

Литература

1. Клёнов Г.И., Хорошков В.С. Развитие протонной лучевой терапии в мире и в России // Медицинская физика. 2005. № 4. С. 5–23.
2. Хорошков В.С. Эволюция технологий лучевой терапии: от рентгена к адронам // Ядерная физика. 2006. Т. 69. № 10. С. 1760–1780.
3. Карпунин В.О., Клёнов Г.И., Хорошков В.С. Первый в России специализированный клинический центр протонной лучевой терапии // Альманах клинической медицины. 2008. № 17-1. С. 316–319.

Experimental verification of the dose distributions simulation for proton therapy

Vladimir Olegovich Karpunin, Principal Engineer-Physicist, NRC Kurchatov Institute SSC RF – Institute for Theoretical and Experimental Physics

Experimental verification of the proton beam dose distributions Monte-Carlo calculation in IThMC code is considered. The scattering model is shown to be chosen and implemented in IThMC code correctly, and this code could be used to verify dose distributions calculation in treatment planning systems for proton therapy.

Keywords: proton radiation therapy, treatment-planning system, verification, simulation, Monte-Carlo method, dose distribution

УДК 528.2/.5 528.8 528.02

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПОДЗЕМНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ

*Андрей Олегович Куприянов, канд. техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой прикладной геодезии,
E-mail: miigaiknir@yandex.ru,*

*Московский государственный университет геодезии и картографии,
<http://www.miiigaik.ru>*

Дается описание геодезического и геоинформационного обеспечения при строительстве трассы туннелей. Раскрываются особенности работ данного вида. Описано применение методов геоинформатики и спутниковой навигации при проведении данных работ. Дается обобщение работ в области геодезического обеспечения. Отмечена необходимость использования методов прикладной геоинформатики для комплексного использования разных методов при ведении подземных работ.

Ключевые слова: прикладная геоинформатика, геодезическое обеспечение, цифровое моделирование, геодезическое плановое и высотное обоснования, подземные работы

Введение. Современная прикладная геоинформатика решает прикладные задачи на основе интеграции наук о Земле и методов информатики [1]. Это свойство приносит



А.О. Куприянов

большой эффект при подземных геодезических работах [2], которые требуют интеграции геодезических измерений, геоинформационного моделирования [3] и применения спутниковых навигационных систем [4]. С одной стороны геодезическое обеспечение изысканий в своей основе опирается на проверенные временем и практикой методы [5–7]. В то же время развитие наук о Земле привело к внедрению новых методов – методов цифрового моделирования. При сборе информации говорят уже не о сборе данных, а о сборе геоданных [8, 9]. Это обусловлено интеграцией данных и измерений в геоданные, а главное то, что геоданные являются системным информационным ре-

сурсом [9]. В целом имеет место интегрированный подход к применению ранее независимых технологий, что привносит инновационную составляющую в классические работы прикладной геоинформатики [10]. Кроме того, автоматизация с использованием методов прикладной геоинформатики служит хорошей основой для обучения и переподготовки специалистов [11].

Основная часть. В зависимости от характера строительства сооружений выделяют четыре группы подземных сооружений:

- проведение горных выработок по целевому проекту;
- приспособление под объекты существующих горных выработок и естественных подземных полостей;
- использование пористых геологических структур в недрах Земли;
- комплексное освоение подземных пространств проведением горных выработок по целевому проекту и приспособлением ранее отработанных.

Строительство тоннелей относится к первой группе работ. Тоннель, или туннель – горизонтальное или наклонное подземное сооружение, одно из измерений которого (длина) значительно превосходит по размерам два других (ширину и высоту). Это относит туннель к протяженным объектам, для которых характерны свои особенности [12], что также требует учета при геодезическом обеспечении. Тоннель может быть пешеходным, но чаще всего их создают при строительстве метрополитена, то есть для транспортных задач.

Геодезическое обеспечение при строительстве туннеля включает совокупность работ [5], из которых важнейшим направлением является геодезическое обоснование. Геодезическое обоснование создается для точного перенесения в натуру проектных данных подземных и наземных сооружений. Оно подразделяется на плановое и высотное. Геодезическое плановое и высотное обоснования трассы туннеля делят на две части: геодезическое обоснование на поверхности и геодезическое обоснование в самом туннеле.

До недавнего времени основным плановым геодезическим обоснованием на поверхности для вынесения в натуру проекта трассы туннеля служила туннельная триангуляция [13]. Туннельная триангуляция могла быть заменена трилатерацией или линейно-угловыми построениями. Типичная схема планового геодезического обоснования на поверхности приведена на рисунке 1. Туннельная триангуляция представляет собой протяженный объект в виде вытянутой вдоль трассы цепочки треугольников или геодезических четырёхугольников, со связующими углами не менее 40° . В качестве базисов используют непосредственно стороны, расположенные на концах цепочки, а при длинных туннелях используют базисы и в середине. Для получения исходных координат во внешней системе один из пунктов трассы привязывают к пунктам государственной геодезической сети.

При туннельной триангуляции обязательно предусматривается возможность передачи дирекционных углов через два смежных ствола от одной и той же стороны, что исключает влияние ошибки исходного дирекционного угла на величину несбойки. Пункты пространственной сети стремятся располагать ближе к стволам шахт, но вне зоны возможных деформаций, возникающих под влиянием подземных выработок. Все измерения в сети производят дважды с перерывом в один месяц.

Разряд триангуляции и технические характеристики туннельной триангуляции зависят от длины строящегося туннеля. Например, при длине туннеля от 2 до 5 км применяют третий разряд триангуляции с длинами сторон от 1,5 до 5 км. Средняя квадратическая ошибка измеренного угла в такой сети, подсчитанная по невязкам в треугольниках должна быть не хуже $1,5''$, а относительная ошибка измеренной длины базиса должна быть не ниже 1:400000.

В качестве второй ступени приведённой схемы планового обоснования туннеля выступает основная полигонометрия, главное назначение которой – передача

координат от пунктов триангуляции в район ствола и на подземные выработки. Её создают вдоль трассы туннеля вытянутыми ходами или полигонами, опирающимися на пункты туннельной триангуляции. При длине туннеля менее 1 км она может служить первичным плановым обоснованием. Длины ходов между пунктами триангуляции допускаются до 4 км, а между узловыми точками – 1 км. Длины сторон находятся в пределах 150–500 м.

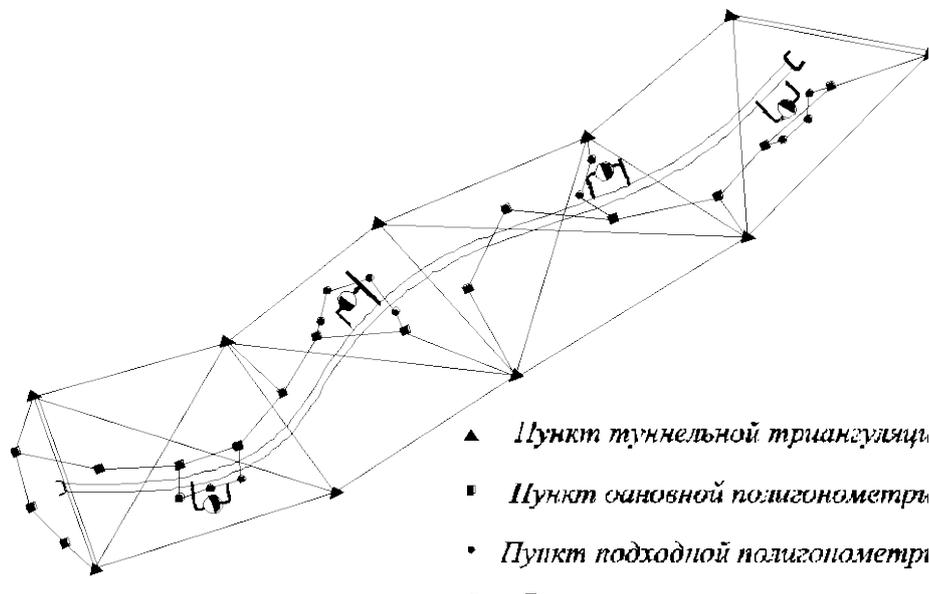


Рисунок 1– Схема планового геодезического обоснования туннеля

В настоящее время измерения в полигонометрических ходах целесообразно выполнять электронными тахеометрами. До недавнего времени стороны в полигонометрии измерялись инварными проволоками или фазовыми светодальномерами, а горизонтальные углы теодолитами Т2. Относительная невязка полигонометрического хода не должна превышать 1:30000, а допустимая угловая невязка определяется по формуле $f_{\beta} = 6\sqrt{n}$.

На строительных площадках стволов шахт для передачи координат в подземные выработки создают подходную полигонометрию в виде замкнутых полигонов или ходов с узловыми точками. Подходная полигонометрия должна опираться на пункты основной или туннельной полигонометрии. Длины ходов не допускаются более 300 м, а стороны менее 30 м. Углы измеряют со средней квадратической ошибкой 4». Допустимая угловая невязка в ходах и полигонах определяется по формуле $f_{\beta} = 8\sqrt{n}$. Относительная ошибка измерения сторон не должна превышать 1:20000.

Применение электрооптических светодальномеров и электронных тахеометров позволило заменить метод триангуляции методом полигонометрии. Пункты туннельной полигонометрии рекомендуется закладывать вне зоны возможных деформаций и не далее 1 км от трассы туннеля. Приведённая на рисунке 1 схема планового обоснования при этом упростится: из схемы выпадает триангуляционное построение.

Серьёзные изменения претерпела схема планового геодезического обоснования трассы туннеля в связи с внедрением спутниковых технологий [14, 15, 16]. Спутниковые определения, с некоторыми обобщениями и упрощениями позволяют представить схему построения планового обоснования туннеля на поверхности по новому.

Вблизи ствола будущего туннеля, вне зоны возможных деформаций строится сеть из пунктов GPS определений. Количество и расположение пунктов выбирают таким образом, чтобы в образовавшейся фигуре можно было проконтролировать

геометрические связи, выполнив традиционные измерения длин сторон и горизонтальные углы. Кроме того, проложив полигонометрический ход между пунктами GPS смежных стволов, можно судить о точности построения планового обоснования на поверхности туннеля, и, таким образом, гарантировать надёжные исходные данные для ориентирования подземных сооружений.

Дальнейшие работы по геодезическому обеспечению строительства туннеля заключаются в ориентировании подземных выработок. Ориентировать подземные выработки означает передать в забой координаты и дирекционный угол. Ориентирование производят на пункты подземной полигонометрии, которые закрепляют у ствола. В подходных штольнях, до выхода на ось туннеля, прокладывают подходную подземную полигонометрию. После выхода на трассу вслед за движущимся вперёд забоем прокладывают ходы сначала рабочей полигонометрии со сторонами 25–50 м, затем основной подземной полигонометрии со сторонами 50–100 метров. И, наконец, при удалении забоя на 200 м и более от ствола для повышения точности передачи дирекционного угла от приствольной линии к забою прокладывают главные ходы подземной полигонометрии. Пункты главных полигонометрических ходов совмещают через две-три стороны с пунктами основной подземной полигонометрии.

Высотное геодезическое обоснование также строится в виде сетей на поверхности и нивелирных ходов в подземных выработках. Класс нивелирных сетей выбирается в зависимости от длины туннеля и длин встречных подземных выработок, предусмотренных проектом.

При длине туннеля более 2 км, а в горных районах более 1 км, согласно действующим инструкциям, следует выполнять нивелирование II класса, а при длине туннелей менее 2 км – нивелирование III класса. При сооружении метрополитенов высотное геодезическое обоснование, кроме обеспечения сбойки подземных выработок, служит основой для наблюдения за осадками зданий и сооружений.

Нивелирные сети II и III класса, развиваемые для строительства туннеля, представляют собой вытянутую вдоль трассы систему замкнутых полигонов, охватывающую всю полосу возможной деформации местности. От реперов этих ходов высоты передаются к стволам шахт, а затем через стволы – в подземные выработки.

Для ориентирования подземных геодезических сетей с земной поверхности в подземные выработки передают дирекционные углы, координаты и высоты. Этот комплекс работ является наиболее ответственным в туннелестроении и требует максимального внимания и полной отдачи всех служб строительства.

В тех случаях, когда туннельные выработки выходят на земную поверхность, ориентирование осуществляется проложением полигонометрического хода через горизонтальные и наклонные туннели. При сооружении туннеля через вертикальную шахту ориентирование подземных ходов может быть выполнено несколькими способами, как-то: створа двух отвесов, соединительного треугольника, двух шахт, гиротеодолитом и др.

Ориентировать подземные сооружения можно и при помощи магнитной буссоли. Для этих целей на поверхности определяют магнитный азимут известного дирекционного направления, определяют склонение магнитной стрелки, а, спустившись в подземную выработку, строят нужный дирекционный угол с учётом найденного склонения. Однако точность таких построений не превысит 1 угловой минуты.

Ориентирование способом двух отвесов находит наибольшее применение при передаче дирекционных углов в подземные выработки. Средняя квадратическая ошибка передачи дирекционного угла этим способом составляет около 30". Несколько усовершенствовав способ, ошибку можно уменьшить до 10–15".

Отвесы O_1 и O_2 подвешивают в шахте таким образом, чтобы исключить их касания с ограждающими конструкциями ствола и влияния потоков воздуха. Отвесы нагружают грузами, а грузы помещают в ёмкости с вязкой жидкостью для уменьшения

колебаний. От пунктов наземной подходной полигонометрии выносят и закрепляют над шахтой ось подземной подходной штольни точками T_1 и M_1 (рисунок 2).

Над точками центрируют соответственно теодолит и визирную марку. Строго в створе визирной линии зрительной трубы теодолита, наведённой на марку, выставляют отвесы O_1 и O_2 . Таким образом, дирекционный угол створа двух отвесов равен дирекционному углу оси подходной штольни.

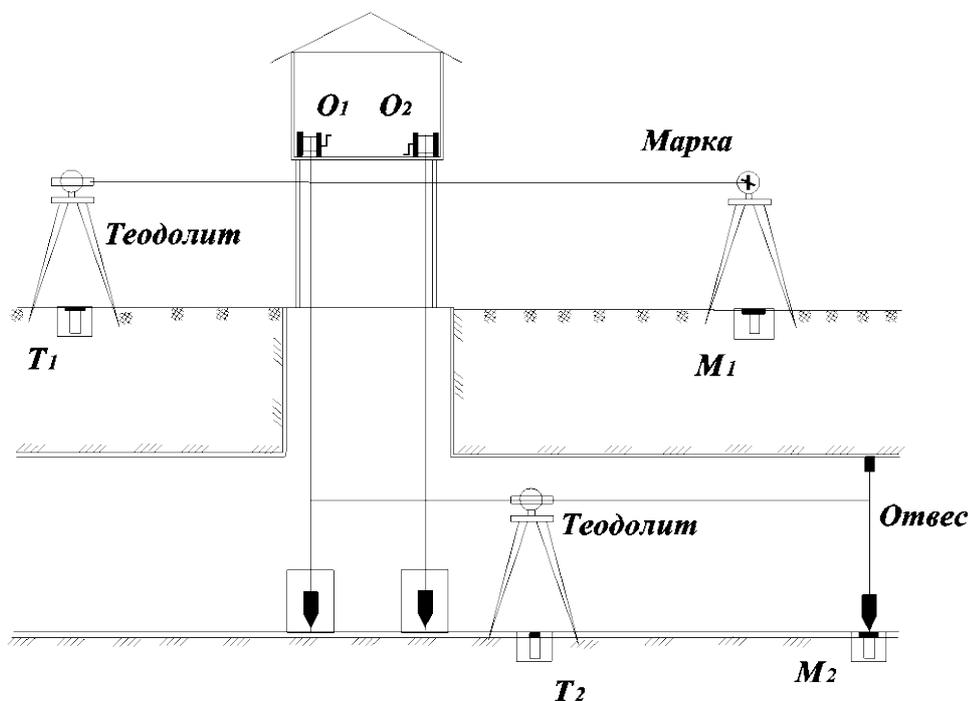


Рисунок 2 – Ориентирование по способу двух отвесов

В подземных выработках теодолит устанавливают на координатном столике. Передвигая теодолит перпендикулярно плоскости отвесов, устанавливают визирную ось в створе отвесов, а построив угол в 180° , подвешивают отвес (или устанавливают визирную марку) и закрепляют в створе точку M_2 . Закрепив точку T_2 на продолжении оси вращения теодолита, получают в подходной штольне её ось T_2M_2 , дирекционный угол которой принимают равным оси T_1M_1 на поверхности (рисунок 2).

Ориентирование методом двух шахт. По мере продвижения забоя от ствола по трассе в подземных выработках прокладываются полигонометрические ходы, в которых измеряются стороны l и углы β и вычисляют приращения координат и координаты пунктов хода. При большом удалении забоя от ствола с поверхности бурят скважину для подачи строительных материалов и улучшения вентиляции в забое. Наличие такой скважины по трассе туннеля позволяет проконтролировать построенный подземный полигонометрический ход и выполнить его переориентирование.

Для этих целей в вентиляционной скважине подвешивается отвес, на который передаются координаты с пунктов основной полигонометрии на поверхности. Координаты отвеса на поверхности и, следовательно, под землёй принимаются за основу для переориентирования подземного хода.

Обозначим координаты отвеса, опущенного через скважину и полученные на поверхности от пунктов полигонометрии через y_n и x_n , а координаты того же отвеса, полученные посредством полигонометрического хода, проложенного под землёй, через y_u и x_u .

Тогда разница координат определит невязки по осям: $f_x = x_u - x_n$; $f_y = y_u - y_n$

По полученным невязкам f_x и f_y вычисляют абсолютную и относительную невязки подземного полигонометрического хода:

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}; \quad \frac{f_s}{L} = \frac{1}{T}.$$

Если $1/T$ окажется более 1:10000, то считают, что точность измерений в подземном полигонометрическом ходе недостаточна и измерения следует повторить.

Ориентирование подземных выработок способом двух шахт выгодно отличается от всех остальных способов, поскольку позволяет получить дирекционный угол стороны подземного полигонометрического хода непосредственно у забоя. Однако способ применим для прямолинейных трасс туннелей, когда ход подземной полигонометрии считается вытянутым. Ошибка способа около 8".

Для вытянутого полигонометрического хода продольная невязка t является результатом суммарного действия на положение конечной точки T_k ошибок линейных измерений; равным образом, поперечная невязка u есть результат совместного действия ошибок угловых измерений (рисунок 3).

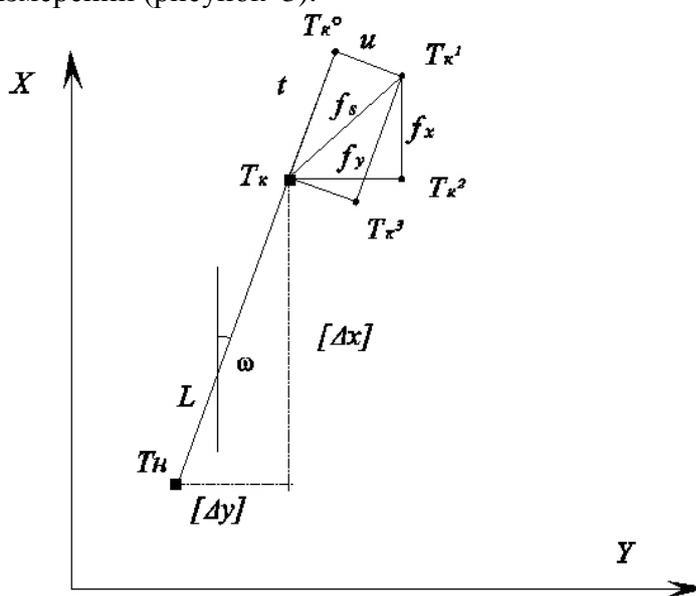


Рисунок 3 – Продольная и поперечная невязка полигонометрического хода

Переход от f_x и f_y к t и u основан на переходе от одной системы координат к другой. Непосредственно из рисунка вытекает, что

$$\begin{aligned} t &= f_x \cdot \cos \omega + f_y \cdot \sin \omega, \\ u &= f_y \cdot \cos \omega - f_x \cdot \sin \omega. \end{aligned} \quad (1)$$

Для угла ω имеем

$$\sin \omega = \frac{[\Delta y]}{L}; \quad \cos \omega = \frac{[\Delta x]}{L},$$

где $L = \sqrt{[\Delta x]^2 + [\Delta y]^2}$ является замыкающей полигонометрического хода. В соответствии с этим формулам (1) можно придать вид:

$$\begin{aligned} t &= \frac{f_x \cdot [\Delta x] + f_y \cdot [\Delta y]}{L}, \\ u &= \frac{f_y \cdot [\Delta x] - f_x \cdot [\Delta y]}{L}. \end{aligned} \quad (2)$$

Полученные величины t и u можно проконтролировать по формуле

$$f_y^2 + f_x^2 = f_s^2 = u^2 + t^2. \quad (3)$$

Поперечная невязка u служит исходной величиной для ориентирования подземного геодезического обоснования по способу двух шахт. Она является следствием влияния ошибок геодезического обоснования на поверхности m_1 , ошибок угловых измерений в подземном полигонометрическом ходе m_2 и ошибки ориентирования первой линии подземного полигонометрического хода m_3 .

Так как обоснование на поверхности считается исходным и неизменным, то полученную поперечную невязку u устраняют путём введения поправок в исходный дирекционный угол и измеренные углы подземного полигонометрического хода.

Ожидаемое влияние ошибок обоснования, созданного на поверхности, на поперечную невязку вычисляют по формуле

$$m_{u1} = L : 45000. \quad (4)$$

Для вычисления величины ожидаемого влияния ошибок измеренных углов подземного полигонометрического хода применяют формулу

$$m_{u2} = \frac{m_\beta}{\rho} L \sqrt{\frac{n+1,5}{3}}. \quad (5)$$

Влияние ошибки ориентирования приствольной линии подземного полигонометрического хода подсчитывают по формуле

$$m_{u3} = \frac{m_o}{\rho} L, \quad (6)$$

где m_o – средняя квадратическая ошибка исходной стороны подземного полигонометрического хода, которая определяется способом ориентирования подземной выработки.

Суммарная ожидаемая величина полной поперечной ошибки хода будет

$$m_u = \sqrt{m_{u1}^2 + m_{u2}^2 + m_{u3}^2}. \quad (7)$$

Таким образом, часть поперечной невязки, устраняемая исправлением дирекционного угла исходной стороны подземного полигонометрического хода, определится из соотношения

$$u_3 = u \frac{m_{u3}^2}{m_u^2}. \quad (8)$$

Поправка в исходный дирекционный угол подземного полигонометрического хода найдётся из выражения

$$\Delta\alpha = -\frac{u_3}{L} \rho. \quad (9)$$

Вторая часть поперечной невязки, равная $(u - u_3)$ исключается введением поправок в измеренные углы подземного полигонометрического хода. Угол, образованный диагональю хода, находят по формуле

$$\varpi = \frac{(u - u_3)}{L} \rho, \quad (10)$$

а поправку в измеренные углы вычисляют по формуле

$$v_{\beta i} = \frac{u_3 - u}{L} \rho \frac{6[n - 2(i - 1)]}{(n + 1)(n + 2)}, \quad (11)$$

где n – число сторон хода по трассе, i – текущая точка хода.

Продольную невязку t распределяют с обратным знаком пропорционально длинам сторон хода. Поправка в каждую линию будет

$$v_{li} = -\frac{t}{L} \cdot l_i. \quad (12)$$

После распределения поправок в углы и длины сторон подземного полигонометрического хода вычисляют поправки в приращения координат по формулам

$$\begin{aligned} v_{\Delta y_i} &= v_{li} \cdot \sin \alpha_i + \frac{\Delta x_i \cdot v_{\alpha_i}}{\rho}; \\ v_{\Delta x_i} &= v_{li} \cdot \cos \alpha_i - \frac{\Delta y_i \cdot v_{\alpha_i}}{\rho}. \end{aligned} \quad (13)$$

Описанный способ уравнивания измерений при ориентировании подземной геодезической основы по способу двух шахт не является строгим, но вполне применим на практике.

Особенностью современного геодезического обеспечения туннелестроения при использовании прикладной геоинформатики является широкое использование цифровых моделей [17]. В целом при геодезических работах в тоннелестроении используют интегрированный подход, основанный на применении геоинформационных моделей и геоинформационных технологий [3]. Это по существу заменяет методы чистых геодезических работ на методы геоинформатики с интеграцией геодезических измерений в геоаннны. В остальном методически применяют известные технологии, использующие опыт туннелестроения, но перенесенные на новую цифровую основу.

Заключение. В настоящее время с целью развития методики геодезического обеспечения [18] все шире включают методы прикладной геоинформатики. При этом используют ряд новых понятий и моделей. Геотехническая система [19] как модель обобщает целый ряд пространственных объектов и позволяет использовать опыт геодезических измерений в равной степени как при строительстве, так и при мониторинге [20]. Прикладная геоинформатика позволяет интегрировать разные методы [21] и в первую очередь спутниковые технологии [22]. Прикладная геоинформатика позволяет применять ряд новых пространственных моделей [23] и новых методов моделирования [24]. Принципиальным при использовании прикладной геоинформатики является переход от совокупности точек к системе данных и системам трехмерных моделей [25]. То есть прикладная информатика позволяет шире применять системный подход и комплексы моделей, в сравнении с единичными измерениями и уравнительными вычислениями.

Литература

1. Майоров А.А., Цветков В.Я. Геоинформатика как важнейшее направление развития информатики // Информационные технологии. 2013. № 11. С. 2–7.
2. Куприянов А.О. Геодезическое обеспечение при строительстве трассы туннелей // Науки о земле. 2013. № 1(9). С. 32–38.
3. Цветков В.Я. Информационная модель как основа обработки информации в ГИС // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2005. № 2. С. 118–122.
4. Ключин Е.Б., Куприянов А.О., Шлапак В.В. Спутниковые методы измерений в геодезии. Ч. 1. М.: МИИГАиК, 2006. 60 с.
5. СНиП 3.01.03.84. Геодезические работы в строительстве.
6. ГОСТ 21778-81. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Основные положения.
7. Руководство по расчёту точности геодезических работ в промышленном строительстве. ГУГиК при СМ СССР. М.: Недра, 1979.
8. Цветков В.Я., Домницкая Э.В. Геоаннны как основа цифрового моделирования // Современные наукоёмкие технологии. 2008. № 4. С. 100–101.
9. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоаннны как системный информационный ресурс // Вестник Российской Академии Наук. 2014. Т. 84. № 9. С. 826–829. DOI: 10.7868/S0869587314090278.

10. Цветков В.Я. Информатизация, инновационные процессы и геоинформационные технологии // Геодезия и аэрофотосъемка. 2006. № 4. С. 112–118.
11. Куприянов А.О. и др. Опыт создания автоматизированной обучающей системы подготовки специалистов в области использования результатов космической деятельности / А.О. Куприянов, А.А. Майоров, В.В. Голубев, В.Я. Цветков, С.Н. Яшкин, С.А. Григорьев, С.А. Атаманов // сб. статей по итогам научно-технических конференций. Приложение к журналу Известия вузов. Геодезия и аэросъемка. 2012. Вып. № 5. С. 26–31.
12. Цветков В.Я., Омельченко А.С. Особенности построения моделей объектов большой протяженности в геоинформатике // Фундаментальные исследования. 2006. № 4. С. 39–40.
13. Черемисин М.С., Воробьев А.В. Геодезическо-маркшейдерская разбивочная основа при строительстве подземных сооружений. М.: Недра, 1982. 262 с.
14. Куприянов А.О. GPS/GIS-нового поколения // Геодезия и картография. 2005. № 6. С. 17–18.
15. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Т. 1, 2. М.: ФГУП «КАРТГЕОЦЕНТР», 2006. 360 с.
16. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02, ЦНИИГАиК, 2002 – 22с.
17. Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели // Геодезия и аэрофотосъемка. 2000. № 2. С. 147–155.
18. Куприянов А.О., Пичугина Т.А. Тенденции развития спутниковых технологий по геодезическому и геоинформационному обеспечению // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. 2005. № 2(17). С. 60–65.
19. Цветков В.Я. Изучение геотехнических систем методами геоинформатики // Науки о Земле. 2012. № 3. С. 17–19.
20. Савиных В.П. Система получения координатно-временной информации для решения задач мониторинга // Науки о Земле. 2012. Вып. 3. С. 5–10.
21. Романов И.А. Применение методов геоинформатики при анализе инновационных проектов на железнодорожном транспорте // Науки о Земле. 2012. Вып. 3. С. 26–28.
22. Куприянов А.О., Бородко Е.А. Комплексные испытания интегрированной картографо-геодезической спутниковой аппаратуры нового поколения // Геодезия и картография. 2006. № 10. С. 41–45.
23. Соловьев И.В. Применение модели информационной ситуации в геоинформатике // Науки о Земле. 2012. № 1. С.54–58.
24. Маркелов В.М. Геоинформационное ситуационное моделирование // Науки о Земле. 2012. № 4. С. 72–76.
25. Дышленко С.Г. Принципы трехмерного моделирования в ГИС // Науки о Земле. 2012. № 4. С. 65–71.

Digital simulation in underground surveying services

Kupriyanov Andrey Olegovich, Ph.D., Professor, Head of Department of Applied Geodesy, Moscow State University of Geodesy and Cartography

This article describes the surveying and GIS software in the construction of highway tunnels. This article describes the features of this type of work. This article describes the application of Geoinformatics and satellite navigation of that effort. This article describes the synthesis of work in the field of geodetic support. The article shows the necessity of using methods of applied geoinformatics for underground works. The article shows that the use of Applied Geoinformatics enables comprehensive use different methods for underground works.

Keywords: Applied geoinformatics, surveying software, digital modeling, geodetic horizontal and vertical justification, underground work