

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 622691.4:519.711.3

РАСЧЕТ ОПОРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТИРУЕМЫХ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Р.А. НЕЙДОРФ

(Донской государственный технический университет),

Е.В. ТЕТЕРЕВЛЁВА, З.Х. ЯГУБОВ

(Ухтинский государственный технический университет)

Рассматриваются возможности приложения результатов математического моделирования магистральных трубопроводов к задачам предварительного расчета технологических и конструктивных параметров участков транспортировки природного газа. Предлагается подход сквозного расчета дискретизированных значений переменных состояния при построении блочно-модульных схем моделей при их программной реализации, что позволит решать задачи повышения эффективности и параметрической оптимизации технологических свойств и технологической управляемости таких объектов при построении и эксплуатации АСУ ТП.

Ключевые слова: участок магистрального трубопровода, математическая модель, установившийся режим, технологические и конструктивные параметры, аппроксимация, дискретизация.

Введение. Для эффективного управления магистральными потоками природного газа, а также диагностики и прогнозирования состояния транспортной системы особое значение имеет возможность математического и имитационного моделирования объекта. Это, прежде всего, касается задачи моделирования динамических процессов транспортировки газа в реальном времени [1]. Но математические модели пространственно распределенных объектов управления очень сложны по своей внутренней структуре взаимовлияния переменных состояния. Поэтому при разработке численных алгоритмов решения задач газовой динамики возникает проблема выбора внутренней устойчивой аппроксимационной динамической имитационной математической модели таких объектов [2, 3]. Это касается способа аппроксимации переменных состояния и параметров сплошной среды, описываемой дифференциальными уравнениями в частных производных, их дискретными аналогами, т. е. разностными уравнениями [4-6]. Пространственная дискретизация приводит к аппроксимации производных в системе дифференциальных уравнений, являющихся математической моделью распределенного объекта. Далее вводится и дискретизация времени как основа численного решения полученных дифференциальных уравнений в полных производных. Такое преобразование связано с вводом в задачу параметров разностной сетки – пространственно-временных шагов.

При таком способе решения задачи моделирования возможны два подхода [4, 7, 8]. Один ориентирован на определение закона дискретизации и аппроксимацию временных и пространственных производных непосредственно в дифференциальных уравнениях в частных производных [4, 7]. Другой подход основан на построении некоторого дискретного физического аналога, примером которого является так называемая ячеечная модель [9]. При этом система дифференциальных уравнений в частных производных заменяется системой дифференциальных уравнений в полных производных, а размерность модели возрастает пропорционально количеству ячеек аналога. Тогда становится возможным использование хорошо развитой библиотеки алгоритмов численного решения дифференциальных уравнений в полных производных.

В первом подходе система дифференциальных уравнений в частных производных заменяется системой алгебраических уравнений большой размерности относительно значений во всех узлах получаемой сетки пространственной дискретизации. Эти системы могут быть решены либо явно, либо итерационными численными алгоритмами (неявно). Такой подход позволяет получить пространственно-временную аппроксимацию с полным обоснованием свойств полученной системы – сходимость, устойчивость, аппроксимация. Второй подход является вычислительно-экспери-

ментальным, так как основан на сопоставлении свойств математической модели, аппроксимированной по пространственной координате и свойств численного метода решения дифференциальных уравнений, т. е. аппроксимационного решения уравнений модели по времени.

Для решения задач моделирования динамических процессов наиболее приемлем второй подход, но его реализация связана с множеством проблем, главными из которых являются устойчивость решения и универсальность полученной модели [1, 4, 9, 10]. При этом если проблема устойчивости модели нашла частичное решение в работах Н.В. Кудинова и проф. Р.А. Нейдорфа, то проблеме универсальности и неограниченной параметрической расширяемости модели до сих пор не уделялось серьезного внимания. Практика применения имитационной модели к задачам управления в рамках АСУ ТП придает этой проблеме особое значение.

Решение неординарной задачи построения внутренне устойчивой аппроксимационной динамической имитационной математической модели упомянутых выше объектов невозможно без анализа фундаментальных результатов их исследования, т. е. без аналитически выраженных математических моделей. Кроме того, такие модели необходимы в проектных, технологических, диагностических и других расчетах, связанных с выбором наиболее эффективных конструкции или технологического регламента [11, 12]. Для корректного решения такого рода задач аналитически построенную и, следовательно, структурно адекватную процессу математическую модель необходимо идентифицировать параметрически.

Структура взаимозависимостей переменных состояния распределенного объекта такова, что его математическая модель очень чувствительна к большинству конструктивных и технологических параметров и имеет физический смысл только в определенных, очень узких, их диапазонах. Исследования по определению этих диапазонов (как технологических, так и конструктивных) позволяют уточнить (т. е. параметрически идентифицировать) ряд трудноопределимых регламентных технологических переменных, а также рассчитать диапазоны их возможных значений. Кроме того, целесообразно разработать математические инструменты решения задачи выбора робастного сочетания конструктивных параметров [9].

Постановка задачи. Для универсальности аппроксимирующей распределенный объект имитационной модели необходимо придать ей структуру такой динамической системы, в которой максимально облегчается структурная перестройка, сохраняющая основные черты распределенного оригинала, но содержатся параметрические настройки технологических свойств, а также действия внешних возмущающих и управляющих воздействий. В связи с этим, проблему целесообразно исследовать на конкретном и максимально простом примере объекта с одной пространственной координатой.

К таким объектам относятся трубопроводы транспортировки природного газа, которые в реальных магистралях реализуются в виде отдельных участков, разделенных газоперекачивающими агрегатами. Такие участки магистральных газопроводов (МГП) и являются объектами управления в АСУ ТП.

Решения, обеспечивающие блочно-модульное построение модели и алгоритма, эффективно раскрываются лишь на схемном уровне. Основой таких решений может быть только централизованное и сквозное обеспечение изменения всех настроек модели. Это относится как к конструктивным размерам, так и к технологическим параметрам. Кроме того, для обеспечения стабильности работы модели, необходимо в каждую ячейку программно передавать значения важнейших для объекта переменных состояния, отвечающих текущим статическим профилям их распределения.

В связи со сформулированным подходом в статье ставится и решается задача расчета и сквозной передачи значений плотности и массового расхода газа. Наряду с этим важно получить оценки предельных возможностей исследуемого участка магистрального газопровода: конструктивных при заданных значениях технологических переменных и, наоборот, технологических при заданных значениях конструктивных параметров. Для решения всего комплекса обозначенных во введении задач необходимо исследовать те аналитические возможности, которые предоставляют получаемые на стадии математического моделирования динамические и статические характери-

стики распределенного объекта. Прежде всего, необходимо построить и оценить те взаимозависимости переменных состояния и параметров объекта, которые позволяют выделить математическая модель его установившегося состояния.

Исходная математическая модель задачи. В исследованиях используется изотермическая математическая модель, задаваемая системой дифференциальных уравнений в частных производных следующего вида, полученного путем нелинейного преобразования базиса переменных состояния модели:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\frac{\partial \varepsilon}{\partial x}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = -2 \frac{\varepsilon}{\rho} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \left(\left(\frac{\varepsilon}{\rho} \right)^2 - \frac{RT}{\mu} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} - \frac{4}{D} \lambda \varepsilon \left| \frac{\varepsilon}{\rho} \right|. \quad (2)$$

В (1), (2) введены следующие обозначения: $\rho = \rho(x, t)$, $w(x, t)$ и $\varepsilon = \varepsilon(x, t) = \rho(x, t) w(x, t)$ - плотность и скорость транспортируемого газа, а также переменная состояния потока газа, имеющая физический смысл массового расхода, соответственно. Обе переменные являются функциями независимых аргументов: пространственного x и временного t .

Константы модели и начальные условия переменных состояния заданы значениями, взятыми для одного из реальных участков магистрального газопровода: $R = 8,3144$ Дж/моль·К; $T_0 = 303$ К; $\mu = 0,01604$ моль; $\rho_0 = \rho(0, 0) = 47,7521$ кг/м³; $\varepsilon_0 = 506,268$ м²; $D = 1,22$ м; $\lambda = 0,000661$ м⁴/с³.

В выбранном для исследования виде математическая модель получена и исследовалась в многочисленных работах [1, 13-15]. Она является основой для получения различных частных моделей, изучение которых позволяет получить закономерности исследуемых связей и свойств объекта моделирования.

Исследуемые математические модели (ММ) частных задач. Модель статики участка МГП. Эффективным приемом проверки корректности результатов построения динамической ММ является исследование ее в статическом состоянии. Для частного случая ММ (1)-(2), описывающего законы функционирования объекта в установившемся режиме транспортировки газа необходимо учесть, что в соответствии с условиями статики

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial t} = 0.$$

Тогда из (1), с учетом отсутствия зависимости от аргумента t , следует, что

$$\frac{d\varepsilon}{dx} = 0 \rightarrow \varepsilon = \varepsilon_0 = \text{const},$$

и уравнение (2), с учётом однонаправленности векторной переменной $\varepsilon = \varepsilon(x, t)$ в статике, приводится к форме

$$\frac{d\rho}{dx} = \frac{4\lambda\mu\rho\varepsilon_0^2}{D(\mu\varepsilon_0^2 - RT\rho^2)},$$

в которой переменные ρ и x разделяются:

$$\frac{d\rho}{\rho} - \frac{RT}{\mu\varepsilon_0^2} \rho d\rho = \frac{4}{D} \lambda dx. \quad (3)$$

В связи с поставленной задачей необходимо проинтегрировать уравнение (3) и получить зависимость лишь одной переменной состояния ρ от x , так как в выбранном нелинейном базисе вторая переменная состояния ε в статике становится константой. Исследуемый режим позволяет

проверить соответствие параметров стационарных точек фактическим их значениям, а также выявить взаимосвязи важнейших конструктивных и технологических параметров.

Интегрирование (3) дает уравнение связи ρ с ε_0 и x , которое оказывается неявным относительно ρ . В нем явно выраженным оказывается аргумент x :

$$x = \frac{D}{4\lambda} \left[\frac{RT}{2\mu\varepsilon_0^2} (\rho_0^2 - \rho^2(x)) + \ln \frac{\rho(x)}{\rho_0} \right]. \quad (4)$$

Эта особенность создает некоторые неудобства при расчетах, но позволяет, тем не менее, решать любые задачи, связанные с установившимся распределением плотности, а также через связь переменных состояния с распределением скорости потока

$$\varepsilon = \varepsilon(x, t) = \rho(x, t) w(x, t). \quad (5)$$

Влияние технологического режима транспортировки на конструктивные параметры участка МГП. Сложная по математической взаимосвязи переменных функция (4) параметрически ограничена. Ее обратная структура задания аргумента по заданному значению функции порождает возможность попыток некорректного использования, когда подставляются недопустимые значения зависимой переменной и вычисляются абсурдные, с физической точки зрения, значения аргумента.

В связи с этим функцию (4) необходимо исследовать на предмет получения реальных ограничений на область определения и область значений. Поскольку моделируемые участки не могут иметь бесконечную протяженность в связи с протекающими при движении газа диссипативными процессами, а увеличивающаяся с падением давления и плотности газа скорость не может превышать скорость звука в его среде, функцию (4) необходимо исследовать на экстремум в сложившейся форме зависимости.

Необходимое условие наличия экстремума

$$\frac{dx}{d\rho} = \frac{D}{4\lambda} \left[-\frac{RT}{\mu\varepsilon_0^2} \rho(x) + \frac{1}{\rho(x)} \right] = 0 \quad (6)$$

приводит к следующему выражению, задающему граничное значение плотности газа при заданных значениях конструктивных параметров и технологических переменных:

$$\rho(x) = \sqrt{\frac{\mu\varepsilon_0^2}{RT}}. \quad (7)$$

Для определения характера экстремума длины (хотя он и очевиден) необходимо исследовать вторую производную функции (4)

$$\frac{d^2x}{d\rho^2} = \frac{D}{4\lambda} \left[-\frac{RT}{\mu\varepsilon_0^2} - \frac{1}{\rho^2(x)} \right] < 0. \quad (8)$$

Выражение (8) при любых ρ и ε , а значит и в точке (7), отрицательно, так что длина трубопровода, как и ожидалось, ограничена максимумом в этой точке. Таким образом, физикой процесса транспортировки обуславливается параметрическое ограничение

$$L = x \leq \frac{D}{8\lambda} \left[\frac{RT\rho_0^2}{\mu\varepsilon_0^2} - 1 + \ln \frac{\mu\varepsilon_0^2}{RT\rho_0^2} \right], \quad (9)$$

где L – длина исследуемого участка.

Этот результат получен в работе [12] и исследован [13]. Здесь он иллюстрируется вспомогательными графиками. На рис. 1 представлена зависимость предельно допустимой длины участка (X_m) от начального значения плотности (ρ_{nul}). Формула и график позволяют оценивать как требуемую начальную плотность газа, обеспечивающую его транспортировку по участку заданной длины, так и допустимую длину участка по номинальной выходной плотности газа выбранного ГПА.

$$X_{\max} := \frac{D}{8 \cdot \lambda} \cdot \left(\frac{R \cdot T_0 \cdot \rho_0^2}{\mu \cdot \epsilon_0^2} - 1 + \ln \left(\frac{\mu \cdot \epsilon_0^2}{R \cdot T_0 \cdot \rho_0^2} \right) \right) \quad X_{\max} = 2.583 \times 10^5$$

$$X_m(\rho_{nul}, \epsilon_0) := \frac{D}{8 \cdot \lambda} \cdot \left(\frac{R \cdot T_0 \cdot \rho_{nul}^2}{\mu \cdot \epsilon_0^2} - 1 + \ln \left(\frac{\mu \cdot \epsilon_0^2}{R \cdot T_0 \cdot \rho_{nul}^2} \right) \right) \quad X_m(47.75206, 506.268) = 2.583 \times 10^5$$

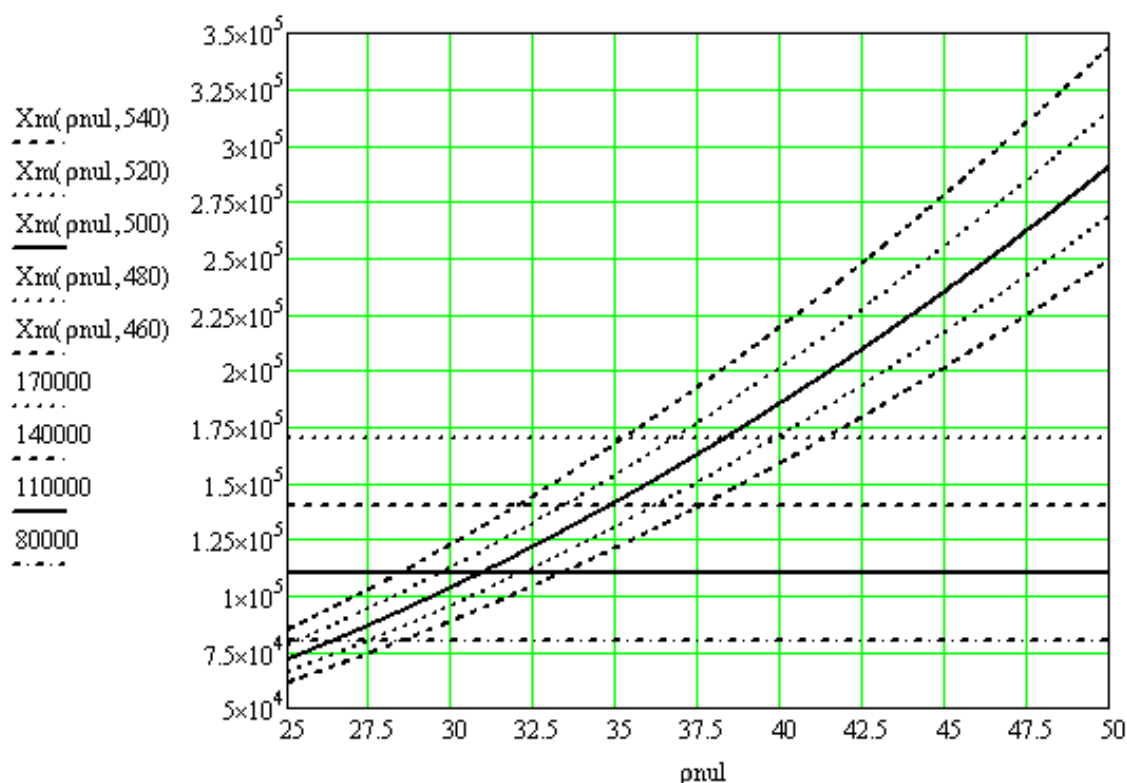


Рис. 1. Оценка влияния плотности газа на выходе ГПА на предельную протяженность участка МГП*

Аналогично представлена зависимость предельно допустимой длины участка (X_m) от установившегося номинального значения массового расхода газа (ϵ_{nul}). Формула и график позволяют оценивать как допустимую длину участка по требуемой его производительности, так и предельную производительность участка заданной длины (рис. 2).

Характерно, что если в качестве технологического параметра брать установившуюся линейную скорость потока газа $w(x)$, то предельно допустимая длина участка от начальной плотности не зависит. Это показано на рис. 3, где представлена зависимость предельной длины участка (X_m) от установившегося номинального значения скорости потока (w_{nul}). Формула и график позволяют оценивать допустимую длину участка независимо от параметров газоперекачивающего агрегата, если известно требуемое значение начальной линейной скорости потока.

* Здесь и далее формулы приводятся в записи и обозначениях, характерных для математического пакета MathCAD.

$$X_m(\epsilon_{nul}, \rho_0) := \frac{D}{8 \cdot \lambda} \left(\frac{R \cdot T_0 \cdot \rho_0^2}{\mu \cdot \epsilon_{nul}^2} + \ln \left(\frac{\mu \cdot \epsilon_{nul}^2}{R \cdot T_0 \cdot \rho_0^2} \right) \right)$$

$$X_m(10, 47.75206) = 6.661 \times 10^8$$

$$X_m(18, 47.75206) = 2.056 \times 10^8$$

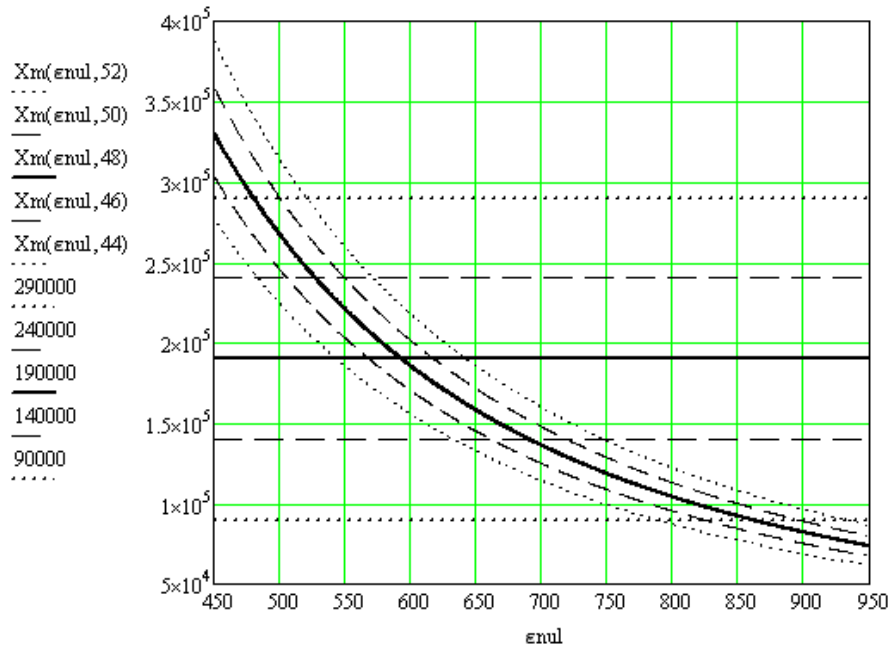


Рис. 2. Оценка влияния требуемого значения массового расхода газа на предельную протяженность участка МГП

$$X_m(w_{nul}) := \frac{D}{8 \cdot \lambda} \left(\frac{R \cdot T_0}{\mu \cdot w_{nul}^2} + \ln \left(\frac{\mu \cdot w_{nul}^2}{R \cdot T_0} \right) \right)$$

$$X_m(10) = 2.907 \times 10^5$$

$$X_m(18) = 8.9 \times 10^4$$

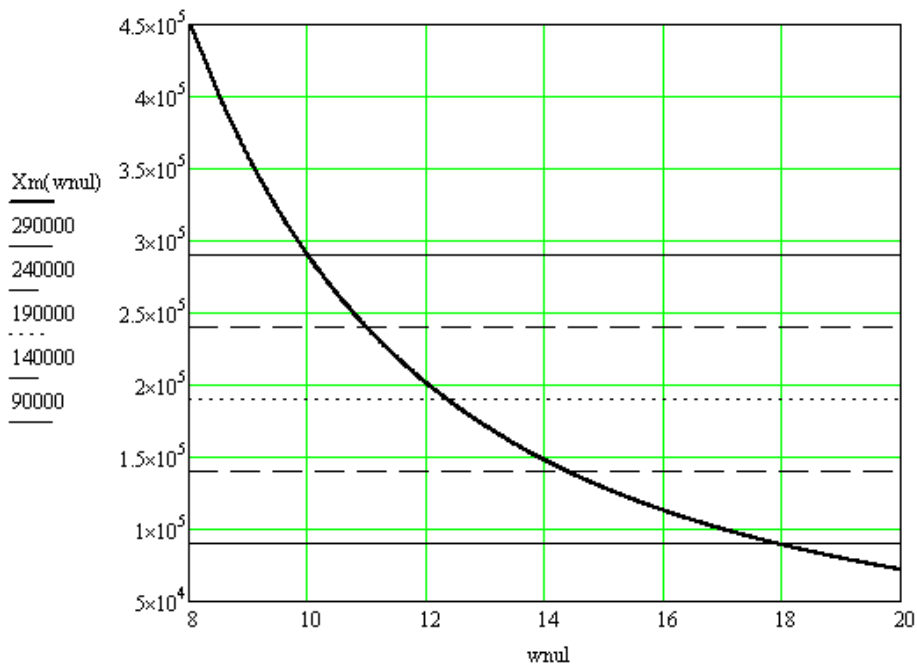


Рис. 3. Оценка влияния требуемого значения скорости потока на предельную протяженность участка МГП

Влияние конструктивных параметров участка МГП на его технологические свойства.

При исследовании влияния конструктивных параметров на технологические удобнее строить обратные зависимости. Так, построена зависимость удельной производительности участка $\varepsilon(x, \rho_0)$ от его длины x при различных начальных значениях плотности (ρ_0) газа на выходе из газоперекачивающего агрегата (ГПА) (рис. 4).

$$\varepsilon_{cr} := \sqrt{\frac{R \cdot T_0}{2 \cdot \mu}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_0^2 - \rho_f^2}{\ln(\rho_0) - \ln(\rho_f)}} \quad \varepsilon_{cr} = 1.63361 \times 10^4$$

$$\varepsilon(x, \rho_0) := \sqrt{\frac{R \cdot T_0}{2 \cdot \mu}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_0^2 - \rho_f^2}{\frac{4 \cdot \lambda \cdot x}{D} + \ln(\rho_0) - \ln(\rho_f)}} \quad \varepsilon(1.2 \cdot 10^5, 47.75206) = 506.268$$

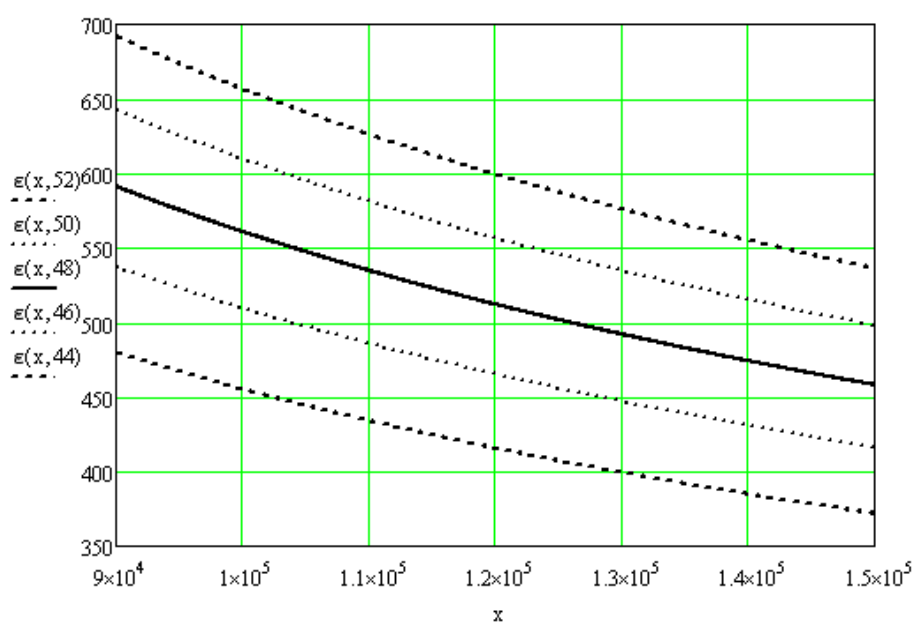


Рис. 4. Оценка влияния длины участка МГП на его удельную производительность

Фактическая длина эксплуатируемого трубопровода L должна быть меньше предельной, а с учетом возможных изменений параметров участка МГП и проходящего через него потока, она должна быть меньше граничного значения с достаточным запасом. Так, например, рассчитанное для приведенных выше параметров участка МГП значение критической длины участка трубопровода составляет $L_{кр} = 258,3$ км, т. е. реальный участок (120 км) почти вдвое короче предельного.

Конструктивные параметры трубопровода рассчитываются на стадии проектирования. При эксплуатации существующей магистрали возникают вопросы, связанные с варьированием технологических параметров, в первую очередь, производительности. Полученные для статического режима зависимости позволяют проводить соответствующие расчеты. Так, на рис. 5 приведена зависимость производительности участка МГП от начальной плотности газа ρ_0 при различных значениях длины участка. Расчет производится по формуле, полученной из (4) для полной длины участка L :

$$L = \frac{D}{4\lambda} \left[\frac{RT}{2\mu\varepsilon_0^2} (\rho_0^2 - \rho^2(L)) + \ln \frac{\rho(L)}{\rho_0} \right]. \quad (10)$$

$$\rho_0 := 35,351 \dots 55$$

$$\varepsilon(x, \rho_0) := \sqrt{\frac{R \cdot T_0}{2 \cdot \mu}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_0^2 - \rho_f^2}{\frac{4 \cdot \lambda \cdot x}{D} + \ln(\rho_0) - \ln(\rho_f)}} \quad \varepsilon(1.2 \cdot 10^5, 47.75206) = 506.268$$

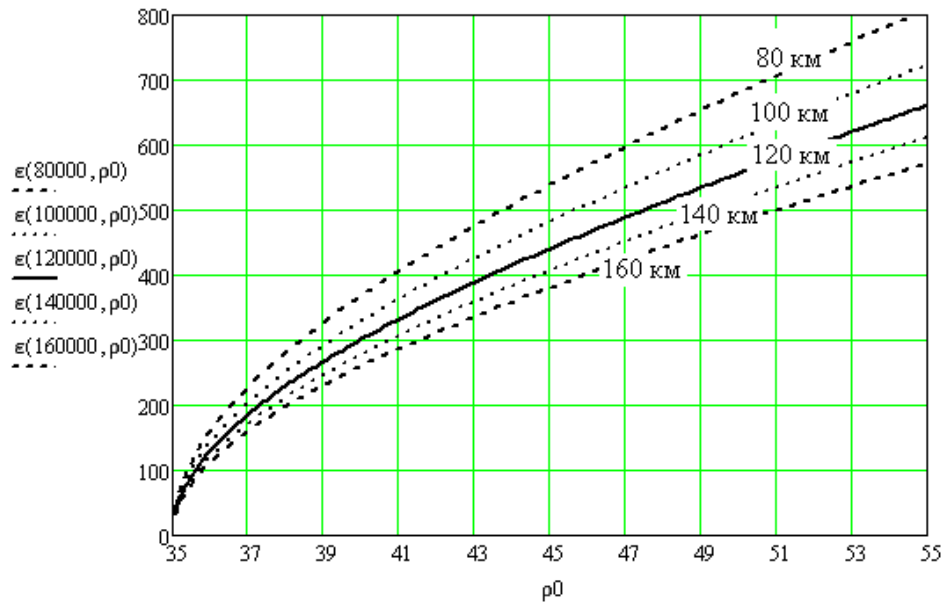


Рис. 5. Оценка влияния плотности газа на выходе ГПА на предельную производительность участка МГП при различных значениях его протяженности

Выводы. Полученные результаты демонстрируют возможности, которые предоставляет информационная обработка статической модели участка МГП. При этом следует учесть, что рассматриваемый пример объекта и его математической модели упрощен за счет ряда допущений. Это, прежде всего, изотермический характер процесса транспортировки газа, равномерность распределения переменных состояния по сечению трубопровода, незначительность гравитационных составляющих действующих сил, постоянство площади сечения трубопровода и др. Однако информационная насыщенность результатов такова, что позволяет делать обоснованные прикладные расчеты для различных технологических задач и задач автоматизации. Использование адекватных моделей процессов транспортировки позволит реализовать все более тонкие и точные расчетные технологии.

Библиографический список

1. Тетеревлёва Е.В. Проблемы моделирования процессов транспортировки магистральными трубопроводами / Е.В. Тетеревлёва, Р.А. Нейдорф, З.Х. Ягубов // Системный анализ, управление и обработка информации: сб. науч. ст. / под общ. ред. проф. Р.А. Нейдорфа; ДГТУ; ТТИ ЮФУ. – Ростов н/Д, Таганрог, 2007. – С. 158-163.
2. Кудинов Н.В. Выбор шага в задачах динамики пространственно-распределенных объектов на основании спектрального условия устойчивости / Н.В. Кудинов, Е.В. Тетеревлёва, А.А. Болдырева // Системный анализ, управление и обработка информации: сб. науч. ст. / под общ. ред. проф. Р.А. Нейдорфа; ДГТУ; ТТИ ЮФУ. – Ростов н/Д, Таганрог, 2007. – С. 169-173.
3. Тетеревлёва Е.В. Особенности эффективного формирования имитационной ячеечной модели динамики МГП / Е.В. Тетеревлёва // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-21: сб. тр. XXI междунар. науч. конф.: в 11 т. Т.6. – Саратов: Саратовский гос. техн. ун-т, 2008. – С. 18-20.

4. Кудинов Н.В. Методы обработки информации для задач управления переходными процессами в магистральных трубопроводах: дис. ... канд. техн. наук / Н.В. Кудинов. – Ростов н/Д, 2006.
5. Головизнин В.М. О полностью консервативных локально-баротропных разностных схемах газовой динамики в смешанных эйлерово-лагранжевых переменных / В.М. Головизнин, А. Сабитова, Е.А. Самарская // Дифф. уравнения. – 1985. – Т. 21, №7. – С. 1144-1155.
6. Самарский А.А. Разностные методы решения задач газовой динамики / А.А. Самарский, Ю.П. Попов. – М., 1980.
7. Самсонов А. Лекции по численным методам [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://geo.phys.spbu.ru/~samsonov/lectures>.
8. Нейдорф Р.А. Моделирование химико-технологических процессов на микро-ЭВМ: учеб. пособие / Р.А. Нейдорф, А.В. Ситников. – Новочеркасск: НПИ, 1986.
9. Тетеревлева Е.В. Ресурсная структурно-параметрическая настройка аппроксимированной математической модели распределенного объекта // Е.В. Тетеревлева, З.Х. Ягубов: сб. тр. IX междунар. науч.-техн. конф. «Инновация, экология и ресурсосберегающие технологии на предприятиях машиностроения, авиастроения, транспорта и сельского хозяйства». – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – С. 310-315.
10. Тетеревлева Е.В. Проблемы расчета и имитации динамических процессов транспортировки газа магистральными трубопроводами / Е.В. Тетеревлева // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-21: сб. тр. XXI междунар. науч. конф.: в 11 т. Т.6. – Саратов: Саратовский гос. техн. ун-т, 2008. – С. 16-18.
11. Статическая модель участка газопровода и перспективы ее использования / Е.В. Тетеревлева // Системный анализ, управление и обработка информации: сб. науч. ст. / под общ. ред. проф. Р.А. Нейдорфа; ДГТУ; ТТИ ЮФУ. – Ростов н/Д, Таганрог, 2007. – С. 164-168.
12. Нейдорф Р.А. Простой алгоритм расчета статики процесса транспортировки газа / Р.А. Нейдорф, Е.В. Тетеревлева // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-21: сб. тр. XXI междунар. науч. конф.: в 11 т. Т.6. – Саратов: Саратовский гос. техн. ун-т, 2008. – С. 20-21.
13. Тетеревлева Е.В. Частные приложения результатов математического моделирования газового потока к задачам расчета параметров магистральных трубопроводов / Е.В. Тетеревлева, З.Х. Ягубов // Системный анализ, управление и обработка информации: тр. I междунар. семинара студентов, аспирантов и ученых / под общ. ред. Р.А. Нейдорфа. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – С. 50-58.
14. Селезнёв В.Е. Математическое моделирование трубопроводных сетей и систем каналов: методы, модели и алгоритмы / В.Е. Селезнёв, В.В. Алёшин, С.Н. Прялов; под ред. В.Е. Селезнёва. – М.: МАКС Пресс, 2007. – 695 с.
15. Селезнёв В.Е. Математическое моделирование магистральных трубопроводных систем: дополнительные главы / В.Е. Селезнёв, В.В. Алёшин, С.Н. Прялов; под ред. В.Е. Селезнёва. – М.: МАКС Пресс, 2009. – 356 с.

Материал поступил в редакцию 16.03.11.

References

1. Teterevleva E.V. Problemy modelirovaniya processov transportirovki magistral'nymi truboprovodami / E.V. Teterevleva, R.A. Neidorf, Z.H. Yagubov // Sistemnyi analiz, upravlenie i obrabotka informacii: sb. nauch. st. / pod obsch. red. prof. R.A. Neidorfa; DGTU; TTI YuFU. – Rostov n/D, Taganrog, 2007. – S. 158-163. – In Russian.
2. Kudinov N.V. Vybora shaga v zadachah dinamiki prostranstvenno-raspredeennykh ob'ektov na osnovanii spektral'nogo usloviya ustoychivosti / N.V. Kudinov, E.V. Teterevleva, A.A. Boldyreva // Sistemnyi analiz, upravlenie i obrabotka informacii: sb. nauch. st. / pod obsch. red. prof. R.A. Neidorfa; DGTU; TTI YuFU. – Rostov n/D, Taganrog, 2007. – S. 169-173. – In Russian.
3. Teterevleva E.V. Osobennosti effektivnogo formirovaniya imitacionnoi yachechnoi modeli dinamiki MGP / E.V. Teterevleva // Matematicheskie metody v tehnikе i tehnologiyah – MMTT-21: sb. tr. XXI mejdunar. nauch. konf.: v 11 t. T.6. – Saratov: Saratovskii gos. tehn. un-t, 2008. – S. 18-20. – In Russian.

4. Kudinov N.V. Metody obrabotki informacii dlya zadach upravleniya perehodnymi processami v magistral'nyh truboprovodah: dis. ... kand. tehn. nauk / N.V. Kudinov. – Rostov n/D, 2006. – In Russian.
5. Goloviznin V.M. O polnost'yu konservativnyh lokal'no-barotropnyh raznostnyh shemah gazovoi dinamiki v smeshannyh eilero-lagranzhevyyh peremennyh / V.M. Goloviznin, A. Sabitova, E.A. Samarskaya // Diff. uravneniya. – 1985. – T. 21, №7. – S. 1144-1155. – In Russian.
6. Samarskii A.A. Raznostnye metody resheniya zadach gazovoi dinamiki / A.A. Samarskii, Y.P. Popov. – M., 1980. – In Russian.
7. Samsonov A. Lekcii po chislennym metodam [Elektron. resurs]. – Rejim dostupa: <http://geo.phys.spbu.ru/~samsonov/lectures>. – In Russian.
8. Neidorf R.A. Modelirovanie himiko-tehnologicheskikh processov na mikro-EVM: ucheb. posobie / R.A. Neidorf, A.V. Sitnikov. – Novocherkassk: NPI, 1986. – In Russian.
9. Teterevleva E.V. Resursnaya strukturno-parametricheskaya nastroyka approksimirovannoi matematicheskoi modeli raspredelenogo ob'ekta // E.V. Teterevleva, Z.H. Yagubov: sb. tr. IX mejdunar. nauch.-tehn. konf. «Innovaciya, ekologiya i resursosberegayushchie tehnologii na predpriyatiyah mashinostroeniya, aviastroeniya, transporta i sel'skogo hozyaistva». – Rostov n/D: Izdatel'skii centr DGTU, 2010. – S. 310-315. – In Russian.
10. Teterevleva E.V. Problemy rascheta i imitacii dinamicheskikh processov transportirovki gaza magistral'nymi truboprovodami / E.V. Teterevleva // Matematicheskie metody v tehnike i tehnologiyah – MMTT-21: sb. tr. XXI mejdunar. nauch. konf.: v 11 t. T.6. – Saratov: Saratovskii gos. tehn. un-t, 2008. – S. 16-18. – In Russian.
11. Stacheskaya model' uchastka gazoprovoda i perspektivy ee ispol'zovaniya / E.V. Teterevleva // Sistemnyi analiz, upravlenie i obrabotka informacii: sb. nauch. st. / pod obsch. red. prof. R.A. Neidorfa; DGTU; TTI YuFU. – Rostov n/D, Taganrog, 2007. – S. 164-168. – In Russian.
12. Neidorf R.A. Prostoi algoritm rascheta statiki processa transportirovki gaza / R.A. Neidorf, E.V. Teterevleva // Matematicheskie metody v tehnike i tehnologiyah – MMTT-21: sb. tr. XXI mejdunar. nauch. konf.: v 11 t. T.6. – Saratov: Saratovskii gos. tehn. un-t, 2008. – S. 20-21. – In Russian.
13. Teterevleva E.V. Chastnye prilozheniya rezul'tatov matematicheskogo modelirovaniya gazovogo potoka k zadacham rascheta parametrov magistral'nyh truboprovodov / E.V. Teterevleva, Z.H. Yagubov // Sistemnyi analiz, upravlenie i obrabotka informacii: tr. I mejdunar. seminara studentov, aspirantov i uchenyyh / pod obsch. red. R.A. Neidorfa. – Rostov n/D: Izdatel'skii centr DGTU, 2010. – S. 50-58. – In Russian.
14. Seleznev V.E. Matematicheskoe modelirovanie truboprovodnykh setei i sistem kanalov: metody, modeli i algoritmy / V.E. Seleznev, V.V. Aleshin, S.N. Pryalov; pod red. V.E. Selezneva. – M.: MAK Press, 2007. – 695 s. – In Russian.
15. Seleznev V.E. Matematicheskoe modelirovanie magistral'nyh truboprovodnykh sistem: dopolnitel'nye glavy / V.E. Seleznev, V.V. Aleshin, S.N. Pryalov; pod red. V.E. Selezneva. – M.: MAK Press, 2009. – 356 s. – In Russian.

REFERENCE PARAMETER ANALYSIS OF TRANSMITTED GAS FLOWS FOR SIMULATION PROBLEMS

R.A. NEYDORF

(Don State Technical University),

E.V. TETEREVLEVA, Z.K. YAGUBOV

(Ukhta State Technical University)

The possible application of the main pipeline mathematical simulation results to the preanalysis problems of the technological and design values of gas line sections is considered. A through calculation approach to digitized state variable values when outlining block-modular model structures through their software implementation is offered. That will permit to increase efficiency and optimize processing behaviour and controllability of such objects when constructing and operating automatic process control systems.

Keywords: main pipeline segment, mathematical model, steady run, technological and design values, approximation, discretisation.