).

Стратегия оперативного управления режимом ГТС основана на последовательном решении ряда узловых задач:

- Определение оптимального состава включаемого резервного оборудования КС для сохранения неизменной величины перекачиваемого газа.

- Расчет пропускной способности ГТС.

- Расчет необходимого изменения граничных давлений для минимального сокращения транспорта газа.

- Определение длительности переходного процесса.

При следующем шаге работы программного комплекса моделируется ввод в систему определенного возмущения. К основным возмущениям работы ГТС относятся останов компрессорного цеха или КС в целом, изменение схемы работы цеха, отключение труб на линейных участках, коммутация (подключение, отключение) отдельных потребителей.

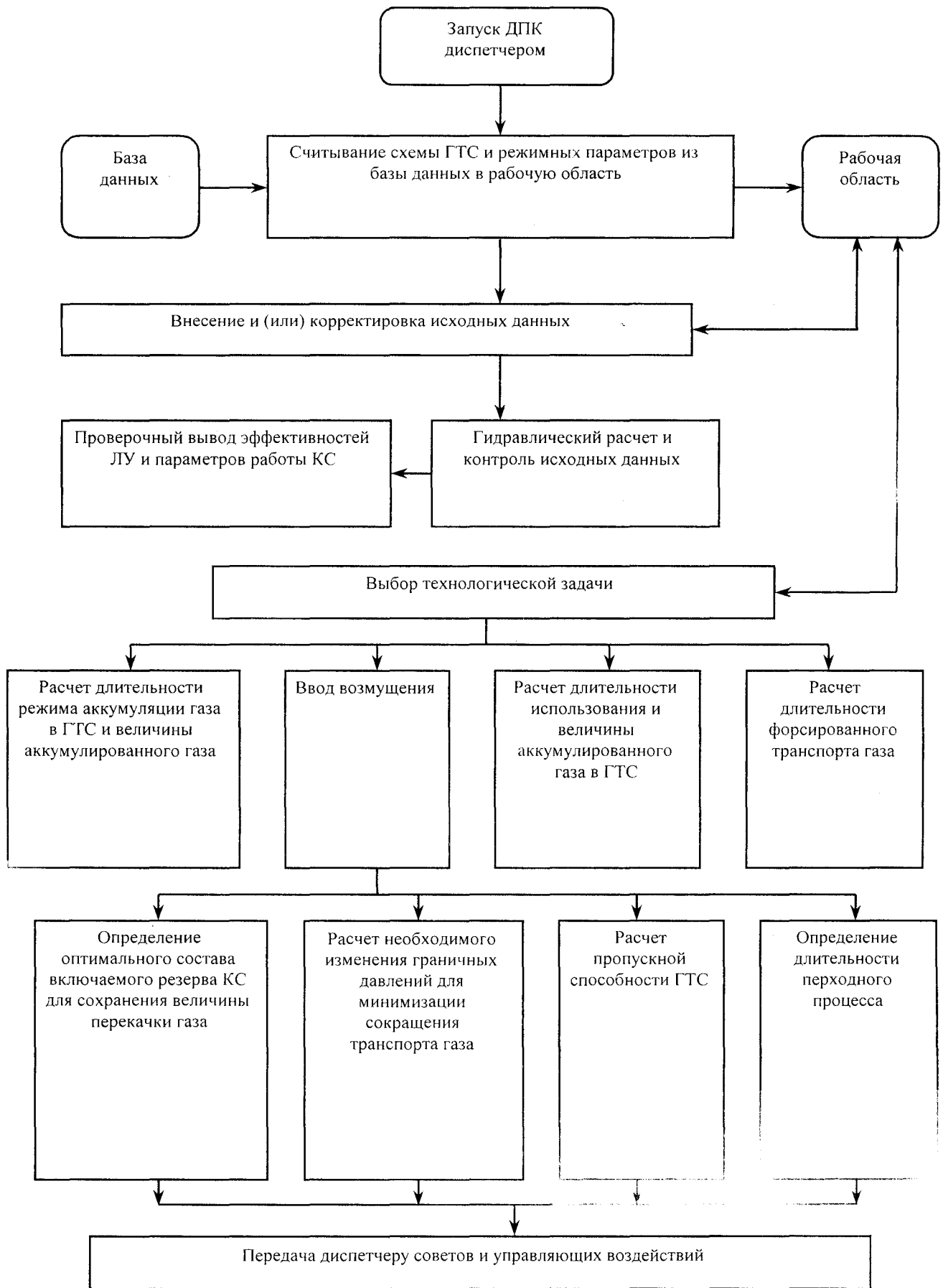


Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы программного комплекса

Обобщенный алгоритм работы диалогового программного комплекса "Динамика" в режиме оперативного управления в соответствии с приведенной блок-схемой (рис.2) включает следующие основные блоки.

1. Ввод исходного режима.

Исходный режим вводится из базы данных с возможностью необходимых корректировок с экрана дисплея. При вводе исходного режима используются входные данные, перечисленные выше.

2. Гидравлический расчет исходного стационарного режима с определением давлений на входе и выходе каждой КС, расходов на входе и выходе системы, через КС и узлы схемы, а также эффективности линейных участков.

3. Формирование расчетной схемы с учетом входных данных и исходного стационарного режима.

4. Ввод возмущения.

Ввод возмущения осуществляется средствами, имеющимися в комплексе моделирования. Возмущениями могут быть следующие переключения:

- отключение одной или нескольких групп в выбранном цехе конкретной КС;
- отключение одного или нескольких цехов конкретной КС;
- отключение одной или нескольких труб на конкретном линейном участке.

5. Определение оптимального состава включаемого резервного оборудования (ГПА) по критерию минимального времени установления нового стационарного режима.

На этом шаге выполняется поиск доступного резерва КС, производится его включение и рассчитывается новый режим. Если возмущение состоит в отключении мощности какой-либо КС, то поиск резерва и его включение начинается с этой КС. Если возмущение — отключение труб на линейном участке, то поиск и включение резерва начинается с двух прилегающих к линейному участку компрессорных станций одновременно. Если это не привело к восстановлению прежнего режима, то производится смещение для поиска резерва на одну КС влево и вправо по расчетной схеме. Снова считается режим и сравнивается с исходным. Если и это не привело к решению задачи, то производится следующий шаг смещения до тех пор, пока граничный режим не восстановится, или пока не будут просмотрены все КС расчетной схемы.

6. Проверка, скомпенсировало ли включение резерва введенное возмущение.

Если скомпенсировало, то производится выход из алгоритма оперативного управления с предварительным определением времени установления нового стационарного режима, а также индикацией следующих результатов:

- старого стационарного режима;
- нового стационарного режима;
- времени достижения нового стационарного режима;
- моментов и времени включения резервного оборудования КС;
- схем цехов всех КС при новом стационарном режиме.

Если включение резервного оборудования КС не скомпенсировало возмущение, то осуществляется пе-

реход к следующему пункту.

7. Вывод на экран результатов включения резерва. На этой видеограмме показаны новые схемы работы цехов, выходные давления КС, максимально достижимое давление на выходе системы.

8. Вывод на экран таблицы вариантов оценочных расчетов. Эта таблица предоставляет пользователю возможность указать, какими граничными параметрами можно пожертвовать для достижения нового стационарного режима:

- увеличением давления на входе в систему;
- уменьшением давления на выходе из системы;
- уменьшением объема транспорта газа через систему;
- уменьшением объема потребления в пределах рассчитываемой системы.

9. Получение величины необходимого изменения давления входа в систему (если возможно) при неизменных выходных расходе и давлении. Расчет соответствующего стационара.

Этот пункт выполняется в случае разрешения, полученного в пункте 8. Однако может оказаться так, что изменение давления на входе в систему может не привести к цели. Это будет наблюдаться в том случае, если при включении резерва КС (пункт 5) на одной из компрессорных станций было достигнуто максимальное разрешенное давление. В этом случае пункт 10 также не выполняется.

10. Получение величины необходимого изменения выхода из системы при неизменных давлениях входа в систему и выходного расхода. Расчет соответствующего стационара.

В этом пункте рассчитывается величина максимального выходного давления, которое достижимо при включении всего допустимого резервного оборудования системы.

11. Получение величины необходимого изменения выходного расхода при неизменных давлениях входа и выхода. Расчет соответствующего стационара. В этом пункте рассчитывается величина транспорта газа, которой необходимо пожертвовать для того, чтобы оставить неизменным граничное выходное давление.

12. Индикация результатов оценочных расчетов на экране дисплея и получение данных комбинированного расчета. На экран выводится сводная таблица результатов, полученных в пунктах 9-11, и предоставляется возможность ввода сценария комбинированного расчета с заданными приоритетами изменения граничных параметров.

13. Выполнение комбинированного расчета нового стационарного режима. Производится расчет на основе данных, заданных в предыдущем пункте.

14. Расчет семейства нестационарных режимов комбинированного расчета. Производится расчет времени изменения свободных параметров системы и времени установления нового стационарного режима.

15. Выдача результатов расчета. Производится выдача следующих результатов:

- "старого" стационарного режима;

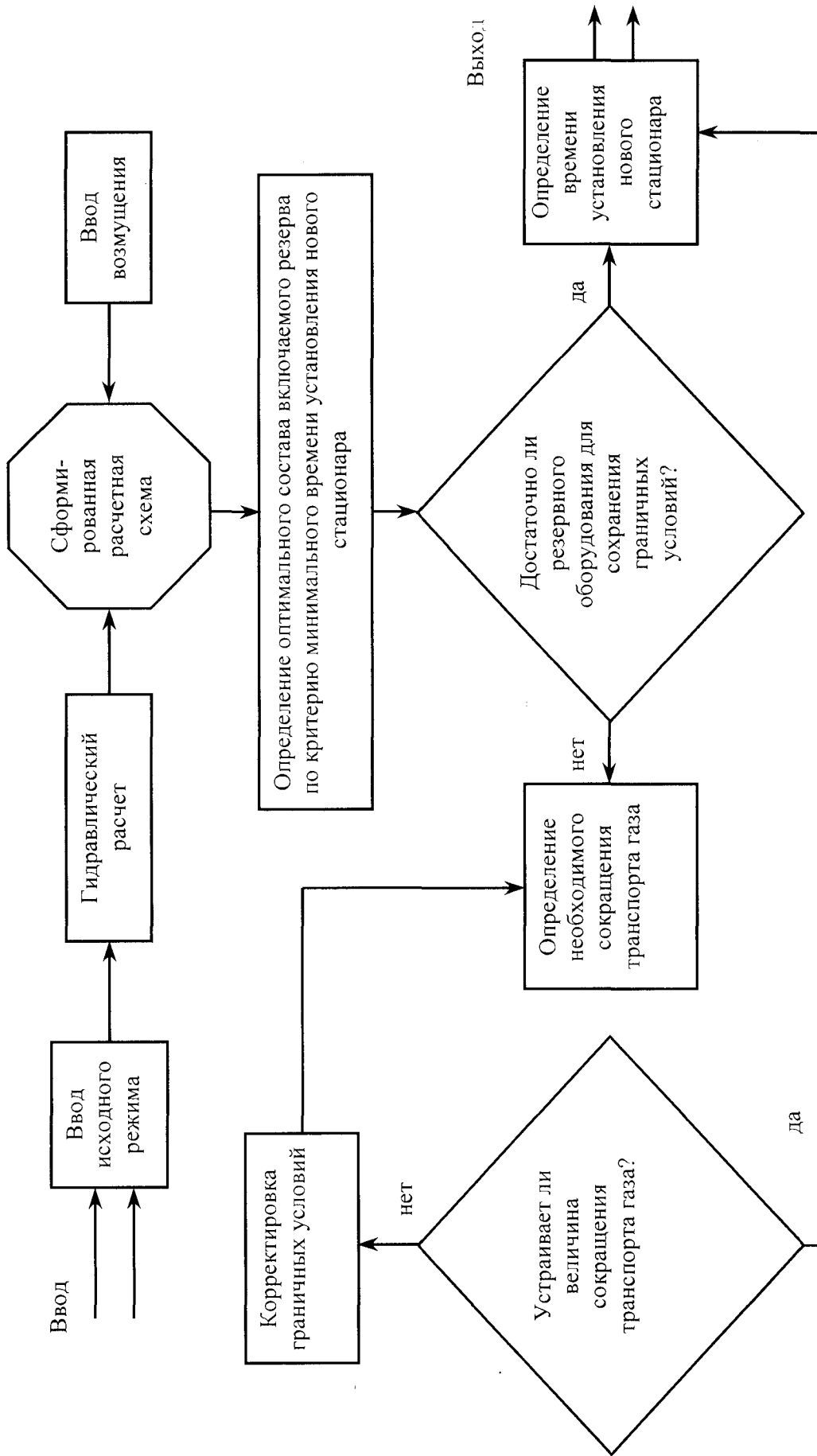


Рис.2. Блок-схема обобщенного алгоритма работы комплекса "Динамика" в режиме оперативного управления

- нового стационарного режима;
 - времени установления нового стационарного режима;
 - моментов включения и времени работы резервного оборудования КС;
 - измененных схем работы цехов;
 - графиков изменения граничных давлений входа и выхода системы;
 - графика изменения выходного граничного расхода.
- К основным результатам при этом следует отнести:
- давления и расходы во всех точках системы в любой момент времени (при заданной дискретизации расчета по времени);
 - состав включаемого резервного оборудования, необходимые значения изменения оборотов ГПА, моменты включения резервного оборудования;
 - время установления нового стационарного режима.

Из рассмотренного обобщенного алгоритма работы диалогового программного комплекса "Динамика" в режиме оперативного управления видно, что ДПК дает возможность диспетчеру в процессе реализации функции моделирования провести анализ переходного процесса, просмотреть различные варианты изменения граничных условий, изучить поведение системы при изменении состояния технологического оборудования, а также определить принципы оптимизации управления газопроводом в нестандартных ситуациях.

С использованием ДПК "Динамика" было проведено

моделирование переходного процесса на участке магистрального газопровода Ромны-Богородчаны ДК "Укртрансгаз", вызванного отключением КС Гусятин, при необходимости транспорта газа для поддержания давления на входе КС Богородчаны не менее 50 Ата.

Расчетная схема с исходным режимом приведена на рис.3.

Были проведены следующие расчеты:

1. Моделирование переходного процесса без использования управляющих воздействий и поддержанием давления уставок на выходе КС за счет регулирования оборотов нагнетателей. Выборочные результаты расчета приведены на рис.4.

2. Оперативное управление с использованием резервной мощности КС Бар. На остальных КС резервная мощность не использовалась, т.к. на КС Бар было достигнуто максимально допустимое давление (76 Ата). При этом заданное минимальное давление на входе КС Богородчаны не обеспечено. Выборочные результаты расчета приведены на рис.5.

3. Оперативное управление с использованием резервной мощности КС Бар и сокращением транспорта газа со 108 млн.м3/сут. до 99,76 млн.м3/сут. При этом заданное минимальное давление на входе КС Богородчаны обеспечено. Выборочные результаты расчета приведены на рис.6.

На рис.7 приведены графики изменения давлений для трех проведенных расчетов.

1. Кулик М.Н. Методы системного анализа в энергетических исследованиях. — Киев: Наукова думка, 1987. — 198 с.
 2. Кулик М.Н., Костюковский Б.А., Линецкий И.К. и др. Оптимизация республиканского топливно-энергетического комплекса и его отраслевых систем. — Киев: Наукова думка, 1992. — 215 с.
 3. Тьюарсон Р. Разреженные матрицы. — М.: Мир, 1977. — 190 с.

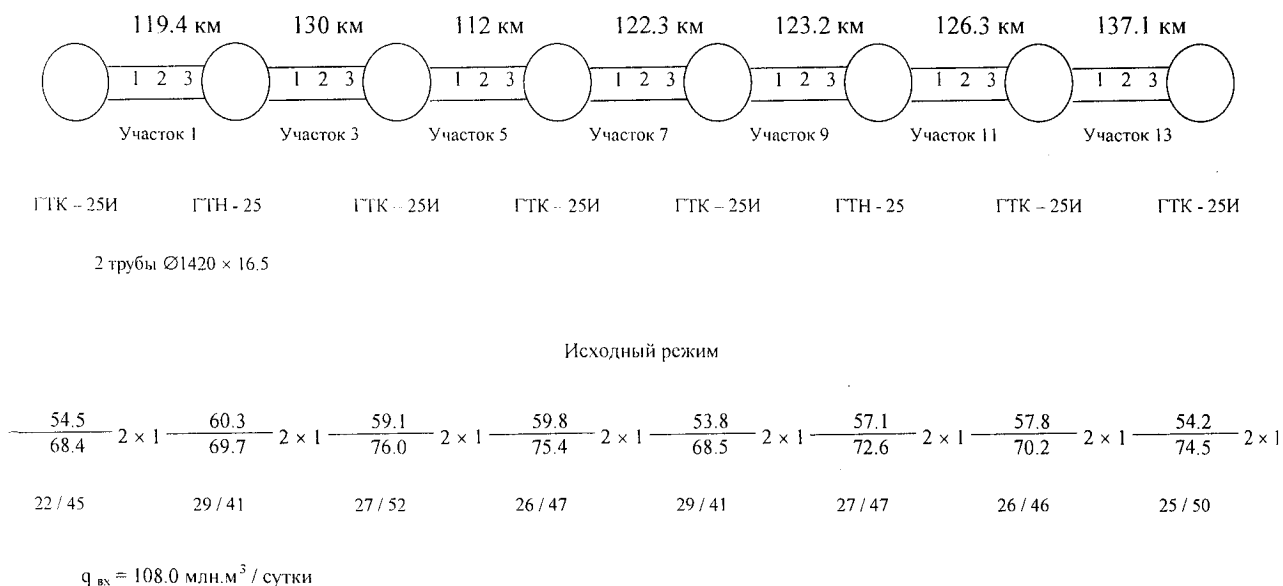


Рис.3. Расчетная схема

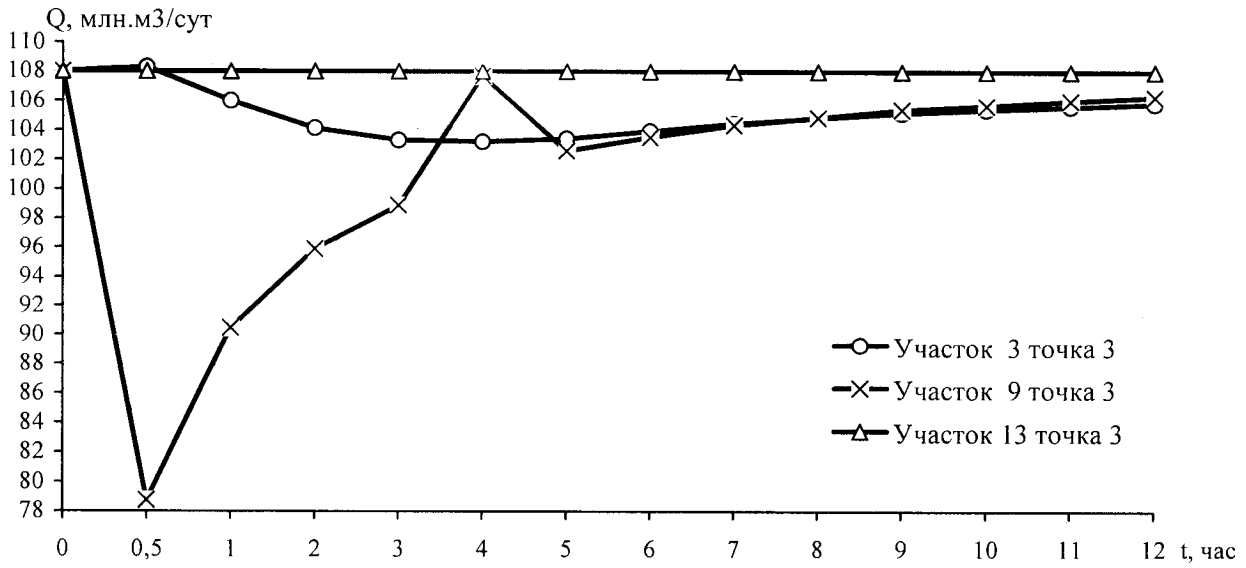


Рис.4. Расчет №1

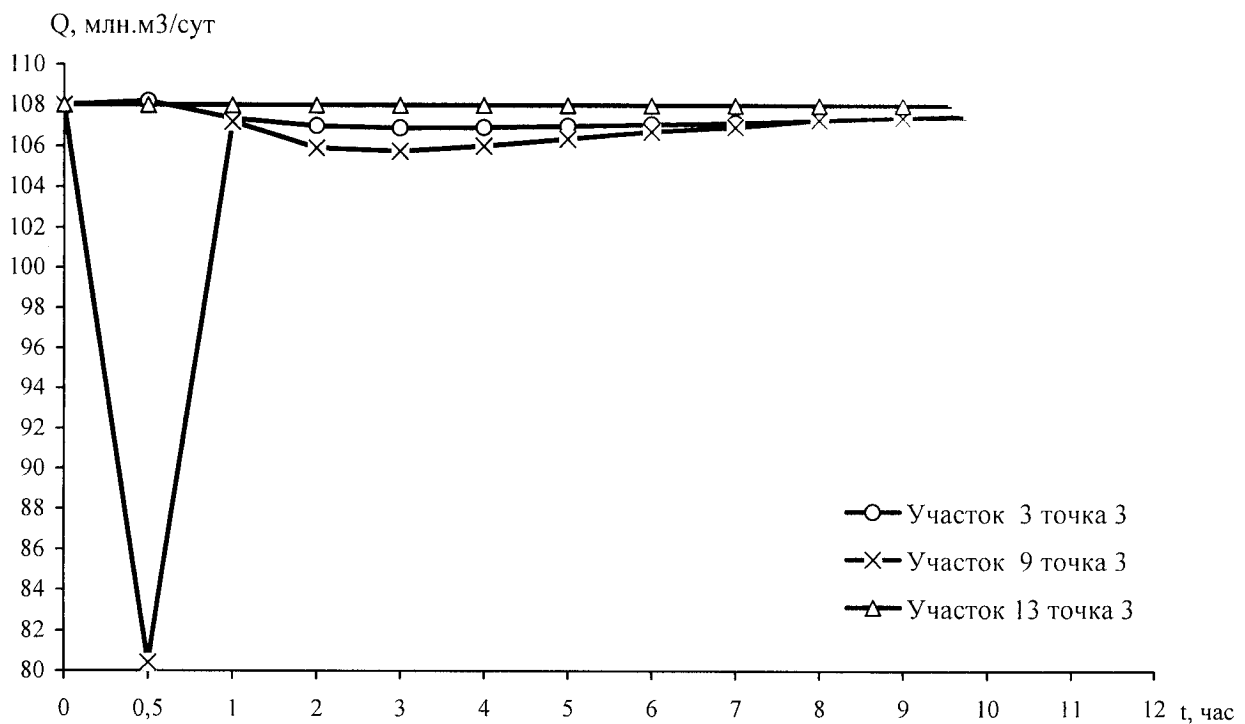


Рис.5. Расчет №2

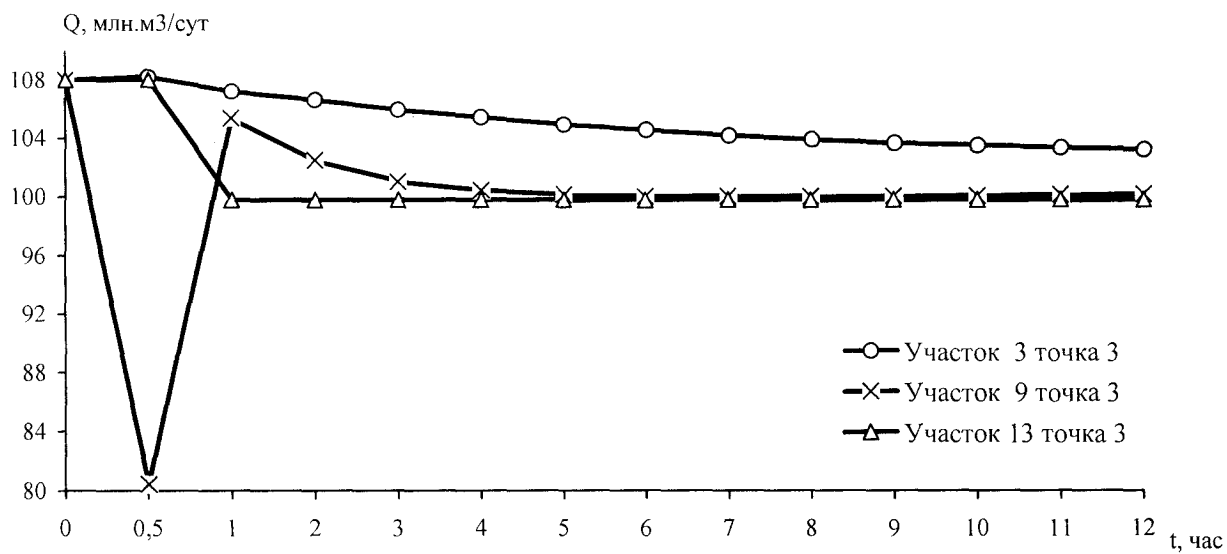


Рис.6. Расчет №3

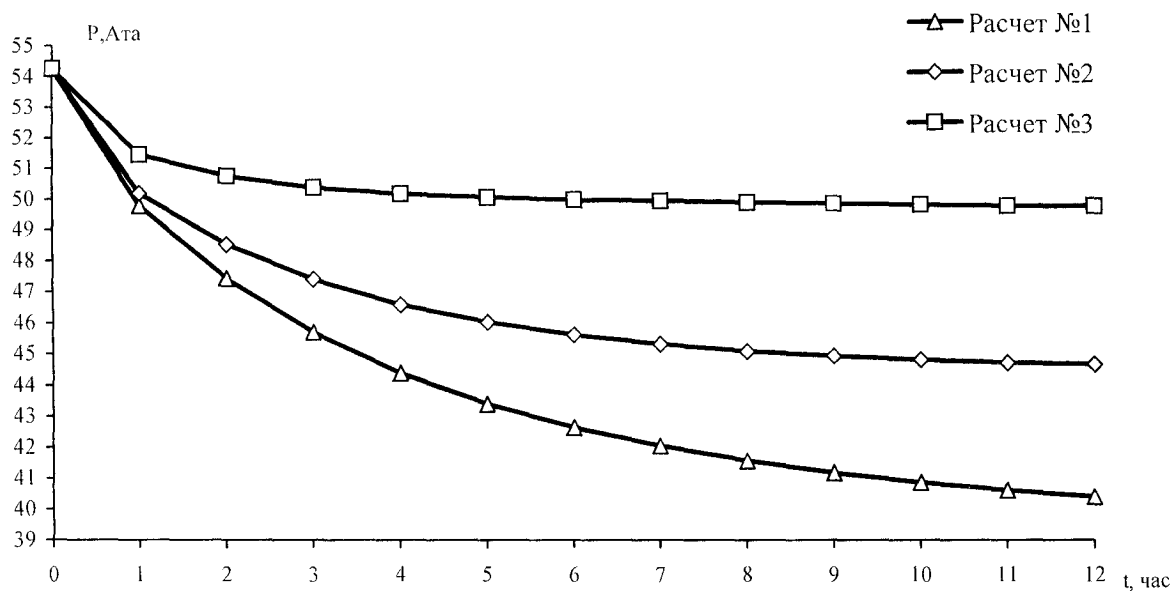


Рис.7. Участок 13 точка 3