

А. В. Никонов^{1,2}✉

Создание внутрицеховой геодезической сети с применением отвесов

¹ АО «Сибтехэнерго», г. Новосибирск, Российская Федерация

² Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: sibte@bk.ru

Аннотация. С целью монтажа и выверки технологического оборудования, а также выполнения контрольных геодезических съемок внутри промышленных цехов создаются геодезические сети специального назначения (внутрицеховые сети). Такие сети часто строятся по технологии «свободной станции», пункты сети закрепляются пленочными отражателями на строительных конструкциях. Использование пленочных отражателей ограничивается предельным углом между визирной осью и нормалью к отражающей поверхности, который не должен превышать 30°. Предлагается конструкция визирной цели в виде отвеса цилиндрической формы, благодаря чему расстояние до цели может быть измерено с любой точки цеха. Применение отвесов позволяет обеспечить мобильность при развитии внутрицеховой сети. В статье рассмотрены результаты лабораторных исследований, в ходе которых построена цепочка обратных линейно-угловых засечек с использованием разработанных отвесов.

Ключевые слова: внутрицеховая геодезическая сеть, отвес, обратная засечка, точность геодезических измерений

A. V. Nikonov^{1,2}✉

Development of intra-workshop geodetic network using plumbs

¹Sibtechenergo, Novosibirsk, Russian Federation

²Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: sibte@bk.ru

Abstract. For the installation and verification of process equipment, as well as control geodetic surveys inside industrial workshops, intra-workshop geodetic networks are created. Such networks are often built using the «free station» technology. Network points are fixed with film reflectors on building structures. The use of film reflectors is limited by the maximum angle between the sighting axis and the normal to the reflecting surface, which should not exceed 30°. A design of a sighting target in the form of a cylindrical plumb bob is proposed, due to which the distance to the target can be measured from any point in the workshop. The use of plumb bobs ensures mobility when developing an intra-workshop network. The article considers the results of laboratory studies, during which a chain of reverse linear-angular resection was performed using plumb bobs.

Keywords: intra-workshop geodetic network, plumb, reciprocal resection, accuracy of geodetic measurements

Введение

В отечественных нормативных документах отсутствует такой термин как «внутрицеховая геодезическая сеть», так как данная сеть имеет узкоспециализи-

рованную область применения и требует нестандартных методик измерений для ее создания. По принятой в своде правил [1] терминологии, внутрицеховую сеть можно классифицировать как геодезическую сеть специального назначения (ГССН), которая используется в качестве геодезической основы инженерных изысканий на всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений. Для того чтобы подчеркнуть отличие ГССН, создаваемой для обеспечения инженерных изысканий или выполнения разбивочных работ, от ГССН, используемой для выверки технологического оборудования и решения специальных задач прикладной геодезии, во втором случае будем применять термин «внутрицеховая геодезическая сеть».

Введем определение: внутрицеховая геодезическая сеть – планово-высотное, зачастую пространственное (пункты располагаются на разных уровнях), геодезическое построение, создаваемое внутри производственных цехов с целью обеспечения выверки технологического оборудования, проведения контрольных съемок каркаса промышленного здания (включая крановые пути мостовых кранов), а также наблюдения за деформациями и перемещениями отдельных элементов строительных конструкций или оборудования. При новом строительстве создание внутрицеховой сети подразумевается после возведения каркаса здания и устройства пола и служит для монтажа и выверки технологического оборудования. Нередко такая сеть создается в период эксплуатации объекта, когда требуется геодезическая основа для выверки технологического оборудования в межремонтный период. Кроме того, при эксплуатации промышленного объекта в течение многих лет, в период обследования здания необходимо получение сведений о фактической геометрии его несущих конструкций (их положение, наличие кренов, прогибов и иных деформаций) [2]. Полученные данные используются для выполнения поверочных расчетов здания, принятия технических решений по усилению строительных конструкций, а также разработки проекта реконструкции объекта.

При создании внутрицеховой сети принимается условная система координат. При выверке оборудования одна из осей системы координат задается параллельно главной оси конвейера, печи и т.д. При создании сети для съемки строительных конструкций ось условной системы координат задается параллельно одной из осей здания. Для этих целей в процессе создания сети выполняется съемка центров колонн и других характерных строительных конструкций, относительно которых можно рассчитать положение осей здания. В камеральных условиях определяют вероятнейшее положение осей здания, после чего производят пересчет всех координат проекта, в том числе координат пунктов внутрицеховой сети, путем разворота координатных осей [3].

Внутрицеховая сеть закрепляется в виде пленочных отражателей, наклеиваемых на несущих строительных конструкциях или фундаментах, а также в виде дюбелей в полу. При создании внутрицеховой пространственной сети (пункты закрепляются на разных уровнях) крупных производственных корпусов, высота которых в отдельных случаях превышает 100 м, со временем возможно нарушение взаимной увязки пленочных отражателей [2]. Это связано с заметными тем-

пературными деформациями каркаса здания, возникающими при включении/отключении оборудования или перепадах температуры наружного воздуха, а также с влиянием ветровой нагрузки. При высокоточной выверке технологического оборудования в каждом цикле измерений также приходится заново выполнять все измерения в сети, так как положение марок меняется со временем.

Точность внутрицеховой сети

Внутрицеховая сеть создается на каждом объекте под конкретную цель с учетом местных особенностей (конфигурации цеха, влияния внешних условий), поэтому не существует универсальных критериев ее точности. В прошлом (до внедрения электронных тахеометров) точность специальной цеховой сети характеризовалась относительными погрешностями взаимного положения пунктов 1:15 000–1:25 000 [4]. В настоящее время предъявляются повышенные требования к монтажу и выверке технологического оборудования предприятий металлургической, горнодобывающей, энергетической и других отраслей. Требуемая точность установки оборудования порой достигает 0,1–0,5 мм, а относительные ошибки в сети составляют 1:200 000 и точнее [5].

Установление требуемой точности измерений – один из важнейших факторов повышения качества выполнения проекта, определения оптимальных трудозатрат на установку конструкций и оборудования в проектное положение в период монтажа и ремонтных работ, а также выполнения контрольных измерений при оценке их технического состояния в процессе эксплуатации [6].

Общий принцип расчета точности средних квадратических ошибок положения пунктов внутрицеховой сети должен исходить из заданных проектом технологических допусков Δ на положение оборудования (симметричное предельно допустимое отклонение δ равно половине допуска Δ). Чтобы влияние ошибок разбивочных работ на допустимое технологическое отклонение δ было пренебрегаемо малым, суммарная предельная ошибка геодезических разбивочных работ δ_r принимается равной половине от величины δ [7]:

$$\delta_r = \frac{\delta}{2} = \frac{\Delta}{4}. \quad (1)$$

Для перехода от предельной ошибки геодезических измерений к средней квадратической ошибке (СКО) применяется коэффициент t , зависящий от ответственности сооружения или оборудования ($t=2$ при вероятности $P=0,954$, $t=2,5$ при $P=0,988$ и $t=3$ при $P=0,997$). Если $t=2,5$, то средняя квадратическая ошибка геодезических измерений составит:

$$\sigma_r = \frac{\delta_r}{2,5} = \frac{\delta}{5}. \quad (2)$$

Полученный по формуле (2) результат соответствует требованиям ГОСТ [8], где сказано, что для измерений, выполняемых при контроле точности изго-

товления и установки изделий максимально допускаемая погрешность измерений не должна превышать 0,2 от допуска измеряемого геометрического параметра, установленного нормативными документами и технической документацией на объект контроля.

Например, при допустимом отклонении положения элемента оборудования от проектного $\delta = \pm 5$ мм, СКО геодезических измерений не должна превышать 1 мм. Принимая во внимание принцип равных влияний, СКО положения пунктов внутрицеховой сети не должна превышать 0,7 мм, и такая же ошибка отводится на съемочные работы (ошибки определения характерных точек на оборудовании). Столь высокие требования к точности создания внутрицеховой сети возможны лишь на локальном участке цеха (не более 80–100 м) и только при соблюдении ряда условий:

- применение высокоточных электронных тахеометров с СКО измерения расстояний до 0,5 мм и углов до 2'';

- выполнение многократных измерений при визировании на пленочные отражатели (марки) и элементы оборудования при двух положениях вертикального круга с записью результатов на ноутбук непосредственно в цехе. Многократность наведений позволяет несколько сократить негативное влияние на результаты измерений внешних условий, например, уменьшить случайную составляющую ошибки из-за колебаний изображения цели, обусловленную конвекционными потоками нагретого воздуха [9]. Для проведения он-лайн измерений хорошо зарекомендовал себя программно-аппаратный измерительный комплекс «Визир 3D» [5, 10, 11], в том числе позволяющий выполнять первичную обработку получаемых результатов и отбраковывать значения, выходящие за установленный допуск. Заметим, что команда для выполнения измерений подается с ноутбука, что исключает смещение прибора при нажатии на нем клавиш;

- выполнение в сети большого количества избыточных измерений. Обычно на одни и те же точки сети выполняются измерения два раза и более с разных точек стояния прибора.

Если средние квадратические ошибки положения пунктов сети после уравнивания превысят расчетные или допустимые значения, то эта сеть может применяться только для выноса главных осей оборудования, относительно которых дальнейшая выверка осуществляется специальными методами прикладной геодезии (створные измерения и пр.). Для установки в проектное положение уникального оборудования с точностью позиционирования элементов до $\pm 0,1$ мм (например, магнитов ускорительно-накопительных комплексов) применяются лазерные трекары и специальное программное обеспечение (Spatial Analyzer) [12, 13].

Применительно к авиастроительной отрасли в работе [14] предложена следующая классификация ГССН: высокоточная (при предельном отклонении фактической геометрии изделия от проектных значений $\delta < \pm 1$ мм), точная (при $\pm 1 \text{ мм} < \delta < \pm 2$ мм) и техническая (при $\delta > \pm 2$ мм).

Требования к точности внутрицеховой сети, создаваемой для проведения контрольных съемок строительных конструкций здания, несколько ниже. В этом

случае ошибки положения пунктов сети относительно исходных могут достигать 5–10 мм (в зависимости от размеров цеха), а ошибки взаимного положения смежных пунктов не должны превышать 2–3 мм.

Методы создания внутрицеховой сети

Внутрицеховая геодезическая сеть создается, как правило, методом линейно-угловых построений по технологии свободной станции [5]. В вытянутых цехах возможно проложение полигонометрического хода по трехштативной системе, с точек которого выполняются измерения на все видимые пленочные отражатели (марки), закрепленные на несущих конструкциях и оборудовании [2]. Точки хода можно закрепить дюбелями и использовать в последующем как контрольные. Применять же напольные точки, как исходные для установки над ними тахеометра нецелесообразно из-за существенного влияния ошибок центрирования при малых расстояниях в цехе.

Одним из недостатков применения пленочных отражателей, закрепляемых на колоннах каркаса здания, является ограничение на отклонение визирного луча от нормали к поверхности пленки. Экспериментально доказано, что при отклонении визирного луча от нормали к поверхности отражения более чем на 30° – 40° измеренное расстояние будет получено с систематической ошибкой более 5 мм [15].

Для устранения указанного недостатка в качестве визирных целей предлагается использовать отвесы цилиндрической формы (рис. 1), которые подвешиваются на стальной струне с помощью кронштейна (последний на магните закрепляется на стальных колоннах здания).



Рис. 1 – Конструкция отвеса цилиндрической формы

Стальной цилиндр имеет высоту и диаметр 40 мм. Он разделен по высоте на две части с помощью окраски (граница окрашенной части является носителем отметки). Визирование на отвес выполняется следующим образом: нить отвеса вводится в биссектор сетки нитей; горизонтальная нить сетки нитей наводится на середину отвеса (на границу окрашенной и неокрашенной частей отвеса). К

горизонтальному проложению, измеренному до поверхности цилиндра, прибавляется величина радиуса $R=20$ мм. Цилиндрическая форма отвеса позволяет обеспечить перпендикулярность визирной оси к отражающей поверхности при наведении на отвес с любой стороны.

Апробация визирных целей и обсуждение результатов

С целью проверки пригодности визирных целей в виде цилиндрических отвесов для построения внутрицеховой сети были выполнены исследования. В лаборатории было создано геодезическое построение в виде последовательной цепочки обратных линейно-угловых засечек (рис. 2).

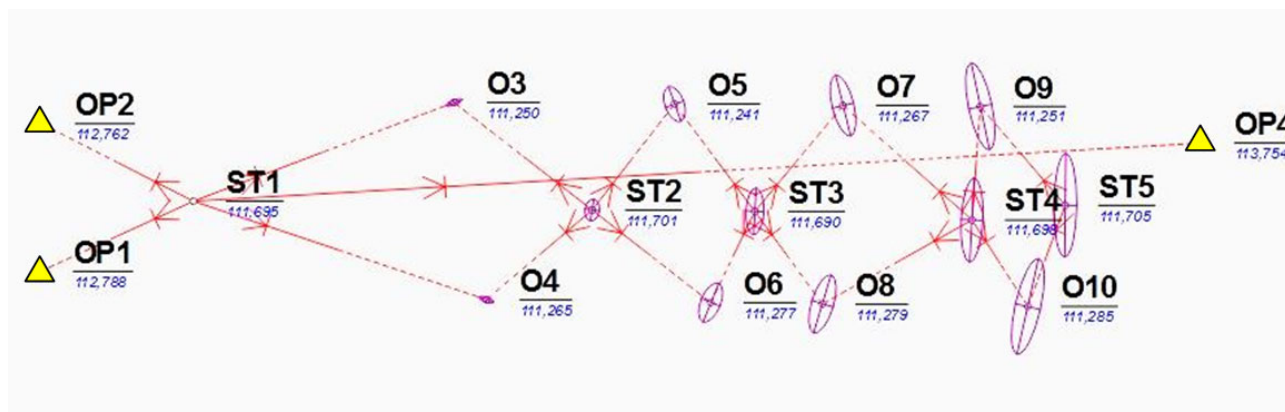


Рис. 2 – Цепочка обратных линейно-угловых засечек (аналог висячего хода)

На первой станции ST1 была осуществлена привязка к исходным пунктам OP1, OP2 и OP4, которые представляют собой пленочные отражатели, закрепленные на стенах, их координаты и высоты определены в единой системе. С первой станции также были выполнены измерения на два отвеса (O3 и O4), после чего тахеометр перемещался на следующую станцию (ST2). Со второй станции измерения выполнялись на отвесы O3 и O4, затем они переставлялись вперед (O5 и O6) и измерения на отвесы повторялись. Таким образом, последовательно переставляя тахеометр и перемещая отвесы, был проложен ход засечками, состоящий из пяти станций. Расстояние от прибора до визирных целей на станциях ST2–ST5 находились в пределах 3–5 м, расстояния от первой до пятой станции равно 23,4 м. В рассматриваемом примере отвесы использовались как временные носители координат и высот. В реальных условиях с каждой станции, наряду с отвесами, необходимо выполнять измерения на пленочные отражатели, закрепленные на оборудовании или несущих конструкциях здания.

Обработка результатов измерений выполнялась в программе Кредо ДАТ, в которую вносились отсчеты по вертикальному и горизонтальному кругам, а также горизонтальные проложения (при наведении на отвесы в расстояния добавлялась поправка +20 мм). Как видно из рис. 2, от станции к станции происходит накопление ошибок [16]. По форме и ориентировке эллипсов ошибок наблюдается существенная неопределенность положения точек в поперечном направ-

лении, обусловленная погрешностями угловых измерений при предельно малых расстояниях.

Для получения эталонных координат и высот станций, на каждой из них дополнительно осуществлялась обратная линейно-угловая засечка относительно исходных пунктов ОР1, ОР2 и ОР4. Результаты сравнения координат станций, полученных из цепочки обратных засечек, с эталонными значениями представлены в таблице 1. Значения средних квадратических ошибок положения станций m_{xy} , рассчитанные в Кредо ДАТ, хорошо согласуются с реальными значениями ошибок (разностями Δ). Ошибки передачи высотной отметки не превысили 2–3 мм.

Таблица 1

Сравнение координат станций из цепочки обратных засечек
с эталонными значениями

Номер станции	Координаты станций из решения цепочки обратных засечек (Кредо ДАТ)			Координаты станций эталонные (засечка от исходных пунктов)		Разности измеренных и эталонных значений, мм	
	х, м	у, м	m_{xy} , мм	$x_{э}$, м	$y_{э}$, м	$\Delta_x = x - x_{э}$	$\Delta_y = y - y_{э}$
ST1	100,250	183,219	0,2	100,250	183,220	0	-1
ST2	100,013	193,922	1,8	100,012	193,921	1	1
ST3	99,978	198,286	3,3	99,976	198,284	2	2
ST4	99,747	204,112	5,8	99,742	204,110	5	2
ST5	100,141	206,614	7,1	100,134	206,611	7	3

Построение на рис. 2 является аналогом висячего хода, т.е. бесконтрольно. Очевидно, что прокладывать цепочку засечек, состоящую более чем из двух висячих станций, из-за непредсказуемого накопления ошибок не допустимо. В рассматриваемом примере ошибка положения станции ST3 не превысила 3 мм.

Во втором варианте уравнивания для станции ST5 были заданы координаты из обратной засечки от исходных пунктов. Таким образом, получился уже не висячий ход, а ход, опирающийся в конце на точку с жесткими координатами (рис. 3).

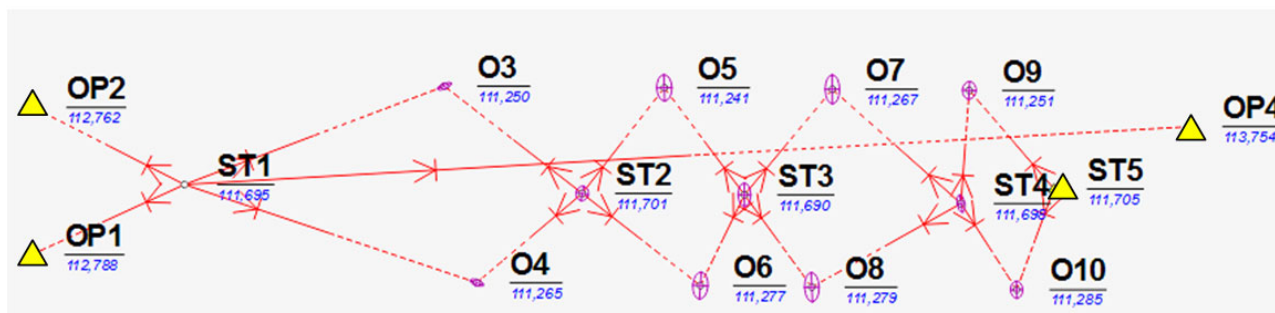


Рис. 3 – Цепочка обратных засечек, опирающаяся на исходные пункты
(аналог разомкнутого хода)

Из рис. 3 видно, что при задании станции ST5 статуса «исходный», ошибки в сети заметно уменьшаются, а эллипсы принимают округлую форму. Сравнение координат с эталонными значениями показало, что все они получены практически безошибочно (разности координат Δx и Δy не превышают 1 мм). Такая сеть может применяться в дальнейшем для разбивочных работ или мониторинга деформаций строительных конструкций [17].

Заключение

Применение визирных целей в виде цилиндрических отвесов возможно при развитии внутрицеховых сетей, предназначенных для контрольных съемок строительных конструкций (СКО положения пунктов сети до 5 мм). Использование отвесов наиболее актуально при развитии геодезической основы в вытянутых производственных цехах, загроможденных оборудованием или материалами. Применение отвесов позволяет исключить ошибки измерения расстояний в безотражательном режиме, которые имеют место быть при отклонении визирного луча от нормали к поверхности отражения более 30° .

Для обеспечения высокой точности создания внутрицеховой сети необходимо повышать ее жесткость путем выполнения избыточных измерений. Рассмотренная в исследовании цепочка из обратных засечек не является надежным построением из-за больших погрешностей ориентирования тахеометра на каждой станции, что приводит к быстрому накоплению ошибок. Рекомендуется не использовать бесконтрольные висячие построения, опирающиеся на исходные пункты только с одной стороны. При крайней необходимости в висячих построениях следует ограничивать число станций тахеометра (не более двух).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 317.1325800.2017 «Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ». – М. : Стандартинформ, 2018. – 43 с.
2. Никонов А. В., Мурзинцев П. П. Определение деформаций каркаса главного корпуса ГРЭС // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 10–16.
3. Никонов А. В. Определение геометрических параметров путей мостовых кранов промышленных предприятий координатным методом // Геодезия и картография. – 2024. – № 12. – С. 35–45. DOI: 10.22389/0016-7126-2024-1014-12-35-45
4. Сундаков Я. А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Недра, 1980. – 343 с.
5. Могильный С. Г., Шоломицкий А. А., Сотников А. Л., Фролов И. С., Кужненко Е. Е. Геодезическое обеспечение высокоточного монтажа и выверки технологического оборудования // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – 2011. – № 2. – С. 34–45.
6. Геодезическое обеспечение эксплуатации промышленных предприятий / В. Б. Жарников, Б. Н. Дьяков, Б. Н. Жуков и др. – М.: Недра, 1992. – 160 с.
7. Левчук Г. П., Новак В. Е., Конусов В. Г. Прикладная геодезия: Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. – М.: Недра, 1981. – 438 с.
8. ГОСТ Р 58941–2020 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Общие положения. М: Стандартинформ, 2020. – 16 с.

9. Никонов А. В., Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Особенности выполнения высокоточного нивелирования при наличии направленных конвекционных потоков воздуха // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – С. 24–30. DOI 10.33764/2618-981X-2022-1-24-30
10. Измерительный комплекс «Визир 3D» на предприятиях Украины: геодезический контроль и выверка технологического оборудования / С. Г. Могильный, А. А. Шоломицкий, В. Н. Ревуцкий, В. А. Пригаров // Геопрофиль. – 2009. – № 3 (6). – С. 12–19.
11. Могильный С. Г., Шоломицкий А. А., Фролов И. С. Геодезический мониторинг и выверка металлургического оборудования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 132–143.
12. О геодезическом обеспечении создания комплекса «Скиф» / А. В. Полянский, В. С. Крапивин, Д. Б. Буренков, Е. С. Вонда, Л. Е. Сердаков // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 5. – С. 67–76. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-5-67-76
13. Сердаков Л. Е., Буренков Д. Б., Мурзинцев П. П., Полянский А. В. О выборе местоположения станций лазерного трекера для установки технологического оборудования // Геодезия и картография. – 2019. – № 11. – С. 22–25.
14. Палкин П. О. Геодезическое обеспечение контроля геометрических параметров изделий авиастроения с применением прецизионных координатных систем: автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Новосибирск, 2025. – 24 с.
15. Назаров И. А. Исследование влияния угла падения лазерного луча и отражающих свойств поверхности на точность измерения расстояний безотражательным электронным тахеометром // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2011. Вып. 2 (16). URL: <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=548>
16. Анализ технологических схем создания геодезического обоснования на промплощадке / Г. А. Уставич, А. Г. Неволин, В. А. Падве, В. Г. Сальников, А. В. Никонов // Записки Горного института. 2021. Т. 249. – С. 366–376. DOI: 10.31897/PMI.2021.3.5
17. Шоломицкий А. А., Лагутина Е. К., Соболева Е. Л. Высокоточные геодезические измерения при деформационном мониторинге аквапарка // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 3. – С. 45–59.

© А. В. Никонов, 2025