

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА. ЦИФРОВАЯ ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ

УДК 004.94:514.181.25

Е. В. КОНОПАЦКИЙ¹, д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой инженерной графики и информационного моделирования; О. А. ЧЕРНЫШЕВА², канд. техн. наук, доц. кафедры специализированных информационных технологий и систем

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА УЧАСТКА ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ С УЧЕТОМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗРЫХЛЕНИЯ ГРУНТА

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Россия, 603000, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: +7 (831) 434-10-34; эл. почта: e.v.konopatskiy@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Россия, 286128, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2.

Тел: +7 (856) 343-70-33; эл. почта: birziv@mail.ru

Ключевые слова: геометрическое моделирование, вертикальная планировка, интерполяционная поверхность, цифровая модель, показатели разрыхления грунта.

Работа посвящена совершенствованию предложенного ранее вычислительного алгоритма вертикальной планировки рельефа местности на основе его цифровой модели, сформированной из 16-точечных отсеков интерполяционной поверхности, и его адаптации к реальным условиям выполнения проектных работ с учетом показателей разрыхления грунта. Приведены последовательность точечных уравнений, которая посредством покоординатного расчета для трехмерного пространства сводится к пяти системам параметрических уравнений, формулы для расчета объема земляных работ на основе двойного интеграла и аналитическим зависимостям для определения суммарных объемов выемки и насыпи скорректированных с учетом показателей разрыхления грунтов и пород.

Вертикальная планировка – это комплекс мероприятий по проектированию и организации рельефа местности с целью создания оптимальных условий для его использования. В первую очередь она включает в себя определение формы земной поверхности, а также расположение зданий, дорог, парков и других объектов на земной поверхности.

Основными задачами вертикальной планировки являются:

1. Планировка стройплощадки объектов капитального строительства.
2. Создание комфортной городской среды и проектирование объектов ландшафтной архитектуры. Например, создание зеленых зон, парков, водоемов и других объектов, которые улучшают внешний вид местности [1].
3. Создание земляных сооружений для защиты от негативных природных явлений. Например, эрозии почвы, оползней и др.
4. Подготовка рельефа местности при добыче полезных ископаемых. Например, при добыче редкоземельных металлов выщелачиванием.



5. Вертикальное строительство [2].

Важным условием реализации вертикальной планировки является достижение наибольшего сохранения естественного рельефа местности при наименьшем объеме земляных работ. Поэтому задачу о вертикальной планировке, с математической точки зрения, можно отнести к классу оптимизационных. Традиционно минимаксные задачи по оптимизации решаются либо численными методами, либо методами дифференциального исчисления.

Традиционно для составления проекта вертикальной планировки и подсчета объема земляных работ используют методы инженерной геодезии, такие как нивелирования по квадратам [3, 4]. Наряду с традиционными методами, большой популярностью пользуются инновационные методы, основанные на использовании современных автоматизированных систем и цифровых технологий [5–7], вплоть до использования инструментов дополненной реальности [8]. Также для автоматизации вертикальной планировки местности используются географические информационные системы [9], которые производят вычисления объемов земляных масс на основе цифровых моделей рельефа местности. Из последних работ теоретического характера, направленных на развитие геометрических методов вертикальной планировки на основе цифровых моделей рельефа местности, можно выделить работы [10–12].

В последней из них [12] предложен вычислительный алгоритм вертикальной планировки местности для топографической поверхности, цифровая модель которой получена на основе регулярных 16-точечных отсеков. Предложенный вычислительный алгоритм является теоретически идеализированным и обладает тем недостатком, что не учитывает физико-механические свойства грунта. Целью данной работы является совершенствование полученного ранее вычислительного алгоритма и его адаптация к реальным условиям выполнения проектных работ в части вертикальной планировки местности с учетом показателей разрыхления грунта.

Вычислительный алгоритм для построения цифровой модели рельефа местности на основе регулярных 16-точечных отсеков использует следующую последовательность точечных уравнений для определения направляющих линий и образующей M_{ij} .

$$\begin{aligned} M_{i_0} &= (A_{00}\bar{t} + A_{30}t) \frac{2 - 9\bar{t}t}{2} + \frac{9\bar{t}t [A_{10}(2 - 3t) + A_{20}(3t - 1)]}{2}, \\ M_{i_1} &= (A_{01}\bar{t} + A_{31}t) \frac{2 - 9\bar{t}t}{2} + \frac{9\bar{t}t [A_{11}(2 - 3t) + A_{21}(3t - 1)]}{2}, \\ M_{i_2} &= (A_{02}\bar{t} + A_{32}t) \frac{2 - 9\bar{t}t}{2} + \frac{9\bar{t}t [A_{12}(2 - 3t) + A_{22}(3t - 1)]}{2}, \\ M_{i_3} &= (A_{03}\bar{t} + A_{33}t) \frac{2 - 9\bar{t}t}{2} + \frac{9\bar{t}t [A_{13}(2 - 3t) + A_{23}(3t - 1)]}{2}, \\ M_{ij} &= (M_{i_0}\bar{\tau} + M_{i_3}\tau) \frac{2 - 9\bar{\tau}\tau}{2} + \frac{9\bar{\tau}\tau [M_{i_1}(2 - 3\tau) + M_{i_2}(3\tau - 1)]}{2}, \end{aligned} \quad (1)$$

где A_{ij} – исходные для построения интерполяционной поверхности 16 точек;
 $0 \leq t \leq 1$ и $0 \leq \tau \leq 1$ – текущие параметры 16-точечного отсека интерполяционной поверхности;
 $\bar{t} = 1 - t$; $\bar{\tau} = 1 - \tau$.

Массив и координация исходных для построения цифровой модели рельефа местности точек A_{ij} представлена на рис. 1.

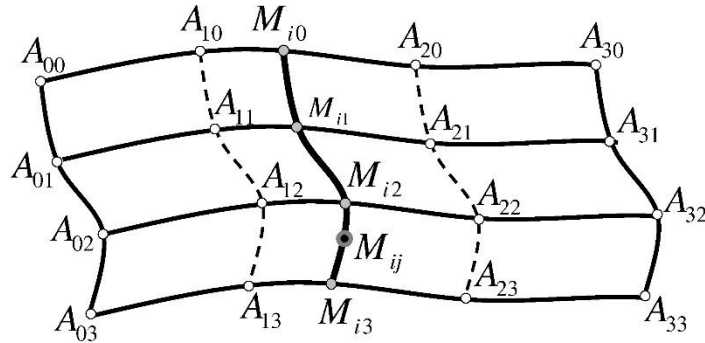


Рис. 1. Координация исходных точек для построения цифровой модели рельефа

Следует отметить, что в последовательности уравнений (1) под точками A_{ij} и M_{ij} понимаются координатные векторы. Поэтому каждое из точечных уравнений этой последовательности для трехмерного пространства представляется системой 3 параметрических уравнений. В качестве примера рассмотрим, как будет выглядеть первое уравнение последовательности (1) в параметрическом виде. Все остальные точечные уравнения последовательности формируют аналогичные системы параметрических уравнений.

$$\begin{cases} x_{M_{i0}} = \left(x_{A_{00}} \bar{t} + x_{A_{30}} t \right) \frac{2 - 9\bar{t}t}{2} + \frac{9\bar{t}t \left[x_{A_{10}} (2 - 3t) + x_{A_{20}} (3t - 1) \right]}{2} \\ y_{M_{i0}} = \left(y_{A_{00}} \bar{t} + y_{A_{30}} t \right) \frac{2 - 9\bar{t}t}{2} + \frac{9\bar{t}t \left[y_{A_{10}} (2 - 3t) + y_{A_{20}} (3t - 1) \right]}{2} \\ z_{M_{i0}} = \left(z_{A_{00}} \bar{t} + z_{A_{30}} t \right) \frac{2 - 9\bar{t}t}{2} + \frac{9\bar{t}t \left[z_{A_{10}} (2 - 3t) + z_{A_{20}} (3t - 1) \right]}{2} \end{cases}$$

Перемещая 16-точечный отсек интерполяционной поверхности (1) можно с высокой точностью аппроксимировать исходную топографическую поверхность или синтезировать ее на основе любых исходных данных, как показано в работах [11, 12, 14]. Таким образом, формируется цифровая модель рельефа местности в виде составной топографической поверхности.



При реализации такого подхода разность объемов выемки и насыпи для каждого 16-точечного отсека ΔV_{ij} вычисляется с помощью двойного интеграла: буква

$$\Delta V_{ij} = \iint_D (z_{ij}(t, \tau) - h) |I| dt d\tau,$$

где $z_{ij}(t, \tau) = z_{M_{ij}}$ – определяется посредством покоординатного расчета для последнего уравнения последовательности (1);

h – высотная отметка плоскости уровня, при которой суммарная разница объемов выемки и насыпи $\sum \Delta V_{ij} = 0$;

$$I = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial \tau} & \frac{\partial x}{\partial t} \\ \frac{\partial y}{\partial \tau} & \frac{\partial y}{\partial t} \end{vmatrix} - \text{якобиан};$$

$D = \{0 \leq t \leq 1, 0 \leq \tau \leq 1\}$ – область определения функции $z_{ij}(t, \tau)$.

Обратим внимание, что по результатам вычислительных экспериментов [11, 12] была установлена линейная зависимость между разностью объемов выемки и насыпи $\sum \Delta V_{ij}$ и высотной отметкой плоскости уровня h . На эту зависимость непосредственно влияют исходные данные для построения цифровой модели рельефа местности, но символично ее можно представить следующим выражением:

$$\sum \Delta V_{ij} = ah + b,$$

где a и b зависят от исходных данных.

В соответствии с ЕНиР Е2-1, актуализированным 01.01.2021, показатели разрыхления грунтов и пород имеют следующие значения (табл. 1).

С учетом приведенных выше показателей разрыхления грунтов и пород уравнение баланса земляных работ выглядит следующим образом:

$$(1 + k_p)V_B - \frac{V_H}{(1 + k_{OP})} = \Delta V_p, \quad (2)$$

где V_B и V_H – суммарные объемы выемки и насыпи, соответственно;

ΔV_p – расчетное значение разности объемов выемки и насыпи с учетом показателей разрыхления грунтов.

Для удобства дальнейших преобразований заменим суммы в скобках уравнения (2).

$$1 + k_p = \lambda_p, 1 + k_{OP} = \lambda_{OP}.$$

Будем исходить из того, что в результате корректировки высотной отметки h разности объемов выемки и насыпи с учетом показателей разрыхления грунтов, ΔV_p должно быть равно нулю. Тогда получим:

$$\lambda_p V_B - \frac{V_H}{\lambda_{OP}} = 0 \Rightarrow \lambda_{OP} \lambda_p V_B - V_H = 0.$$



Таблица 1

Показатели разрыхления грунтов и пород

Наименование грунта	Первоначальное увеличение объема грунта после разработки k_p	Остаточное разрыхление грунта k_{OP}
1. Глина ломовая	0,28-0,32	0,06-0,09
2. Глина мягкая жирная	0,24-0,3	0,04-0,07
3. Глина сланцевая	0,28-0,32	0,06-0,09
4. Гравийно-галечные грунты	0,16-0,2	0,05-0,08
5. Растительный грунт	0,2-0,25	0,03-0,04
6. Лесс мягкий	0,18-0,24	0,03-0,06
7. Лесс твердый	0,24-0,3	0,04-0,07
8. Мергель	0,33-0,37	0,11-0,15
9. Опока	0,33-0,37	0,11-0,15
10. Песок	0,1-0,15	0,02-0,05
11. Разборно-скальные грунты	0,3-0,45	0,15-0,2
12. Скальные грунты	0,45-0,5	0,2-0,3
13. Солончак и солонец мягкие	0,2-0,26	0,03-0,06
14. Солончак и солонец твердые	0,28-0,32	0,05-0,09
15. Суглинок легкий и лессовидный	0,18-0,24	0,03-0,06
16. Суглинок тяжелый	0,24-0,3	0,05-0,08
17. Супесь	0,12-0,17	0,03-0,05
18. Торф	0,24-0,3	0,08-0,01
19. Чернозем и каштановый грунт	0,22-0,28	0,05-0,07
20. Шлак	0,14-0,18	0,08-0,1

Введем в полученную зависимость $\sum \Delta V_{ij} = V_B - V_H$. В результате получим скорректированные значения суммарных объемов выемки и насыпи с учетом показателей разрыхления грунтов, выраженную через разность объемов выемки и насыпи $\sum \Delta V_{ij}$, так и через проектную высотную отметку плоскости уровня h :

$$V_B = \frac{\sum \Delta V_{ij}}{1 - \lambda_{OP} \lambda_P} = \frac{1}{1 - \lambda_{OP} \lambda_P} (ah + b).$$
$$V_H = \frac{\lambda_{OP} \lambda_P \sum \Delta V_{ij}}{1 - \lambda_{OP} \lambda_P} = \frac{\lambda_{OP} \lambda_P}{1 - \lambda_{OP} \lambda_P} (ah + b).$$

Таким образом, получены аналитические зависимости, которые позволяют учесть показатели разрыхления грунта для эффективного применения вычислительного алгоритма, предложенного в работах [11, 12, 14]. Также полученные зависимости могут быть включены непосредственно в



вычислительный алгоритм и использованы на стадии моделирования зависимости разности объемов выемки и насыпи от высотной отметки секущей плоскости уровня, описанного в работе [12]. Подобное усовершенствование позволяет адаптировать приведенный в данных работах алгоритм к реальным условиям выполнения проектных работ в части вертикальной планировки местности и расширить границы его практической применимости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мухаметханов, Р. И. Методологические подходы вертикальной планировки городской среды / Р. И. Мухаметханов. – Текст : непосредственный // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 2. – С. 285–287.
2. Дайронас, М. В. Вертикальное строительство / М. В. Дайронас, Е. Ю. Шумилова, М. Г. Давыденко. – Текст : непосредственный // Университетская наука. – 2022. – № 2 (14). – С. 27–34.
3. Попов, Г. В. Вертикальная планировка по результатам нивелирования на макете местности / Г. В. Попов, О. Н. Лыско. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 4 (39). – С. 19–23.
4. Юрченко, В. В. Вертикальная планировка участков территории местности просевших земель / В. В. Юрченко. – Текст : непосредственный // Донецкий институт железнодорожного транспорта : сборник научных трудов. – Донецк : ДонИЖТ, 2021. – № 60. – С. 54–58. – ISSN 1993-5579.
5. Позняк, А. Об опыте автоматизированного проектирования выборочной вертикальной планировки мелиорируемых участков / А. Позняк. – Текст : непосредственный // Земля Беларуси. – 2015. – № 4. – С. 22–25.
6. Калинова, Е. В. Вертикальная планировка рельефа в системе AUTOCAD Civil 3D и в Ouprogmat / Е. В. Калинова. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы современной науки : сборник статей по материалам IX международной научно-практической конференции, Томск, 08 февраля 2018 г. : в 2 частях. / ответственный редактор А. Р. Халиков. – Томск : Дендра, 2018. – Часть 1. – С. 65-72.
7. Гибало, Е. А. Autocadcivil 3D : вертикальная планировка / Е. А. Гибало. – Текст : непосредственный // Современные проблемы естественных и технических наук : материалы 24-й межвузовской (Региональной) научной студенческой конференции "Интеллектуальный потенциал Сибири", 24–25 мая 2016 г. – Новосибирск : Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 2016. – С. 265–270. – ISBN 978-5-7795-0789-9.
8. Морозов, К. А. Трехмерное моделирование и дополненная реальность в геодезии / К. А. Морозов. – Текст : непосредственный // Синтез науки и образования как механизм перехода к постиндустриальному обществу : сборник статей Международной научно-практической конференции, Саратов, 05 декабря 2023 г. – Уфа : Аэтерна, 2023. – С. 212–214.
9. Яковлев, В. Н. Вертикальная планировка участка с использованием Mapinfo Professional / В. Н. Яковлев, Н. А. Яковлева. – Текст : непосредственный // Инженерные задачи: проблемы и пути решения : материалы III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции Высшей инженерной школы САФУ, Архангельск, 25–26 ноября 2021 г. / Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова. – Архангельск : САФУ им. М. В. Ломоносова, 2021. – С. 50–51.
10. Хаитов, Б. У. Цифровое моделирование рельефа для инженерно-проектных задач : монография / Б. У. Хаитов ; Бухарский инженерно-технологический институт. – Бухара, 2023. – 188 с. – Текст : непосредственный.
11. Конопацкий, Е. В. Моделирование криволинейного участка топографической поверхности на нерегулярной сети точек / Е. В. Конопацкий, О. А. Чернышева,



Я. А. Кокарева. – Текст : электронный // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2018. – № 7 (169). – С. 17–22. – DOI 10.14489/vkit.2018.07. P. 017-022.

12. Чернышева, О. А. Вычислительный алгоритм вертикальной планировки отсека топографической поверхности / О. А. Чернышева. – Текст : электронный // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2017. – № 10 (160). – С. 13-19. – DOI 10.14489/vkit.2017.10. P. 013-019.

13. ЕНиР. Земляные работы. Механизированные и ручные земляные работы. Сборник Е 2. Выпуск 1. / Госстрой СССР. – Москва : Стройиздат, 1989. – 224 с. – Текст : непосредственный.

14. Конопацкий, Е. В. Моделирование поверхности рельефа местности на основе спутниковых данных SRTM / Е. В. Конопацкий, О. А. Чернышева, Я. А. Кокарева. – Текст : электронный // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2019. – № 6 (180). – С. 23-31. – DOI 10.14489/vkit.2019.06. P. 023-031.

KONOPATSKIY Evgeniy Viktorovich¹, doctor of technical sciences, holder of the chair of engineering graphics and information modeling; CHERNYSHEVA Oksana Aleksandrovna², candidate of technical sciences, associate professor of the chair of specialized information technologies and systems

GEOMETRIC MODELING AND VERTICAL PLANNING OF THE TOPOGRAPHIC SURFACE AREA TAKING INTO ACCOUNT SOIL LOOSENING INDICATORS

¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603000, Russia. Tel.: +7 (831) 434-10-34;
e-mail: e.v.konopatskiy@mail.ru

²Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture
2, Derzhavina St., Makeyevka, 286128, Russia. Tel: +7 (856) 343-70-33

Key words: geometric modeling, vertical planning, interpolation surface, numerical model, soil loosening indices.

The paper is devoted to the improvement of the previously proposed computational algorithm for vertical terrain planning based on its digital model formed from 16-point compartments of the interpolation surface and its adaptation to the real conditions of design works taking into account the soil loosening indicators. The sequence of point equations, which is reduced to five systems of parametric equations by means of coordinate calculation for three-dimensional space, the formula for calculating the volume of excavation works on the basis of double integral and analytical dependencies for determining the total volumes of excavation and embankment corrected with the account of soil and rock loosening indicators are given.

REFERENCES

1. Mukhametkhanov R. I. Metodologicheskie podkhody vertikalnoy planirovki gorodskoy sredy [Methodological approaches to the vertical planning of the urban environment]. Innovatsii i investitsii [Innovation and investment]. 2023, №. 2. P. 285–287.
2. Daironas M. V., Shumilova E. Yu., Davydenko M. G. Vertikalnoe stroitelstvo [Vertical construction]. Universitetskaia nauka [University science]. 2022, №. 2(14), P. 27-34.
3. Popov G. V., Lysko O. N. Vertikalnaia planirovka po rezultatam nivelirovaniia na makete mestnosti [Vertical layout according to the results of leveling on the terrain model].



Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniia [Bulletin of the Siberian State University of Railway Transport]. 2016, №. 4(39), P. 19-23.

4. Yurchenko V. V. Vertikalnaya planirovka uchastkov territorii mestnosti prosevshikh zemel [Vertical layout of areas of the terrain of sagging lands]. Sbornik nauchnykh trudov Donetsкого института zheleznodorozhnogo transporta [Collection of Scientific Works of Donetsk Institute of Railway Transport]. 2021, №. 60, P. 54-58.

5. Pozniak A. Ob opyte avtomatizirovannogo proektirovaniya vyborochnoy vertikalnoy planirovki melioriruemykh uchastkov [On the experience of computer-aided design of selective grading of the reclaimed areas]. Zemlia Belarusi [Land of Belarus]. 2015, №. 4, P. 22–25.

6. Kalinova E. V. Vertikalnaia planirovka relefa v sisteme AUTOCAD Civil 3D i v Ovprogmat [Vertical relief planning in AUTOCAD Civil 3D and Ovprogmat system]. Aktualnye voprosy sovremennoy nauki Sbornik statey po materialam IX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Actual issues of modern science: Collection of articles on the materials of IX international scientific-practical conference]. Tomsk 08 fevralya 2018 g. Tomsk: Dendra, 2018. P. 65–72.

7. Gibalo E. A. Autocadcivil 3D vertikalnaya planirovka [Autocadcivil 3D: vertical layout]. Sovremennye problemy estestvennykh i tekhnicheskikh nauk Materialy 24 mezhvuzovskoy Regionalnoy nauchnoy studencheskoy konferentsii Intellektualny potentsial Sibiri [Modern Problems of Natural and Technical Sciences: Proceedings of the 24th Interuniversity (Regional) Scientific Student Conference "Intellectual Potential of Siberia"]. Novosibirsk 24-25 maya 2016 g. Novosibirsk: Novosibirskiy gos. arkhitekt.-stroit. un-t (Sibstrin), 2016. P. 265–270.

8. Morozov K. A. Trekhmernoe modelirovanie i dopolnennaya realnost v geodezii [Three-dimensional modeling and augmented reality in geodesy]. Sintez nauki i obrazovaniya kak mekhanizm perekhoda k postindustrialnomu obshchestvu Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Synthesis of Science and Education as a Mechanism of Transition to Postindustrial Society: Collection of Articles of the International Scientific and Practical Conference]. Saratov 05 dekabrya 2023 g. Ufa: Aeterna, 2023. P. 212–214.

9. Yakovlev V. N., Yakovleva N. A. Vertikalnaya planirovka uchastka s ispolzovaniem Mapinfo Professional [Vertical layout of the site using Mapinfo professional]. Inzhenernye zadachi problemy i puti resheniya Materialy III Vserossiiskoy natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Vyshey inzhenernoy shkoly SAFU [Engineering Problems: Problems and Solutions: Proceedings of the III All-Russian (National) Scientific and Practical Conference of the Higher Engineering School of SAFU]. Arkhangelsk 25-26 noyabrya 2021 g. Severny Arkticheskoy federal. un-t im. M. V. Lomonosova. Arkhangelsk, 2021. P. 50–51.

10. Khaitov B. U. Tsifrovoe modelirovanie relefa dlya inzhenerno-proektnykh zadach [Digital terrain modeling for engineering design problems]. : monografiya // Bukharskiy inzhenerno-tekhnologich. ins-t – Bukhara, 2023. – 188 p.

11. Konopatskiy E. V., Chernysheva O. A., Kokareva Ya. A. Modelirovanie krivolineinogo uchastka topograficheskoy poverkhnosti na nereguliarnoy seti toчек [Modeling a curvilinear section of a topographic surface on an irregular network of points]. Vestnik kompiuternykh i informatsionnykh tekhnologiy [Bulletin of Computer and Information Technologies]. 2018, №. 7(169). P. 17–22. DOI: 10.14489/vkit.2018.07.

12. Chernysheva O. A. Vychislitelnyy algoritm vertikalnoy planirovki otseka topograficheskoy poverkhnosti [Computational algorithm for the vertical layout of a topographic surface compartment]. Vestnik kompiuternykh i informatsionnykh tekhnologiy [Bulletin of Computer and Information Technologies]. 2017, №. 10(160), P. 13–19. DOI: 10.14489/vkit.2017.10.

13. ENiR. Zemlianye raboty. Mekhanizirovannyye i ruchnyye zemlianye raboty [Uniform rates. Earth works. Mechanized and manual earth works]. Gosstroy SSSR, Moscow: Stroizdat, E 2, Vol. 1. 1989. – 224 p.



14. Konopatskiy E. V., Chernysheva O. A., Kokareva Ya. A. Modelirovanie poverkhnosti relefa mestnosti na osnove sputnikovykh dannykh SRTM [Terrain relief surface modeling based on SRTM satellite data]. Vestnik kompiuternykh i informatsionnykh tekhnologiy [Bulletin of Computer and Information Technologies]. 2019, № 6(180), P. 23–31. DOI: 10.14489/vkit.2019.06.

© **Е. В. Конопацкий, О. А. Чернышева, 2024**

Получено: 13.08.2024 г.