УДК. 622.324.0025

НОВЫЙ УПРОЩЕННЫЙ ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДАХ

МАМЕДОВ А.И., АЛИЕВ Э.Я.

Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия

Представлен новый упрощенный численный метод расчета переходных процессов в магистральных нефтепроводах, как в объекте с распределенными параметрами. Получены новые рекуррентные соотношения, легко реализуемые на компьютере.

Режим работы магистральных нефтепроводов в процессе эксплуатации, в основном, является переменным.

Переходные процессы, протекающие в магистральных нефтепроводах, описываются дифференциальными уравнениями в частных производных гиперболического и параболического типов, поскольку магистральный нефтепровод - объект с распределенными параметрами [1,2,9,15-24].

Неустановившиеся течения жидкости в магистральных нефтепроводах вызываются рядом причин, к числу которых относятся нарушение ритмичности приема нефти от промысла, пуск и остановка одного или нескольких насосных агрегатов на нефтеперекачиваемых станциях, резкое открытие или закрытие задвижек, включение и отключение путевых сбросов и подкачек нефти по трассе нефтепровода, срабатывание автоматической системы защиты и т.д.

Это может вызвать резкие и, часто опасные колебания давления и расхода перекачиваемой жидкости, создающие в магистральном нефтепроводе аварийные ситуации-нарушение герметичности трубопровода, разрушение технологического оборудования.

Ежегодно аварии в магистральных нефтепроводах, вызванные возникновением различных аварийных ситуаций, наносят огромный материальный ущерб отрасли [1,8,9].

В связи с этим, изучение динамических режимов в магистральных нефтепроводах необходимо для:

- правильного расчета и выбора параметров системы защиты нефтепровода от гидравлических ударов;
- обоснования быстродействия средств по минимальным и максимальным давлениям и системы автоматического регулирования давления;
- определения диаметра и места подключения отводов;
- осуществления правильной расстановки насосных станций и т.п.

Анализ переходных процессов, возникающих в магистральных нефтепроводах, представляет важный практический интерес при оперативно-диспетчерском управлении динамическим режимом работы с целью своевременного обнаружения, а также ликвидации аварийных ситуаций.

К настоящему времени решение данной проблемы становится особенно актуальной, в связи с повышением требований к экологической безопасности транспортировки нефти. При этом, несвоевременное обнаружение и ликвидация аварийных ситуаций, возникающих в магистральных нефтепроводах, может нанести невосполнимый урон окружающей среде.

Как показывает проведенный анализ, в настоящее время хорошо развиты аналитические методы расчета переходных процессов в магистральных нефтепроводах при постоянных граничных условиях [6,9,14,20,21].Однако, из практики эксплуатации магистральных нефтепроводов видно, что при динамических режимах давление и расход (скорость движения) перекачиваемой нефти, являются переменными во времени функциями произвольного в общем случае вида.

При этом в расчетах, при учете влияния характеристик отдельных элементов (насосных агрегатов, задвижек и т.п.), на возникающие переходные процессы в магистральном нефтепроводе, в граничных условиях значение искомых функций в начале решения поставленной задачи являются неизвестными. Их значения определяются по ходу решения задачи.

Указанные обстоятельства при использовании аналитических методов решения задач динамики в магистральных нефтепроводах с учетом комплекса реальных факторов, из-за переменности во времени граничных условий вызывают большие математические трудности.

Кроме того, аналитический метод решения подобной задачи из-за вышеуказанного обстоятельства, в конечном итоге, приводит к большим погрешностям расчета.

В связи с широким внедрением компьютерной техники в практику инженерных расчетов, в настоящее время становится особенно эффективным применение численных методов расчета переходных процессов в магистральных нефтепроводах, отличающихся простотой и универсальностью решения широкого класса задач [1,15-19, 21-29].

Одним из специализированных численных методов расчета динамических процессов в магистральных нефтепроводах является метод, основанный на теории импульсных систем [15-19,22,23].При этом в качестве математического аппарата используются дискретные преобразования Лапласа [24].

Общим недостатком указанных методов [15-19,22,23] является то, что применения теории импульсных систем приводит к необходимости получения передаточных функций эквивалентных дискретных систем, что значительно усложняет ход расчетов. Кроме того, при таком подходе, т.е. замене исходной непрерывной системы с распределенными параметрами эквивалентной ей импульсной системой, операция непрерывного интегрирования может быть заменена суммированием, лишь пользуясь формулой прямоугольников, лишив ее возможностей использования более точной формулы - трапеции [1].

Как показывает проведенный анализ, такой подход в ряде случаев, в частности, при резких изменениях параметров магистрального нефтепровода [1] приводит к недопустимым погрешностям, ввиду того, что применяемая формула прямоугольников не позволяет охватить весь спектр кривой динамического процесса.

В работах [6,9,13,15-23] особенностью разработанных методов является то, что в магистральных нефтепроводах с конечной длиной при переходных процессах, одновременно учитываются влияния как идущих, так и отраженных волн.

Общим недостатком указанных методов [6,9,13,15-23] являются то, что они сложны и неудобны при использовании их для получения результатов расчета переходных процессов в магистральных нефтепроводах в оперативные сроки.

В связи с этим, вопрос разработки упрощенных методов расчета переходных процессов в магистральных нефтепроводах имеет важное научное и практическое значение [1,2-7,9,10-14,18,21].

Один из эффективных подходов упрощения решения задач динамики в магистральных нефтепроводах связан с пренебрежением влиянием отраженных волн от конца трубы [2-5,7,9,11,12,14,18].

Это объясняется тем, что часто на практике бывает достаточно ограничиться малым интервалом времени[2-5, 7,9,11,12,14,18]. При этом отраженные от конца трубы волны давления и скорости перекачиваемой нефти не успевают еще прийти в точку «х», в которой определяется давление и скорость.

В этом случае магистральный нефтепровод представляется в виде бесконечной линии с распределенными параметрами [2-5,7,9,11,12,14,18].

При этом достаточно ограничиться заданием одного граничного условия, либо по давлению, либо по скорости (расхода).

Общим недостатком работ [2-5,7,9,11,12,14,18] является частный характер решаемых задач, так как в них поставленная задача решается либо при заданном постоянном граничном условии при замене Бесселевых функций бесконечными рядами [9,10], либо при заданном в виде монотонной функции переменном граничном условии и при приближенном представлении Бесселевых функций соответствующими эмпирическими формулами [2-5,7,11,12].

Кроме того, на основе подходов [2,5,7,9,11,12,14] для обеспечения заданной точности расчета, процесс замены Бесселевых функций с бесконечными рядами на определенные ряды или эмпирическими формулами требует дополнительно решения самостоятельной задачи.

Указанные обстоятельства, при использовании методов расчета [2,5,7,9,11,12,14], существенно сужает круг решаемых практических задач.

Из сказанного следует, что к настоящему времени возникла необходимость в разработке новых упрощенных, универсальных, но достаточно точных методов расчета переходных процессов в магистральных нефтепроводах для различных ситуаций, возможных в условиях эксплуатации.

Эффективным численным методом для компьютерного моделирования переходных процессов в магистральных нефтепроводах является новый метод, появившийся в последнее время в отечественной технической литературе [1,25-29].

Сущность метода заключается в применении обычного преобразования Лапласа, с использованием дискретного аналога интегрального уравнения свертки, посредством которого непрерывная система с распределенными параметрами приводится к дискретной системе.

Преимуществом указанного численного метода является то, что он позволяет определить динамические процессы, возникающие в объектах с распределенными параметрами, без перехода в область дискретных изображений, а также осуществлять переход от Лапласовых изображений искомых функций в область оригиналов без нахождения корней характеристического уравнения, разложения операторного коэффициента распространения волны и операторного волнового сопротивления в ряды [1,25-29], что значительно упрощает математические выкладки и повышает точность расчетов.

В данной статье впервые в научной литературе рассматриваются вопросы, связанные с дальнейшим развитием и обобщением работ [1,25-29] для разработки нового упрощенного численного метода расчета переходных процессов в магистральных нефтепроводах, описываемых телеграфными уравнениями, при представлении их бесконечной линией с распределенными параметрами.

Исходными дифференциальными уравнениями для данного объекта будут:

$$
\begin{aligned}
-\frac{\partial P}{\partial x} &= K_1 \frac{\partial \omega}{\partial t} + K_3 \omega , \\
-\frac{\partial \omega}{\partial x} &= K_2 \frac{\partial P}{\partial t} ,
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

где $P = P(x,t), \omega = \omega(x,t)$ - соответственно избыточные значения давления и скорости движения жидкости; $K_1 = \rho, K_2 = 1/\rho c^2, K_3 = 2a\rho; \rho -$ плотность жидкости; $2a = \eta \omega_{\text{ср}} / 2D$ - коэффициент, линеаризованный по И.А.Чарному; $\eta -$ коэффициент гидравлического сопротивления в формуле Дарси-Вейсбаха для потери напора на трение; $D -$

внутренний диаметр трубы; $\omega_{ср} = \frac{2}{3}\frac{\omega_1^2 - \omega_1\omega_0 - 2\omega_0^2}{\omega_1 - \omega_0}$, ω_0, ω_1 – установившиеся значения средней скорости соответственно до и после переходного процесса.

Требуется определить переходные процессы, протекающие в магистральном нефтепроводе, при произвольном законе изменения давления в начале его.

Для данной задачи начальные условия принимаются нулевыми:

$$P(x,t)_{t=0} = 0, \omega(x,t)_{t=0} = 0$$

Согласно постановке задачи, граничное условие имеет следующий вид:

$$P(x,t)_{x=0} = P_н(t),$$

где P(0,t)=$P_н$(t) произвольный закон изменения давления в начале трубы.

В соответствие предложенным подходом, при решении поставленной задачи на первом этапе необходимо получить Лапласово изображение для функций *P(x,t),* $\omega(x,t)$ в операторной форме.

При указанных начальных условиях и представлении магистрального нефтепровода в виде бесконечной линии с распределенными параметрами, из решения системы дифференциальных уравнений (1) получаем следующие выражения для функций *P(x,t),* $\omega(x,t)$ в операторной форме:

$$P(x,s) = Be^{-\gamma x}, \tag{2}$$

$$\omega(x,s) = \frac{1}{b(s)} Be^{-\gamma x}, \tag{3}$$

где $\gamma = \frac{1}{c}\sqrt{s(s+2a)}$ - операторная постоянная распространения волны; $b(s) = \rho c\sqrt{\frac{s+2a}{s}}$ - операторное волновое сопротивление нефтепровода; s – оператор преобразования Лапласа; $P(x,s), \omega(x,s)$ - изображение функций $P(x,t), \omega(x,t)$

При заданном граничном условии решение уравнений (2), (3) примет вид:

$$P(x,s) = P_н(s)e^{-\gamma x} \tag{4}$$

$$\omega(x,s) = \frac{1}{b(s)} P_н(s)e^{-\gamma x} \tag{5}$$

Второй этап решение данной задачи связан с осуществлением перехода от изображений (4), (5) в область оригиналов.

В связи с этим, согласно новому подходу, предложенному в [1,25-29], выражения (4), (5) можно представить в виде:

$$\frac{1}{s} P(\delta, s) = k_1(s) P_н(s), \tag{6}$$

$$\frac{1}{s}\omega(\delta, s) = \frac{1}{b} k_2(s) P_н(s), \tag{7}$$

где $b = \rho c$ -волновое сопротивление магистрального нефтепровода без учета потерь; $\delta = \frac{x}{l}$ -постоянный коэффициент; $\kappa_1(s) = \frac{1}{s} e^{-\gamma l\delta}$, $\kappa_2(s) = \frac{e^{-\gamma e\delta}}{\sqrt{s(s+2a)}}$, $\kappa_1(s), k_2(s)$ - передаточные функции.

На основе теоремы свертки [1,25-29], переходя в уравненях (6), (7) относительно изображений к уравнениям относительно оригиналов, получим:

$$\int_0^t P(t-\theta,\delta)l(\theta)d\theta = \int_{l\delta/c}^{t} P_H(t-\theta)K_1(\theta)d\theta \tag{8}$$

$$\int_0^t \omega(t-\theta,\delta)1(\theta)d\theta = \frac{1}{b}\int_{l\delta/c}^{t} P_H(t-\theta)K_2(\theta)d\theta, \tag{9}$$

где, $K_1(t)$, $K_2(t)$ – известные табличные оригиналы, передаточных функций $K_1(s)$, $K_2(s)$.

В общем случае решение интегральных уравнений (8), (9) вызывают большие математические трудности.

Это объясняется тем, что в интегральных уравнениях (8), (9), в общем случае, закон изменения исходного возмущения $P_н(t)$ либо произвольная величина, либо в начале решения задачи неизвестная функция, требующая определения. Кроме того, оригиналы $к_1(t)$, $к_2(t)$ передаточных функций содержат в себе Бесселевы функции нулевого $I_0(t)$ и первого порядков $I_1(t)$, аргументы которых находятся под корнем.

В настоящее время в научной литературе отсутствует единый метод общего решения интегральных уравнений (8), (9).

Использование известных методов [2-5,7,9,11,12,14] для решения данной задачи требует проведения весьма трудоемких математических операций, пригодных лишь для проведения ориентировочных расчетов. При этом вызывается необходимость в представлении исходного возмущения $P_н(t)$ либо в виде постоянной величины, при разложении Бесселевых функций в бесконечные ряды без доказательств их сходимости (задача решается лишь для начальной точки x=0 трубы) [14], либо монотонной функцией, со временем приближающейся к постоянному значению, при замене Бесселевых функций ориентировочными эмпирическими формулами.

При этом необходимо отметить, что в ряде работ [6,13,21], для решения задач динамики в магистральных нефтепроводах, используется подход разложения операторного коэффициента распространения волны и операторного волнового сопротивления в ряды, с целью упрощения трудоемкого расчета получения точных решений- рядов, полученных из решения телеграфного уравнения, содержащих в себе Бесселевы функции. Низкая точность данного подхода [6,21] ограничивает использование его для нашей цели.

Ниже дается новое численное решение интегральных уравнений (8), (9) на базе дальнейшего развития нового подхода, предложенного в [1,25-29], для компьютерного моделирования переходных процессов в объектах с распределенными параметрами.

Следует отметить, что предложенный новый подход [1,25-29], в отличии от существующих методов [6,9,13,15-24], позволяет заменить процесс непрерывного интегрирования суммированием не только формулой прямоугольников, но и более точно охватывающей кривую переходного процесса, формулой трапеции.

Согласно новому подходу [1,25-29], для дискретизации интегральных уравнений (8), (9), связь между непрерывным временем t и дискретным n можно представить в виде:

$$t=nT/\lambda, \tag{10}$$

где λ-любое целое число, T- абсолютный период повторения решетчатой функции.

Погрешность расчетов связана с величиной λ. Чем больше выбрано число λ, тем в меньшей мере характеристики непрерывной функции отличаются от соответствующих характеристик решетчатых.

Следует отметить, что в работах [1, 25-29] в выражении $t = nT / \lambda$ значение параметра T был выбран равным двойному времени распространения волны в один конец объекта с распределенными параметрами – $T=2\tau$.Для рассматриваемого объекта с распределенными параметрами значение параметра T выбирается в виде $T=\tau$.

Таким образом для дискретизации интегральных уравнений (8), (9), при выбранном интервале T/ λ , заменяя операцию непрерывного интегрирования суммированием, пользуясь формулой трапеции вместо (8), (9) получим:

$$\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{\lambda}\sum_{m=0}^{n}\left(P[n-m,\delta]1[m]+1[n-m+1]P[m-1,\delta]\right)= \\ =\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{\lambda}\sum_{m=\lambda\delta}^{n}\left(P_H[n-m]K_1[m]+K_1[n-m+1]P_H[m-1]\right) \tag{11}$$

$$\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{\lambda}\sum_{m=0}^{n}\left(\omega[n-m,\delta]1[m]+1[n-m+1]\omega[m-1,\delta]\right)= \\ =\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{\lambda}\cdot\frac{1}{b}\sum_{m=\lambda\delta}^{n}\left(P_H[n-m]K_2[m]+K_2[n-m+1]P_H[m-1]\right), \tag{12}$$

где $K_1[n]$, $K_2[n]$ -известные решетчатые функции:

$$K_1[n]=\begin{cases}0 & \mathrm{n}<\delta\lambda \\ \mathrm{e}^{-\mathrm{a}\delta\tau}+\dfrac{a\delta\tau}{2}\displaystyle\sum_{m=\lambda\delta+1}^{n}\sum_{i=0}^{1}B[m-i] & n>\lambda\delta\end{cases}$$

$$B[n]=e^{-\frac{a\tau}{\lambda}n}\frac{I_1\left(\frac{a\tau}{\lambda}\sqrt{n^2-(\lambda\delta)^2}\right)}{\sqrt{n^2-(\lambda\delta)^2}},$$

$$\kappa_2[n]=e^{-\frac{a\tau}{\lambda}n}I_0\left(\frac{a\tau}{\lambda}\sqrt{n^2-(\lambda\delta)^2}\right),$$

$P[n,\delta]$, $\omega[n,\delta]$ – значения исходных функций в решетчатой форме;

$I_0[n]$, $I_1[n]$ – Бесселевы функции соответственно нулевого и первого порядка.

Согласно уравнениям (11), (12) можно представить:

$$\sum_{m=0}^{n}\left(P[n-m,\delta]1[m]+1[n-m+1]P[m-1,\delta]\right)=P[n,\delta]+ \\ +\sum_{m=1}^{n}\left(P[n-m,\delta]1[m]+1[n-m+1]P[m-1,\delta]\right) \tag{13}$$

$$\sum_{m=0}^{n}\left(\omega[n-m,\delta]1[m]+1[n-m+1]\omega[m-1,\delta]\right)=\omega[n,\delta]+ \\ +\sum_{m=1}^{n}\left(\omega[n-m,\delta]1[m]+1[n-m+1]\omega[m-1,\delta]\right) \tag{14}$$

Выражение (10) с учетом (13) будет:

$$P[n,\delta]+\sum_{m=1}^{n}\left(P[n-m,\delta]1[m]+1[n-m+1]P[m-1,\delta]\right)= \\ =\sum_{m=\lambda\delta}^{n}\left(P_H[n-m]K_1[m]+K_1[n-m+1]P_H[m-1]\right) \tag{15}$$

Решая уравнение (15) относительно решетчатой функции $P\,[n,\delta]$, получаем следующее рекуррентное соотношение, позволяющее последовательно вычислить функцию $P\,[n,\delta]$:

$$P[n,\delta\ ]=\sum_{m=\lambda\delta}^{n}\left(P_H[n-m]K_1[m]+K_1[n-m+1]P_H[m-1]\right)- \tag{16}$$

$$-\sum_{m=1}^{n}\left(\ P\,[n-m,\delta]1[m]+1[n-m+1]P\,[m-1,\delta]\right)$$

Для определения значения решетчатой функции $\omega[n,\delta]$ используем выражение (12) с учетом (14):

$$\omega[n,\delta]=\frac{1}{b}\sum_{m=\lambda\delta}^{n}\left(P_H[n-m]K_2[m]+K_2[n-m+1]P_H[m-1]\right)- \tag{17}$$

$$-\sum_{m=1}^{n}\left(\ \omega[n-m,\delta]1[m]+1[n-m+1]\omega\ [m-1,\delta]\right)$$

Полученные рекуррентные соотношения (16), (17), в конечном итоге, позволяют значительно повысить точность расчетов определения изменений давления и скорости в любой точке магистрального нефтепровода в произвольный момент времени при представлении его бесконечной линией с распределенными параметрами и задача легко реализуются на компьютере.

1.*Мехтиев А.Ш., Алиев Я.А., Мамедов А.И.* Повышение экологической безопасности окружающей среды магистральных газо - и нефтепродуктопроводов путем прогнозирования и своевременного устранения нештатных ситуаций. Ученые записки Национальной Авиационной Академии Азербайджана, 2005, № 2

2. *Вязунов Е.В., Мороз П.А.* О перегрузках по давлению при нестационарных режимах в нефтепроводах, работающих «из насоса в насос». Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов, М., ВНИИОЭНГ, 1966, № 1.

3. *Вязунов Е.В.* Приближенный метод построения зависимости давления всасывания от времени после отключения насосной станции. Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. М., ВНИИОЭНГ, 1966, №2.

4. *Вязунов Е.В., Голосовкер Б.И., Голосовкер В.И.* Исследование переходных процессов в трубопроводе. Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. М., ВНИИОЭНГ, 1970, №10

5.*Вязунов Е.В.* Методика расчета перегрузок трубопровода по давлению в переходных процессах. Нефтяное хозяйство 1973, № 9

6. *Рыжевский О.Н., Безрукова Л.А.* Приближенный метод расчета переходных процессов в магистральном нефтепроводе. Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов, М., ВНИИОЭНГ 1973, № 3

7. *Вязунов Е.В., Фридман Г.Н.* Расчет перегрузок трубопровода по давлению в переходном процессе. Транспорт и хранения нефти и нефтепродуктов. М., ВНИИОЭНГ, 1976, № 9

8. *Беккер Л.Н.* Расчет повышения давления в нефтепроводах при переходных процессах. Нефтяное хозяйство, 1973, № 9

9. *Чарный И.А.* Неустановившиеся движения реальной жидкости в трубопроводах. М., Недра, 1975

10. *Перевощиков С.И.* Определение изменения давления в нефтепроводах при неустановившимся течении жидкости. Транспорт и хранения нефти и нефтепродуктов. М., ВНИИОЭНГ, 1981, № 2
11. *Зайцев Л.А., Ясинский Г.С.* Регулирование режимов магистральных нефтепроводов М., Недра, 1980
12. *Голосовкер Б.И., Голосовкер В.Н., Чаков В.Г.* Защита трубопровода от порыва. Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. М., ВНИИОЭНГ, 1970, № 2
13. *Самойлов.В.И., Березина И.В., Рыжевский О.Н.* Защита нефтепроводов от перегрузок по давлению с оптимизацией их режимов работы. М., ВНИИОЭНГ, 1985
14. *Машенко В.Н.* Применение операционного исчисления для исследования переходных процессов в магистральных нефтепроводах. Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. М., ВНИИОЭНГ, 1976, №11
15. *Кадымов Я.Б., Мамедов А.И., Мусаев В.Г.* Численный метод расчета переходных процессов в трубопроводе с промежуточными участками непрерывного отбора и с промежуточными насосными станциями. Ученые записки АзИНефтехим 1976, № 2.
16. *Кадымов Я.Б., Мамедов А.И., Мусаев В.Г.* Метод расчета нестационарных процессов в магистральных трубопроводах с промежуточными насосными станциями. Изв. вузов Нефть и газ, 1976, № 10
17. *Мамедов А.И., Мусаев В.Г., Аскер-заде Б.А.* Расчет нестационарного движения жидкости в трубопроводе, оборудованном центробежным насосным агрегатом. Изв. вузов Нефть и газ. 1976, № 12
18. *Мамедов А.И., Аскер-заде Б.А.* Численное определение переходного процесса в магистральном нефтепроводе. За технический прогресс, 1980, №8
19. *Кадымов Я.Б., Мамедов А.И., Аскер-заде Б.А.* Расчет нестационарных режимов в неоднородных магистральных трубопроводах, работающих по схеме «из насоса в насос». Изв. вузов Нефть и газ, 1983, № 6
20. *Гусейнзаде М.А., Юфин В.А.* Неустановившиеся движения нефти и газа в магистральных трубопроводах. М., Недра, 1981
21. *Грачев В.В., Щербаков С.Г., Яковлев Е.И.* Динамика трубопроводных систем. М., Недра, 1987
22. *Юфин В.А., Мамедов А.И., Насибова Н.М.* Численный метод расчета переходных процессов в магистральных нефтепроводах с учетом изменения напряжения сети. Доклады АН Азербайджанской ССР, 1987, № 3
23. *Мамедов А.И., Мирзоев В.С.* Численный метод расчета динамических процессов в магистральных нефтепроводах. Материалы 2-го Международного симпозиума «Проблемы математического моделирования, управления и информационной технологии в нефтегазовой промышленности». Баку, 21-26 сентября, 1998.
24.*Кадымов Я.Б.* Переходные процессы в системах с распределенными параметрами. М., Физматгиз, 1968
25. *Алиев Я.А.* Численные определение переходных процессов в колонне бурильных труб как объекта с распределенными параметрами. Проблемы энергетики, 2004, № 1
26. *Алиев Я.А.* Численный метод расчета переходных процессов в электроприводах бурения нефтяных скважин. Проблемы энергетики, 2004, № 2
27. *Алиев Я.А.* Обобщенный численный метод расчета переходных процессов в системах бурового электропровода с распределенными параметрами. Изв. НАН Азербайджана, серия наука о земле, 2004, № 1
28. *Алиев Я.А., Мамедов А.И.* Численное моделирование переходных процессов в радиотехнических цепях с распределенными параметрами. Ученые записки Национальной Академии Авиации, 2004, № 4
29. *Алиев Я.А.* Численное моделирование переходных процессов в колонне бурильных труб как сбалансированного звена с распределенными параметрами. Изв. НАН Азербайджана, серия физико-технических и математических наук, 2005, № 1

MAGİSTRAL NEFT KƏMƏRLƏRİNDƏ BAŞ VERƏN KEÇİD PROSESLƏRİNİN HESABLANMASI ÜÇÜN SADƏ ƏDƏDİ ÜSUL

MƏMMƏDOV A.İ., ƏLİYEV E.Y.

Məqalədə magistral neft kəmərlərində baş verən keçid proseslərinin hesablanması üçün sadə ədədi üsul təklif edilmişdir.

THE SIMPLIFY NEW NUMERICAL METHOD OF CALCULATION IN THE MAIN OIL PIPELINES

MAMEDOV A.I., ALIYEV E.Y.

The new simplify numerical methods of calculation in the main oil pipelines.