

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ОБЛАСТЬ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МАШИНЫ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ В ЗАДАННОЙ СИСТЕМЕ ОГРАНИЧЕНИЙ

Склярова А.А.

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург*

Ключевые слова: горизонтально направленное бурение, наземные транспортно-технологические машины, породоразрушающий инструмент, генератор гидродинамических колебаний, эффект Польшмана-Яновского, система ограничений, экспертная оценка.

Аннотация. Темпы роста городского строительства обуславливают применение новых и эффективных технологий производства разного рода работ. При прокладке трубопроводов различного назначения: газо-, водопроводов, канализации, связи, особое внимание уделяется минимизации затрат на выполнение работ и снижению негативного влияния на транспортную инфраструктуру и окружающую среду. Обеспечить в заданных условиях наиболее эффективную работу позволяет технология горизонтально направленного бурения (ГНБ). В зависимости от массы установки и вырабатываемой мощности установки ГНБ классифицируются от «мини» до «мега». Однако область применения подобных машин ограничена возможностями используемого ими механического бурильного инструмента. В статье приводится оценка технического уровня ряда установок ГНБ отечественных и зарубежных производителей класса «миди» различными методами, на основе которой даются рекомендации по усовершенствованию конструкции отдельных образцов техники с целью повышения эффективности работы машины в целом, а также расширения области ее использования.

STUDYING THE INFLUENCE OF DESIGN PARAMETERS ON THE AREA OF RATIONAL APPLICATION OF A HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING MACHINE IN A SPECIFIED SYSTEM OF CONSTRAINTS

Sklyarova A.A.

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg

Keywords: horizontal directional drilling, ground transport and technological machines, rock cutting tools, hydrodynamic vibration generator, Pohlman-Yanovsky effect, system of restrictions, expert assessment.

Abstract. The growth rate of urban construction determines the use of new and efficient technologies for various types of work. When laying pipelines for various purposes: gas, water supply, sewerage, communications, special attention is paid to minimizing the costs of performing work and reducing the negative impact on transport infrastructure and the environment. Horizontal directional drilling (HDD) technology allows for the most efficient operation under given conditions. Depending on the weight of the installation and the generated power, HDD installations are classified from “mini” to “mega”. However, the scope of application of such machines is limited by the capabilities of the mechanical drilling tools they use. The article provides an assessment of the technical level of a number of midi-class HDD installations from domestic and foreign manufacturers using various methods, on the basis of which recommendations are given for improving the design of individual equipment samples in order to increase the efficiency of the machine as a whole, as well as expand the scope of its use.

Введение

Горизонтально направленное бурение (ГНБ) представляет собой перспективную технологию проведения земляных работ, связанных с прокладкой подземных инженерных коммуникаций, включающих в себя трубопроводы газо- и водоснабжения, канализацию и связь. Существенным преимуществом указанной технологии является отсутствие необходимости вскапывания траншеи, что влечет за собой минимизацию негативного влияния на окружающую среду, ландшафт и дорожную инфраструктуру, уменьшение занимаемой площади производства работ, снижение количества задействованных в выполнении работ наземных транспортно-технологических машин и сокращение материальных затрат.

Реализация работ в рамках технологии ГНБ осуществляется посредством специальных установок, оснащенных породоразрушающим инструментом. Однако область применения подобных машин ограничена возможностями используемого ими механического бурильного инструмента. Таким образом, возникает важная научно-техническая задача, заключающаяся в исследовании влияния отдельных конструктивных параметров машины ГНБ на область ее рационального применения, а также определении возможного пути повышения эффективности работы такой машины посредством внесения изменений в конструкцию установки без использования внешних источников энергии.

Материалы и методы исследований

Оценка существующего технического уровня ряда установок ГНБ класса «миди», лежащая в основе рекомендаций по применению данной техники в различных внешних условиях (физико-химические свойства грунта, температура воздуха и др.), производилась двумя независимыми друг от друга методами, такими как анализ экспертных оценок и научно обоснованный подход, в основе которого лежит алгоритм, базирующийся на теории принятия решений в условиях стохастической неопределенности и реализующий метод доминирования по принципу иерархического соотношения состояний внешней среды [1-3]. Данный алгоритм реализован в программе для персонального компьютера и представлен на рисунке 1.

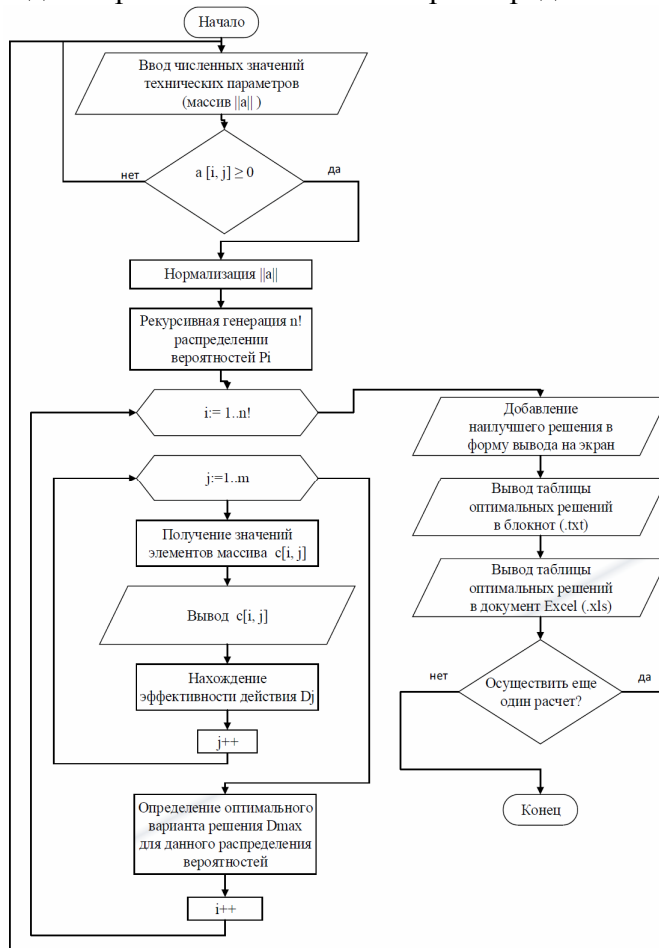


Рис. 1. Алгоритм оценки технического уровня машин ГНБ в рамках научно обоснованного подхода

Метод экспертных оценок основан на присвоении показателя значимости X_i конкретному i -му параметру в зависимости от мнения эксперта, входящего в экспертную группу, и расчете средневзвешенного значения арифметического показателя [1-3].

Исходными данными для оценки технического уровня машин ГНБ и исследования влияния их конструктивных параметров на область рационального применения являются технические характеристики 8 установок ГНБ различных компаний-производителей, представленные в таблице 1.

Табл. 1 Технические характеристики оборудования ГНБ с разбивкой по компаниям-производителям и приоритетным параметрам оценки

№	Обозначение производителя	Мощность двигателя, кВт	Диаметр штанги, мм	Усилие продавливания, кН	Объем подачи буровой смеси, л/мин	...	Максимальная длина бурения, м
1	А	138	89	85	265	...	600
2	Б	153	76	87	250	...	500
3	В	55	67	75	40	...	500
4	Г	88	60	76	76	...	250
5	Д	160	73	85	320	...	600
6	Е	132	60	80	260	...	600
7	Ж	132	60	80	250	...	500
8	З	100	100	76	190	...	300

Сравнительный анализ оценки технического уровня установок ГНБ методом экспертных оценок и путем реализации научно обоснованного подхода показан на рисунке 2.



Рис. 2. Сравнительный анализ результатов проведения оценки технического уровня машин ГНБ различными методами

Проведение анализа уровня техники двумя принципиально разными методами позволило подтвердить правильность и точность проводимых исследований, исключить субъективный аспект оценки и определить конечное положение исследуемой совокупности техники в зависимости от приоритетности распределения параметров. Кроме того, разработанный алгоритм позволяет установить закономерность влияния изменения отдельного показателя оценки на эффективность работы машины в целом, а также изменения ее положения в рейтинге распределения техники по заданному приоритетному критерию [1-3].

Также важно отметить, что одним из возможных путей повышения эффективности работы машины ГНБ без использования внешних источников энергии может являться применение генератора гидродинамических колебаний (ГГК), встроенного внутрь бурильной головки, использующего энергию потока промывочной жидкости и реализующего эффект «гидравлического свистка» Польшмана-Яновского [4-6]. Внешний вид ГГК представлен на рисунке 3.

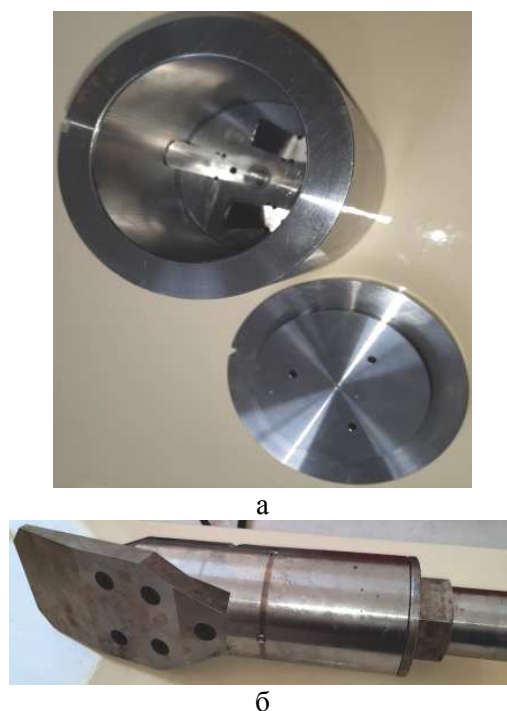


Рис. 3. Корпус ГГК с тремя вибрационными пластинами (а), внешний вид рабочей головки машины ГНБ с встроенным ГГК (б)

Ранее учеными в данной предметной области исследования уже была доказана эффективность применения ГГК, позволяющего увеличить производительность породоразрушающего инструмента до 30% [7]. Однако не была исследована динамика изменения положения определенной машины ГНБ в общем рейтинге представленной на рынке техники ГНБ и возможности расширения области ее применения на более прочные грунты с учетом применения вышеуказанного устройства.

Результаты исследований

Первостепенно проведена оценка существующего положения исследуемой совокупности техники ГНБ. При анализе принята иерархия распределения параметра «мощность двигателя» по принципу приоритета минимального значения. Принятое решение обусловлено требованием получения одинаковой работы при различных мощностях. Таким образом, в данном случае машина ГНБ с меньшей мощностью будет считаться более эффективной [8]. Результаты расчета показаны на рисунке 4.

Анализируя представленный график, можно сделать вывод, что лидирующую позицию со значительным заделом занимает установка ГНБ «Б». Предположим, что установку «В» (именуемую в дальнейшем – базовая машина) оснастили ГГК. Данное конструктивное решение позволило увеличить значение такого показателя как «усилие продавливания» при прочих неизменных параметрах [9]. Результаты расчетов в заданной системе ограничений приведены в таблице 2, графическое изображение показано на рисунке 5.



Рис. 4. Иерархия распределения установок ГНБ по количеству присвоенного им эталонного значения при всех возможных вариантах распределения приоритетности заданных параметров

Табл. 2. Результаты исследования влияния встроенного в бурильную головку базовой машины ГГК

Значение увеличения усилия продавливания, %	Значение усилия продавливания, кН	Количество вариантов, предложенных к сравнению, где базовая машина признается эталонной
0	75,00	38736
5	78,75	39120
10	82,50	39516
15	86,25	39744
20	90,00	40224
25	93,75	40464
30	97,50	40656

Применение ГГК в конструкции бурильной головки базовой машины ГНБ позволило увеличить количество положительных исходов, в которых машина считается «эталонной», на 5%.

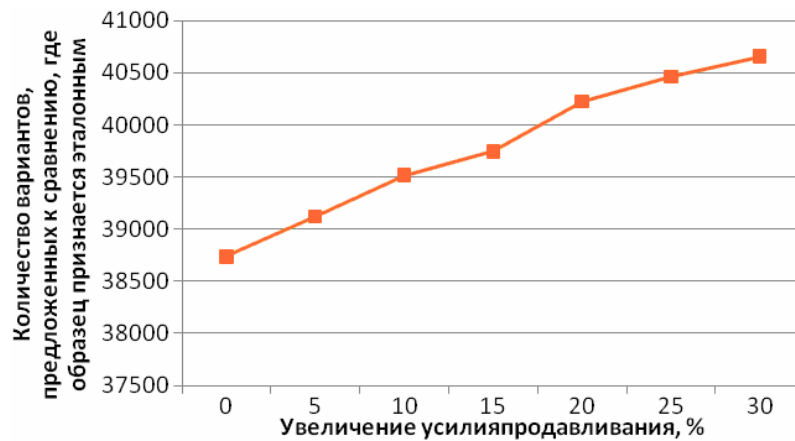


Рис. 5. Результаты исследования влияния встроенного в бурильную головку базовой машины ГГК на изменение количества вариантов, где базовая машина признается эталонной

Важно отметить, что в условиях применения в базовой машине ГГК и увеличении числа положительных исходов, в которых такая машина признается эталонным образцом, общая иерархия распределения установок ГНБ по количеству присвоенного им эталонного значения при всех возможных вариантах распределения приоритетности заданных параметров будет иметь вид, ранее представленный на рисунке 4.

В качестве положительного эффекта применения ГГК также можно отметить расширение области применения базовой машины ГНБ на более прочные грунты. При этом рекомендуемое количество резонирующих пластин ГГК, соответствующее различным категориям пород по буримости, представлено в таблице 3 [10].

Табл. 3. Рекомендуемое количество резонирующих пластин ГГК, соответствующее различным категориям пород по буримости

Категория пород по буримости	Рекомендуемое количество резонирующих пластин ГГК, шт.
I	1-2
II	2-3
III	3-4
IV	4-5

Обсуждение и заключение

Научно обоснованный подход, лежащий в основе проводимого исследования, в купе с методом экспертных оценок отразил текущую ситуацию в отношении распределения установок ГНБ класса «миди» отечественных и зарубежных производителей в зависимости от их технических характеристик. Выявленные результаты позволили определить необходимость совершенствования конструкции отдельных образцов машиностроительной продукции с целью повышения их эффективности при выполнении земляных работ.

Одним из возможных путей повышения производительности техники ГНБ предложен вариант оснащения бурильной головки ГГК, использующим энергию потока промывочной жидкости. Применение указанного устройства позволяет увеличить усилие продавливания штанги в грунт до 30%, что, в свою очередь, увеличивает рейтинг базовой машины в общей иерархии распределения установок до 5%.

Помимо повышения привлекательности техники ГНБ на рынке за счет увеличения ее производительности, важным аспектом является расширение области ее рационального использования, в том числе на более прочные породы в зависимости от их характеристик буримости.

Список литературы

1. Склярова А.А., Дружинин П.В., Максимов С.Е., Пушкарев А.Е. Оценка технического уровня установок горизонтально направленного бурения // Грузовик. – 2023. – № 11. – С. 13-17.
2. Склярова А.А., Пушкарев А.Е. Научно обоснованный подход к оценке технического уровня машин ГНБ в заданной системе ограничений // Строительные и дорожные машины. – 2023. – № 8. – С. 25-30.
3. Терентьев А.В. Научно-методический подход к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – 44 с.
4. Петров А.А. Пушкарев А.Е., Манвелова Н.Е. Расчет геометрических параметров буровой головки со встроенным генератором гидродинамических колебаний // Строительные и дорожные машины. – 2022. – №12. – С. 21-25.
5. Колесников В.В. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы бурильной головки с встроенным генератором гидродинамических колебаний: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Тула: Тульский государственный университет, 2013. – 16 с.
6. Колесников В.В., Лежебоков А.В., Пушкарев А.Е. Особенности конструкции гидромониторной бурильной головки // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – №4. – С. 240-246.
7. Пушкарев А.Е., Склярова А.А., Петров А.А. Решение задачи построения математической модели колебания пластины встроенного генератора вибрации в рабочую головку машины ГНБ // Строительные и дорожные машины. – 2023. – № 7. – С. 20-24.
8. Куракина Е.В. Эффективность использования наземных транспортно-технологических машин // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 3 (56). – С. 203-208.
9. Евтюков С.А., Репин С.В., Грушецкий С.М., Карро Г.А. Научные задачи исследования жизненного цикла дорожных машин в современных условиях // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17, № 4(74). – С. 442-451.
10. Петров А.А. Оценка влияния режимов термической обработки стали 60С2А на ее механические характеристики и повышение работоспособности генератора гидродинамических колебаний // Грузовик – 2023. – № 1. – С. 10-15.

References

1. Sklyarova A.A., Druzhinin P.V., Maksimov S.E., Pushkarev A.E. Assessment of the technical level of horizontal directional drilling installations // Truck. 2023, no. 11, pp. 13-17.
2. Sklyarova A.A., Pushkarev A.E. Scientifically based approach to assessing the technical level of HDD machines in a given system of restrictions // Construction and road machines. 2023, no. 8, pp. 25-30.
3. Terentyev A.V. Scientific and methodological approach to multi-criteria assessment of the service life of a car: Abstract of diss. ... doc. of tech. sc. – Spb.: Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2019. – 44 p.
4. Petrov A.A. Pushkarev A.E., Manvelova N.E. Calculation of geometric parameters of a drilling head with a built-in generator of hydrodynamic vibrations // Construction and road machines. 2022, no. 12, pp. 21-25.
5. Kolesnikov V.V. Justification of the design parameters and operating modes of a drilling head with a built-in generator of hydrodynamic vibrations: Abstract of diss. ...cand. tech. sc. – Tula: Tula State University, 2013. – 16 p.
6. Kolesnikov V.V., Lezhebokov A.V., Pushkarev A.E. Features of the design of a hydraulic monitor drilling head // News of Tula State University. Technical science. 2013, no. 4, pp. 240-246.
7. Pushkarev A.E., Sklyarova A.A., Petrov A.A. Solution to the problem of constructing a mathematical model of vibration of a plate of a built-in vibration generator in the working head of a HDD machine // Construction and road machines. 2023, no. 7, pp. 20-24.
8. Kurakina E.V. Efficiency of using ground transport and technological machines // Bulletin of Civil Engineers. 2016, no. 3(56), pp. 203-208.
9. Evtyukov S.A., Repin S.V., Grushetsky S.M., Carro G.A. Scientific tasks of studying the life cycle of road vehicles in modern conditions // Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University. 2020, vol. 17, no. 4(74), pp. 442-451.
10. Petrov A.A. Assessment of the influence of heat treatment modes of 60S2A steel on its mechanical characteristics and increasing the performance of the hydrodynamic vibration generator // Truck. 2023, no. 1, pp. 10-15.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Склярова Анастасия Алексеевна – аспирант an.za4esova@yandex.ru	Sklyarova Anastasia Alekseevna – postgraduate student
--------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------

Получена 06.02.2024