УДК 624.19:624.131

И.В. Нестеров, М.А. Гуркова, О.В. Смирнова, В.С. Наумов*,
Т.А. Наумова*

ФГБОУ ВПО «МГУПС (МИИТ)», *НИУ МГСУ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧЕТ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ ГРУНТА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ ТОННЕЛЬНЫХ ОБДЕЛОК

Представлен вычислительный алгоритм учета неравномерности распределения физических характеристик грунтовой среды по поверхности обделки при пересечении осью тоннеля границы раздела геологических слоев. Алгоритм использует математические модели метода конечных элементов и адаптирован для реализации в разработанной авторами системе прочностного анализа тоннельных обделок.

Ключевые слова: цилиндрическая анизотропия, геологический слой, коэффициент постели, обделка, программный комплекс, алгоритм.

Одним из наиболее распространенных современных методов расчета тоннельных обделок с учетом взаимодействия с грунтом является метод конечных элементов [1—8]. В связи с постоянным увеличением вычислительных мощностей, в настоящее время на первое место выходят задачи построения алгоритмов, учитывающих работу обделка — грунт для сложных геологических условий [9—13]. Другие подходы для решения этих задач рассмотрены в [17—22].

Применение плоских расчетных схем при статических расчетах тоннельных обделок в сложных случаях, когда ось тоннеля пересекает несколько геологических слоев (рис. 1) или проходит близко от существующих подземных сооружений, дает недопустимую погрешность. Удовлетворительная точность расчетов может быть получена при использовании пространственных расчетных схем [15, 16].

Рис. 1. Пересечение осью тоннеля нескольких геологических слоев

Однако в этом случае при моделировании грунтового массива объемными конечными элементами (КЭ) размерность задачи значительно увеличивается и, как следствие, также увеличиваются затраты на вычисления. В таких ситуациях целесообразно использовать комбинированную модель, в которой косвенно определяется упругая податливость грунтового массива на границе контакта обделки с грунтовой средой.

Давление грунта на секции обделки можно определить из плоского расчета фрагмента продольного разреза грунта. Контактные напряжения, полученные по результатам этого расчета, прикладываются на поверхность секций тоннельной обделки в качестве внешних нагрузок.

При расчете подземных сооружений основную трудность вызывает учет взаимодействия конструкции с грунтом. На практике эта задача чаще всего решается с использованием модели Винклера, в которой предполагается, что грунт работает только на сжатие. Для реализации этой модели в конечно-элементных комплексах используются особые КЭ с пружинами в тех узлах, которые контактируют с грунтом.

Полученная задача является нелинейной и решается методом итераций. На каждом шаге (итерации) проверяются знаки напряжений в пружинах. В случае появления растягивающих напряжений в пружине она исключается из работы, так как грунт работает только на сжатие. Поэтому, при последующем расчете учитываются только те пружины, которые работают на сжатие.

Для учета влияния грунта жесткость пружины, вычисленную через коэффициент постели, добавляют на главную диагональ матрицы жесткости КЭ.

Для пространственных конечно-элементных моделей при таком подходе, появляются вычислительные сложности, связанные с необходимостью задавать положение грунта относительно плоскости (оси) элемента, кроме этого возникают трудности, связанные с поиском «зоны отлипания» и заданием ориентации грунтового массива.

В данной работе сделана попытка преодолеть перечисленные недостатки, для этого предлагается стержневая модель системы обделка — грунт (рис. 2).

Рис. 2. Конечно-элементная модель системы обделка — грунт

Предложенная модель наглядна и экономична, так как ее использование приводит к незначительному увеличению размерности задачи. Особенностью ее использования является удобство контроля зоны «отлипания» грунта и вычисление напряжений в массиве грунта через усилия в стержнях. Используемый при формировании матрицы жесткости приведенный модуль упругости может быть получен из следующего соотношения:

$$E_{\text{ст}} = kl_{\text{ст}}, \quad (1)$$

где k — коэффициент постели; $l_{\text{ст}}$ — длина стержня.

По площадям пластинчатых элементов в зоне контакта обделка — грунт вычисляется площадь поперечного сечения $E_{ст}$ стержня, моделирующего грунт. Конструктивная нелинейность учитывается путем исключения тех стержней, которые работают на сжатие в зоне отлипания.

Моделирование пространственной работы тоннельных обделок с учетом взаимодействия с грунтом осуществляется с использованием модели Винклера для грунта [1, 11]. Геометрические и физические характеристики этих стержней определяются численно по плоской расчетной схеме поперечного разреза тоннельной обделки (рис. 3, а).

Рис. 3. Расчетная схема для определения коэффициентов постели по периметру тоннельной выработки

Для этого к точкам, находящимся на внутреннем контуре выработки, прикладываются единичные силы, действующие в радиальном направлении (см. рис. 3, б), и вычисляются коэффициенты постели в конкретной точке по соотношению

$$k = \frac{1}{\Delta dl}. \quad (2)$$

Эта процедура хорошо автоматизируется и может быть реализована в качестве автономного программного блока, функционирующего в составе любой системы прочностного анализа. Коллективом авторов на базе этого алгоритма был разработан универсальный программный модуль, функционирующий в среде графического редактора AutoCAD, широко распространенного в проектных организациях.

Предложенная методика позволяет учесть неравномерность распределения коэффициентов постели по внешней поверхности обделки (цилиндрическую анизотропию). На базе данной методики была разработана автоматизированная подсистема вычисления коэффициентов постели, включающая блоки автоматической триангуляции конечно-элементной сетки, генерации векторов загрузки контура обделки единичными силами и вычисления коэффициентов постели.

На рис. 4 приведены графики распределения коэффициентов постели для поперечных разрезов 1, 2, 3 геологического разреза, приведенного на рис. 1.

Рис. 4. Графики распределения коэффициентов постели по периметру тоннельной выработки на различных участках трассы тоннеля

При формировании предложенной модели использовался треугольный КЭ с линейными полями перемещений [1, 14], для которого матрица узловых реакций вычисляется по формуле

$$R = \frac{\delta}{4F} B^T D B, \quad (3)$$

где δ — толщина пластины; F — площадь пластины; D — матрица обобщенного закона Гука.

Используемый в формуле (3) дифференциальный оператор B , устанавливает связь между перемещениями и деформациями по формулам Коши [1].

Поле перемещений в пределах КЭ задается функцией $Z(x, y)$.

$$\bar{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Поле перемещений в пределах КЭ задается в виде

$$\bar{z}(xy) = \begin{bmatrix} n_1(xy) & 0 & n_2(xy) & 0 & n_3(xy) & 0 \\ 0 & n_1(xy) & 0 & n_2(xy) & 0 & n_3(xy) \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где функции n_1, n_2, n_3 :

$$\begin{aligned} n_1(xy) &= \frac{[(y - y_2)x_{32} - (x - x_2)y_{32}]}{2F}, \\ n_2(xy) &= \frac{[(y - y_3)x_{13} - (x - x_3)y_{13}]}{2F}, \\ n_3(xy) &= \frac{[(y - y_1)x_{21} - (x - x_1)y_{21}]}{2F}, \end{aligned} \quad (6)$$

где F — площадь треугольника

$$F = \frac{[(y_1 - y_2)(x_3 - x_2) - (x_1 - x_2)(y_3 - y_2)]}{2}. \quad (7)$$

$$B = \frac{1}{2F} \begin{bmatrix} y_{23} & 0 & y_{31} & 0 & y_{12} & 0 \\ 0 & x_{32} & 0 & x_{13} & 0 & x_{21} \\ x_{32} & y_{23} & x_{13} & y_{31} & x_{21} & y_{12} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Полученные матрицы были использованы в алгоритме, на базе которого был построен программный комплекс, выполняющий прочностной расчет тоннельных обделок с учетом неравномерности распределения физических характеристик грунтовой среды по поверхности обделки.

Библиографический список

1. *Зенкевич О., Чанг И.* Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред / пер. с англ. О.П. Троицкого, С.В. Соловьева ; под ред. Ю.К. Зарецкого. М. : Недра, 1975. 541 с.
2. *Мондрус В.Л., Смирнов В.А.* Применение КЭ-моделирования для решения задачи распространения колебаний от движения поездов метрополитена // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 3. С. 206—208.
3. *Смирнов В.А.* Исследование напряженно-деформированного состояния оптического стола // Научное обозрение. 2014. № 11-1. С. 72—75.
4. *Ступишин Л.Ю., Трушин С.И.* Строительная механика плоских стержневых систем. М. : ИНФРА-М, 2014. 278 с.
5. *Трушин С.И.* Метод конечных элементов. Теория и задачи. М. : Изд-во АСВ, 2008. 256 с.
6. *Lee K.M., Rowe R.K.* Finite element modeling of the three-dimensional ground deformations due to tunneling in soft cohesive soils // Computers and Geotechnics. 1990. Vol. 10. No. 2. Pp. 111—138.
7. *Franzius J.N., Potts D.M.* Influence of mesh geometry on three-dimensional finite-element analysis of tunnel excavation // International Journal of Geomechanics. 2005. Vol. 5. No. 3. Pp. 256—266.
8. *Eberhardt E.* Finite element modeling of three-dimension stress rotation ahead of an advancing tunnel face // Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2001. Vol. 38. No. 4. Pp. 499—518.
9. *Кубышкин А.А.* Расчет сборных железобетонных кольцевых обделок с перевязкой швов // Строительство и эксплуатация транспортных сооружений в районах развития опасных геологических процессов : тез. докл. М. : МГУПС, 2003. С. 16—22.
10. *Захаров Е.М., Васильев В.М.* Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации канализационных тоннельных коллекторов в Санкт-Петербурге // Тоннели и метрополитены. 2003. № 6. С. 10—11.
11. *Булычев Н.С., Фотиева Н.Н., Розенвассер Г.В., Шамрин Ю.Е.* Расчет сборных обделок коллекторных тоннелей с учетом контактного взаимодействия с грунтовым массивом // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1988. № 5. С. 33—39.
12. *Парамонов В.Н.* Метод конечных элементов при решении нелинейных задач геотехники. СПб. : ГК «Геореконструкция», 2012. 176 с.
13. *Гарбер В.А., Кашко А.А., Панфилов Д.В.* Пространственное моделирование при строительстве транспортных тоннелей // Тоннели и метрополитены. 2004. № 5. С. 27—31.
14. *Шейн Аунг Тун, Нестеров И.В.* Моделирование работы плоских пластинчатых систем с использованием табличного процессора Excel // Инженерные сооружения на транспорте : сб. тр. МИИТа. Вып. 4. М. : 2012. С. 32—36.
15. *Шейн Аунг Тун.* Расчет модели вертикальных подземных выработок // Мир транспорта. 2012. № 2. С. 88—91.

16. Шейн Аунг Тун. Формирование дискретных моделей подземных сооружений сложной конфигурации // Транспортное строительство. 2012. № 9. С. 25—27.
17. Деев П.В. Математическое моделирование взаимодействия обделок параллельных тоннелей произвольного поперечного сечения с массивом грунта // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2011. Вып. 1. С. 291—301.
18. Деев П.В., Фотиева Н.Н. Определение напряженного состояния обделок параллельных тоннелей мелкого заложения, сооружаемых под застроенной территорией // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2012. Вып. 1. С. 257—262.
19. Гаджунцев М.И. Приближенный расчет подземного сооружения кругового очертания при учете фактора ползучести засыпки. Рукопись Деп. в ВИНТИ, № 1782-В 98. 1998. 5 с.
20. Msayuki Matsuura, Setsuo Takaku, Yasushi Nagshima, Yoichi Moriya. Compact shield tunneling method // Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future — Erdem & Solak (eds). London : Taylor & Francis Group, 2005. Pp. 779—784.
21. Qassun S., Mohammed Shafiqu, Mohd R. Taha, Zamri H.C. Finite element analysis of tunnels using elastoplastic-viscoplastic bounding surface model // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2008. Vol. 3. No. 3. Pp. 178—188.
22. Bernaud D. Tunnels profonds dans les milieux viscoplastique: approches expérimentale et numérique. Thèse. École National des Ponts et Chaussées, France. 1991. Режим доступа: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00529719/>. Дата обращения: 15.05.2015.
23. Surjadinata J., Hull T.S., Carter J.P., Poulos H.G. Combined finite- and boundary-element analysis of the effects of tunneling on single piles // International Journal of Geomechanics. 2006. Vol. 6. No. 5. Pp. 245—252.

Поступила в редакцию в июне 2015 г.

Об авторах: **Нестеров Иван Владимирович** — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительной механики, **Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ) (ФГБОУ ВПО «МГУПС (МИИТ)»)**, 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, acad_miit@mail.ru;

Гуркова Маргарита Александровна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, **Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ) (ФГБОУ ВПО «МГУПС (МИИТ)»)**, 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, gurkova_m_a@mail.ru;

Смирнова Ольга Владимировна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, **Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ) (ФГБОУ ВПО «МГУПС (МИИТ)»)**, 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, 8 (499) 973-17-13, o_v_smirnova@mail.ru;

Наумов Владимир Сергеевич — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, **ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)**, 129237, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, naumov48@mail.ru;

Наумова Татьяна Александровна — доцент кафедры строительной механики, **ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)**, 129237, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, naumov48@mail.ru.

Для цитирования: Нестеров И.В., Гуркова М.А., Смирнова О.В., Наумов В.С., Наумова Т.А. Автоматизированный учет цилиндрической анизотропии грунта при формировании расчетных схем тоннельных обделок // Вестник МГСУ. 2015. № 8. С. 109—117.

I.V. Nesterov, M.A. Gurkova, O.V. Smirnova, V.S. Naumov, T.A. Naumova

AUTOMATED ACCOUNT OF SOIL CYLINDRICAL ANISOTROPY IN THE FORMATION OF DESIGN DIAGRAMS OF TUNNEL LININGS

One of the most popular modern methods of tunnel linings' calculation with account for their interaction with the soil is finite element method. Because of the constant increase of computation capacities at the present time the tasks of algorithm development dominate, which account for the lining operation — soil for complicated geological conditions.

The given work presents the computational algorithm of account of the distribution nonuniformity of the physical characteristics of ground medium over the surface of finishing at intersection of the interface of geological layers by the tunnel axis. The algorithm uses mathematical models of the finite elements method and it is adapted for the realization in the system of stress analysis of tunnel linings developed by the authors.

The authors enumerate the disadvantages of different calculations and try to overcome them. For this aim the beam model of the system "lining — soil" is suggested.

Key words: cylindrical anisotropy, geological layer, coefficient of soil reaction, lining, software package, algorithm.

References

1. Zienkiewicz O.C., Cheung Y.K. The Finite Element Method in Continuum and Structural Mechanics. McGraw Hill, 1967, 272 pp.
2. Mondrus V.L., Smirnov V.A. Primenenie KE-modelirovaniya dlya resheniya zadachi rasprostraneniya kolebaniy ot dvizheniya poezdov metropolitena [Application of Finite Element Modeling for Solving for Vibrations Propagation Task Caused by Underground Trains]. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Povolzh'ya* [Scientific and Technical Volga region Bulletin]. 2013, no. 3, pp. 206—208. (In Russian)
3. Smirnov V.A. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya opticheskogo stola [Investigation of Stress-Strain State of Beam Table]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review]. 2014, no. 11-1, pp. 72—75. (In Russian)
4. Stupishin L.Yu., Trushin S.I. *Stroitel'naya mekhanika ploskikh sterzhnevnykh sistem* [Structural Mechanics of Flat Bar Systems]. Moscow, INFRA-M Publ., 2014, 278 p. (In Russian)
5. Trushin S.I. *Metod konechnykh elementov. Teoriya i zadachi* [Finite Element Method. Theory and Problems]. Moscow, ASV Publ., 2008, 256 p. (In Russian)
6. Lee K.M., Rowe R.K. Finite Element Modeling of the Three-Dimensional Ground Deformations Due to Tunneling in Soft Cohesive Soils. *Computers and Geotechnics*. 1990, vol. 10, no. 2, pp. 87—109. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0266-352X\(90\)90001-C](http://dx.doi.org/10.1016/0266-352X(90)90001-C).
7. Franzius J.N., Potts D.M. Influence of Mesh Geometry on Three-Dimensional Finite-Element Analysis of Tunnel Excavation. *International Journal of Geomechanics*. 2005, vol. 5, no. 3, pp. 256—266. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1532-3641\(2005\)5:3\(256\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1532-3641(2005)5:3(256)).
8. Eberhardt E. Finite Element Modeling of Three-Dimension Stress Rotation Ahead of an Advancing Tunnel Face. *Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2001, vol. 38, no. 4, pp. 499—518.
9. Kubyshevskiy A.A. Raschet sbornykh zhelezobetonnykh kol'tsevykh obdelok s perevazkoy shvov [Calculation of Precast Concrete Ring Lining to Re-Viscous Seams]. *Stroitel'stvo i ekspluatatsiya transportnykh sooruzheniy v rayonakh razvitiya opasnykh geologicheskikh protsessov : tezisy dokladov* [Construction and Operation of Transport Facilities in the Areas of Hazardous Geological Processes]. Moscow, MGUPS, 2003, pp. 16—22. (In Russian)

10. Zakharov E.M., Vasil'ev V.M. Problemy proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii kanalizatsionnykh tunnel'nykh kollektorov v Sank-Peterburge [Problems of Design, Construction and Operation of Sewage Tunnel Collectors in Saint Petersburg]. *Tunneli i metropoliteny* [Tunnels and Subways]. 2003, no. 6, pp. 10—11. (In Russian)
11. Bulychev N.S., Fotieva N.N., Rozenvasser G.V., Shamrin Yu.E. Raschet sbornykh obdelok kollektornykh tonneley s uchetom kontaktnogo vzaimodeystviya s gruntovym massivom [Calculation of Precast Linings of Sewer Tunnels Taking into Account Contact Interaction with Soil Body]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Soil Mechanics and Foundation Engineering]. 1988, no. 5, pp. 33—39. (In Russian)
12. Paramonov V.N. *Metod konechnykh elementov pri reshenii nelineynykh zadach geotekhniki* [Finite Element Method for Solving Nonlinear Problems in Geotechnical Engineering]. Saint Petersburg, GK "Georekonstruktsiya" Publ., 2012, 176 p. (In Russian)
13. Garber V.A., Kashko A.A., Panfilov D.V. Prostranstvennoe modelirovanie pri stroitel'stve transportnykh tonneley [Spatial modeling in the construction of transport tunnels]. *Tunneli i metropoliteny* [Tunnels and Subways]. 2004, no. 5, pp. 27—31. (In Russian)
14. Shein Aung Tun, Nesterov I.V. Modelirovanie raboty ploskikh plastinchatykh sistem s ispol'zovaniem tablitsnogo protsessora Excel [Simulation of Flat Plate Systems Using the Spreadsheet Excel]. *Inzhenernye sooruzheniya na transporte : sbornik trudov MIITa* [Engineering Structures in Transport. Proceedings of Moscow State University of Railway Engineering]. No. 4. Moscow, 2012, pp. 32—36. (In Russian)
15. Shein Aung Tun. Raschet modeli vertikal'nykh podzemnykh vyrabotok [Calculation Model of Vertical Underground Workings]. *Mir transporta* [World of Transport and Transportation]. 2012, no. 2, pp. 88—91. (In Russian)
16. Shein Aung Tun. Formirovanie diskretnykh modeley podzemnykh sooruzheniy slozhnoy konfiguratsii [Formation of Discrete Models of Underground Structures with Complex Configuration]. *Transportnoe stroitel'stvo* [Transport Construction]. 2012, no. 9, pp. 25—27. (In Russian)
17. Deev P.V. Matematicheskoe modelirovanie vzaimodeystviya obdelok parallel'nykh tonneley proizvol'nogo poperechnogo secheniya s massivom grunta [Mathematical Simulation of the Interaction of Parallel Tunnels' Lining with Arbitrary Cross-Section with Soil Body]. *Izvestiya tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki* [Bulletin of Tula State University. Natural Sciences]. 2011, no. 1, pp. 291—301. (In Russian)
18. Deev P.V., Fotieva N.N. Opredelenie napryazhennogo sostoyaniya obdelok parallel'nykh tonneley melkogo zalozheniya, sooruzhaemykh pod zastroennoy territoriei [Determining the Stress State of Subsurface Parallel Tunnels Lining, Constructed under Built-Up Areas]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle* [Bulletin of Tula State University. Geosciences]. 2012, no. 1, pp. 257—262. (In Russian)
19. Gadzhuntsev M.I. *Priblizhennyi raschet podzemnogo sooruzheniya krugovogo ocheraniya pri uchete faktora polzuchesti zasypki* [An Approximate Calculation of a Circular Underground Structure with Account for Filling Creep Factor]. The manuscript deposited in All-Russian Institute for Scientific and Technical Information (VINITI), no. 1782-V 98, 1998, 5 p. (In Russian)
20. Msayuki Matsuura, Setsuo Takaku, Yasushi Nagshima, Yoichi Moriya. Compact Shield Tunneling Method. Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future — Erdem & Solak (eds). London, Taylor & Francis Group, 2005, pp. 779—784.
21. Qassun S. Mohammed Shafiqu, Mohd R. Taha, Zamri H.C. Finite Element Analysis of Tunnels Using Elastoplastic-Viscoplastic Bounding Surface Model. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2008, vol. 3, no. 3, pp. 178—188.
22. Bernaud D. Tunnels profonds dans les milieux viscoplastique: approches expérimentale et numérique. Thèse. École National des Ponts et Chaussées, France. 1991. Available at: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00529719/>. Date of access: 15.05.2015.
23. Surjadinata J., Hull T.S., Carter J.P., Poulos H.G. Combined Finite- and Boundary-Element Analysis of the Effects of Tunneling on Single Piles. *International Journal of Geomechanics*. 2006, vol. 6, no. 5, pp. 374—377. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1532-3641\(2006\)6:5\(374\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1532-3641(2006)6:5(374)).

About the authors: **Nesterov Ivan Vladimirovich** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, chair, Department of Structural Mechanics, **Moscow State University of Railway Engineering (MIIT)**, 9 Obratsova str., Moscow, 127994, Russian Federation; acad_miit@mail.ru;

Gurkova Margarita Aleksandrovna — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Structural Mechanics, **Moscow State University of Railway Engineering (MIIT)**, 9 Obratsova str., Moscow, 127994, Russian Federation; gurkova_m_a@mail.ru;

Smirnova Ol'ga Vladimirovna — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Structural Mechanics, **Moscow State University of Railway Engineering (MIIT)**, 9 Obratsova str., Moscow, 127994, Russian Federation; +7 (499) 973-17-13; o_v_smirnova@mail.ru;

Naumov Vladimir Sergeevich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Structural Mechanics, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; naumov48@mail.ru;

Naumova Tat'yana Aleksandrovna — Associate Professor, Department of Structural Mechanics, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; naumov48@mail.ru.

For citation: Nesterov I.V., Gurkova M.A., Smirnova O.V., Naumov V.S., Naumova T.A. Avtomatizirovanny uchet tsilindricheskoy anizotropii grunta pri formirovanii raschetnykh skhem tunnel'nykh obdelok [Automated Account of Soil Cylindrical Anisotropy in the Formation of Design Diagrams of Tunnel Linings]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 8, pp. 109—117. (In Russian)