

© В.Э. БОРЗЫХ, Н.Г. ПАНФИЛОВА

borzykh@tsogu.ru, panfilovang@yandex.ru

УДК 519.621.64

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОТЯГИВАНИЯ ТРУБОПРОВОДА В СТВОЛЕ ПРОБУРЕННОЙ СКВАЖИНЫ ПРИ НАЛОЖЕНИИ НА ЛОКАЛЬНУЮ ЗОНУ ИХ КОНТАКТА ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

АННОТАЦИЯ. В статье представлено имитационное моделирование процесса протягивания трубопровода в скважине при наложении вибрационных воздействий на основе построенной математической модели. Применение разработанной имитационной модели является одним из решений существующей проблемы снижения сил сопротивления при бестраншейной прокладке трубопроводов.

SUMMARY. Simulation modelling of the pipeline drawing process in the borehole with vibrations application on the base of created mathematical model is presented in the article. Application of the developed simulation model is one of the solutions of existent problem of resistance force reduction during the trenchless pipelining.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Бестраншейная технология, вибрация, сила сопротивления, модель, трубопровод.

KEY WORDS. Trenchless technology, vibration, resistance force, model, pipeline.

Достижения современного инжиниринга позволяют создавать и ремонтировать подземные инженерные коммуникации бестраншейным методом [1]. Это высокотехнологичный процесс, выполняющийся методом горизонтального бурения, который представлен на рис. 1. На первом этапе осуществляется бурение пилотной скважины, которое завершается выходом буровой головки в заданной проектной точке. На втором этапе производится расширение пробуренной скважины при помощи римера — расширителя обратного действия. Заключительным этапом является протягивание готовой плети трубопровода в пробуренную скважину.

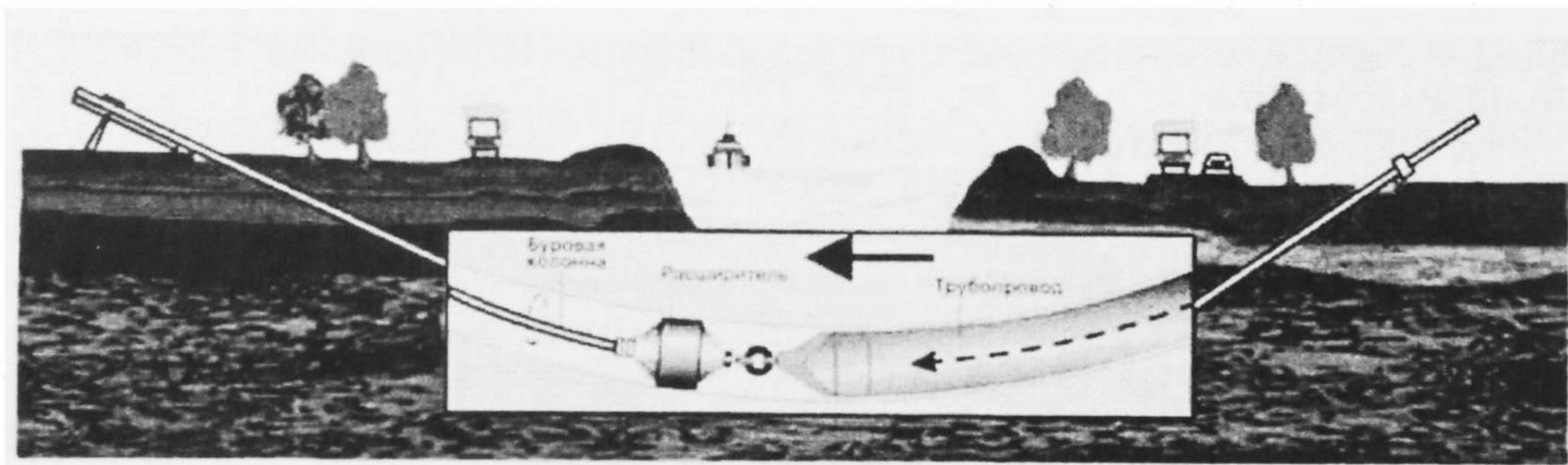


Рис. 1. Бестраншейная прокладка трубопровода

Широко распространенной проблемой при бестраншейной прокладке трубопровода является рост сил сопротивления при протягивании трубы в скважине [2]. Ввиду ежегодного увеличения протяженности строительства переходов,

рост сил сопротивления часто приводит к прихватам трубопровода, что влечет дополнительные финансовые затраты на их ликвидацию.

Одним из решений данной проблемы является применение вибрационных технологий [3]. В настоящее время вибрационные воздействия успешно используются при прокладке трубопроводов методом прокола и продавливания. Таким образом, положительные результаты наложения вибрации позволяют судить о возможности ее применения для снижения сил сопротивления при прокладке трубопровода методом горизонтального направленного бурения.

Для оценки эффективности наложения вибрационных воздействий на локальную зону контакта трубопровода со стенками скважины потребовалось провести имитационное моделирование процесса протягивания трубопровода с учетом применения вибрации [4]. Для этого необходимо математическое описание процесса протягивания трубопровода в стволе скважины. Физическая модель может быть представлена по методу «конечных элементов» в следующем виде (рис. 2).

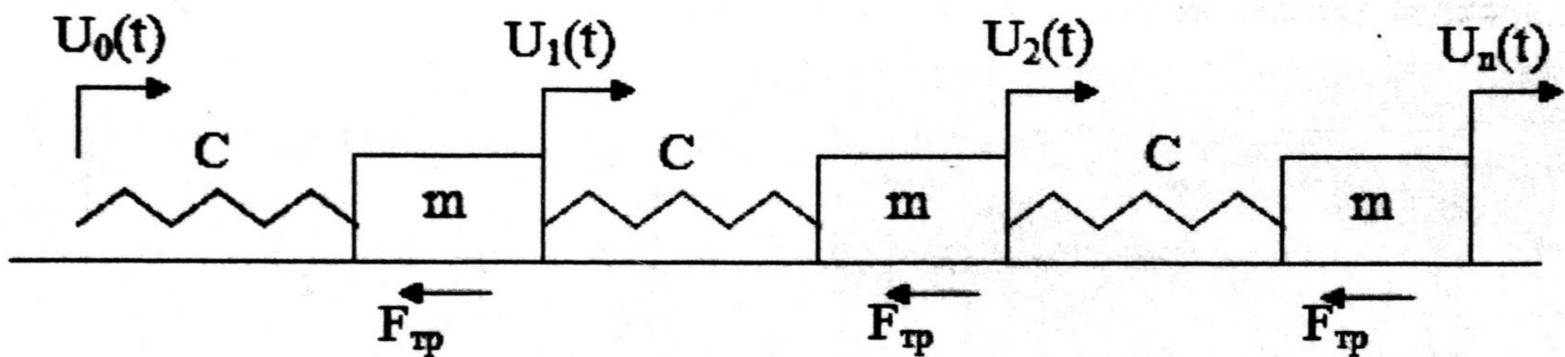


Рис. 2. Физическая модель движения трубопровода по методу «конечных элементов»

Применение метода «конечных элементов» позволило представить такой протяженный объект как трубопровод набором дискретных элементов от 0 до n. Независимость от координат позволяет свести уравнения в частных производных в систему обыкновенных дифференциальных уравнений, имеющей вид:

$$\begin{aligned}
 -m \frac{d^2 U_1(t)}{dt^2} + C(U_0(t) - U_1(t)) - C(U_1(t) - U_2(t)) - F_{тр} &= 0; \\
 -m \frac{d^2 U_2(t)}{dt^2} + C(U_1(t) - U_2(t)) - C(U_2(t) - U_3(t)) - F_{тр} &= 0; \\
 -m \frac{d^2 U_3(t)}{dt^2} + C(U_2(t) - U_3(t)) - C(U_3(t) - U_n(t)) - F_{тр} &= 0; \\
 \dots\dots\dots \\
 -m \frac{d^2 U_{n+1}(t)}{dt^2} + C(U_n(t) - U_{n+1}(t)) - C(U_{n+1}(t) - U_{n+2}(t)) - F_{тр} &= 0, \quad (1)
 \end{aligned}$$

Начальные условия при $t=0$, $U_1=U_2= \dots =U_n=0$,
 где m — масса дискретного элемента, кг;
 C — упругость материала трубопровода, коэффициент Пуассона;
 $U_i(t)$ — перемещение дискретного элемента, м;
 $i=0 \div n$.

$$F_{тр} = k \cdot N \cdot \text{sing}(V) \quad (2)$$

где $F_{тр}$ — сила сопротивления движению, Н;

N — нормальная составляющая силы прижатия буровой колонны к стенкам скважины, Н;

$\text{sing}(V)$ — функция, определяющая направление относительного перемещения трубопровода в скважине;

k — коэффициент трения, определяемый по результатам экспериментальных исследований [1].

Система уравнений представляет собой задачу Коши с начальными условиями. Для решения этой задачи была построена имитационная модель в среде численного моделирования Simulink системы компьютерной математики MATLAB [5]. В разработанной модели было проведено моделирование процесса протягивания трубопровода диаметром 530 мм с толщиной стенки 12 мм и длиной перехода 900 м с учетом наложения вибрационных воздействий. Результаты моделирования показали, что при отсутствии вибрационных воздействий при начальном тяговом усилии буровой установки в 72 тонны через 300 метров перехода тяговое усилие составило 36 тонн, что представлено на рис. 3.

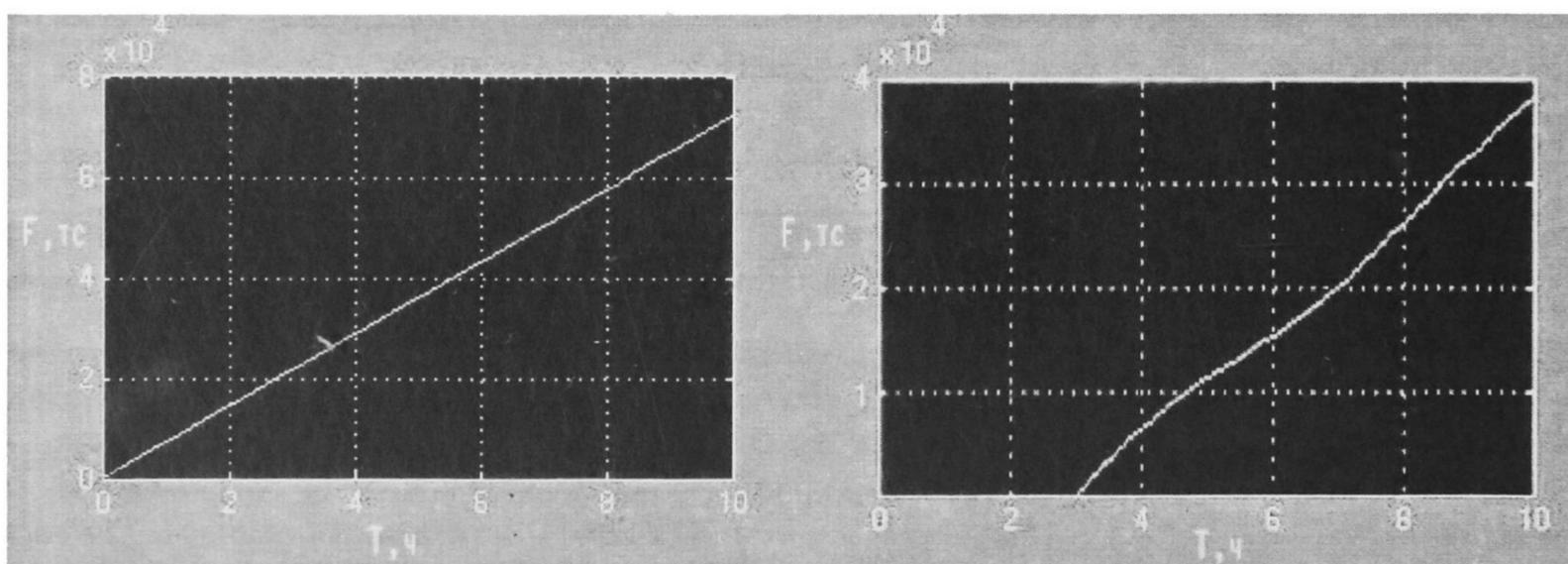


Рис. 3. Тяговое усилие буровой установки при отсутствии вибрационного воздействия

При наложении вибрации с частотой 10 Гц на локальную зону контакта трубопровода со стенками скважины результаты моделирования показали (рис. 4), что при начальном тяговом усилии в 72 тонны через 300 метров оно снизилось до 1 тонны, что подтверждает наше предположение об эффективности вибрационных воздействия для снижения силы сопротивления при протягивании трубопровода в скважине.

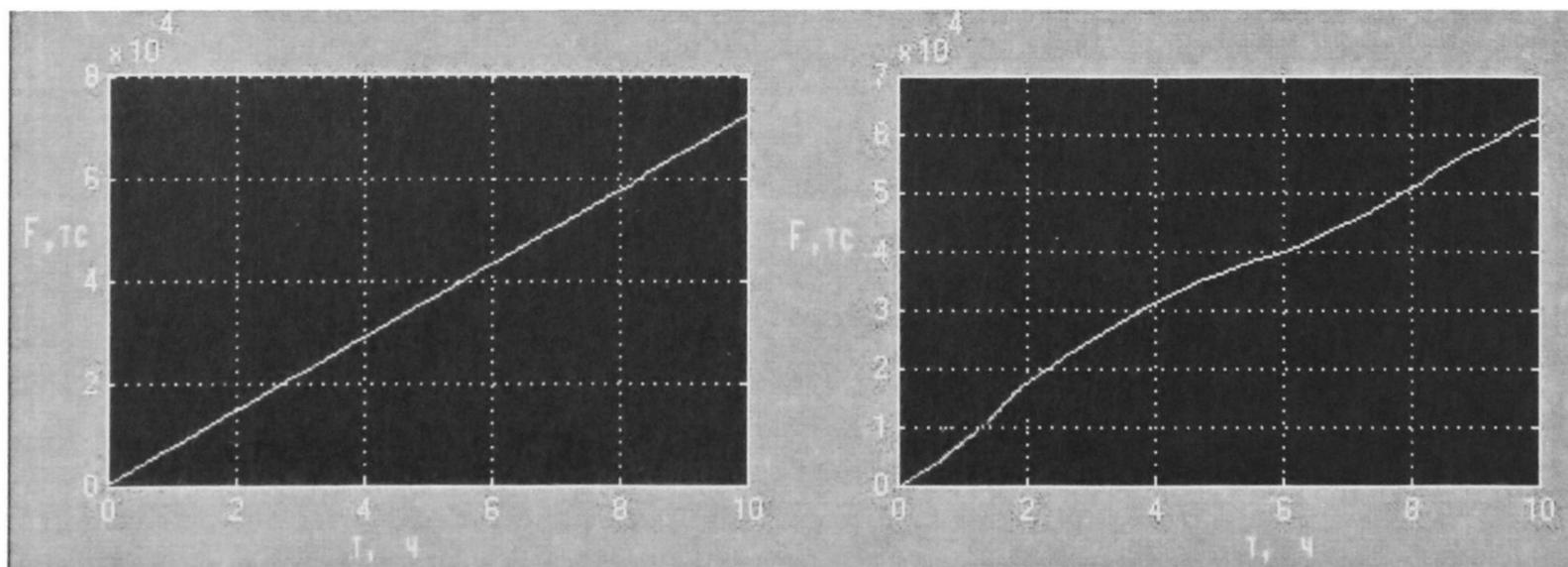


Рис. 4. Тяговое усилие буровой установки при наложении вибрационного воздействия

Таким образом, разработанная имитационная модель позволяет использовать ее не только на стадии проектирования работ по строительству переходов с использованием бестраншейной технологии, но и при производстве работ с учетом изменяющихся условий. В случае изменения условий протягивания трубопровода (незапланированная остановка процесса протягивания трубопровода, изменение состава бурового раствора, отклонение профиля ствола скважины от проектного и т.д.) построенная имитационная модель позволяет определить уровень нагрузок в любом элементе трубопровода и выработать управляющее воздействие с заранее заданным результатом.

Полученные результаты моделирования процесса протягивания трубопровода в стволе пробуренной скважины были апробированы в реальных условиях при прокладке стального трубопровода диаметром 530 мм с толщиной стенки 12 мм, покрытого полихлорвиниловой пленкой через реку Тура с длиной перехода 272 м. Трубопровод состоял из 4-х плетей, наращиваемых по ходу его протягивания в пробуренную скважину. Программа исследования в реальных условиях при применении результатов моделирования процесса протягивания трубопровода в стволе пробуренной скважины включала в себя измерение тяговых усилий буровой установки во всех режимах протягивания трубопровода. Значения сил сопротивления при протягивании трубопровода в пробуренную скважину представлены на нагрузочной диаграмме (рис. 5).

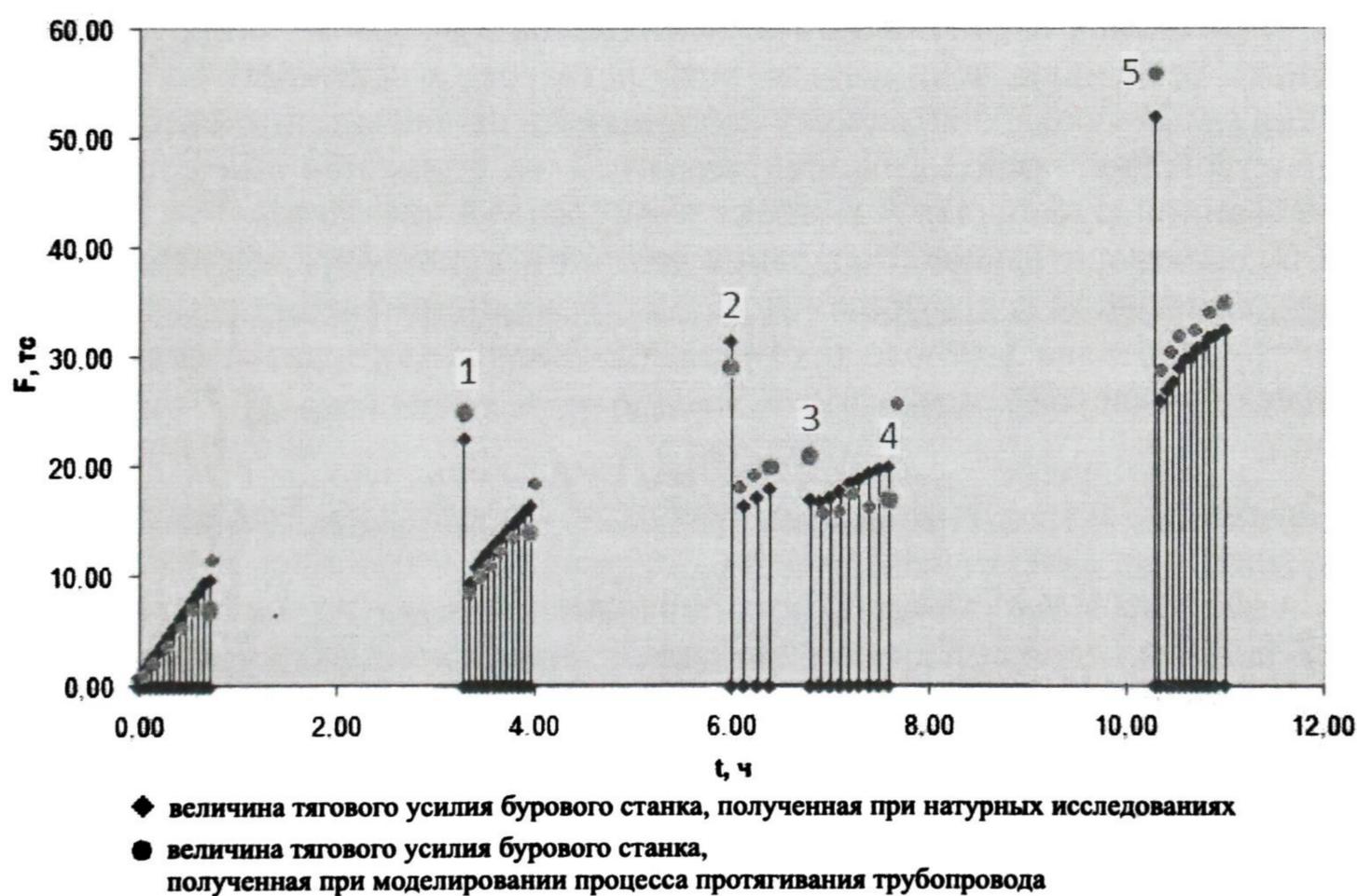


Рис. 5. Нагрузочная диаграмма

- 1 — величина тягового усилия после наращивания 2-ой плети трубопровода;
- 2 — величина тягового усилия после наращивания 3-й плети трубопровода;
- 3 — тяговое усилие при страгивании трубопровода после 40-минутного неподвижного контакта со стенками скважины при наложении управляющего вибрационного воздействия;
- 4 — тяговое усилие протягивания трубопровода при наложении управляющего вибрационного воздействия;
- 5 — величина тягового усилия после наращивания 4-ой плети трубопровода.

Предварительное вибрационное воздействие на трубопровод перед его страгиванием после длительной остановки позволило снять действие адгезионной составляющей сил сопротивления, действующей со стороны стенок скважины на трубопровод, о чем свидетельствуют данные нагрузочной диаграммы (точка 3 на рис. 5). Наложение вибрации на трубопровод при его дальнейшем движении в процессе протягивания в стволе скважины показало снижение сил трения в пределах 20-30%, о чем свидетельствуют данные нагрузки на буровой станок (отрезок 3-4 нагрузочной диаграммы на рис. 5). Это позволяет судить о возможности не только снижения мощности используемого бурового оборудования, что позволит снизить стоимость строительства переходов бестраншейным методом, но и снижения ограничений на возможную протяженность строительства переходов.

Выводы

1. Анализ результатов моделирования процесса протягивания трубопровода в стволе пробуренной скважины показал не только соответствие построенной имитационной модели представлениям о физике процессов взаимодействия трубопровода со стенками скважины, но и подтвердил ранее сделанные на основе анализа уравнений, описывающих коэффициент трения и адгезионную составляющую силы сопротивления страгиванию трубопровода, выводы об эффективности наложения вибрационного воздействия на зону контакта трубопровода со стенками скважины с целью снижения сил сопротивления его перемещению в стволе скважины [6]-[8].

2. Имеющаяся в полученной имитационной модели Simulink возможность не только встраивать технические устройства, но и оценивать их влияние на моделируемый процесс позволяет использовать ее как инструментарий для совершенствования технологии, направленной на снижение сил сопротивления протягиванию трубопровода в стволе пробуренной скважины.

3. Удовлетворительное совпадение данных натуральных исследований с результатами расчета сил сопротивления на имитационной модели процесса протягивания трубопровода в стволе пробуренной скважины свидетельствует о ее соответствии реальному процессу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булгакова И.П. Бестраншейная прокладка коммуникаций: Учебное пособие для вузов. 2002.
2. Александров М.М. Силы сопротивления при движении труб в скважине. М.: Недра, 1978. 208 с.
3. Панфилова Н.Г. Совершенствование техники и технологии бестраншейной прокладки трубопровода // Нефтегазовый терминал. 2008. Вып. 2. С. 85.
4. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование. СПб.: БХВ, 2009. 400 с.
5. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1 / 7.0 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. М.: Солон-пресс, 2005. 576 с.
6. Панфилова Н.Г. Разработка математической модели взаимодействия трубопровода со стенками скважины // Известия вузов. Нефть и газ. 2009. № 3. С. 82-87.
7. Борзых В.Э., Панфилова Н.Г. Основы автоматизированного управления процессом протягивания трубопровода при его бестраншейной прокладке // Тез. докл. Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. ТУСУР. Томск, 2010. С. 82-84.
8. Борзых В.Э., Панфилова Н.Г. Практические аспекты управления протягиванием трубопровода при бестраншейной прокладке // Известия вузов. Нефть и газ. 2010. № 5. С. 44-47.