

4. Kolotilov Yu. V., Korolenok A. M., Fedorov E. I. et al. *Osobennosti effektivnogo ispolzovaniya ankernykh ustroystv pri sooruzhenii magistralnykh gazoprovodov* [Features of effective use of anchorages when constructing main gas pipelines]. Moscow, Oilman, 1998. 86 p.

5. Kolotilov Yu. V., Mitrokhin M. Yu., Reshetnikov A. D. et al. *Funktsionalno-tekhnologicheskii monitoring sistemy obsluzhivaniya i remonta gazoprovodov* [Functional and technological monitoring of gas pipelines repair and maintenance system]. Moscow, Izvestiya, 2009. 512 p.

6. Reshetnikov A. D. *Tekhnologicheskie protsessy stroitelstva i kapitalnogo remonta magistralnykh gazoprovodov v slozhnykh prirodno-klimaticheskikh usloviyakh* [Technological processes of construction and general repair of main gas pipelines in difficult natural and climatic conditions]. Moscow, 2004. 320 p.

7. *STO Gazprom 2-2.3-231-2008. Pravila proizvodstva rabot pri kapitalnom remonte lineynoy chasti magistralnykh gazoprovodov OAO «Gazprom»* [Organization Standard Gazprom 2-2.3-231-2008. Work production rules at major overhaul of linear part of main gas pipelines of JSC "Gazprom"]. Moscow, Information and Advertising Center Gazprom, 2008. 72 p.

УДК 621.644; 52-17

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАКРЕПЛЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ НА СЛАБОНЕСУЩИХ ГРУНТАХ

Арбузов Юрий Алексеевич, кандидат технических наук, главный инженер – первый заместитель генерального директора, ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород», 603950, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, ул. Звездинка, д. 11, e-mail: rbzv_r_lksvch@mail.ru, blv_srg_rsntvch@mail.ru

Белов Сергей Арсентьевич, начальник отдела по охране труда и промышленной безопасности, ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород», 603950, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, ул. Звездинка, д. 11, e-mail: rbzv_r_lksvch@mail.ru, blv_srg_rsntvch@mail.ru

Воеводин Илья Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: vvdn_l_gnndvch@mail.ru

Миклуш Александр Сергеевич, ведущий инженер-конструктор 1-ой категории, ООО ПКФ «Вертикаль», 105120, Российская Федерация, г. Москва, Съезжинский переулок, д. 6, e-mail: mkls_hksndr_srgvch@mail.ru

Ридченко Александр Николаевич, главный инженер, ООО «Стройнадзордиагностика», 142715, Российская Федерация, Московская обл., Ленинский р-он, д. Картино, Производственная база, e-mail: rdchnk_lksndr_nklvch@mail.ru

Кузнецов Петр Александрович, доктор технических наук, генеральный директор, Научно-производственное объединение ООО «Инвестстройэкология», 142717, Российская Федерация, Московская обл., Ленинский р-он, д. Картино, e-mail: kzncv_ptr_lksndrvch@mail.ru

Предложен алгоритм анализа устойчивости закрепленного анкерами магистрального газопровода на слабонесущих обводненных грунтах, основанный на использовании элементов теории нечетких множеств, математической модели и методики оценки влияния качества выполнения строительно-монтажных работ на эксплуатационную надежность участка магистрального газопровода. Определено, что существенное влияние на величину предельной поперечной нагрузки оказывает не только качество установки анкеров, но и их количество. Показано, что наибольшее значение для обеспечения устойчивости газопровода имеет качество анкеров, наиболее близко расположенных к середине участка. Построенный алгоритм позволяет оценить возможность обеспечения продольной устойчивости при неравномерной установке анкеров по длине газопровода. Разработанные алгоритмы многовариантных автоматизированных расчетов создают методологическую базу обоснования и выбора основных требований к технологическим пара-

метрам, обеспечивающим необходимую несущую способность системы анкеров при произвольном распределении их по длине газопровода.

Ключевые слова: магистральный газопровод, анкерное устройство, слабонесущий грунт, несущая способность, продольная и поперечная нагрузка

CALCULATING THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR REPAIRING MAIN GAS PIPELINES IN NON-COHESIVE SOILS

Arbuzov Yuriy A., Ph.D. (Engineering), Chief Engineer – First Deputy General Director, “Gazprom Transgaz Nizhny Novgorod” Ltd. Co., 11 Zvezdinka St., Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: rbzv_r_lksvch@mail.ru, blv_srg_rsntvch@mail.ru

Belov Sergey A., Head of Department of Labor Protection and Industrial Safety, “Gazprom Transgaz Nizhny Novgorod” Ltd. Co., 11 Zvezdinka St., Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: rbzv_r_lksvch@mail.ru, blv_srg_rsntvch@mail.ru

Voevodin Ilya G., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Astrakhan State University, 20a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: vvdn_l_gnndvch@mail.ru

Miklush Alexander S., Leading Design Engineer of the First Category, Production and Commercial Company “Vertical” Ltd., 6 Sezzhinsky pereulok, Moscow, 105120, Russian Federation, e-mail: mkls_h_lksndr_srgvch@mail.ru

Ridchenko Alexander N., Chief Engineer, “Stroynadzordiagnostics” Ltd. Co., Production Base, Kartino village, Leninsky district, Moscow Region, 142715, Russian Federation, e-mail: rdchnk_lksndr_nklvch@mail.ru

Kuznetsov Petr A., D.Sc. (Engineering), General Director, Research and Production Association “Investstroyekologiya” Ltd. Co., Kartino village, Leninsky district, Moscow Region, 142717, Russian Federation, e-mail: kzncv_ptr_lksndrvch@mail.ru

The article presents an algorithm for analyzing the stability level of main gas pipelines located in irrigated non-cohesive soils. The algorithm serves to estimate the longitudinal stability for uneven placement of anchor devices along the pipeline. Multivariate algorithms of automated calculations, for their part, provide a methodological basis and justify the selection of basic requirements for technological parameters. The latter would provide the anchors with their required bearing capacity for arbitrary distribution along the length of the pipeline. The anchor devices, the critique relates, enhance the stability level. Moreover, they depend on elements of the 'fuzzy set' theory, mathematical models and other concepts that influence the quality of pipeline sectional construction and installation work, as well as its operational reliability. The study has determined that the quality of the anchor installation has a significant influence on the transverse load; it also regulates the total number of anchors. Finally, the paper has indicated that the anchor devices closest to the pipeline's midsection are able to provide it with the maximum level of sustainability.

Keywords: main gas pipeline, anchor devices, non-cohesive soils, retention capacity, longitudinal and transverse load

Изменение положения магистрального газопровода, проложенного в обводненной местности, по отношению к заданному проектом может привести к нарушению устойчивости объекта и его прочности [2, 5]. В целях планирования обеспечения целостности магистрального газопровода необходимы количественные оценки его устойчивости при строительстве в сложных климатических условиях [1, 3, 4, 6, 7]. Воспользуемся основными положениями теории нечетких множеств и разработаем алгоритм анализа устойчивости закрепленного анкерами линейно-протяженного объекта на слабонесущих обводненных грунтах.

Рассмотрим задачу оценки надежности закрепления участка газопровода анкерами. Допустим, мера возможности потери устойчивости равна α . Параметрами конструкции счи-

таем количество анкеров n на участке заданной длины, что эквивалентно шагу анкеров, а также координаты анкеров по длине газопровода.

Изменением этих параметров необходимо добиться равенства

$$S(\alpha) = N(\alpha). \quad (1)$$

Несущая способность участка газопровода N является функцией параметров конст-
рукции и первичных нечетких величин. Если все анкера идентичны, то диаграммы работы
каждого анкера описываются тройкой нечетких величин – тангенсом наклона касательной в
начале координат $\omega = \tan \theta$, координатами экстремумов p и S . Идентичность анкеров опреде-
ляется тем, что функции принадлежности этих величин одинаковы для всех анкеров. Берем
 α -срезы каждой нечеткой величины $\omega(\alpha)$, $p(\alpha)$ и $S(\alpha)$. Эти величины описывают совершенно
конкретную диаграмму и эта диаграмма одна и та же для всех анкеров. Получаем, что

$$T(\alpha) = f[n; x_1, x_2, \dots, x_n; \omega(\alpha), p(\alpha), S(\alpha)]. \quad (2)$$

Эта величина находится детерминированным расчетом на устойчивость по алгорит-
му, описанному выше. Мы не указали в формуле (2) всех прочих параметров, характери-
зующих газопровод: грунт, а также начальный изгиб, который пока считаем величиной фик-
сированной, хотя она тоже неопределенная величина. Теперь практически имеются все ис-
ходные данные для решения задачи. Допустим, что мы решили задачу и подобрали число
анкеров n и координаты установки анкеров $x_1, x_2, \dots, x_n$ таким образом, что равенство (2)
удовлетворяется с заданным α . Поскольку все неопределенные величины становятся α -
срезами, то тем самым определяем все коэффициенты надежности.

Схема расчета может быть принята следующей. На верхнем уровне программы рас-
чета задается число α – для нечетких чисел α -уровень. По функции принадлежности для
продольной силы S фиксируется число $S(\alpha)$, соответствующее заданному α -уровню. Рас-
сматриваемый участок газопровода теперь считаем нагруженным продольной силой $S(\alpha)$.

Кроме выталкивающей силы все другие характеристики, имеющие отношение к расче-
ту участка газопровода, фиксируются, т.е. постоянные характеристики, так же как и диаметр
газопровода, толщина стенки и т.д., просто задаются, неопределенные величины, описывае-
мые нечеткими числами, фиксируются на α -уровне. После этого начинается детерминистиче-
ский расчет. Для всех заданных характеристик, в том числе продольной силы, находится кри-
тическая величина выталкивающей силы, соответствующая потере устойчивости газопровода.
При этом число анкеров сначала задается, далее это число может варьироваться.

Анализ влияния качества установки анкеров на обеспечение их удерживающей способности. Будем считать несущую способность анкера лингвистической переменной, при-
нимающей значение «хорошая» и «плохая». На базовой шкале с размерностью несущей способ-
ности определим последнюю таким образом: две нечеткие величины с функциями принадлеж-
ности $\mu_1(x)$ – хорошая и $\mu_2(x)$ – плохая. Каждый анкер может обладать хорошей несущей спо-
собностью с вероятностью g и плохой несущей способностью с вероятностью $q = 1 - g$.

Предположим, что участок газопровода закреплен n анкерами. Обозначим A_{xi} – со-
бытие, заключающееся в том, что i -ый анкер хороший и A_{pi} – соответственно i -ый анкер
плохой. Тогда вероятность того, что все анкера хорошие

$$g\{A_{x1}, A_{x2}, \dots, A_{xn}\} = g^n. \quad (3)$$

Вероятность того, что ровно один анкер будет плохой

$$g\{A_{x1}, A_{x2}, \dots, A_{pi}, \dots, A_{xn}\} = q \cdot g^{n-1}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

Ровно два плохих

$$g\{A_{x1}, A_{x2}, \dots, A_{pi}, \dots, A_{pj}, \dots, A_{xn}\} = q^2 \cdot g^{n-2}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

и т.д. до события

$$g\{A_{n1}, A_{n2}, \dots, A_{nn}\} = q^n. \quad (6)$$

Несущая способность N будет, вообще говоря, разная, в зависимости от того, какое количество анкеров и с какими номерами окажутся плохими. Обозначим α -срезы несущей способности для различных событий $N_0(\alpha)$ – все анкера хорошие; $N_i(\alpha)$ – i -ый анкер плохой, остальные хорошие; $N_{ij}(\alpha)$ – i -ый и j -ый анкера плохие, остальные хорошие и т.д.

Далее осредняем несущую способность по вероятности

$$N^\alpha = g^n \cdot N_0^\alpha + \sum_{i=1,n} q \cdot g^{n-1} \cdot N_i^\alpha + \sum_{i,j=1,n} q^2 \cdot g^{n-2} \cdot N_{ij}^\alpha + q^n \cdot N_{1,2,\dots,n}^\alpha. \quad (7)$$

Вычисления по этой формуле при реальных значениях n практически невозможны, так как время вычисления N в степени α зависит от n экспоненциально. Сделаем попытку найти оценку снизу

$$N^\alpha \geq g^n \cdot N_0^\alpha + n \cdot q \cdot g^{n-1} \cdot \min_i \{N_i^\alpha\} + 0,5 \cdot n \cdot (n-1) \cdot q^2 \cdot g^{n-2} \cdot \min_{i,j} \{N_{ij}^\alpha\} + \dots. \quad (8)$$

Возникает ряд экстремальных задач

$$\min_i \{N_i^\alpha\}, \min_{i,j} \{N_{ij}^\alpha\}, \dots. \quad (9)$$

Для решения этих задач необходимо использовать полный перебор возможных вариантов по качеству закрепления анкеров. Допустим, что мы рассчитали участок газопровода на устойчивость для всех анкеров (21 анкер), качество которых описывается лингвистической переменной со значением «хорошее» (рис., кривая 1). В расчете фиксируется α -уровень неопределенных величин (в рассматриваемом случае $\alpha = 0,1$) при следующих исходных данных: $D_n = 1420$ мм; $\delta = 16,5$ мм; $F = 0,25 \cdot p \cdot (D_n^2 - D_{вн}^2) = 727,52$ см²; $E_0 \cdot I = 3,75 \cdot 10^9$ Н·м²; $L = 100$ м; $N = 21$ – число анкеров; $L_a = 4,76$ м – шаг установки анкеров; $T = 12926$ кН – продольная сила; для «хороших» анкеров $\alpha = 0,1$: $A = 109,6$ кН, $B = 0,03$ м, $m = 0,71$; для «плохих» анкеров $\alpha = 0,1$: $A = 59,6$ кН, $B = 0,03$ м, $m = 0,71$.

Затем два анкера в середине участка считаем «плохими» (рис., кривая 2). При этом значения неопределенных величин фиксируются на том же α -уровне. Результат сравнения приводит к выводу о том, что существенное влияние на величину предельной поперечной нагрузки оказывает не только качество установки анкеров, но и их количество. Так, при пяти некачественных анкерах предельно допустимая поперечная нагрузка, при которой сохраняется устойчивость газопровода, на 14 % меньше, чем при двух некачественных анкерах. Видно, что наибольшее значение для обеспечения устойчивости газопровода имеет качество анкеров, наиболее близко расположенных к середине участка. Построенный алгоритм позволяет также оценить возможность обеспечения продольной устойчивости при неравномерной установке анкеров по длине газопровода, что очевидно позволит решать задачи оптимизации при расчете количества требуемых для закрепления участка газопровода анкеров.

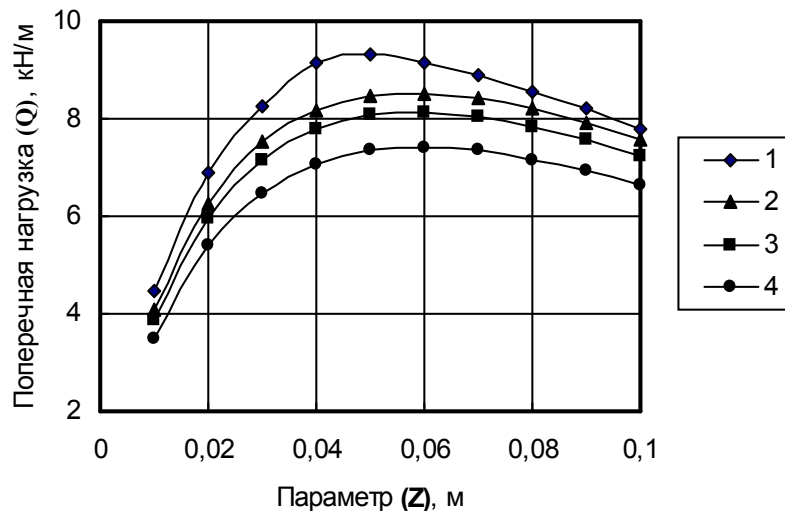


Рис. Изменение поперечной нагрузки при нарушении качества установки анкеров:
1 – все анкера хорошие; 2 – два анкера плохих (№ 11, 12); 3 – три анкера плохих (№ 10, 11, 2); 4 – пять плохих анкеров (№ 9–13)

Результаты расчетов по разработанным алгоритмам показали, что существенное влияние на критические значения продольных и поперечных нагрузок оказывает не только общая удерживающая способность всех анкеров, но и их возможное различие в несущей способности. Разработанные методики и алгоритмы, реализованные в виде пакета прикладных программ в среде САПР, позволяют довести количественные характеристики динамических и термодинамических процессов, имеющих место внутри и вне газопровода, до инженерного уровня и применить методы теории надежности для обоснования необходимой степени возможности безотказной работы газопровода.

Список литературы

1. Анохин Н. Н. Строительная механика в примерах и задачах. Статически неопределимые системы / Н. Н. Анохин. – Москва : Ассоциация строительных вузов (АСВ), 2000. – Ч. 2. – 464 с.
2. Быков Л. И. Типовые расчеты при сооружении и ремонте газонефтепроводов / Л. И. Быков, Ф. М. Мустафин, С. К. Рафиков и др. – Санкт-Петербург : Недра, 2006. – 824 с.
3. ГОСТ 20522-96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. – Москва : Минстрой РФ, 1996. – 26 с.
4. Колотилов Ю. В. Особенности эффективного использования анкерных устройств при сооружении магистральных газопроводов / Ю. В. Колотилов, А. М. Короленок, Е. И. Федоров и др. – Москва : Нефтяник, 1998. – 86 с.
5. Колотилов Ю. В. Функционально-технологический мониторинг системы обслуживания и ремонта газопроводов / Ю. В. Колотилов, М. Ю. Митрохин, А. Д. Решетников и др. – Москва : Известия, 2009. – 512 с.
6. Решетников А. Д. Технологические процессы строительства и капитального ремонта магистральных газопроводов в сложных природно-климатических условиях / А. Д. Решетников. – Москва : СИП РИА, 2004. – 320 с.
7. СТО Газпром 2-2.3-231-2008. Правила производства работ при капитальном ремонте линейной части магистральных газопроводов ОАО «Газпром». – Москва : ИРЦ Газпром, 2008. – 72 с.

References

1. Anokhin N. N. *Stroitel'naya mekhanika v primerakh i zadachakh. Staticheski neopredelime sistemy* [Structural mechanics in examples and tasks. Statically indeterminate systems]. Moscow, Association of Engineering Universities, 2000, part 2. 464 p.
2. Bykov L. I., Mustafin F. M., Rafikov S. K. et al. *Tipovye raschety pri sooruzhenii i remonte gazonefteprovodov* [Model calculations at the construction and repair of oil and gas pipelines]. Saint-Petersburg, Nedra, 2006. 824 p.
3. GOST 20522-96. *Grunty. Metody statisticheskoy obrabotki rezultatov ispytaniy* [State Standard 20522-96. Soils. The method of statistical treatment of test results]. Moscow, Russian Ministry of Construction, 1996. 26 p.
4. Kolotilov Yu. V., Korolenok A. M., Fedorov E. I. et al. *Osobennosti effektivnogo ispolzovaniya ankernykh ustroystv pri sooruzhenii magistralnykh gazoprovodov* [Features of effective use of anchorages when constructing main gas pipelines]. Moscow, Oilman, 1998. 86 p.
5. Kolotilov Yu. V., Mitrokhin M. Yu., Reshetnikov A. D. et al. *Funktsionalno-tekhnologicheskii monitoring sistemy obsluzhivaniya i remonta gazoprovodov* [Functional and technological monitoring of gas pipelines repair and maintenance system]. Moscow, Izvestiya, 2009. 512 p.
6. Reshetnikov A. D. *Tekhnologicheskie protsessy stroitelstva i kapitalnogo remonta magistralnykh gazoprovodov v slozhnykh prirodno-klimaticheskikh usloviyakh* [Technological processes of construction and general repair of main gas pipelines in difficult natural and climatic conditions]. Moscow, 2004. 320 p.
7. STO Gazprom 2-2.3-231-2008. *Pravila proizvodstva rabot pri kapitalnom remonte lineynoy chasti magistralnykh gazoprovodov OAO «Gazprom»* [Organization Standard Gazprom 2-2.3-231-2008. Work production rules at major overhaul of linear part of main gas pipelines of JSC "Gazprom"]. Moscow, Information and Advertising Center Gazprom, 2008. 72 p.

УДК 681.3.07 : 005.336.4

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА В РЕГИОНАЛЬНЫХ ВУЗАХ

Брумиштейн Юрий Моисеевич, кандидат технических наук, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, тел. 8 (8512) 61-08-43, e-mail: brum2003@mail.ru

Иванова Мария Владимировна, аспирант, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, тел. 8 (8512) 61-08-43, e-mail: maivam@rambler.ru

Пугина Надежда Николаевна, аспирант, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, тел. 8 (8512) 61-08-43, e-mail: astra8512@mail.ru

Авторы статьи показывают актуальность темы для региональных вузов (РВ); рассматривают цели и особенности их кадровой политики; характеризуют причины и основные процессы, связанные с изменением численности и структуры преподавательского состава вузов; исследуют основные возможности руководства РВ по управлению этими процессами. В работе обоснованы: целесообразность использования математических моделей для прогнозирования кадровых процессов в РВ; возможные подходы к организации имитационного моделирования таких процессов; предпосылки, используемые при формализации кадровых процессов для целей моделирования; принятая для моделирования схема разделения преподавателей на группы и подгруппы. Для описания динамики кадровых процессов РВ в рамках математической модели предлагается система дифференциальных уравнений (ДУ). Модель учитывает такие процессы: подготовку кадров высшей квалификации; внутривузовские «перетоки» персонала между группами/подгруппами; прекращение трудовой деятельности персонала; переход