

Министерство образования Республики Беларусь
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(Полоцкий государственный университет)

УДК 001.891.573

№ госрегистрации 20191726

Инв № _____

Проректор по научной работе
к.т.н., доцент

_____ Ю.П. Голубев
« ____ » _____ 2020г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
**«Разработка методов анализа больших данных для решения задачи
прогнозирования потребления газа на магистральном газопроводе ОАО
"Газпром трансгаз Беларусь"»**
(заключительный)
задание 1.08.17 государственной программы научных исследований
«Информатика, космос и безопасность» подпрограмма «Информатика и
космические исследования»
на 2019-2020гг.

Начальник ОСНИ

_____ Т.В. Гончарова
« ____ » _____ 2020г.

Научный руководитель
к.т.н., доцент

_____ Д.О. Глухов
« ____ » _____ 2020г.

Новополоцк 2020

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель,

к.т.н., доцент

_____ «__» ____ 20__ г. Д.О. Глухов
(Главы 1-3,
Заключение)

Ответственный

исполнитель

старший

преподаватель

_____ «__» ____ 20__ г. Т.М. Глухова
(Введение, Глава 3)

Исполнители

Научный сотрудник

_____ «__» ____ 20__ г. А.П. Андриевский
(Глава 3)

Научный сотрудник

_____ «__» ____ 20__ г. А.Н. Янушенок
(Глава 3)

Научный сотрудник,

к.т.н., доцент

_____ «__» ____ 20__ г. Р.П. Богуш
(Глава 2)

Нормоконтролер

_____ «__» ____ 20__ г. Л.В. Ищенко

РЕФЕРАТ

Отчет 89 страниц, 44 рисунков, 5 таблиц, 83 источника.

ЗАПАС ГАЗА; МАГИСТРАЛЬНЫЙ ГАЗОПРОВОД; РАСЧЕТ;
МОДЕЛИРОВАНИЕ; БЕЛТРАНСГАЗ

Наименование задания: Разработка методов анализа больших данных для решения задачи прогнозирования потребления газа на магистральном газопроводе ОАО "Газпром трансгаз Беларусь".

Объект исследования или разработки: математическая модель газотранспортной системы.

Цель работы – провести исследования для моделирования и прогнозирования потребления газа в задаче транспортировки газа в стационарном режиме.

При проведении исследований использовались следующие методы и методологии: методы обработки больших данных, нейросети, моделирование на ЭВМ, численные методы: методы повышения скорости сходимости, методы анализа качества.

Результаты НИР вошли в состав программного комплекса расчета запаса газа ОАО «Газпром трансгаз Беларусь» (разработчик Полоцкий государственный университет). А также используются на кафедре трубопроводного транспорта, вентиляции и гидравлики УО «Полоцкий государственный университет» при чтении лекций, проведении лабораторных работ, при выполнении дипломных проектов и при проведении научно-исследовательской работы студентов, магистрантов и аспирантов.

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	4
ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ СИСТЕМЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ГАЗА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ.....	7
1.1 Характеристики системы потребления газа	7
1.2 Анализ исходных данных.....	9
Выводы по главе 1	18
ГЛАВА 2 АНАЛИЗ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОТРЕБЛЕНИЯ ГАЗА.....	19
2.1 Представление данных	21
2.2 Предварительная подготовка данных.....	22
2.3 Прогнозирование потребления газа методом экспоненциального сглаживания.....	23
2.4 Прогнозирование на основе многослойного персептрона	25
2.5 Оценка качества прогноза потребления газа	26
2.6 Обзор перспективных нейросетевых методов прогнозирования .	29
Выводы по главе 2	38
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА И СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА	39
3.1 Влияние нестационарных процессов на исходные данные.....	39
3.2 Разработка генетического алгоритма аппроксимации многомерных зависимостей	40
3.3 Модель ARIMA.....	51
3.4 Модель экспоненциального сглаживания.....	60
3.5 Прогнозирование с использованием метода группового учета аргументов	63

3.6 Разработка подсистемы визуализации данных прогноза	66
Выводы по главе 3	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	78
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ	80

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Глухов, А.О. Многоагентные структуры для решения задачи коммивояжера / А.О. Глухов, В.В. Трофимов. // Проблемы менеджмента : сб. науч. тр. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2000. – Вып. 3. – С. 71–76.
2. Трофимов, В.В. Аппроксимация на многоагентных структурах / В.В. Трофимов, А.О. Глухов // Экономическая кибернетика: системный анализ в экономике и управлении : сб. научн. тр. – СПб. : Изд-во СПбГУЭФ, 2000. – Вып. 1. – С. 40–53.
3. Glukhov, A.O. Modified hybrid genetic algorithm of discreet optimization problems / Glukhov, A.O., Glukhov, D.O., Trofimov, V.V., Trofimova, L.A. // Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 20176 July 2017, Scopus 7970603. – St. Petersburg; Russian Federation. – Pages 417-419
4. Пожарский, Д.А. Генетический алгоритм для нахождения коэффициентов аппроксимации функции в контактных задачах для цилиндра [Электронный ресурс] / Д.А. Пожарский, Н.Б. Золотов, И.Е. Семенов // Молодой ученый. – 2017. – № 24. – С. 122–125. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/158/44625/>. – Дата доступа: 09.10.2019.
5. Кильдюшов, М.С. Программа для восстановления аппроксимированных алгебраических функций от нескольких переменных по набору дискретных значений функции [Электронный ресурс] / М.С. Кильдюшов // Интернет-журнал «Науковедение». – 2015. – Т. 7, № 5. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/136TVN515.pdf>
6. Кильдюшов М.С. Применение генетических алгоритмов для восстановления аппроксимированных алгебраических функций с определенной точностью / М.С. Кильдюшов // Наука и бизнес: пути развития ; Фонд развития науки и культуры, Тамбов. – 2016. – № 1 (55), – С. 25–31.

7. Driankov, D. An introduction to fuzzy control / D. Driankov, H. Hellendoorn, M. Reinfrank. – Springer-Verlag, 1993. 5. Zadeh, Lotfi A. Fuzzy Sets / Lotfi A. Zadeh // *Information & Control*. – 1965. – Vol. 8. – P. 338 – 353.
8. Zadeh, Lotfi A. Fuzzy Sets / Lotfi A. Zadeh // *Information & Control*. – 1965. – Vol. 8. – P. 338–353.
9. Glukhov, D.O. Dynamic expert system by fuzzy inference rules to automations an examination of complex objects / D.O. Glukhov // *Budownictwo i Inzynieria Srodowiska*. – Zielonogorsk : Politechnika Zielonogorska, 1998. – P. 105–109.
10. Глухов, Д.О. Мягкие вычисления для организации компьютерного представления номограмм на примере вычисления предельного коэффициента ползучести / Д.О. Глухов, Т.М. Глухова, С.П. Кундас *Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер С, Фундам. науки*. – 2010. – № 3. – С. 2–6.
11. Звонков, В.Б. Сравнительное исследование классических методов оптимизации и генетических алгоритмов / В.Б. Звонков, А.М. Попов // *Вестн. Сибир. гос. аэрокосмич. ун-та им. М.Ф. Решетнева*. – 2013. – С. 23–27.
12. Brown R.G. Smoothing forecasting and prediction of discrete time series. - N.Y., 1963.
13. Brown R.G., Meyer R.F. The fundamental theorem of exponential smoothing. *Oper. Res.* - 1961. - Vol.9. -№ 5.
14. Kourentzes, N.; Petropoulos, F. & Trapero, J. R. Improving forecasting by estimating time series structural components across multiple frequencies. *International Journal of Forecasting*, 2014, 30, 291-302
15. Athanasopoulos, G., Hyndman, R. J., Kourentzes, N., & Petropoulos, F. (2017). Forecasting with temporal hierarchies. *European Journal of Operational Research*, 262(1), 60-74. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.02.046>
16. Lütkepohl H. Forecasting contemporaneously aggregated vector ARMA processes. *Journal of Business & Economic Statistics*. 1984;2(3):201–214.

17. Gross CW, Sohl JE. Disaggregation methods to expedite product line forecasting. *Journal of Forecasting*. 1990;9(3):233–254.
18. Dangerfield BJ, Morris JS. Top-down or bottom-up: Aggregate versus disaggregate extrapolations. *International Journal of Forecasting*. 1992;8(2):233–241.
19. Fliedner G. An investigation of aggregate variable time series forecast strategies with specific subaggregate time series statistical correlation. *Computers & Operations Research*. 1999;26(10):1133–1149.
20. Zellner A, Tobias J. A note on aggregation, disaggregation and forecasting performance. *Journal of Forecasting*. 2000;19(5):457–465.
21. Hyndman RJ, Lee AJ, Wang E. Fast computation of reconciled forecasts for hierarchical and grouped time series. *Computational Statistics & Data Analysis*. 2016;97:16–32.
22. Abouarghoub W, Nomikos NK, Petropoulos F. On reconciling macro and micro energy transport forecasts for strategic decision making in the tanker industry. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2018;113:225–238.
23. Andrawis RR, Atiya AF, El-Shishiny H. Combination of long term and short term forecasts, with application to tourism demand forecasting. *International Journal of Forecasting*. 2011;27(3):870–886.
24. Spiliotis E, Petropoulos F, Kourentzes N, Assimakopoulos V. Cross-temporal aggregation: Improving the forecast accuracy of hierarchical electricity consumption. *Forecasting and Strategy Unit Working Paper*. 2018;1/18:1.
25. Kourentzes N, Athanasopoulos G. Cross-temporal coherent forecasts for Australian tourism. *Annals of Tourism Research*. 2019;forthcoming.
26. Yagli GM, Yang D, Srinivasan D. Reconciling solar forecasts: Sequential reconciliation. *Solar Energy*. 2019;179:391–397.
27. Akaike, H. A new look at the statistical model identification. — *IEEE Transactions on Automatic Control*. — 1974. — T. 19. — C. 716. — 723 c.

28. Yeni Rahkmawati, I Made Sumertajaya, Muhammad Nur Aidi (2019); Evaluation of Accuracy in Identification of ARIMA Models Based on Model Selection Criteria for Inflation Forecasting with the TSClust Approach; International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP) 9(9). – 2019. - ISSN: 2250-3153, DOI: <http://dx.doi.org/10.29322/IJSRP.9.09.2019.p9355>. – P.439-443
29. Box, George; Jenkins, Gwilym (1970). Time Series Analysis: Forecasting and Control. San Francisco: Holden-Day. – 712p.
30. Durbin, James & Koopman, Siem Jan. (2001). Time Series Analysis by State Space Methods.
31. Wessa P., (2017), ARIMA Backward Selection (v1.0.6) in Free Statistics Software (v1.2.1), Office for Research Development and Education, URL https://www.wessa.net/rwasp_arimabackwardselection.wasp/
32. Wessa, P. (2021), Free Statistics Software, Office for Research Development and Education, version 1.2.1, URL <https://www.wessa.net/>
33. Moahmed, Tawfik & Gayar, Neamat & Atiya, Amir. (2014). Forward and Backward Forecasting Ensembles for the Estimation of Time Series Missing Data. 93-104. 10.1007/978-3-319-11656-3_9.
34. Holt, C.C. (1957) Forecasting Seasonals and Trends by Exponentially Weighted Moving Averages. ONR Memorandum, Vol. 52, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh.
35. P. R. Winters (1960), Forecasting sales by exponentially weighted moving averages, Management Science 6, 324–342.
36. Гандин Л. С. Задача об оптимальной интерполяции. Тр. Глав, геофиз. обсерв. 1959. Т. 99. С. 67-75.
37. Zadeh, Lotfi A. Fuzzy Sets. – Information & Control. – Vol. 8, 1965. – P.338-353.
38. Kelly G.A. The Psychology of Personal Constructs. — N. Y.: Norton, 1955.

39. V. Trofimov, A. Gloukhov, D. Gloukhov Algorithm of ecological monitoring by fuzzy production rules / 2-nd International Conference Ecology and Society's Development Abstracts.- St.P.: МАНЭБ, 1997.- p.166.
40. Dmitry O. Glukhov Dynamic expert system by fuzzy inference rules to automations an examination of complex objects / Budownictwo i Inzynieria Srodowiska. – Zielonogorsk: Politechnika Zielonogorska, 1998. – ISBN 83-85911-60-X. – P.105-109.
41. Driankov, Hellendoorn, Reinfrank, An introduction to fuzzy control. – Springer-verlag, 1993
42. Глухов Д. О., Кастрюк А.П. Глухова Т.М. Применение унимодальных функций принадлежности в нечетких производственных системах для решения задач интеллектуального управления динамическими процессами / Вестник Полоцкого государственного университета. Фундаментальные науки. – №3. Серия С. – Новополоцк: РИО ПГУ, 2009. – 115-119с.
43. Глухов Д. О., Глухова Т.М., Кундас С.П. Мягкие вычисления для организации компьютерного представления номограмм на примере вычисления предельного коэффициента ползучести / Вестник Полоцкого государственного университета. Фундаментальные науки. – №3. Серия С. – Новополоцк: РИО ПГУ, 2010. – 2-6с.
44. Гради Буч и др. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений (UML 2). Третье издание = Object-Oriented Analysis and Design with Applications (3rd Edition). — М.: «Вильямс», 2010. — 720 с. — ISBN 978-5-8459-1401-9.
45. Anastasakis L., Mort N. The development of self-organization techniques in modelling: A review of the Group Method of Data Handling (GMDH): Research Report № 813. – Sheffield, United Kingdom: The University of Sheffield, 2001. – 38 p)

46. Ivakhnenko A.G. Heuristic Self-Organization in Problems of Engineering Cybernetics. *Automatica*. 1970. vol. 6, no. 2. pp. 207–219. DOI: 10.1016/0005-1098(70)90092-0.
47. Ivakhnenko A.G. Polynomial Theory of Complex Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 1971. vol. 4. pp. 364–378. DOI: 10.1109/tsmc.1971.4308320.
48. Ikeda S., Ochiai M., Sawaragi Y. Sequential GMDH Algorithm and Its Application to River Flow Prediction. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 1976. vol. 7. pp. 473–479. DOI: 10.1109/tsmc.1976.4309532.
49. Witczak M, Korbicz J, Mrugalski M., et al. A GMDH Neural Network-Based Approach to Robust Fault Diagnosis: Application to the DAMADICS Benchmark Problem. *Control Engineering Practice*. 2006. vol. 14, no. 6. pp. 671–683. DOI: 10.1016/j.conengprac.2005.04.007.
50. Kondo T., Ueno J. Multi-Layered GMDH-type Neural Network Self-Selecting Optimum Neural Network Architecture and Its Application to 3-Dimensional Medical Image Recognition of Blood Vessels. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*. 2008. vol. 4, no. 1. pp. 175–187.
51. Бернер, Л.И. Управление газотранспортной сетью с использованием методов моделирования и прогнозирования/ Л.И. Бернер, А.А. Ковалев, В.В. Киселев // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. -2013. - №1. -с. 48-54.
52. Сухарев М.Г., Ставровский Е.Р. Оптимизация систем транспорта газа. – М.: Недра. 1975. – 277 с.
53. Подсистема прогнозирования газопотребления крупного промышленного кластера АСУТП магистрального транспорта газа/ Никаноров В.В. и др.//Интеллектуальные информационные технологии в управлении. - 2017. - №3. – с. 20-24.

54. Прогноз потребления газа – основа принятия рациональных решений по структуре и технологическим параметрам при проектировании и реконструкции системы газоснабжения/ Р.А. Кантюков и др. // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». - 2015. - №1. – с. 201-202.
55. Леонов, Д.Г. Интеграционная архитектура адаптируемого распределённого программного обеспечения для решения задач газоснабжения / Т.М. Папилина, О.А. Степанкина// Proc. of the 6th Int. Conf. Actual Problems of System and Software Engineering, Moscow, Russia, 12-14 November, 2019. - p.259-270.
56. Степанкина, О.А. Системные основы постановки и решения задач прогнозирования для автоматизированного диспетчерского управления процессами нефтегазового производства / О.А. Степанкина, А.С. Абрамов // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2015. – № 12. – С. 19-23.
57. Тевяшев, А.Д. Сравнительный анализ методов прогнозирования процессов потребления природного газа/ А.Д. Тевяшев, В.Н. Щелкалин //Восточно-Европейский журнал передовых технологий. -2009. - №6/7(42). – с.8-15
58. Информационно-аналитическая система прогнозирования процессов потребления природного газа в газотранспортной системе Украины/ А.Д. Тевяшев и др. // ри, 2011, № 3 . – с.92-98
59. Сухарев М.Г., Самойлов Р.В. Анализ и управление стационарными и нестационарными режимами транспорта газа. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2016. – 399 с.
60. Бокс, Д. Анализ временных рядов: прогноз и управление : пер. с англ. / Д. Бокс, Г.Дженкинс. – М. : Мир, 1974. – 406 с.
61. Сухарев, М.Г. Методы прогнозирования. Учебное пособие — М.: РГУ нефти и газа, 2009 г., 208 с.

62. Zhang, G. Forecasting with artificial neural networks / G. Zhang, B.E. Patuwo, M.Y. Hu // *International Journal of Forecasting*. - 1998.- Vol 14.- P.35–62.
63. Верзунов, С.Н. Применение глубоких нейронных сетей для краткосрочного прогноза дальности видимости / С.Н. Верзунов // *Проблемы автоматизации и управления*. – 2019. - №1 (36). – с.118-130.
64. Великанова, Л.И. Краткосрочное прогнозирование влажности горных грунтов / Л.И. Великанова // *Проблемы автоматизации и управления*. – 2015. - №4.– с. 158–166.
65. Boyd, M. Designing a neural network for forecasting financial and economic time series / M. Boyd, I. Kaastra // *Neurocomputing*. - 1996.- Vol.10.- p. 215–236.
66. Верзунов С.Н., Лыченко Н.М. Мультивейвлетная полиморфная сеть для прогнозирования геофизических временных рядов / С.Н. Верзунов, Н.М. Лыченко // *Проблемы автоматизации и управления*. – 2017. – № 1 (32). – С. 78–87.
67. Lei, Y. Prediction of length-of-day using extreme learning machine/ Y. Lei, D. Zhao, H. Cai // *Geodesy and Geodynamics*. – 2015. - Vol.6. - №. 2. – p. 151–159.
68. Прокопцев, Н. Г. Использование сверточных нейронных сетей для прогнозирования скоростей транспортного потока на дорожном графе / Н. Г. Прокопцев, А. Е. Алексеенко, Я. А. Холодов // *Компьютерные исследования и моделирование*. – 2018. – Т.10. - №3. -с. 359–367.
69. Головкин, В.А. Нейросетевые технологии обработки данных : учеб. пособие / В. А. Головкин, В. В. Краснопрошин. – Минск : БГУ, 2017. – 263с.
70. Соколова Э.С. Разработка и апробация эмулятора нейросетевого моделирования для целей прогнозирования временных рядов / Д.В. Дмитриев, Д.А. Ляхманов, Э.С. Соколова // *Электронный научный журнал «Современные проблемы науки и образования»*. – 2012. – № 6. - Режим

доступа: <https://www.science-education.ru/ru/issue/view?id=106>, Дата доступа:04.04.2020.

71. Шагалова, П.А. Нейросетевые технологии в решении задач прогнозирования / П.А. Шагалова, Д.А. Ляхманов // Электронный научный журнал «Современные проблемы науки и образования». - 2014. – № 6 . – Режим доступа: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16494>, Дата доступа:04.04.2020.
72. Степанкина, О.А. Актуальность применения нейронных сетей для прогнозирования газопотребления/О.А. Степанкина //Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. - 2013. - №11. - С. 49-52.
73. Susto, G. A. Machine learning for predictive maintenance: A multiple classifier approach / G. A. Susto, A. Schirru, S. Pampuri, S. McLoone, A. Beghi // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2014. – Vol 11(3). – P. 812– 820
74. Susto, G. A., A. Data-driven prognostic method based on Bayesian approaches for direct remaining useful life prediction / A. Mosallam, K. Medjaher, N. Zerhouni // Journal of Intelligent Manufacturing. – 2014. – P. 1–20
75. Hopfield, J.J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities / J.J. Hopfield // Proc. of National Academy of Sciences. – 1982.– Vol.79.- №.8.– p.2554-2558.
76. Hochreiter, S. / Long short-term memory // S. Hochreiter, J. Schmidhuber // Neural Computation. - 1997. - Vol.9.- p. 1735–1780.
77. Вьюгин В.В. «Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования» М.: 2013. - 387 с.
78. Джулли, А Библиотека Keras – инструмент глубокого обучения / А. Джулли, С. Пал.– М.: ДМК Пресс, 2018. – 294 с.
79. Имильбаев, Р.Р. Методы и алгоритмы прогнозирования значений контролируемых параметров газораспределительной сети по результатам обработки телеметрической информации: автореф. дис. Канд. техн. наук:

05.13.01/ Р.Р. Имильбаев – Самарский гос-ный техн. ун-т. – Самара. – 2018 – 20 с.

80. Mozer M.C. A Focused Backpropagation Algorithm for Temporal Pattern Recognition / M.C. Mozer, Y. Chauvin, D. Rumelhart. - Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.- 1995.- p.137-169.
81. Васяева, Т.А. Нейросетевое прогнозирование потребления природного газа Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. Серия: Информатика и моделирование / Т.А. Васяева, С.В. Хмелевой, Е.В. Алексеева // 2010. - №31. – с.37-41.
82. Гафаров, Ф.М. Искусственные нейронные сети и приложения: учеб. пособие / Ф.М. Гафаров, А.Ф. Галимянов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. – 121 с.
83. Демидова, Л. А. Применение рекуррентных нейронных сетей в задаче классификации отказов работы сложных технических систем в рамках проактивного технического обслуживания/ Л. А. Демидова, Д. В. Марчев // Вестник РГРТУ. - 2019. - № 69. – с. 135-148.